Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Агрофизический научно-исследовательский институт»
Российский фонд фундаментальных исследований

МАТЕРИАЛЫ

Международной научной конференции, посвященной 85-летию Агрофизического НИИ

«ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АГРОФИЗИКИ: ОТ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И РАСТЕНИЕВОДСТВА К ТЕХНОЛОГИЯМ БУДУЩЕГО»

Санкт-Петербург, 27–29 сентября 2017 г.

Санкт-Петербург
2017

УДК 528.(076.5):631.5+633/635: 631.43
ББК 26.12:41.4+41:40.1
Т33

Материалы Международной научной конференции, посвященной 85-летию Агрофизического НИИ «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего». Санкт-Петербург, 27–29 сентября 2017 г. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2017. – 854 с.

Международная научная конференция «Тенденции развития агрофизики: от современных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» посвящена 85-летию Агрофизического научно-исследовательского института.

Результаты научных исследований, представленные на конференции, связаны с решением целого ряда фундаментальных проблем: 1. Выявление взаимосвязей и изучение функционирования почвенно – растительных комплексов и агроэкосистем в условиях техногенного воздействия, глобальных и региональных климатических изменений; 2. Применение математического моделирования и информационных технологии в земледелии и агроэкологии; 3. Разработка фундаментальных основ мониторинга состояния агроэкосистем и управления продукционным процессом; 4. Применение современных методов в селекции растений.

В сборнике представлены научные труды, посвященные широкому спектру проблем, решаемых в области агрофизики, почвоведения, растениеводства, микробиологии, генетики и селекции растений, физиологии, биохимии, математического моделирования и информационных технологий.

Конференция проводится при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
грант РФФИ № 17-04-205285

Ответственные за выпуск:
Блохина С. Ю.
Агеенкова О. А.
Цивилев А. Ю.

ISBN 978-5-905200-34-2 © ФГБНУ АФИ, 2017

Agrophysical Research Institute

Russian Foundation for Basic Research

PROCEEDINGS

of the

International Conference

devoted to the 85th anniversary of the

Agrophysical Research Institute

«AGROPHYSICAL TRENDS: FROM ACTUAL CHALLENGES IN ARABLE FARMING AND CROP GROWING TOWARDS ADVANCED TECHNOLOGIES»

Saint-Petersburg, 27–29 September, 2017

Saint-Petersburg
2017

УДК 528.(076.5):631.5+633/635: 631.43
ББК 26.12:41.4+41:40.1
Т33

Proceedings of the International Conference, devoted to the 85th anniversary of the Agrophysical Research Institute «Agrophysical Trends: from actual challenges in arable farming and crop growing towards advanced technologies». Saint-Petersburg, 27–29 September, 2017. – St. Petersburg: Agrophysical Research Institute, 2017. – 854 p.

The Proceedings contain contributions presented at the International Conference «Agrophysical Trends: from actual challenges in arable farming and crop growing towards advanced technologies», devoted to the 85th anniversary of the Agrophysical Research Institute, held in Saint-Petersburg, Russia.

The papers reflect the wide range of problems related to agrophysics: soil-plant complex and agroecosystem investigations at man-caused impacts and climate changes; mathematical modeling and information technology application in arable farming and agroecology; system monitoring and crop growth management; the development of modern genetic-selection approaches and methods for plant breeding; precision agriculture application – from soil and crop sensing to data management and decision support systems; problems of agrophysical approaches in the development and control of agricultural technologies.

The International Conference «Agrophysical Trends: from actual challenges in arable farming and crop growing towards advanced technologies»
was supported by the Russian Foundation for Basic Research Grant № 17-04-205285.

Editors:
Blokhina S. Yu.
Ageenkova O. A.
Tsivilev A. Yu.

ISBN 978-5-905200-34-2 © ФГБНУ АФИ, 2017

ОТ ИДЕЙ А. Ф. ИОФФЕ И Н. И. ВАВИЛОВА ДО БИОИНФОРМАТИКИ И МАРКЕР-ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ СЕЛЕКЦИИ

Ю. В. Чесноков

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., д.14

Агрофизика как самостоятельная научная дисциплина сформировалась благодаря достижениям физики, математики, биологии и почвоведения, а также современных подходов биоинформатики и маркер-вспомогательной селекции, обеспечивших переход к агрономии, основанной на измерениях и расчетах факторов роста и развития растений, продуктивности посевов, выявлении агроприемов и технологий управления продукционным процессом в агроэкосистеме. Современная концепция точного земледелия предполагает использование прецизионной сельскохозяйственной техники с системами позиционирования и датчиками, а также географических информационных систем. В то же время она не может быть реализована без развития современных генетико-селекционного подходов, расширяющих возможности точного земледелия (как на уровне популяций, так и индивидуального растения в зависимости от эколого-географических условий), а также ускорения селекционного процесса для адресного применения в технологии точного земледелия в различных эколого-географических зонах.

FROM THE IDEAS OF A. F. IOFFE AND N. I. VAVILOV TO BIOINFORMATICS AND MARKER-ASSISTED SELECTION

Yu. V. Chesnokov

Agrophysical Research Institute

14, Grazhdanskiy pr., Saint-Petersburg, Russia, 195220

The article presents the formation of agrophysics as a separate academic discipline directed on investigation of physical, agronomical and biological factors of agroecological systems management. The achievement of physics, mathematics, precision agriculture and pedology, as well as modern biology, bioinformatics and marker-assisted selection have provided the transition from descriptive agronomy to agronomy based on evaluation and calculation of factors of plants grow and development, crops productivity, technologies of fields productivity management in the agroecosystem. The modern concept of precision farming involves the use of precision agricultural machinery with positioning systems and sensors, as well as geographic information systems. However, it can not be realized without the development of modern genetic-selection approaches that extend the possibilities of accurate farming (both at the level of populations and individual plants, depending on the ecological and geographic conditions), as well as acceleration of the selection process for targeted application in the precision farming technology in various ecological and geographical areas.

Основоположниками агрономической физики в России в конце XIX столетия были выдающиеся растениеводы, почвоведы, агрономы и климатологи Н. И. Вавилов, А. И. Воейков, К. А. Тимирязев, В. Р. Вильямс, В. В. Докучаев, П. А. Костычев, А. А. Измаильский и А. Г. Дояренко. Они впервые сформулировали задачу агрономической физики как изучение физических факторов в жизни растений (Усков, 2002). В 1930–1931 гг. в Физико-техническом институте АН СССР академиком А. Ф. Иоффе были организованы агрофизические исследования, что совпало по времени с созданием новых институтов президентом ВАСХНИЛ академиком Н. И. Вавиловым и соответствовало его представлениям о роли климатических и физических факторов среды в формировании свойств и продуктивности различных видов растений. Н. И. Вавилов активно поддержал предложение А. Ф. Иоффе о создании специализированного института, в котором проводились бы исследования влияния разнообразных физических факторов внешней среды на жизнеспособность и продуктивность сельскохозяйственных растений. Решением Коллегии Наркомзема СССР от 5 января 1932 г. и Президиума ВАСХНИЛ № 89 от 7 января 1932 г. был основан Физико-агрономический институт (ФАИ), в настоящее время – Агрофизический научно-исследовательский институт (АФИ) (Усков и др., 2017).

По мнению А. Ф. Иоффе, первого директора АФИ, агрофизические исследования были призваны обеспечить превращение агрономии из описательной науки в науку, основанную на измерениях и расчетах, а также на выявлении агроприемов и технологий управления продукционным процессом на полях. Сформулированные им задачи (Иоффе, 1955) оказались настолько фундаментальными, что они до сих пор остаются стратегическими вехами современной агрофизики. Была определена необходимость сгруппировать факторы управления агроэкологическими системами в пять блоков: световой, тепловой, влажностный, атмосферный и почвенный во взаимосвязи с растительным ценозом. Современные направления включают изучение фундаментальных закономерностей функционирования агроэкологических

систем; разработку основ, методов и средств (в том числе информационных) для исследования физических, физико-химических, биологических и биофизических процессов в системе «почва – растение – деятельный слой атмосферы» и управления продуктивностью агроэкологических систем (устойчивое земледелие и растениеводство в природных и регулируемых условиях); создание имитационных математических моделей процессов и технических средств сбора информации о состоянии растений и среды их обитания в условиях непрерывной стохастической изменчивости (Усков, 2002).

В 1955 г. А. Ф. Иоффе, отмечая успехи применения физики в сельском хозяйстве, высказал идею, значительно опережающую уровень развития науки и техники того времени. Он предугадал, что в будущем «… решающую роль в управлении сложнейшей отраслью человеческой деятельности будет играть электронный агроном, способный учесть множественность сложнейших зависимостей в сельском хозяйстве и предложить единственно правильное решение по оперативному управлению сельскохозяйственным предприятием». Несмотря на то, что в данном определении конечная цель системы «электронного агронома» не обозначена явно, вполне очевидно, что, например, в растениеводстве «единственно правильное решение» при пооперационном выполнении агротехнологий, сопровождающих реализацию продукционного процесса, должно способствовать достижению единственной цели – получения программируемого урожая как в контролируемых, так и в полевых условиях в различных эколого-географических зонах. Именно на это и были направлены усилия ученых АФИ, начиная с последних десятилетий прошлого века и вплоть до середины второй декады текущего десятилетия.

Знания о климатической обеспеченности урожаев в различных зонах, разработанные в АФИ методы мониторинга состояния растений и среды их обитания, а также математическое моделирование позволяют оптимизировать управление агротехнологиями в полевых условиях на значительных площадях (Якушев, 2002). Точное земледелие (ТЗ) как новая парадигма растениеводства впервые в мировой науке была по существу сформулирована А. Ф. Иоффе в

середине XX века в виде концепции «электронного агронома» (Иоффе, 1955). Ее полная реализация стала возможной благодаря развитию современных средств информатизации. В ТЗ поле рассматривается как совокупность однородных (квазиоднородных) участков с различными показателями плодородия и (или) состояния посева. Если различия агрономически существенны, то обработки можно дифференцировать соответствующим образом. В настоящее время локальную корректировку технологического воздействия осуществляют бортовые компьютеры сельскохозяйственных агрегатов. При этом точность повышается при использовании геостатистических подходов, системы ГЛОНАСС, дистанционного зондирования Земли и других методов оценки внутриполевой вариабельности.

Для практики точного сельского хозяйства важно развивать интеллектуальные системы реализации агротехнологических решений, улучшать измерительные комплексы, программные средства контроля и прогнозирования состояния почвы, развития сорняков, болезней, вредителей и ряда других факторов, а также выявлять последствия применяемых приемов. Это, в свою очередь, требует продолжения углубленных фундаментальных исследований продукционного процесса растений, взаимодействий генотипа и среды, сортовых особенностей на современном генетико-селекционном уровне, что всегда находило отражение в работах ученых Агрофизического института. Так, благодаря идеям А. Ф. Иоффе и Н. И. Вавилова, в АФИ в 1932 г. под руководством В. П. Мальчевского была начата экспериментальная разработка методов применения искусственного света при выращивании сельскохозяйственных растений с целью повышения их урожайности и получения нескольких поколений в год. Для более чем 50-ти видов растений был осуществлен поиск условий, при которых они одновременно были бы скороспелыми и продуктивными. Работы В. П. Мальчевского с коллегами, не потерявшие актуальность вплоть до настоящего времени, фактически положили начало экспериментальной и промышленной светокультуре. В 1979 г. на основе серийно выпускаемых вегетационно-климатических установок в

Агрофизическом институте был организован фитотронный комплекс – объединение климатических камер и шкафов, позволяющее варьировать в широких пределах условия проведения экспериментов. На сегодняшний день очевидно, что решение об организации фитотронного комплекса АФИ было правильным и своевременным. Результатом такого решения оказалась возможность резкого повышения эффективности научных и практических программ, связанных с исследованиями потенциальных возможностей растений, а также программ по селекции и генетике возделываемых культур.

Еще одним направлением, активно развивавшимся в АФИ с начала 1930-х гг., была оценка использования полимерных материалов в растениеводстве и земледелии. А. Ф. Иоффе обратил внимание на быстрый рост производства полимеров и синтез светопрозрачной пленки в 1900–1930 гг. В результате им была высказана идея о необходимости использования пленочных материалов для сельскохозяйственных целей. Можно считать, что тогда впервые с 1522 г. была нарушена монополия применения оконного (силикатного) стекла в защищенном грунте. Впоследствии исследования ученых АФИ по микроклимату пленочных культур были положены в основу математического моделирования процессов повышения температуры воздуха в пленочных теплицах.

В конце 1950-х гг. в АФИ на фундаментальной физиологической основе была создана «биокибернетика растений» – раздел науки об управлении (непременно автоматическом) физиологическими процессами в растении. В. Г. Карманов, исследуя по заданию А. Ф. Иоффе получение непрерывной информации о «физиологической динамике организма», экспериментально установил не только, что фотопериодический ритм выращивания растений управляет ритмом интенсивности их транспирации, но и что суточный ритм самопроизвольного изменения транспирации сохраняется при переводе растения на режим постоянной освещенности или темноты. На указанном принципе В. Г. Кармановым была создана первая замкнутая система регулирования, содержащая биологическое звено, которая позволяла растению

самому «включать» себе свет утром и «выключать» вечером. С научной точки зрения, это было очередным подтверждением наличия у растений эндогенной суточной ритмики биологических процессов, именуемой «биологическими часами», механизм работы которых до конца не раскрыт вплоть до настоящего времени.

В конце 1990-х гг. вследствие стремительного прогресса в молекулярной биологии и появления международных баз данных в Интернете на стыке биологии и математики возникла новая наука – биоинформатика (Стефанов, Мавропуло-Столяренко, 2007). Предметом биоинформатики явились биологические объекты (молекулы белков и нуклеиновых кислот), однако при этом к ним стали применять информационные методы математики и математической статистики. Начавшиеся в 1950-х гг. работы по расшифровке аминокислотных последовательностей белков и проведению их сравнительного анализа положили начало сравнительной молекулярной генетике (в частности – изучению молекулярной эволюции). Появилась возможность на основе догмы молекулярной биологии «один ген – один белок» и генетического кода реконструировать нуклеотидные последовательности генов по первичной структуре белка, а также судить о сходстве и различиях генов у организмов, в том числе из разных порядков. Создание специализированных компьютерных программ позволяет делать это с достаточной эффективностью, вплоть до представления результатов обработки имеющихся данных о сходстве и различиях первичных структур аминокислотных и нуклеотидных последовательностей в виде эволюционного древа.

Первоначальная ситуация коренным образом изменилась с 1970-х гг., когда появились методы клонирования и секвенирования нуклеотидных последовательностей отдельных генов и фрагментов ДНК. В сравнительной молекулярной генетике начал быстро накапливаться огромный фактический материал по гомологии генов, который продолжает пополняться в настоящее время и сохраняется в виде единых специализированных компьютерных баз данных, доступных через Интернет. С этого времени началось активное

изучение молекулярной гомологии генов у организмов разного уровня организации. Однако исходно данное направление в биоинформатике берет начало с основополагающего обобщения академика Н. И. Вавилова в области генетики – Закона гомологических рядов в наследственной изменчивости, который был представлен им на III Всероссийском селекционном съезде в Саратове в 1920 г. В материалах съезда отмечено: «Н. И. Вавилов заметил удивительную повторяемость, или периодичность, признаков в различных группах и рядах растительного мира, которая дает возможность предсказывать существование неизвестных еще форм наподобие того, как периодическая система Менделеева давала возможность предсказывать существование неизвестных элементов» (Чесноков, 2007). Закон гомологических рядов был немедленно принят современниками Н. И. Вавилова, преимущественно растениеводами, а также систематиками и морфологами. В значительно меньшей степени он привлекал внимание генетиков, поскольку с начала 20-х гг. прошлого столетия разработка проблемы генотипической гомологии продвигалась весьма медленно. Однако по мере развития методических приемов биоинформатики, технологий исследований и накопления знаний о структуре и функционировании генов и геномов Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости позволил по-новому взглянуть не только на фенотипическую изменчивость видов и родов, но и на молекулярно-генетические механизмы эволюционных процессов, происходящих в природе на протяжении многих миллионов лет. На сегодняшний день Закон гомологических рядов в наследственности Н. И. Вавилова и современные методические технологии биоинформатики предоставляют исследователям уникальную возможность найти точки соприкосновения молекулярной и классической генетики и на данной основе полнее раскрыть потенциал изменчивости генетических ресурсов растений, заключенный в гермплазме возделываемых культур (Чесноков, 2007).

Еще одним направлением, активно развиваемым в АФИ в настоящее время, являются молекулярно-генетические методы ускорения селекционного

процесса (Чесноков, Косолапов, 2016). Во многом они также базируются на Законе гомологических рядов Н. И. Вавилова. Следует отметить, что первоначально Н. И. Вавилов говорил о гомологии признаков (Вавилов, 1920), но при последующих изложениях Закона гомологических рядов (Вавилов, 1967) указал на необходимость анализа генетической основы сопоставляемых признаков: «Исходя из поразительного сходства в фенотипической изменчивости видов в пределах одного и того же рода или близких родов, обусловленного единством эволюционного процесса, можно предполагать наличие у них множества общих генов наряду со спецификой видов и родов. Большое число фактов указывает на сходство основных генов у близких видов и близких родов. … До сих пор, строго говоря, речь шла о фенотипических различиях… Но у нас нет сомнения, что те же самые правила применимы также и к генотипической изменчивости». На основе данного основополагающего вывода Закона гомологических рядов наследственной изменчивости Н. И. Вавилова на современном этапе развития агрофизики и системы точного земледелия как ее составляющей предстоит получение новых фундаментальных и прикладных знаний о продукционном процессе сельскохозяйственных культур с учетом особенностей строения, функциональной активности и синтении геномов сельскохозяйственных растений. Управлять ростом и развитием посевов неизмеримо сложнее, чем, например, предусмотреть транспортные издержки предприятия, смоделировав весь объем и условия перевозок. Учесть все изменения погоды, состояния почвы, особенности продукционного процесса того или иного сорта выращиваемой сельскохозяйственной культуры в изменяющихся условиях окружающей среды, спрогнозировать развитие сорняков, болезней и вредителей при принятии технологического решения, а также определить приемы его выполнения в реальных условиях возможно, в том числе, на основе использования современных генетико-селекционных методов и подходов, в частности так называемой маркер-вспомогательной селекции (marker-assisted selection).

Идея использования маркер-вспомогательной селекции восходит к 20-м годам прошлого века, когда K. Sax (Sax, 1923), проводя исследования на бобовых, наблюдал ассоциацию между окраской (моногенный признак) и массой (полигенный, количественно наследуемый признак) семян у *Phaseolusvulgaris* L. и пришел к заключению, что один моноген (одиночный ген, определяющий проявление одного признака), контролирующий окраску семян, должен быть сцеплен с одним или двумя полигенами (группа отдельных генов, совокупно определяющих проявление одного признака), определяющими массу семян у данного вида растений. В результате концепция использования сцепленных генов для установления наследования генов, контролирующих другие признаки, стала реальностью. Существенный прогресс в данном направлении был достигнут в 1935 г. после опубликования работы Н. И. Вавилова «Научные основы селекции пшеницы» (Вавилов, 1935), в которой была приведена карта первой группы сцепления, содержащая три гена (скверхедности, безостости и спельтоидности). В том же году была опубликована первая генетическая карта кукурузы (Emerson et al., 1935). Благодаря указанным и последовавшим за ними работам по идентификации и картированию генов у высших организмов концепция сцепленных генов продвинулась намного вперед (Чесноков, 2009). Дальнейшее развитие она получила в 1961 г., когда J. M. Thoday первым предпринял попытку картировать и охарактеризовать все полигены, влияющие на определенный признак, с помощью моногенных маркеров. Поскольку он работал с фенотипическими маркерами, то основное практическое ограничение его исследований заключалось в том, что пригодными для такой работы оказались всего несколько маркеров.

В начале 1980-х гг. на смену фенотипическим маркерам, использованным K. Sax и J. M. Thoday, пришли изоферменты, предложенные в качестве маркеров для дискриминации различных генотипов и установления генетического сцепления у различных видов растений (Чесноков, 2013). Однако ограниченное число подходящих для анализа изоферментных локусов в геноме

и необходимость использования образцов свежей ткани, собранных в нужную фазу развития, являлись несомненными недостатками (Чесноков, 2005; 2013). С появлением молекулярно-генетических маркеров ситуация изменилась коренным образом, поскольку с их помощью генотипическая изменчивость стала оцениваться на молекулярном уровне ДНК. Благодаря этому появилась возможность выявлять больше полиморфизма у различных генотипов, и селекционеры впервые смогли получить большое количество маркеров, распространенных по всему геному любого интересующего их вида растений, к тому же генетически сцепленных с желаемыми признаками и не зависящих от стадии специфичной экспрессии каких бы то ни было генов. С данного момента маркер-вспомогательная селекция приобрела реальные очертания (Ruane, Sonnino, 2007).

На сегодняшний день молекулярная селекция (molecular breeding, MB) в широком смысле слова может быть определена как применение генетических манипуляций, осуществляемых на уровне молекул ДНК, с целью улучшения желаемых признаков у растений или животных, включая генетическую инженерию, маркер-вспомогательную селекцию, геномную селекцию и прочие манипуляции подобного рода. Данный термин используется для определения ряда современных селекционных стратегий, таких как маркер-вспомогательная селекция (marker-assisted selection, MAS), маркер-вспомогательное беккроссирование (marker-assisted backcrossing, MABC), маркер-вспомогательная рекуррентная селекция (marker-assisted recurren selection, MARS) и геномная селекция (genomic selection, GS) (Ribautetal, 2010). Все указанные направления молекулярной селекции могут быть определены как применение молекулярных биотехнологий, особенно молекулярно-генетических маркеров, при комбинировании с информацией карт сцепления и геномики для изменения и улучшения желаемых признаков у растений и животных на основе генотипического анализа. В данном смысле маркерные технологии являются не только методологиями, призванными ускорить и упростить селекционный процесс, но и своеобразным связующим звеном

между работой кураторов коллекций по сохранению и изучению генетических ресурсов растений (ГРР) и трудом селекционеров, использующих ГРР в качестве исходного селекционного материала в селекционных программах.

Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости Н. И. Вавилова (Вавилов, 1967), синтения геномов и молекулярная гомология генов (Чесноков, 2007) значительно увеличивают потенциал маркерных технологий при их практическом применении в целях ускорения селекционного процесса. Совокупное использование Закона гомологических рядов в наследственной изменчивости Н. И. Вавилова и современных молекулярно-генетических методических подходов предоставляет исследователям уникальную возможность найти точки соприкосновения молекулярной и классической генетики и, что особенно ценно, на их основе более полно раскрыть потенциал генетической изменчивости, заключенный в зародышевой плазме генетических ресурсов растений или ином селекционно значимом материале с целью его реализации в практической селекции. В то же время необходимо отметить, что все современные молекулярно-генетические методы идентификации, выделения и локализации на хромосомах (генетических картах) генов и/или локусов хромосом, определяющих проявление количественных/качественных признаков, базируются на классических методах генетики и селекции идентификации по фенотипу, эмерджентности свойств, подборе родительских пар и, если это необходимо, проведении скрещивания и т.д. Следовательно, молекулярно-генетические методы являются ничем иным, как продолжением и логическим развитием классических методов генетики и селекции. Они призваны ускорить и упростить селекционный процесс, но никогда не смогут заменить собой классические методы генетики и селекции. В то же время получению и реализации новых фундаментальных и приоритетных прикладных данных способствуют комплементарное, т. е. взаимодополняющее использование современных и классических методов исследований, междисциплинарность подходов, их прогрессивное развитие, умение применять их, понять их суть и критически оценить их реальные возможности.

Все это в конечном итоге позволит ускорить селекционный процесс – основной инструмент раскрытия механизма повышения продуктивности растений и получения новых сортов сельскохозяйственных культур с улучшенными агрономическими и хозяйственно значимыми признаками – за счет применения методологий так называемой маркер-вспомогательной селекции, столь активно развиваемой в настоящее время, в том числе в агрофизике.

Список литературы

Вавилов Н. И. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. Саратов, 1920. 21 с.

Вавилов Н. И. Научные основы селекции пшеницы. М.-Л., 1935. 246 с.

Вавилов Н. И. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости // Н. И. Вавилов. Избранные произведения. Т. 1. Л., 1967. С. 9-61.

Иоффе А. Ф. Физика и сельское хозяйство. М.-Л.: АН СССР, 1955. 76 с.

Стефанов В.Е., Мавропуло-Столяренко Г.Р. Анализ структуры белков методами биоинформатики. СПб.: Золотое сечение, 2007. 140 с.

Усков И.Б. Агрофизика: от А. Ф. Иоффе до наших дней. СПб.: АФИ, 2002. 358 с.

Усков И. Б., Якушев В. П., Чесноков Ю. В. Управление агробиологическими системами – физико-агрономические и генетико-селекционные аспекты // Сельскохозяйственная биология. 2017. № 3 (в печати).

Чесноков Ю. В. ДНК-фингерпринтинг и анализ генетического разнообразия у растений // Сельскохозяйственная биология. 2005. № 1. С. 20–40.

Чесноков Ю. В. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости и молекулярная гомология генов // Сельскохозяйственная биология. 2007. № 5. С. 9–14.

Чесноков Ю. В. Картирование локусов количественных признаков у растений. СПб.: ВИР. 2009. 100 с.

Чесноков Ю. В. Молекулярно-генетические маркеры и их использование в предселекционных исследованиях. СПб.: АФИ, 2013. 116 с.

Чесноков Ю. В., Косолапов В. М. Генетические ресурсы растений и ускорение селекционного процесса. М.: ООО «Угрешская типография», 2016. 172 с.

Якушев В. П. На пути к точному земледелию. СПб.: ПИЯФ РАН, 2002. 458 с.

Emerson R. A., Beadle G. W., Fraser A. C. A summary of linkage studies in maize. Cornell Univ. Agr. Exp. Stn. Mem. 1935. P. 1–80.

Ribaut J. M., de Vicente M. C., Delannay X. Molecular breeding in developing countries: challenges and perspectives // Current Opinion in Plant Biology. 2010. 13. P. 213–218.

Ruane J., Sonnino A. Marker-Assisted Selection as a Tool for Genetic Improvement of Crops, Livestock, Forestry and Fish in Developing Countries: an Overview of the Issues // Marker-assisted Selection – Current Status and Future Perspectives in Crops, Livestock, Forestry and Fish. Guimaraes E. P., Ruane J., Scherf B. D., Sonnino A., Dargie J. D. (eds.). Rome (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)). 2007. P. 3–13.

Sax K. The association of size differences with seed-coat pattern and pigmentation in *Phaseolus vulgaris* // Genetics. 1923. V. 8. P. 552–560.

PLANT GENETIC RESOURCES – CONSERVATION AND EXPLOITATION FOR PLANT BREEDING AND RESEARCH

A. Börner[*1], M. Nagel [1], M. Agacka-Mołdoch [1,2], M. Börner [1,3], U. Lohwasser [1], D. Riewe [1], J. Wiebach [1], T. Altmann [1], Y. Chesnokov [4]

[1]*Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK), Gatersleben, Germany*

[2]*Institute of Soil Science and Plant Cultivation, State Research Institute, Puławy, Poland*

[3]*Enza Zaden, Research and Development B. V., Enkhuizen, The Netherlands*

[4]*Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russia*

[*]*boerner@ipk-gatersleben.de*

Plant genetic resources play a major role for global food security. The most significant and widespread mean of preserving plant genetic resources is *ex situ* conservation. The first *ex-situ* genebank was established in Leningrad (today St. Petersburg) in 1920 by Nikolay Vavilov who was born 130 years ago, being the occasion for this conference. Today about 1,750 *ex situ* genebanks world-wide maintain 7.4 million accessions. One of the ten largest *ex situ* collections of our globe is located at the Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK) in Gatersleben, Germany, conserving 150,000 accessions from 3,200 plant species and 780 genera. Since the majority of genebank holdings globally is maintained as seed, seed storability is of exceptional importance for germplasm conservation.

At IPK research on seed longevity was initiated for a range of crops and wild relatives stored over decades. Historical germination data accumulated during 35 years of seed germination monitoring were analysed to predict species specific seed longevities. The study considered 75 species comprising 79,075 accessions and 157,402 observations. Beside interspecific differences variation was also detected within species and genetic analyses were initiated in barley, wheat, oilseed rape and tobacco.

In addition, mass spectrometry based untargeted metabolite profiling experiments were performed in order to detect biochemical changes coinciding with loss in seed germination. GC-MS analysis of the polar metabolome of wheat and barley identified glycerol and related intermediates as highly correlated to germination rate. Therefore, the lipidomic composition of a wheat panel was investigated using high-resolution liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS). A high proportion of tentative oxidized lipids was detected, suggesting lipid oxidation as the causal trigger for membrane degradation.

Beside research on seed storability genebank accessions and genetic stocks have been extensively used for genetic and genomic studies. Examples on mapping of loci/marker trait associations for different traits will be presented.

УДК 631.5:635.042

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИЕ ОВОЩЕЙ В ОТКРЫТОМ ГРУНТЕ

В. Ботнарь

Институт генетики, физиологии и защиты растений АНМ

Республика Молдова, г. Кишинев, ул. Пэдурий, 20

vasilebotnari@yahoo.com

На основе многолетних исследований с использованием методов системного анализа разработаны концептуальные основы выработки агротехнологических решений с учетом достижений математического моделирования процессов в системе «почва – растение – атмосфера», а также выявлены основные закономерности формирования урожая и качества овощной продукции. Освещены вопросы разработки методологических подходов управления технологическими процессами производства овощей в открытом грунте, обеспечивающих на вероятностной основе получение заранее рассчитанного уровня урожайности при одновременном повышении почвенного плодородия, соблюдении природоохранных требований, санитарных норм и высокой экономичности производства. Обоснована целесообразность разработки и внедрения в производство дифференцированных технологических решений с учетом конкретно складывающихся почвенно-климатических и хозяйственных условий; выявлены основные закономерности формирования урожая и качества овощной продукции, особенности функционирования, правила построения и реализации дифференцированных технологий, необходимость совершенствования существующих и разработки новых методов формализации агрономических знаний; разработаны методологические основы управления технологическими процессами оптимизации норм и сроков полива, плотности посева, определения оптимальных доз удобрений и сроков их внесения в зависимости от биологических особенностей отдельных групп сортов с учетом фактического состояния технологических схем и др. почвенно-климатических параметров; обоснован выбор эффективных способов производства, средств защиты растений и других агротехнических приемов, обеспечивающих достижение планируемого уровня урожайности и улучшение экологической обстановки.

PYRAMIDING OF THE CANDIDATE GENES OF BACTERIAL BLIGHT RESISTANCE *xa5, Xa7* AND *xa13* INTO THE ELITE RICE VARIETIES

K. H. Trung, N. T. Diep, T. D. Khanh, L. H. Ham

Agricultural Genetics Institute, Hanoi, Vietnam

Bacterial blight (BB) of rice is caused by *Xanthomonas oryzae* pv. It is a major disease of rice in a lot of countries. The objective of the study was to identify the bacterial leaf blight tolerance of the candidate genes *xa5* and *xa13* and design the marker exactly *xa5add35* and *xa13add4* on the basis of databases of 36 genome sequencing of Vietnamese native rice cultivars. P3 marker have been used to detect *Xa7* among the 36 genomes sequenced of rice lines. Based on the results of *xa5, Xa7* và *xa13* screening Hom rau cultivar have been used as a donor plant to introgress the resistant genes into elite cultivar An Dan 11. The individual plants of BC_1F_1, BC_2F_1 and BC_3F_1 have been screened to identify the individual plants carrying the *xa5, Xa7* and *xa13.* The results have found that 06 plants of BC_3F_1 carries the resistant genes *xa5, Xa7* and *xa13* in hetergeous. They are able to develop BC_3F_2 population for selection of the elite lines with potential bacterial leaf blight resistance.

PHYLOGEOGRAPHIC DISTRIBUTION OF *OROBANCHE CUMANA* WALLR. IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA

Maria Duca

University of Academy of Sciences of Moldova

E-mail: mduca2000@yahoo.com

The incidence of the holoparasitic weed *Orobanche cumana* on Moldovan sunflower fields was first described in 1937. Since then, its geographic extent into new areas in the Republic of Moldova has increased dramatically. The rapid expansion of broomrape in the Southern region of the country has been due to general violation of crop rotation cycle by land tenants and the use of non-resistant sunflower hybrids. Consequently, broomrape progression is causing the development of new races, which are more virulent, more aggressive and more damaging for the sunflower cultivars.

In this study 40 accessions of *O. cumana* collected from the different areas of the country have been examed in order to elucidate the morphological and genetic variability, distribution and current racial status of broomrape populations in the Republic of Moldova.

The obtained morphological data confirme the usefulness of seed characteristics in the identification of the examined accessions, and furthermore, allow to separate the broomrape populations according to their geographical origin. In addition, the results of studies allow the use of molecular markers – a suitable method for the determination of the genetic variation within and between broomrape accessions, the identification of pathogenic groups in parasite populations and the comprehension of the sunflower broomrape phylogeography on the entire territory of the country. A comparative analysis of the used sunflower differential set for broomrape races D, E, F and G revealed a great diversity of physiological races, which overcome the action of known sunflower resistance genes. Among the studied broomrape populations, the most aggressive are accessions from the southern districts of Moldova, where the races G and G+ became predominant. These results can be used for the creation of maps that will increase the predictability of risks sunflower cultivation and allow to plan the control measures, crop rotation and treatments.

The article provides additional information about the morphological, genetic and physiological characteristics of *Orobanche cumana* populations, which are crucial for the creation of efficient resistance-breeding programs.

ФИЗИКА ПОЧВ: ОСНОВНЫЕ АГРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, НАПРАВЛЕНИЯ, ОБЗОР НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Е. В. Шеин

Факультет почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова;

Почвенный институт им. В. В. Докучаева, Москва

Развитие современной агрофизики находится в тесной взаимосвязи с развитием ряда разделов физики почв. Это, прежде всего, (1) классические вопросы агрофизической оценки, (2) проблемы использования и развития прогнозных математических моделей и (3) проблемы использования агрофизических подходов при разработке и контроле агротехнологий. Анализ состава данных проблем проведен на основе доступной научной литературы почвенно-агрофизического направления, выпускаемой, прежде всего, в развивающихся странах, где почвоведение, физика почв, мелиорация и природообустройство начинают осознаваться как направления, требующие применения новых методов, расчетных процедур и прогнозов. Безусловно, указанный выбор аналитического поля делает обзор несколько односторонним, не учитывающим традиции, школы, развитие приборной базы и обеспеченности специалистами, однако он является весьма полезным для учета тенденций разнообразных (в т. ч. финансовых) мировых вложений в развитие агрофизики и физики почв. В направлении (1) депозитарная и проводящая функции почв не обязательно связаны с содержанием органического вещества, а определяются функционированием почвенной биоты, её разнообразием и активностью. Направление (2) представлено преимущественно научной литературой по педотрансферным функциям, а направление (3) пока основывается на традиционных региональных опытах и статистических оценках, что не позволяет сформулировать основы агрофизических управляющих моделей для разнообразных почвенно-климатических условий.

SOIL PHYSICS: THE MAIN AGROPHYSICAL PROBLEMS, DIRECTIONS, REVIEW OF SCIENTIFIC LITERATURE

E. V. Shein

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty,

Department of Soil Physics and Reclamation;

Soil Science Institute named after V. V. Dokuchaev, Moscow

The development of modern agrophysics is closely related to the development of a number of sections of soil physics. These are, first of all, (1) classical questions of agrophysical evaluation, (2) problems of using and developing predictive mathematical models, and (3) problems of using agrophysical approaches in the development and control of agricultural technologies. The analysis of the composition of these problems was carried out on the basis of available scientific literature of the soil-agrophysical direction, produced primarily in developing countries, where soil science, soil physics, land reclamation and environmental management are beginning to be recognized as directions requiring the use of new methods, calculation procedures and forecasts. Certainly, this choice makes the review somewhat unilateral, does not consider traditions, schools, the development of the instrument base and the provision of specialists, but it is very useful for accounting of trends of various (including financial) world investments in the development of agrophysics and soil physics. In the direction (1), the depositary and conductive functions of soils are

not necessarily related to the content of organic matter, but are determined by the functioning of the soil biota, its diversity and activity. This indicates the development of a microbiological trend in soil physics. Direction (2) is presented mainly by scientific literature on pedotransfer functions, and direction (3) is still based on traditional regional experiments and statistical assessments, which does not allow to formulate the fundamentals of agrophysical control models for a variety of soil-climatic conditions.

Среди традиционных агрофизических вопросов в настоящее время по-прежнему рассматриваются вопросы агрофизической оценки почв. И так же, как и прежде, в качестве основных аргументов общей оценки агрофизических условий выступают гранулометрический состав, порозность, содержание органического вещества, характеристики депозитарной и проводящей функций почв (водоудерживание, фильтрация). Однако в последнее время появились работы (Ahmet Sami Erol et al., 2015), в которых показано, что данные функции почв совсем не обязательно связаны с содержанием органического вещества, а определяются функционированием почвенной биоты, её разнообразием, многофункциональностью и активностью, что позволяет почве осуществлять указанные функции даже при невысоком содержании органического вещества, за производство и поддержание которого отвечает именно почвенная биота. Пожалуй, данное направление следует выделить особо, поскольку оно отражает взаимосвязь агрофизики с жизнедеятельностью почвенной биоты, необходимую для понимания состояния почвы и её развития как биологического природного биосферного тела.

Второе направление – развитие количественных физически обоснованных подходов к описанию гидрологических, аэрофизических и теплофизических явлений – связано с появлением физически обоснованных математических моделей, определяющих применение различных агрохимических средств в разнообразных почвенно-климатических условиях. Здесь, по-видимому, основной проблемой является получение почвенного экспериментального обеспечения для такого рода моделей, включая условия на верхней и нижней границах, а также, что самое главное, почвенных физических функций (Полуэктов и др., 2003). Здесь основные исследования связаны с педотрансферными функциями (ПТФ), попытками их получения для конкретных регионов, на новых приборах, с новыми математическими подходами. К сожалению, уделяя основное внимание получению ПТФ, исследователи нередко забывают, что данные функции нужны не сами по себе, а для работы прогностических моделей, а указанные модели без адаптации

полевыми динамическими данными являются лишь ориентирующим средством, направленным на выявление главенствующих тенденций без обоснованного количественного анализа, прогноза и оценки. В посвященных ПТФ статьях уделяется внимание приборному обеспечению получения предикторов, количеству дат и математическому аппарату восстановления искомых функций. Причем большое количество дат, разнообразие почв, значительное число предикторов создают представление о широком использовании таких ПТФ, что совершенно неприемлемо с точки зрения моделирования, зато важно для формирования школ, лабораторных приборных центров, а также формирования научного стиля.

Задача практической агрофизики касается, прежде всего, оптимального использования имеющихся агрофизических и мелиоративных средств воздействия на почвенные условия. Здесь до сих пор преобладают экспериментальные региональные многофакторные опыты, аналогичные агрохимическим опытам по применению различных удобрений с разным фоном. А, например, такая важная агропроблема, как вопросы применения в нашей стране технологии «ноутил», связывается с различными конструкциями плугов, техникой, но никак не с прогностическими почвенными и растительными проблемами, и, прежде всего, с проблемами гидрологическими и миграции агрохимикатов. Сохраняется веками обоснованное убеждение в затратности региональных опытов на разных по развитию и свойствам почвах, при различных климатических условиях и традициях землепользования. Все это обуславливает необходимость практического прогнозного направления в современной агрофизике, способного дать возможно вероятностные, но научно обоснованные ответы на возникающие вопросы.

Список литературы

Полуэктов Р. А., Опарина И. В., Терлеев В. В. Фундаментальные физические исследования в почвоведении и мелиорации. 2003. С. 241–244.

Ahmet Sami Erol, Evgeny Shein, Evgeny Milanovskiy, Fariz Mikailsoy, Fatih Er, Sabit Ersahin. Physical and microbiological properties of alluvial calcareous Çumra province soils (Central Anatolia, Turkey) // Eurasian J Soil Sci. 2015. № 4(2). P. 107–110.

FROM CROP GROWTH MODELS TO MODEL-BASED DSS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE AND LAND USE – TRENDS AND PERSPECTIVES

K.-O. Wenkel[1], W. Mirschel[1], A. G. Topaj[2]

[1]*Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Institute of Landscape Systems Analysis, 84, Eberswalder Str., Müncheberg, Germany, 15374*
kowenkel@web.de; wmirschel@zalf.de;
[2]*Agrophysical Research Institute, 14, Grazhdanskyi prospect, St. Petersburg, Russia, 195220*
E-mail: topaj@hotmail.ru

A brief description of the history of crop growth modelling worldwide beginning from the first regional modelling schools of de Wit (Netherlands), of Ritchie (United States), of Unger/Claus and Müncheberg (Germany) and of Poluektov (SU and Russia) up to the recent international modelling community under the global umbrella of AgMIP (Agricultural Model Intercomparison and Improvement) is given. Possibilities and problems of crop growth models are discussed. For model-based solving of actual problems in agricultural practice different model types are necessary. This requires integrated system modelling approaches and new types of cooperation in research. To exemplify this, the decision support systems LandCaRe-DSSfor adaptation of agriculture to climate change and the irrigation scheduling system WEB-BEREST are introduced briefly. Finally, the trends and perspectives in agricultural crop growth modelling are outlined.

Introduction

The world has become more complex in recent years due to many factors, including the growing population and its demands for more food, water, and energy, the limited arable land for expanding food production, and increasing pressures on natural resources. Over the past century, enormous progress has been achieved worldwide in improving human welfare. Agricultural production more than tripled between 1960 and 2015, owing in part to productivity-enhancing Green Revolution technologies and a significant expansion in the use of land, water and other natural resources for agricultural purposes (FAO, 2017). Expanding food production and economic growth in the most of cases are possible only at the expense of the natural environment. The negative trends in the environment are accelerating in pace and intensity, and agriculture is an important part of the problem. Looking ahead, the core question is: Can we achieve the required production increases, even as the pressures on already scarce land and water resources and the negative impacts of climate

change intensify? Besides progress in the so called basic sciences (biology, soil science, physics and others) we therefore need progress in complex agricultural systems science at different scales. Integrated crop growth and land use model sare important tools to better understand changes in the past and to be able to predict the impacts of future developments (Jones et al., 2016).Agricultural system models play an increasingly important role in the development of sustainable land management across diverse agro-ecological and socioeconomic conditions because field and farm experiments require large amounts of resources and may still not provide sufficient information in space and time to identify appropriate and effective management practices (e.g., Teng and Penning de Vries, 1992). They are also an important prerequisite for the development of Integrated Decision Support Systems (DSSs) to support sustainable farm management, sustainable land use planning and development of sustainable climate adaptation strategies of agriculture (Wenkel et al., 2013).

In this paper referring to the results of the International Crop Modelling Symposium (iCROPM) which took place in Berlin in March 2016 (iCROPM, 2016), we give a short overview of the history of Crop Growth Modelling in West and East, we discuss the possibilities and problems relative to current and future needs and we draw conclusions for the further development of model systems. In the light of the pros and cons of dynamic crop growth models finally we analyze the possibilities and limits of dynamic models as integrated components of a DSS.

Brief history of crop growth modelling

Until the 1960s, agricultural research almost completely relied upon experimental and empirical work, combined with statistical analysis. Though progress had been impressive, constraints and limitations to this type of research became more and more evident: location- and time-specific results were difficult to generalize and extrapolate, i.e. research was more analytical.

The Wageningen School of agro-ecological modelling

Following pioneering work by C. T. De Wit, scientists at the Department of Theoretical Production Ecology of Wageningen Agricultural University and the DLO

Research Institute for Agrobiology and Soil Fertility (Netherlands) were the first, which developed systems analysis and simulation modelling in agricultural research. Since the 1960s, Wageningen has built a tradition in developing and applying crop models. Rather than focusing on a few models, diversity is its trademark. The origin and philosophy of this school are traced from de Wit's classical publication on modelling photosynthesis of leaf canopies in 1965. Aims and scope of the work have evolved over the years (Bouman et al., 1996). In the 1960s and 1970s, the main aim of the modelling activities was to obtain understanding at the system scale, based on the underlying processes. Modelling and experimentation revolved around BACROS (Basic Crop growth Simulator) and its components (De Wit et al., 1978; Goudriaan, 1977; Van Keulen, 1975; Penning De Vries, 1974) with especially designed equipment and field experiments. These modelling approaches have served as the basis and inspiration for modelling groups around the world.

In the 1980s the generic crop model SUCROS (Simple Universal Crop growth Simulator) for the potential production situation was developed in Wageningen, which formed the basis for most recent Wageningen crop models such as WOFOST (Van Keulen and Wolf, 1986; Boogaardet al., 1998; Supit et al., 1994), MACROS (Penning de Vries et al.,1989) and ORYZA (Bouman et al., 2001). For water- and nitrogen-limited production situations, model components were added to the SUCROSframework resulting in models such as ARID CROP, SAHEL and PAPRAN (Van Keulen et al., 1981; Seligmanand Van Keulen, 1981). Modelling efforts expanded to perennial species in forest systems, and the effects of yield-reducing factors, such as weeds, pests and diseases (Rabbinge, 1976; Kropffan Van Laar, 1993). In the 1990s the Wageningen group focused more on applications in research, agronomic practice and policy making. A wide range of issues was studied using crop models, such as: mixed cropping (e.g. Baumann et al., 2001), effects of climate change (Nonhebel,1993; Wolf, 1993; Goudriaan, 1996; Rodriguez et al., 1999), breeding applications (Kropff et al., 1995; Bindraban, 1997; Aggarwal et al., 1997; Yin et al., 2000), yield gap analyses (e.g. Casanova, 1998), and water and nitrogen management (e.g. Ten Berge et al., 1997; Farre et al., 2000). In the 1990s

crop models also found their application in studies at the higher levels of integration, i.e. farm and regional scale. Finally, crop models were used to explore limits for food production capabilities at global scale (Penning de Vries et al., 1995). The philosophy of the Wageningen modelling group has been based on open exchange of information and a strong linkage with teaching. To facilitate this, models were published in books and reports with full programming code and describing the scientific basis, allowing use of this scientific knowledge by the international modelling community.

Crop growth modelling in USSR/Russia

Due to political constraints on the professional interaction in the time period of the Cold War (1945–1990) till now in the Western countries only a few is known about the history and state of the art in agro-ecosystem modelling and its use in agricultural management in the former Soviet Union and in East Germany. In the 1960s analog to the Wageningen School of agro-ecological modelling the history of crop modelling and simulation in the former USSR started with the almost simultaneous development of two competitive versions (radiation and CO2). The first approach had been developed by Budagovsky et al. (1964) and the second one was presented by Budyko (1964) and Budyko and Gandin (1964). In Russia these papers were the basis for a quantitative theory of crop growth and crop production, resulting in the change from a static to a dynamic presentation of crop-environment relationships. The academic literature on simulating photosynthesis and photorespiration and other processes is quite voluminous – the subject is discussed in practically all monographs on mathematical simulation (Tooming, 1977; Bikhele et al., 1980; Sirotenko, 1981; Poluektov, 1991) and proves the high theoretical standard in this field in the Russian science. During the next 30 years up to the 1990th, extensive and very effective activities on developing crop simulation models in the former USSR have been carried out within the framework of the scientific society WYM (Weather-Yield-Mathematics) and other research programs (Sirotenko, 2001). As a result, more than 20 monographs and some hundred papers were published (Sirotenko, 1977; Poluektov, 1977; Sirotenko, 1996; Sirotenko, 2001). Unfortunately, the information contained in the majority of these publications remains unknown to

the Western scientific community. In general, in Russia has been evolved two schools in crop/yield/agro-ecosystem modelling: the school of Sirotenko (All-Russian Research Institute of Agricultural Meteorology Obninsk) and the school of Poluektov (Agrophysical Research Institute St. Petersburg (ARI)). Prominent examples for the developed models are WEATHER-YIELD (Sirotenko, 2001) and AGROTOOL (Poluektov, 1984; Poluektov et al., 2002; Poluektov and Terleev, 2007). Today the school of Poluektov is moving forward by the initiatives of A. G. Topaj from ARI St. Petersburg. They bring together all recent Russian-wide existing modelling groups in this field and founded a special modelling workshop cycle, which is open also for all international crop modelers (Barnaul, 2012; AFI, 2014). The AGROTOOL model is incorporated in the APEX system, a tool for computer-based multi-variant simulation experiments for agricultural for cop growth (Medvedev and Topaj, 2011; Topaj et al, 2016).

Crop growth modelling in GDR/Germany

During the second part of the 1960s parallel to the Wageningen and the Russian agro-ecosystem modelling schools also in Germany the first crop growth model approaches were developed. In East Germany, the School of Unger and Claus from the Institute of plant breeding in Quedlinburg began to work on the model-based biophysical analysis of plant systems. This school brought together the hydro-meteorological, the bio-physical and the plant-physiological components in one crop growth model. The aim of this very complex and detailed model was to find out the sensitive crop-intern processes for a successful plant breeding focused on height crop yields (Unger and Ross, 1977; Claus, 1977; Claus and Unger, 1977).

In the 1970s on the basis of extensive field experiments for collecting of coherent data sets in the system soil – plant – atmosphere – management the Müncheberg crop growth modelling school was developed in the Research Centre for Soil Fertility. This school is existing till up to now in the Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research. Crop growth and agro-ecosystem models from Müncheberg were developed mainly for practical applications. In Müncheberg the crop growth model TRITSIM (Mirschel et al, 1986; Matthäus et al, 1986) for winter

wheat and the agro-ecosystem model family AGROSIM for winter cereals, sugar beet and catch crops (Mirschel and Wenkel, 2007) were developed. In the 1980s together with the Institute for Plant Protection Eberswalde and the Institute for Cybernetics and Information Processes Berlin the computer-aided modelling and simulation system AGROSIM-W for integrated pest management of winter wheat was developed (AdLDDR, 1986). On the basis of the modelling language SONCHES (*S*imulation *O*f *N*onlinear *C*omplex *H*ierarchical *E*cological *S*ystems; Wenzel et al, 1986) this system brought together the model TRITSIM and three models for pests and diseases (Rossberg et al., 1986a and 1986b; Gutsche et al., 1986). AGROSIM-W was used for the assessment of complex infestation situations in practice (Ebert et al., 1986). The agro-ecosystem models HERMES (Kersebaum, 1995; Kersebaum, 2007) and MONICA (Nendel et al, 2011) are recent products of the Müncheberg crop growth modelling school. Both models active take part in the AgMIP (Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project, http://www.agmip.org/) and MACSUR (Modelling European Agriculture with Climate Change for Food Security, http://macsur.eu/)networking. The development of the HERMES model starts in the 1990s. The HERMES model mainly focuses on biomass and yield production as well as on nitrogen cycling. The MONICA model was developed at the end of the 2000s, combines algorithms mainly from HERMES and some from AGROSIM, and the calculation of organic matter turn-over and C- and N-dynamics is based on the routines used in the DAISY model (Hansen et al., 1991). Both, the HERMES and the MONICA models are generic agro-ecosystem models taking into account a lot of different agricultural crops and give the possibility to simulate whole crop rotations.

Crop growth modelling in the United States of America

Some of the earliest agricultural systems modeling in the United States of America were done by Earl Heady and his students to optimize decisions at a farm scale and evaluate the effects of policies on the economic benefits of rural development (Heady, 1957; Heady and Dillon, 1964). In 1964 the International Biological Program (IBP) was created. It left a legacy of thinking and conceptual and mathematical modelling that contributed strongly to the evolution of systems

approaches for studying natural systems and their interactions with other components of more comprehensive managed systems(Coleman et al., 2004).After the global wheat crisis in 1974 in the USA new research programs were funded to create crop models that allow the USA to use them with newly available remote sensing information to predict the production of major crops that were grown anywhere in the world and traded internationally. This led to the development of the CERES-Wheat and CERES-Maize crop models by Joe Ritchie and his colleagues in Texas (Ritchie and Otter, 1985; Jones and Kiniry, 1986). These two models have continually evolved and are now contained in the DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) suite of crop models (Jones et al., 2003; Hoogenboom et al., 2012). Today DSSAT comprises crop growth models for over 42 crops. The models have been combined into one Cropping System Model (CSM) that has the same soil water, nitrogen, phosphorus and organic carbon balance simulations across all crops, but uses unique modules for the simulation of crop growth and development for each crop. The models have been used for a diverse range of studies, including plant breeding and genomics, irrigation and fertilizer management, climate variability and decision making, in-season yield forecasting, irrigation water use projections, nitrogen leaching and soil degradation, crop rotation and long-term soil fertility, climate change impact and adaptation, and food security. DSSAT's models has been in use for more than 20 years by researchers, educators, consultants, extension agents, growers, and policy and decision makers in over 100 countries worldwide (Hoogenboom et al., 2015). The CropSyst model developed in the Washington State University is a multi-year and multi-crop model and has been parameterized for a wide range of crops such as potatoes, lentils, tea and grapes (Stockle et al., 2003). The EPIC model developed in US consists a crop growth component (Williams et al., 1989).

Crop growth models in other countries of the world

Besides the crop growth models within DSSAT, the crop growth models from Netherlands, Germany and Russia several other models have been developed during the last years. Numerous models are now available, with different objectives, and

many new models are still appearing. Actually, there is no universal model and it is necessary to adapt system definition, simulated processes and model formalizations to new agricultural crops or to specific environments. Examples for such models are: the French model STICS (Brisson et al., 2003), the Australian model APSIM (Keating et al., 2003), the Danish model DAISY (Hansen et al., 1991) and the New Zealand model SIRIUS (Jamieson et al., 1998). A very good overview of crop growth and agro-ecosystem models is given by the CAMASE model register (Plentinger and Penning de Vries, 2005) which lists more than 250crop growth and agro-ecosystem models and approaches.

Limitations of dynamic Crop Growth Models

Despite the progress in crop modelling and use in the last 40 years we should be aware, that all models have limitations. The accuracy of crop models depends on our current understanding of physiological processes and their interactions. The discrepancies among the models clearly indicate that this understanding is by no means complete. Model developers make assumptions about what components to include in the system, how these components interact, and how they respond to the environment and to management practices. The models themselves and their performances also depend heavily on the data used to develop and evaluate them. As a result, there is considerable uncertainty in results produced by the use of agricultural systems models (Jones et al., 2016). Most crop models contain a mixture of empiricism and mechanism. They combine the advantages of simplicity, such as a reduced parameter set, with explanations and reasonable accuracy and use a set of heuristic equations describing crop growth and development. Input parameters for these equations must be identified using standard or specially planned laboratory, greenhouse or field experiments (Poluektov and Topaj, 2001). Such parameter sets for all crops and locations are not or only restricted available. An optimal crop model would be one that physically and physiologically defines all relations between variables. However, such a model cannot be developed because the biological system is too complex and many processes involved in the system are not fully understood. Even if an ideal crop model could be produced, the collection of the highly precise

system parameters and of the input data for the crop environment would be a formidable task in itself (Jame and Cutforth, 1996). Since crop models are not universal, the user has to choose the most appropriate model according to his objectives. In most cases they require careful calibration and validation for local use.

Other limitations of the most existing models are, that they only simulate the major factors that affect crop performance, e.g. weather, water and soil nitrogen availability and are available only for the most important agricultural crops. Components to describe the effects of tillage, intercropping, pests, weeds, salinity, excess water, interplant competition and other factors on crop performance are missing. Therefore, the most models today have not the capabilities to compute yield loss associated with specific pests and diseases or insufficient soil fertility level (N, P, K, Mg, C_{org} …) and to diagnose the reasons for the gap between potential and actual yield (Keating and McCown, 2001). At present the existing models are parameterized for different crops but not or seldom for different crop varieties (alone for winter wheat in Germany there are more than 15 different varieties actual). This is one reason that calibration of models using field data is widely practiced to obtain genotype-specific parameters.

Moreover, today most crop models are not able to provide reliable projections of changes in climate variability on local scale, or in frequency of exceptional events such as storms and droughts. To use crop models and system approaches for a more effective resource management simulation models for all major crops incorporated into crop rotations are needed.

From crop growth models to model based Decision Support Systems

At present in agricultural and agro-landscape sciences and in practical agriculture it is common to use all possibilities to get information for a better decision making, for a better agro-management and for an optimal adaptation of agriculture and agro-landscape use to climate change for instance. Here models and especially crop growth models play an essential role. Such models are incorporated into decision support systems or scheduling systems for agriculture. Exemplary on two such systems are pointed out here briefly: the LandCaRe-DSS an interactive model-

based knowledge and decision support system for climate change impact assessment and adaptation of agriculture to climate change (for detailed description see Wenkel et al., 2013) and the WEB-BEREST system for model-based operative field specific irrigation scheduling (Mirschel et al., 2014). Both systems were developed in the Institute of Landscape Systems Analysis of the ZALF Müncheberg, Germany. Into LandCaRe-DSS the process-based agro-ecosystem model MONICA (Nendel et al., 2014) for a detailed description of crop growth at field level, the model YIELDSTAT (Mirschel et al., 2014) for yield estimation at field and regional level and the model ONTO (Mirschel, 2010) for crop ontogenesis at field and regional level are integrated. The three models are parameterized for all relevant agricultural crops in German agriculture. LandCaRe-DSS was developed for a use in science, administration, advisory service and agricultural farms.

The system WEB-BEREST is a web-based irrigation scheduling system for an operative usage by irrigation advisory services or farmers itself. In WEB-BEREST for assessment of ontogenesis the ONTO model and a lot of crop-specific and ontogenesis-dependent parameters for more than 100 different agricultural crops, vegetables, fruits and specialized crops such as tobacco, hop and medical plants, are integrated. For estimation of effectiveness of each irrigation water amount in the system also a simple crop yield model for agricultural crops is used.

Perspectives for the further development of Crop Growth Models

Crop Growth and Agricultural system models have become important tools to provide predictive and assessment capability to a growing array of decision-makers in the private and public sectors. Despite ongoing research and model improvements, many of the agricultural models today are direct descendants of research investments initially made 30–40 years ago, and many of the major advances in data, information and communication technology (ICT) of the past decade have not been fully exploited (Antle et al., 2016). Agricultural system models already play an essential role in assessing the broader environmental consequences of agricultural technologies. These consequences include long-term on-farm impacts on soil productivity, as well as off-farm impacts on air, water quality and biodiversity.

However, the scientific challenge in making these assessments is great, and substantial improvements are needed so that agricultural system models, and the associated ICT platforms and knowledge products will be able to support the goal of a sustainable agricultural production. The next generation of agricultural system models therefore should combine weather, soil, genetic, and management components to simulate yield, resource use, and transfer of nutrients and chemicals to surrounding water, air and other eco-systems taking into account weed, pest and disease pressures.

Considering the results of the International Crop Modelling Symposium iCROPM2016 in Berlin (Germany) (iCROPM, 2016) in the following we have tried to provide a summary of the most important needs and challenges for the further development of crop growth models:

• Development and integration of new modules

User demands for information derived from models will grow for specific use-cases. Therefore, there is a need for developing of additional modules, such as agro-chemicals fate, impact of tillage on soil hydraulic properties etc. and their integration into crop/cropping system models.

• Incorporating pest and disease damage in crop models

The concept of damage mechanism has enabled much progress in modelling the effects of multiple harmful organisms on crops (pathogens, animal pests, and weeds). As a result, it is now possible to model yield losses caused by one or multiple injuries in a generic manner. However, the availability of injury functions, representing the time course of diseases (or pests) under actual field conditions, is a major obstacle to the use of such models. The shortage of field data is the main impediment in modelling crop pests and diseases, and their relations to crops.

• Integrating crop physiology and modelling with genetic improvement

Crop physiology and modelling provide opportunities to improve breeding efficiency by either dissecting complex traits to more amenable targets for genetic prediction, or by trait evaluation via phenotypic prediction in target production

regions to help assess breeding strategies. Next generation crop models must provide a better way to include gene effects (gene-based crop model). This requires a transdisciplinary approach that integrates physiology and modelling into quantitative genetic improvement systems, rather than a model-based focus on «genotypic coefficients» and «ideotypes». Although some existing crop models are modular, new modules are needed that are designed based on what we are now learning about genetic control of processes and so that new modules can be easily modified.

• Modularity and interoperability

The agricultural systems research community needs to have standards and protocols so that they can operate multiple models and decision support systems. We should not aim to find a way for only one «perfect» model. Instead, we should aim for component models that are structured as modules that can be used alone to address specific questions (such as when to apply a chemical or irrigation) and, more importantly, where those modules can be integrated into holistic biophysical and economic models to address more comprehensive problems. Modular models are needed to ensure efficient scientific progress as well as model longevity and maintainability (Jones et al., 2016).

• Need for broad, open and harmonized data

Open, discoverable, accessible, and usable data are essential for evaluating and improving or developing new models and robust simulations. These data will provide a foundation across all disciplines for next generation crop models.

• Broaden the scientific collaboration and transdisciplinarity

There is a need to broaden the scientific collaboration, such as exists for example among biophysical and economic modelers, in particular to include plant breeders, insect and disease researchers, modelers, etc. Prospects for developing next generation crop models are promising due to recent scientific progress, trends in interest among various users, and new efforts to create open data resources and to change the culture of researchers to enable them to contribute data for broad uses.

Projects like MACSUR and AgMIP that have already had major impacts on science are good examples for a new quality in international collaboration.

• Stronger consideration the information need of different stakeholders

The next generation of agricultural systems models must be driven by the information needs of diverse stakeholders. A key innovation envisaged for the next generation of models would be their linkage to a suite of knowledge products – which could take the form of mobile technology «apps», personal computer-based dashboards, and online analytical and communication tools – that would enable the use of the models by a much more diverse set of stakeholders and for a wider range of purposes than is now possible. The importance of the modelling adage «the right answer for the right reason» and Einstein's remark of «as simple as possible but no simpler», will become evident.

Summary and Conclusions

Agricultural systems are very complex. If we want to manage our scarce agricultural resources or to estimate the effects of future climatic change on agriculture, we need integrated tools which can simulate the crop growth in a wide variety of environments and under a wide variety of management practices. Recent advances in computer technology have made it possible to represent the soil-plant-climate system quantitatively. This has convinced scientists that the use of process-oriented crop models and the systems approach to research is a worthwhile and important goal.

Crop modelling, the computerized simulation of dynamic crop systems, was born about 30–40 years ago. Since the first publication, crop modelling has gone through a number of developmental stages. Some of the earliest models proved to be among the most notable achievements to date. During the juvenile stage that followed, there was an impressive increase in complexity and computer sophistication. Greater expectations led to more and more detailed descriptions of the functioning of the biotic and abiotic components of cropping systems. It is amazing that despite the contacts between eastern European and western scientists were rare

for a long period, the development of crop growth simulation models take place nearly in parallel.

The principle of crop growth modelling and its application to decision making are based on the understanding of natural processes and using this understanding to describe agricultural systems performance through systems analysis. This understanding is by no means complete. Thus, research projects need to be focused on further efforts toward increasing our knowledge and improving our understanding of soil – plant – atmosphere interactions. Recent trends in broader collaboration across institutions, across disciplines, and between the public and private sectors suggest that the stage is set for the major advances in agricultural systems science that are needed for the next generation of models, databases, knowledge products and decision support systems. Looking back teaches us, that there is no universal model that provides a solution for all problems. Therefore, models should continue to be developed and adapted to several particular situations. The professionals dealing with modelling should define their objectives prior to constructing their models, and the model users should choose one that has been developed to solve their particular needs.

References

AdL DDR (1986): Computer Aided Modelling and Simulation of the Winter Wheat Agroecosystem (AGROSIM-W) for Integrated Pest Management), Tag. Ber., Akad. Landwirtschaftswiss. DDR, Berlin 242. 127 p.

AFI (2014): Matematicheskie modeli prirodnykh I antropogennykh ekosistem: sbornik statej, posvyashchennyj pamyati Ratmira Aleksandrovicha Poluektova, GNU AFI Rossel´khozakademii, St. Petersburg. 190 p.

Aggarwal P. K., Kropff M. J., Cassman K. G., Ten Berge, H. F. M. (1997) Simulating genotypic strategies for increasing rice yield potential in irrigated, tropical environments. Field Crops Research, 51. P. 5–17.

Antle J. M., Jones J. W., Rosenzweig C. E. (2016) Next generation agricultural system data, models and knowledge. Agricultural Systems 2016, http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.003.

Barnaul (2012): Fundamental´nye I prigladnye issledovanija v matematiceskoj ekologii I agroekologii: materially mezhdunarodnoj shkoly-seminara, Barnaul, 22–24 ijunja 2012. Barnaul, Izd-vo Alt. un-ta, 2012. 173 p.

Baumann D. T., Bastiaans L., Kropff M. J. (2001) Competition and crop performance in a leek-celery intercropping system. Crop Science, 41. P. 764–774.

Bikhele I., Moldau H., Ross J. (1980) Mathematical modeling of conditions of planttranspiration and photosynthesis under soil moisture stress. (In Russian.) Hydrometeoizdat, Leningrad, Russia.

Bindraban P. S. (1997) Bridging the gap between plant physiology and breeding. Identifying traits to increase wheat yield potential using systems approaches. PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands, ISBN 90 5485 752-8. P. 145.

Boogaard H. L., Van Diepen C. A., Rötter R. P., Cabrera J. C. M. A., Van Laar H. H. (1998) WOFOST 7.1 User guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 5.1. Techn. Doc. 52, Alterra, WUR, Wageningen, The Netherlands. P. 144.

Bouman B. A. M., Kropff M. J., Tuong T. P., Wopereis M. C. S., Ten Berge H. F. M., Van Laar H. H. (2001) ORYZA2000: Modeling Lowland Rice (ISBN 971-22-0171-6). International Rice Research Institute/Wageningen University and Research Centre, Los Banos (Philippines)/Wageningen. P. 235.

Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M. H., Ruget F., Nicoullaud B. et al. (1989) STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn, Agronomie, 18. P. 311–346.

Budagovsky A. I., Nichiporovich A. A., Ross J. (1964) Quantitative theory of photosynthesis and its use for solving scientific and applied problems of physical geography. (In Russian.) Izv. Acad. Sci. USSR Geogr. Ser. 6:13–27.

Budyko M. I. (1964) An addition to the theory of the influence of climate factors on photosynthesis. (In Russian.) Proc. Acad. Sci. USSR 158(2):331–334.

Budyko M. I., Gandin L. S. (1964) About taking into account characteristics of physics of the atmosphere in agrometeorological research. (In Russian.) Meteorol. Hydrol. 11:3–11.

Casanova D. (1998) Quantifying the effects of land conditions on rice growth. A case study in the Elbro Delta (Spain) using remote sensing. PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands. P. 219.

Claus St. (1977) Zur Modellierung von Teilsystemen bei der Stoffproduktion von Pflanzen // Unger K. (ed.): Biophysikalische Analyse pflanzlicher Systeme. VEG Gustav Fischer Verlag Jena. P. 56–69.

Claus St., Unger K. (1977) Energie- und Wasserhaushalt eines Blattes unter Berücksichtigung der Stomataregelung // Unger K. (ed.): Biophysikalische Analyse pflanzlicher Systeme. VEG Gustav Fischer Verlag Jena. P. 131–139.

Coleman D. C., Swift D. M., Mitchell J. E. (2004) From the frontier to the biosphere: a brief history of the USIBP grasslands biome program and its impact on scientific research in North America. Rangelands, 26 (4), P. 8–15.

De Wit C. T. et al. (1978) Simulation of Assimilation, Respiration and Transpiration of Crops (Simulation Monographs). Pudoc, Wageningen, The Netherlands. P. 141.

Ebert W., Matthäus E., Schultz A. (1986) Use of the agro-ecosystem model winter wheat (AGROSIM-W) for assessment of complex infestation situations // Tag. Ber., Akad. Landwirtschaftswiss. DDR (Computer Aided Modelling and Simulation of the Winter Wheat Agroecosystem (AGROSIM W) for Integrated Pest Management), Berlin, 242, P. 113–127.

FAO (2017): The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome, 2017.

Farre´ I., Van Oijen M., Leffelaar P. A., Faci J. M. (2000) Analysis of maize growth for different irrigation strategies in Northeastern Spain // European Journal of Agronomy, 12, P. 225–238.

Goudriaan J. (1977) Crop Micrometeorology: A Simulation Study. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen, The Netherlands. P. 257.

Goudriaan J. (1996) Predicting crop yields under global change // Walker B., Steffen W. (Eds.). Global Change and Terrestrial Ecosystems. International Geosphere-Biosphere Programme Book Series. Cambridge University Press. P. 260–274.

Gutsche V., Müller P., Kluge E., Schultz A. (1986) A model for simulation of infection with powdery mildew (*Erysiphegraminis D.C.*) // Tag. Ber., Akad. Landwirtschaftswiss. DDR (Computer Aided Modelling and Simulation of the Winter Wheat Agroecosystem (AGROSIM-W) for Integrated Pest Management), Berlin, 242. P. 101–112.

Hansen S., Jensen H. E., Nielsen N. E., Svendsen H. (1991) Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter-wheat using the Danish simulation model DAISY. Fertilizer Research, 27 (2–3). P. 245–259.

Heady E. O. (1957) An econometric investigation of agricultural production functions // Econometrica, 25. P. 249–268.

Heady E. O., Dillon J. L. (1964) Agricultural Production Functions. Ames Iowa State University Press, 1964.

Hoogenboom G., Jones J. W., Wilkens P. W., Porter C. H., Boote K. J., Hunt L. A. et al. (2015) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6 (http://dssat.net). DSSAT Foundation, Prosser, Washington.

Hoogenboom G., Jones J. W., Wilkens P. W., Porter C. H., Boote K. J., Hunt L. A. et al. (2012) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.5 [CD-ROM]. University of Hawaii, Honolulu.

iCROPM (2016) Programme of the International Symposium «Crop modelling for Agriculture and Food Security under Global Change». https://communications.ext.zalf.de/sites/crop-modelling/SitePages/iCROPM2016.aspx.

Jame Y. W., Cutforth H. W. (1996) Crop growth models for decision support systems // Can. J. Plant Sci., 76. P. 9–19.

Jamieson P. D., Semenov M. A., Brooking I. R., Francis G. S. (1998) SIRIUS: a mechanistic model of wheat response to environmental variation // European Journal of Agronomy, 8(33–4):161–179.

Jones J. W., Antle J. M., Basso B., Boote K. J., Conant R. T., Foster I. et al. (2016) Brief history of agricultural systems modeling, Agricultural Systems (online), http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.014.

Jones C. A., Kiniry J. R. (Eds.) (1986) CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growthand Development. Texas A&M University Press, College Station, Texas. P. 208.

Jones J. W. G., Hoogenboom C. H., Porter K. J., Boote W. D., Batchelor L. A., Hunt P. W. W. et al. (2003) The DSSAT cropping system model // Eur. J. Agron., 18 (3–4), P. 235–265.

Keating B. A., Carberry P. S., Hammer G. L. et al. (2003) An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation // European Journal of Agronomy, 18 (2003), P. 267–288.

Keating B. A., McCown R. L. (2001) Advances in farming systems analysis and intervention // Agric. Syst., 70. P. 555–580.

Kersebaum K. C. (1995) Application of a simple management model to simulate water and nitrogen dynamics // Ecol. Modelling, 81:145–156.

Kersebaum K. C. (2007) Modelling nitrogen dynamics in soil-crop systems with HERMES // Kersebaum K. C., Hecher J.-M., Mirschel W., Wegehenkel M. (2007) Modelling water and nutrient dynamics in soil-crop systems. Springer, Dortrecht. P. 147–160.

Kropff M. J., Haverkort A. J., Aggarwal P. K., Kooman P. L. (1995) Using systems approaches to design and evaluate ideotypes for specific environments // Bouma J., Kuyvenhoven A., Bouman B. A. M., Luyten J. C., Zandstra H. G. (Eds.). Eco-Regional Approaches for Sustainable Land Use and Food Production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. P. 417–435.

Kropff M. J., Van Laar H. H. (1993) Modelling Crop-Weed Interactions. CAB International, Wallingford. 274 p.

Matthäus E., Mirschel W., Kretschmer H., Künkel K., Klank I. (1986) The winter wheat crop model TRITSIM of the agroecosystem AGROSIM W. // Tag. Ber., Akad. Landwirtschaftswiss. DDR (Computer Aided Modelling and Simulation of the Winter Wheat Agroecosystem (AGROSIM-W) for Integrated Pest Management), Berlin, 242. P. 43–74.

Medvedev S., Topaj A. (2011) Crop simulation model registrator and polyvariant analysis // IFIP Advances in Information and Communication Technology. Springer, Berlin, Heidelberg, V. 359: 295–301.

Mirschel W. (2010) Modell ONTO zur Beschreibung der Ontogenese von landwirtschaftlichen Fruchtarten im LandCaRe-DSS (Modellbeschreibung) // WENKEL K.-O., BERG M., WIELAND R., MIRSCHEL W. Modelle und Entscheidungsunterstützungssystem zur Klimafolgenabschätzung und Ableitung von Adaptionsstrategien der Landwirtschaft an veränderte Klimabedingungen (AGROKLIM-ADAPT) – Decision Support System (DSS). Forschungs-Abschlußbericht: BMBF 01 LS 05104, ZALF Müncheberg, Selbstverlag, Müncheberg, S. A3/1-A3/9.

Mirschel W., Klauss H., Berg M., Eisenhut K.-U., Ißbrücker G., Prochnow A. et al. (2014) Innovative Technologien für eine effiziente Bewässerung im Pflanzenbau // Bloch R., Bachinger J., Fohrmann R., Pfriem R. (Hrsg.): Land- und Ernährungswirtschaft im Klimawandel – Auswirkungen, Anpassungsstrategien und Entscheidungshilfen. oekomverlag, München. P. 261–277.

Mirschel W., Matthäus E., Kretschmer H., Künkel K., Klank I. (1986) Dynamisches Modell der Ertragsbildung von Winterweizen (TRITSIM) für limitierte Wasser und Stickstoff versorgungs zustände // Göring H., Hoffmann P. (Hrsg.): Colloquia Pflanzen physiologie der HU zu Berlin (Nr. 10Energiebilanzen von Photosynthese, Biomasseproduktion und Ertrag), Berlin. P. 103–105.

Mirschel W., Wenkel K.-O. (2007) Modelling soil-crop interactions with AGROSIM model family // Kersebaum K. C., Hecker J.-M., Mirschel W., Wegehenkel M. (eds.): Modelling Water and Nutrient Dynamics in Soil-Crop Systems: proceedings of the workshop on «Modelling water and nutrient dynamics in soil-crop systems» held on 14–16 June 2004 in Müncheberg, Germany. P. 59–73.

Mirschel W., Wieland R., Wenkel K.-O., Nendel C., Guddat C. (2014) YIELDSTAT – a spatial yield model for agricultural crops // European Journal of Agronomy, 52:33–46.

Nendel C., Berg M., Kersebaum K. C., Mirschel W., Specka X., Wegehenkel M. et al. (2011) The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics // Ecological Modelling, 222:1614–1625.

Nendel C., Kersebaum K. C., Mirschel W., Wenkel K.-O. (2014) Testing farm management options as climate change adaptation strategies using the MONICA model // European Journal of Agronomy, 52:47–56.

Nonhebel S. (1993) The importance of weather data in crop growth simulation models and assessment of climatic change effects. PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands, ISBN 90-5485-114-7. P. 144.

Penning de Vries F. W. T., Brunsting A. H. M., Van Laar H. H. (1974) Products, requirements and efficiency of biosynthesis: a quantitative approach // Journal of Theoretical Biology, 45. P. 339–377.

Penning de Vries F. W. T., Jansen D. M., Ten Berge H. F. M., Bakema A. (1989) Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops 29. Simulation Monographs, 29. Pudoc/IRRI, Wageningen/Los Banos. P. 271.

Penning de Vries F. W. T., Van Keulen H., Rabbinge R. (1995) Natural resources and limits of food production in 2040 // Bouma J., Kuyvenhoven A., Bouman B. A. M., Luyten J., Zandstra H. G. (Eds.). Eco-Regional Approaches for Sustainable Land Use and Food Production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. P. 65–87.

Plentinger M. C., Penning de Vries F. W. T (2005) CAMASE – Register of Agro-ecosystem Models. https://imp.boku.ac.at/agromet/documents/camase_1763788.pdf.

Poluektov R. A. (1991) Agroecosystem dynamics simulation. Hydrometeoizdat, Leningrad. 312 p.

Poluektov R. A. (1977) Mathematische Modelle der Pflanzenproduktivität // Unger K. (ed.). Biophysikalische Analyse pflanzlicher Systeme. VEB Gustav Fischer Verlag Jena. P. 31–37.

Poluektov R. A. et al. (1984) A basic simulation model of wheat productivity. Wiss Z Humbolt-Univ Berl Math Naturwiss Reihe XXXIII: 339–342.

Poluektov R. A., Fintushal S. M., Oparina I. V., Shatskikh D. V., Terleev V. V., Zakharova E. T. (2002) AGROTOOL – a system for crop simulation. Arch. Acker-Pfl Boden 48:609–635.

Poluektov R. A., Terleev V. V. (2007) Crop simulation model of the second and the third productivity levels // Kersebaum K. C., Hecker J.-M., Mirschel W., Wegehenkel M. (eds.). Modelling Water and Nutrient Dynamics in Soil-Crop Systems: proceedings of the workshop on "Modelling water and nutrient dynamics in soil-crop systems" held on 14–16 June 2004 in Müncheberg, Germany, 2007. P. 37–49.

Poluektov R. A., Topaj A. G. (2001) Crop Modelling: Nostagia about Present or Reminiscence about Future // Agron. J. 93. P. 653–659.

Rabbinge R. (1976) Biological Control of Fruit-Tree Red Spider Mite. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen. 234 p.

Ritchie J. T., Otter S. (1985) Description and Performance of CERES-Wheat: A User-Oriented Wheat Yield Model, USDA-ARS, ARS-38. P. 159–175.

Rodriguez D., Van Oijen M., Schapendonk A. H. M. C. (1999) LINGRA-CC: a sink-source model to simulate the impact of climate change and management on grassland productivity // New Phytologist, 144. P. 359–368.

Rossberg D., Holz F., Freier B., Wenzel V. (1986a) PESTSIM-OUL – A model for simulation of *Oulema spp.* Populations. In: Tag. Ber., Akad. Landwirtschaftswiss. DDR (Computer Aided Modelling and Simulation of the Winter Wheat Agroecosystem (AGROSIM-W) for Integrated Pest Management), Berlin, 242. P. 75–86.

Rosberg D., Holz F., Freier B., Wenzel V. (1986b) PESTSIM-MAC – A model for simulation of *Macrosiphumavenae Fabr.* populations. In: Tag. Ber., Akad. Landwirtschaftswiss.DDR (Computer Aided Modelling and Simulation of the Winter Wheat Agroecosystem (AGROSIM-W) for Integrated Pest Management), Berlin, 242. P. 87–100.

Seligman N. G., Van Keulen H. (1981) PAPRAN: a simulation model of annual pasture production limited by rainfall and nitrogen // Frissel M. J., Van Veen J. A. (Eds.). Simulation of Nitrogen Behavior of Soil-Plant Systems. Pudoc, Wageningen, The Netherlands. P. 192–220.

Sirotenko O. D. (1977) Ein nichtstationäres Modell für den Wasser- und Wärmehaushalt und für die Ertragsleistung eines Pflanzenbestandes // Unger K. (ed.). Biophysikalische Analyse pflanzlicher Systeme. VEB Gustav Fischer Verlag Jena. P. 38–50.

Sirotenko O. D. (1981) Mathematical modelling of the thermal and moisture regime and productivity of agroecosystems. (In Russian.) Hydrometeoizdat, Leningrad, Russia.

Sirotenko O. D. (1996) Mathematical Models in Crop Bioclimatology in the former USSR (History, Achievements and Prospects) // Advances in Bioclimatology, 4: 125–169.

Sirotenko O. D. (2001) Crop modeling: advances and problems // Agron. J., 93. P. 650–653.

Stöckle C. O., Donatelli M., Nelson R. (2003) CropSyst, a cropping systems simulation model // European Journal of Agronomy, 18. P. 289–307.

Supit I., Hooijer A. A., van Diepen C. A. (eds.) (1994) System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. (Volume l: Theory and Algorithms). European Commission, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, Agricultural series, Catalogue number: CL-NA-I5956-EN-C, 146 S.

Ten Berge H. F. M., Thiyagarajan T. M., Shi Q., Wopereis M. C. S., Drenth H., Jansen M. J. W. (1997) Numerical optimization of nitrogen application to rice. Part I. Description of MANAGE-N. Field Crops Research, 51. P. 29–42.

Teng P. S., Penning de Vries F. W. T. (Eds.) (1992) Systems Approaches for Agricultural Development. Applied Science. Elsevier (ISBN: 1851668918. 309).

Tooming H. G. (1977) Solar radiation and yield formation. (In Russian.) Hydrometeoizdat, Leningrad, Russia.

Topaj A., Badenko V., Terleev V., Medvedev S. (2016) Comparative model analysis of various sparing measures intended to crop production sustainability by APEX-AGROTOOL simulation system // Ewert F., Boote K. J., Rötter R. P., Thorburn P., Nendel C. (eds). International

crop modelling symposium (iCROPM2016) «Crop modelling for agriculture and food security under global change», 15–17 March 2016, Berlin, Germany; abstracts. P. 408–409.

Unger K., Ross J. (1977) Zur Modellierung der Biomasseproduktion von Kulturpflanzen // Unger K. (ed.). Biophysikalische Analyse pflanzlicher Systeme. VEG Gustav Fischer Verlag Jena. P. 11–15.

Van Keulen H. (1975) Simulation of water use and herbage growth in arid regions. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen, The Netherlands. P. 84.

Van Keulen H., Seligman N. G., Benjamin R. W. (1981) Simulation of water use and herbage growth in arid regions. A re-evaluation and further development of the model 'Arid crop'// Agricultural Systems, 6. P. 159–193.

Van Keulen H., Wolf J. (1986) Modelling of agricultural production: weather soils and crops. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen, The Netherlands. P. 479.

Wenkel K.-O., Berg M., Mirschel W., Wieland R., Nendel C., Köstner B. (2013) LandCaRe DSS-An interactive decision support system for climate change impact assessment and the analysis of potential agricultural land use adaptation strategies // Journal of Environmental Management, 127, P. 168–183.

Wenzel V., Matthäus E., Flechsig M. (1986) The simulation system SONCHES. Tag. Ber., Akad. Landwirtschaftswiss. DDR (Computer Aided Modelling and Simulation of the Winter Wheat Agroecosystem (AGROSIM W) for Integrated Pest Management), Berlin, 242. P. 29–42.

Williams J. R., Jones C. A., Kiniry J. R., Spanel D. A. (1989) The EPIC Crop Growth Model // Transactions of the ASAE, 32(2): 497–511.

Wolf J. (1993) Effects of climate change on the grain maize production potential in the E. C. Report Department of Theoretical Production Ecology, Wageningen University, The Netherlands. P. 60.

Yin X., Kropff M. J., Goudriaan J., Stam P. (2000) A model analysis of yield differences among recombinant inbred lines in barley // Agronomy Journal, 92. P. 114–120.

EVALUATION OF HYDROTHERMAL CONDITIONS IN CENTRAL EUROPE TO 2060 YEAR USING SRES AND RCP SCENARIOS BASED ON THE POLAND DATA

L. Kuchar, S. Iwanski, E. Diakowska, E. Gasiorek, M. Karczewski

Wroclaw University of Environmental and Life Sciences,

53, ul. Grunwaldzka, Wroclaw, Poland, 50-357

The aim of the research was to evaluate the expected climate change for the purpose of crop production using the hydrothermal index of Sieljaninov (HTC).

Air temperature and total precipitation were simulated for current conditions. They were expected for a chosen meteorological station in Poland according to the selected SRES (GISS, HadCM3 and GFDL) scenario and RCP (HadCM3 and GFDL) scenario. The simulations were carried out to 2060 year. Six 500-year daily temperature and rainfall series were used for the calculation of the hydrothermal index of Sieljaninov with a 30-day window of the vegetation period (from April to September).

The simulated hydrothermal index has been presented on a graph during the vegetation period as a course of means with critical area, standard deviations and probabilities of medium dry, dry, very dry and extremely dry periods.

The obtained results indicate the changes of average hydrothermal index (up to a 30 per cent drop) in considered periods and scenarios, as well as a 15 per cent variance increase (depending on the scenario). During the four critical months of the year the estimated probability of extremely dry periods occurring (HTC < 0.4) is from two to four times for the SRES and RCP scenarios.

References

IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change, 2007 (AR4).

IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change, 2013 (AR5).

Kuchar L. Using WGENK to generate synthetic daily weather data for modelling of agricultural processes // Mathematics and Computer in Simulation. 2004. № 65. P. 69–75.

Kuchar L., Iwanski S., Diakowska E., Gasiorek E. Simulation of hydrothermal conditions for crop production purpose until 2050–2060 and selected climate change scenarios for north central Poland, Infraeco. 2013. № 2(1). P. 187–200.

Leśny J. (red.). Climate change and agriculture in Poland – impacts, mitigation and adaptation measures // Acta Agrophysica. 2009. № 169. P. 152.

INFORMATION SUPPORT FOR DECISION-MAKING IN INTEGRATED PEST MANAGEMENT SYSTEMS

V. Todirash, V. Botnari

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection,

Academy of Science of Republic of Moldova (IGPPP)

E-mail: v.todiras@yahoo.com

The objective of the study was the development and implementation of a pest management system. The activities included creation of a pest management information database networks, design a prototype information system and elaboration of the WEB site. Creation of the pest management information database networks is based on www.eco-con.net site. The main advantage of the proposed information system is its ability to quickly deliver site-specific simulated observations and forecast weather data adapted to the needs of decision-makers. The web site includes degree-day calculator, online weather data and degree day models for decision-making on pest control in Moldova. The components of the system are the pest profiles with important pest information, including environmental factors, affecting the pest development, biology description, electronic photograph of the pests, damage symptoms, economic importance and thresholds.

Introduction

The farmers need critical digital information and effective approach for Integrated Pest Management. IPM is a systems approach to pest management based on an understanding of pest ecology. It begins with steps to accurately diagnose the nature and source of pest problems, and then relies on a range of preventive tactics and biological controls to keep pest populations within acceptable limits. Reduced-risk pesticides are used if other tactics have not been adequately effective, as a last resort and in order to minimize risks. The benefit of using an integrated model is that other features of the model can then be used with little additional effort (Kyu et al., 2005). The goal of Pest Management system is to provide guidelines and options for the effective management of pests and beneficial organisms in an ecological context. The flexibility and environmental compatibility of a Pest Management system it useful in all types of cropping systems (Bajwaet al., 2000, Léger B. et al., 2010).

Methods

Establishment of pest management information database networks is based on www.eco-con.net site. The system has standard interfaces to a series of makes and types of commonly used on-farm weather stations. The results can be used in solution of critical environmental problems (biodiversity and fragile habitats damage, pesticide pollution) using BioClass and OptimClass software (http://eco-

con.net/DSS.htm). **BioClass**is is a GIS tool designed to solve multiple-criteria classification and optimization problems. In BioClass we joined the advantages of rough sets, crisp level sets and fuzzy sets methods to improve classification processes BioClassis used as decision support tools for effective resource allocation. It enables an informed decision and forecasts the state of resources as a result of proposed actions. It explicitly reveals tradeoffs in resource allocation when a multi-objective decision must be implemented. BioClass is also used to evaluate impacts of proposed action and to resolve conflicts when resource allocation is multi-objective. **OptimClass** software is an Interactive System for Multi-criteria Decision Making and Evolutionary Optimization. The aim of OptimClass is to introduce advances in Multi-objective Decision Making and Evolutionary Optimization for real-world problems.

Results

Decision-making is the identification and choice of alternatives based on the values and preferences of the decision-maker. The figure 1 shows a digital map for all territory of Republic of Moldova as component of Information System.

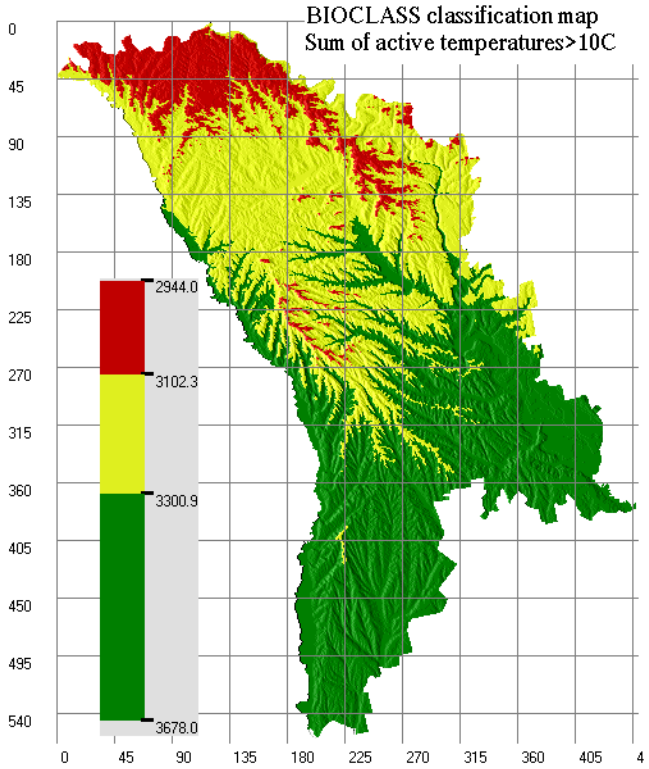


Figure 1. Sum of actives temperature of Republic of Moldova, digital map.

The activities began with the elaboration of information system prototype based on site http://eco-con.net. The components used to create and operate the pest management program include:

- A structured decision-making process
- Detailed, interdisciplinary knowledge and information
- Comprehensive management, communication and operational systems
- Appropriate thresholds for maintenance and control activities
- A monitoring system
- IPM strategies and prescriptions
- Program evaluation and modification

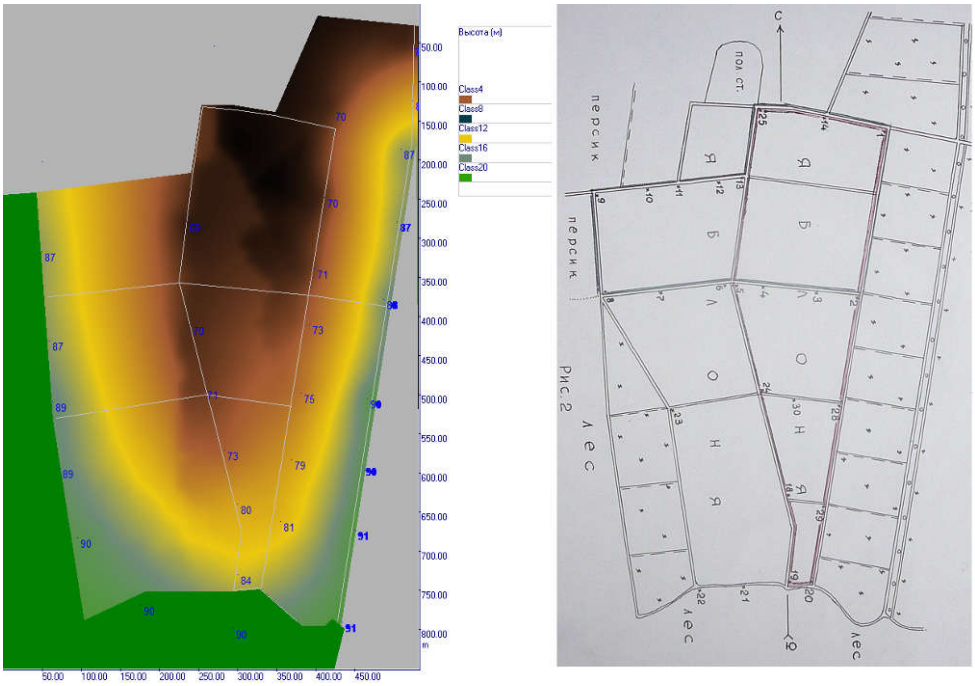


Figure 2. BioClass digital map for decision-making.

Right – crops allocation; left – classification results for mildew risk assessment.

The web site includes degree-day calculator, online weather data and degree-day models for pest management decision-making in Moldova. The components of the System are the pest profiles with important pest information, including environmental factors, affecting the pest development, biology description, electronic photograph of the pests, damage symptoms, economic importance and thresholds.

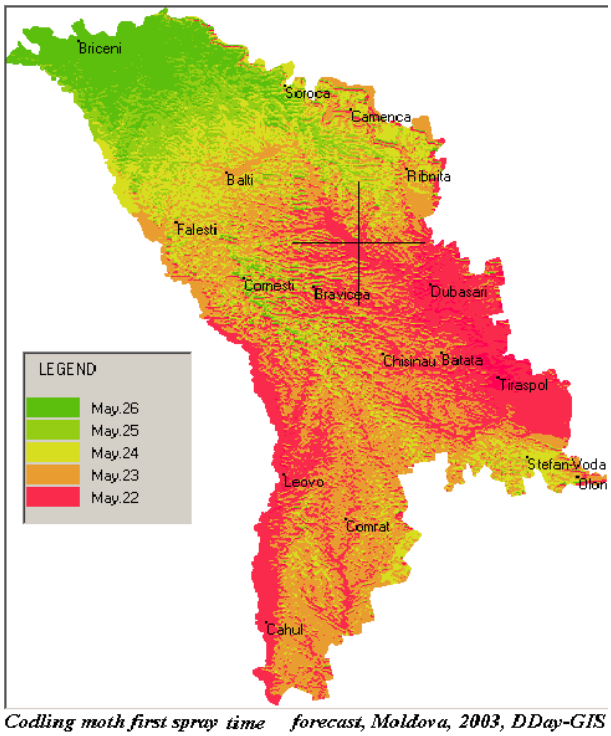


Figure 3. BioClass digital map for estimation of first spry time of codling moth.

A common problem for most producers is the choice of whether to treat a crop against a specific insect pest. The calculation is done in BioClass (Figure 3). An economic threshold is the insect's population level or extent of crop damage at which the value of the crop destroyed exceeds the cost of pest control. Economic thresholds can be expressed in a variety of ways including the number of insects per plant or per square meter, the amount of leaf surface damage, etc. In many cases, thresholds have been established through scientific research. The pest economic thresholds are implemented into Information System on eco-con.net/Ped.aspx.

The web site includes degree-day calculator, online weather data and degree day models for decision-making on pest control. First, it is necessary to conduct an accurate diagnosis of the nature and source of pest problems, and then rely on a range of preventive tactics and biological controls to keep pest populations within acceptable limits. This information system provides the data about important pests, including grape powdery mildew, downy mildew and European grape moth (*Lobesiabotrana*). For selection of optimal IPM strategies the following indices are included into the models:

- Cultivar phenology
- Disease status

- Injury and action level
- Last spray date
- Comprehensive data on pesticide applications

Conclusions

Online pest management system was elaborate and implemented. The advantages of Pest Management system implementing are reduced chemical input costs, reduced on-farm and off-farm environmental impacts and more effective and sustainable pest management. The main advantage of the proposed information system is its ability to quickly deliver site-specific simulated observations and forecast weather data adapted to the needs of decision-makers. The results can be used to solve the critical environmental problems (biodiversity and fragile habitats damage, pesticide pollution).

References

Bajwa W., Kogan M. Database Management System for Internet IPM Information // M. Shenk, M. Kogan (eds.). IPM in Oregon: Achievements and Future Directions. Oregon State University, Corvallis, Oregon. 2000. P. 216–220.

Kyu Rang Kim, Robert C. Seem, Eun Woo Park, John W. Zack, Roger D. Magarey. Simulation of Grape Downy Mildew Development Across Geographic Areas Based on Mesoscale Weather Data Using Supercomputer // Plant Pathol. J. 2005. № 21 (2). P. 111–118.

Léger B., Naud O., Bellon-Maurel V., Clerjeau M., Delière L., Cartolaro P. et al. GrapeMilDeWS: a formally designed integrated pest management decision process against grapevine powdery and downy mildews // J. Papathanasiou (Ed.). Decision Support Systems in Agriculture, Food and the Environment: Trends, Applications and Advances Hershey (PA). 2010.

Online IPM weather data and degree-days for pest management decisions making in Oregon. http://osu.orst.edu/Dept/IPPC/wea. Retrieved Mai 21, 2017.

IPM information system http://www.eco-con.net/. Retrieved June12, 2017.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

А. Абдуллаев, Н. А. Маниязова

Институт ботаники, физиологии и генетики растений

Академии наук Республики Таджикистан,

734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/1

В настоящее время мировое сообщество обеспокоено проблемой глобального изменения климата, которая может негативно отразиться на жизнедеятельности всех живых организмов. Изменение климата может индуцировать дополнительные стрессовые факторы, которые могут оказать существенное влияние на продукционные процессы сельскохозяйственных растений. Одним из таких стрессовых факторов является почвенная засуха, при которой из-за отсутствия влагообеспеченности прекращается процесс метаболизма у растений, что негативно влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур.

В данной работе приводятся результаты исследования влияния почвенной засухи на параметры биологической и хозяйственной продуктивности, а также биохимические качества зерна перспективных сортов пшеницы. Анализ продуктивности растений показал, что в варианте с воздействием почвенной засухи длина и масса колоса у изученных сортов пшеницы были меньше. По количеству колосков в колосе существенных различий между вариантами опыта не наблюдалось. В то же время в условиях засухи количество зерен в колосе и масса зерна с одного колоса у обоих сортов снизились более чем в три раза. Биохимическое изучение показало, что содержание крахмала в зерне существенно изменялось в зависимости от условий водоснабжения. Наибольшее содержание крахмала в зерне было отмечено при оптимальной влажности почвы. Под влиянием почвенной засухи снизилось также содержание белка в зерне.

Изучение влияния на урожайность климатообразующих факторов показало, что при повышенной температуре не происходил процесс

оплодотворения семян. В то же время длина колоса у сорта Зафар достигала 9,3 см, у сорта Алекс – 7,4 см, масса колоса у сорта Зафар составляла 0,3 г, у сорта Алекс – 0,2 г при отсутствии семян. При повышенной концентрации озона длина колоса у сорта Зафар была меньше на 37%, а масса колоса составляла 0,7 г. При тех же условиях у сорта Алекс длина колоса была меньше на 22%, масса колоса – в 3,5 раза (0,2 г), количество зерен – в три раза, вес зерен – в шесть раз, а конечный урожай – почти в два раза. Таким образом, повышенное содержание озона оказало заметное влияние на развитие колоса.

Необходимо отметить, что сорта пшеницы в зависимости от условий выращивания могут по-разному реагировать на воздействие внешних факторов и в конце вегетации давать неодинаковое количество урожая.

В докладе обсуждается также влияние изменения климата на биохимические качества зерна пшеницы различных сортов.

УДК 631.58:551.5

ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ – ИННОВАЦИОННЫЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА РОССИИ

В. П. Якушев

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

E-mail: vyakushev@agrophys.ru

Введение

Стратегия научно-технологического развития России, утвержденная Указом Президента РФ от 01 декабря 2016 г. № 642, отмечает необходимость преобразования фундаментальных знаний, а также результатов поисковых и прикладных исследований в продукты и услуги, способствующие достижению лидерства России на национальном и зарубежных рынках. Реализация соответствующих преобразований изменит роль науки и технологий в развитии общества, экономики и государства и позволит на основе генерации и применения новых знаний осуществить решение задач, поставленных так называемыми «большими вызовами». Новый импульс для дальнейшего развития получит агропромышленный комплекс (АПК) России и его научное обеспечение и сопровождение. В представленном Отделением сельскохозяйственных наук РАН докладе «Стратегические направления устойчивого социально-экономического развития АПК России», который был рассмотрен и одобрен Президиумом РАН 18.04.2017 г., указано, что основная задача стратегии устойчивого социально-экономического развития АПК России состоит в том, чтобы перейти к опережающим темпам научно-технических разработок и освоения инноваций в сельскохозяйственном производстве.

Одним из наиболее перспективных инновационных направлений развития сельскохозяйственного производства и средством его гармонизации с другими сферами природопользовательского комплекса является применение прецизионных агротехнологий, так называемого «точного земледелия» (ТЗ) – эффективного и интегрированного способа управления природно-

техногенными системами. Как показывает мировая практика (Busse, 2014), внедрение ТЗ гарантирует революционные преобразования в сельском хозяйстве, так как в результате его применения значительно увеличиваются продуктивность посевов, производительность и рентабельность производства, улучшаются качество продукции и охрана окружающей среды, что в конечном итоге позволит не только повысить культуру производства, но и будет способствовать комплексному развитию сельских районов в целом.

Выполнен анализ потенциала методологии ТЗ и целесообразности ее применения при реализации Национальной технологической инициативы аграрного направления. В работе (Якушев и др., 2017) изложены соответствующие аргументы и представлены предложения по использованию ТЗ в качестве научной и технической основы формирования сегмента «умное сельское хозяйство» платформы FoodNet Национальной технологической инициативы. В настоящее время по решению Правительства РФ разрабатывается «дорожная карта» платформы FoodNet в виде стратегического отраслевого альянса ключевых взаимосвязанных сегментов: умное сельское хозяйство, ускоренная селекция, доступная органика, персональное питание, новые источники сырья. Реализация мероприятий «дорожной карты» будет направлена на создание инновационного кластера технологий, продуктов и услуг, закладывающих основы формирования современной эффективной государственной политики по инфраструктурной модернизации АПК России и повышению конкурентоспособности рынка FoodNet. Точное земледелие в государственной аграрной политике можно рассматривать как генератор и локомотив инноваций в сельскохозяйственном производстве. Далее будут кратко рассмотрены хронология возникновения и этапы формирования научных основ точного земледелия, являющихся инновационным потенциалом прецизионного производства растениеводческой продукции и сырья.

Зарождение и формирование инновационного потенциала точного земледелия

Впервые в мировой науке идея точного земледелия (ТЗ) была выдвинута основателем и первым директором Агрофизического института А. Ф. Иоффе в виде концепции «электронного агронома». Выступая в 1955 г. в Большом Кремлевском дворце на Всесоюзном совещании ученых-агрономов, зоотехников и биологов, академик сказал: «***Недалеко то время, когда решающую роль в управлении сложнейшей отраслью человеческой деятельности будет играть электронный агроном, способный учесть множественность сложнейших зависимостей в сельском хозяйстве и предложить единственно правильное решение по оперативному управлению сельскохозяйственным предприятием***». В книге А. Ф. Иоффе «Физика и сельское хозяйство», опубликованной в 1955 г., подчеркнуто: «*…**насколько возрастёт наша власть над физическими факторами урожая, когда мы будем точно знать требования растений, и когда агротехника получит возможность опереться на количественную теорию процессов, протекающих в почве, в растении, в окружающем воздухе***». В этой же работе автором была поставлена задача: «… ***необходимо ввести в агробиологию точные формулы количественного анализа, а в решение вытекающих сложных задач – вычислительные машины***». Для решения данной задачи А. Ф. Иоффе предложил рассматривать сообщество растений на поле или в теплице, среду их обитания и целенаправленную деятельность человека как единую агроэкологическую систему, которую можно и нужно в достаточном приближении описать на языке математики и тем самым создать условия выбора оптимальных агротехнических решений, анализируя при этом количественные оценки поведения рассматриваемой системы в различных условиях. При таком подходе появляется уникальная возможность ответить на многочисленные вопросы: какой урожай может быть получен в конкретных почвенно-климатических условиях на заданном участке земли, какие при этом потребуются ресурсы, как эффективно управлять формированием урожая,

какие изменения будет претерпевать почва в результате применения той или иной технологии? Не случайно записка А. Ф. Иоффе в директивные органы страны «О мерах по повышению уровня исследований в области биологии и сельского хозяйства» (1959 г.) имела весьма существенное значение. В ней великий ученый убедительно высказал идею о том, как быстрее превратить сельскохозяйственную науку, преимущественно описательную, но вместе с тем важнейшую для народа, в передовую, основанную на точных законах природы. В частности, он писал: «***Вместо точных количественных законов агрономические науки руководствуются расплывчатыми правилами, выработанными авторитетными специалистами. Качественную науку прошлого необходимо перестроить в передовую количественную науку***».

Таким образом, по инициативе А. Ф. Иоффе в 60-е гг. прошлого века было положено начало исследований, обеспечивающих переход от экспериментально-описательного уровня сельскохозяйственной науки к уровню выявления количественных закономерностей и теоретических обобщений, и созданы предпосылки для зарождения качественно новой методологии управления агротехнологиями. Главная особенность данной методологии заключается в переходе от интуитивных решений, основанных только на опыте земледельцев, к количественно обоснованным приемам управления технологическими процессами с использованием компьютеров. Учёные Агрофизического института, а также исследователи из других отечественных и зарубежных организаций, используя уже развитый в то время математический аппарат и количественную теорию продуктивности агроэкосистем, разработанную в 1956 г. А. А. Ничипоровичем, за короткий срок создали ряд математических моделей продукционного процесса полевых сельскохозяйственных культур и алгоритмов их использования для совершенствования информационного обеспечения сельскохозяйственного производства (Бондаренко, 1982; Бихеле и др., 1980; Жуковский, Чудновский, 1978; Полуэктов и др., 1980; Нерпин, Чудновский, 1975; Сиротенко, 1981; Глогов, 1987).

Благодаря успехам в области математического моделирования продукционного процесса с использованием ЭВМ в середине 70-х гг. XX века возникло новое научно-практическое направление, именуемое программированием урожая. Его основные принципы были разработаны академиком И. С. Шатиловым (Шатилов, 1973). В развитии данного направления принимали активное участие около 50-ти научно-исследовательских учреждений и вузов ВАСХНИЛ, МСХ СССР, Минводхоза СССР и других министерств и ведомств союзного и республиканского значения (Бондаренко и др., 1986). Головной организацией был Агрофизический институт.

Задача программирования урожаев подразумевает разработку новых методов информационной поддержки технологических решений, принимаемых в процессе управления производством растениеводческой продукции. Именно принцип информационного обеспечения является основополагающим при программировании урожаев. Широкий перечень разнообразных условий и требований при программировании урожаев и реализации соответствующих агротехнологий предполагает использование разнородной информации, получение, накопление и обработку которой возможно осуществить лишь с помощью информационно-измерительных систем и ЭВМ.

Проводимые в настоящее время исследования по научному обеспечению агротехнологии XXI века – точного земледелия – в значительной степени являются логическим продолжением исследований по программированию урожаев, только они проводятся на более высоком уровне (Якушев, 2002; Якушев, Якушев, 2007; Шпаар, 2009; Якушев, 2016). Теория ТЗ может рассматриваться как закономерное продолжение развития теории программирования урожаев на новом этапе научно-технического прогресса с использованием геоинформационной технологии (ГИС-системы), глобальной навигационной системы ГЛОНАСС и Интернета. Существенное отличие ТЗ от программирования урожаев при реализации принципа информационного обеспечения поддержки технологических рекомендаций заключается в том, что

рекомендуемому решению, выработанному компьютером в системе ТЗ по желанию пользователя, обеспечивается автоматическое выполнение с внутриполевой дифференциацией на заданном сельскохозяйственном поле. При программировании урожаев окончательное решение все-таки оставалось за руководителем, ответственным за тот или иной управленческий агроприем, а дифференциация норм технологического воздействия могла проводиться лишь от поля к полю. Реализация агроприема по методологии ТЗ осуществляется под управлением бортовой электроники сельскохозяйственного агрегата, сопряженной с навигационной системой ГЛОНАСС/GPS. Агрегат способен в ходе движения изменять по команде компьютера норму технологического воздействия в заданном месте, что позволяет дифференцированно учитывать сложившуюся или вновь образуемую внутриполевую вариабельность посева и среды его обитания.

Разработка инструментария ТЗ и методов его применения в производстве базируется на информационных технологиях и предполагает использование новейших знаний не только из традиционных областей агрономии, но также результатов физико-математических, технических, биологических исследований, а также достижений других естественных наук. Методология ТЗ является новаторским и всеохватывающим подходом к решению проблем АПК России. Отечественный опыт применения данной методологии демонстрирует перспективность использования систем ТЗ для получения стабильно высоких и качественных урожаев сельскохозяйственных культур. Так, в многолетних сравнительных экспериментах на биополигоне Агрофизического института выполнена оценка эффективности агротехнологий различной интенсивности и установлено, что при внесении средств химизации по методологии ТЗ наряду с ростом продуктивности отмечалось повышение содержания белка в зерне вне зависимости от колебаний почвенно-климатических условий в исследуемый период. При этом объемы вносимых агрохимикатов и удобрений и, соответственно, затраты на их приобретение были сокращены на 25–30%. Отмечено устойчивое снижение на 35–60% агрохимической нагрузки на

окружающую среду, а также повышение окупаемости удобрений и средств защиты растений в 1,5–1,7 раза (Агрофизика, № 1, 2016; Вестник Россельхозакадемии, 2017). Последующая широкая апробация информационных технологий ТЗ в хозяйствах Ленинградской области и других регионов страны подтверждает перспективность прецизионного производства сельскохозяйственной продукции.

В то же время на значительной части сельскохозяйственной территории нашей страны преобладает экстенсивное земледелие, базирующееся на эксплуатации естественного плодородия почв. Экстенсивный путь развития сельского хозяйства для России является практически бесперспективным и не позволяет добиться существенного и устойчивого роста экономической эффективности. Без технологий точного земледелия выйти на качественно новый уровень производительности отечественному АПК будет крайне затруднительно.

Модернизация в агропромышленном секторе в последние годы осуществляется, в основном, за счет заимствования зарубежных технологий, машин, оборудования, а также селекционных достижений, что обуславливает высокие риски обеспечения национальной продовольственной безопасности. Однако процесс заимствования и внедрения зарубежных высокопроизводительных машин, оборудования и технологий в мелкие, средние и даже крупные хозяйства идет крайне медленно и часто по ряду объективных и субъективных причин не обеспечивает достижения декларируемых характеристик производительности современной техники. В первую очередь, это обусловлено недостатком оборотных средств и высокой стоимостью заимствованной техники, сомнениями аграриев в ее окупаемости при эксплуатации недостаточно подготовленными кадрами и отсутствием отечественных физико-технических и программно-аппаратных средств точного земледелия. Подавляющее большинство сельскохозяйственных предприятий страны использует в работе морально устаревшую и частично физически изношенную технику, а информационное обеспечение принимаемых решений

нуждается в качественном улучшении и оперативности. Для укрепления материально-технической базы АПК, повышения уровня информатизации и интеллектуализации сельскохозяйственного производства потребуются значительные сопряженные усилия государства, науки и бизнеса.

В связи с этим весьма существенное значение для развития сельскохозяйственного производства приобретает упомянутая выше платформа FootNed Национальной технологической инициативы и ее ключевой сегмент – «умное сельское хозяйство». Данный сегмент рассматривается как основной научный и технологический инструмент обеспечения лидерства российских агропромышленных компаний на продовольственных рынках, которые будут определять структуру мировой аграрной экономики в ближайшие 15–20 лет.

Системная разработка и реализация мероприятий «дорожной карты» сегмента «умное сельское хозяйство» потребует подключения ведущих научно-исследовательских и научно-производственных структур страны. Ими будут разработаны следующие направления фундаментальных и прикладных научных исследований, определяющие будущий облик сельского хозяйства страны с ориентиром на инновационный путь развития:

– разработка общей концепции и теории управления физическими, физико-химическими и биологическими процессами в аргоэкосистемах, включая постановку задачи, разработку новых математических моделей продуктивности посевов и динамики изменения почвенной среды, обоснование структуры, принципов построения и создания интеллектуальной системы формирования прецизионных агротехнологических приемов и поддержки их реализации в полевых условиях;

– разработка общей концепции и обоснование подходов к моделированию режимов агроландшафтов, методов оптимизации их структуры и формирования плановых и оперативных агротехнических и мелиоративных мероприятий, обеспечивающих повышение устойчивости продукционного процесса сельскохозяйственных культур в сложившихся и прогнозируемых условиях;

– выполнение научных исследований и разработок, обеспечивающих количественное описание физических, физико-химических и биологических процессов в агроэкосистемах, раскрытие эколого-генетических и физиологических механизмов регуляции продукционного процесса возделываемых культур в оптимальных и стрессовых условиях и создание соответствующей базы знаний для выработки адаптивных приемов дифференцированного управления в границах сельскохозяйственного поля;

– разработка принципиально нового физико-технического и информационного инструментария, методов сбора, обработки и использования информации, ориентированных на реализацию технологий точного земледелия, включая методы и средства контактного и дистанционного зондирования, а также математические модели оценки и прогноза динамики параметров агроэкосистем в различных масштабах времени;

– разработка принципиально новой методологии компьютерного планирования и проведения прецизионных полевых опытов по совершенствованию нормативной базы применения агроприемов, основанной на использовании информационных технологий и технических средств точного земледелия, аэрокосмического зондирования и современных методов обработки, анализа и интерпретации данных.

Системный подход позволит создавать конкурентоспособную продукцию, превышающую по ряду показателей зарубежные аналоги. Значительная часть теоретических *результатов*, получаемых в ходе исследований, будет реализована в принципиально новых технических *решениях*, подлежащих соответствующей правовой охране. К ним относятся патенты на новые способы формирования урожая, новые препараты, средства их внесения, полезные модели и изобретения.

Будут созданы следующие виды научно-технической инновационной продукции:

– многоцелевая программно-техническая платформа уникальных цифровых технологий, использующая соответствующий набор разнородных

данных и агротехнологических знаний, для комплексного информационного обеспечения АПК, генерации и реализации технологической возможности управления урожайностью и качеством растениеводческой продукции;

– комплекс мобильных измерительных средств наземного и дистанционного мониторинга почвенно-климатических условий и оценки агроэкологического состояния посевов и среды их обитания, оснащенных отечественной навигационной аппаратурой (НАП) системы ГЛОНАСС;

– комплекс роботизированных сельскохозяйственных машин, оборудования, механизмов и программно-аппаратных средств по управлению ими, оснащённых отечественной НАП системы ГЛОНАСС, для выполнения основных технологических операций по дифференцированной обработке почвы, севу, внесению удобрений и различных агрохимикатов для защиты растений в ходе движения с автоматизированным технологическим воздействием по цифровым картам-заданиям;

– алгоритмы и программно-технические средства обнаружения внутриполевой неоднородности посевов и среды их обитания, выделения и фиксации границ однородных участков с помощью НАП системы ГЛОНАСС;

– новые схемы дистанционных и контактных зондирующих измерителей состояния сельскохозяйственных объектов. Основным результатом будет получение технического задания на проектирование макетных образцов и технической документации для тиражирования принципиально новых физико-технических средств;

– программа серийного выпуска комплекса приборов, машин и навигационного оборудования. Будут определены головные отраслевые организации-производители и подготовлена необходимая техническая документация;

– опытные образцы реализации в различных природно-климатических условиях интеллектуальной системы поддержки принятия агротехнологических решений для управления факторами продуктивности в производственных

условиях с учетом пространственно-временной неоднородности посевов и среды их обитания;

– действующий пилотный фрагмент региональной мониторинговой системы (как фрагмент единой государственной информационной структуры) – сетевой центр для централизованного доступа абонентов (государственных служб, сельхозтоваропроизводителей, разработчиков и исследователей) к нормативным, научно-методическим, программным и другим сервисам с целью качественного и надежного информационного обеспечения сельскохозяйственного производства и содействия освоению и широкому использованию инновационных технологий точного земледелия;

– результаты промышленной эксплуатации опытных образцов автоматизированных комплексов, в процессе которой реализуются новые технологии в базовых хозяйствах пилотных регионов России и сетевого регионального мониторингового центра, научно-обоснованный анализ их функционирования с выводами и предложениями по дальнейшему развитию методологии и инструментария точного земледелия.

Заключение

Стремительно развивающиеся теория проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия, методология и инструментарий ТЗ, современные достижения электронной промышленности, начавшийся выпуск отечественного информационного, навигационного и телекоммуникационного оборудования и робототехники, а также применение цифровых технологий способны обеспечить масштабную организацию на территории России инновационного производства растительной продукции и сырья. Такой подход позволит значительно повысить качество сельскохозяйственной продукции, увеличить ее объемы, а также поставки на глобальные продовольственные рынки, что обеспечит в будущем значимую долю России на них. Объем глобального рынка технологий ТЗ к 2015 г. достиг 2,3 млрд. евро. Эксперты оценивают его ежегодный прирост в 12%, что намного больше по сравнению с рынком традиционного сельскохозяйственного оборудования, где прирост

составляет не более 4% в год. Широкое внедрение методов прецизионного производства в нашей стране неизбежно создаст условия для перехода отрасли сельского хозяйства на новый технологический уклад. Наряду с повышением экономической и экологической эффективности производства в хозяйствах России появятся новые престижные профессии: специалисты по ГИС-системам, бортовой электронике и НАП на сельскохозяйственных машинах и мобильных комплексах, компьютерным программам, Интернету и т. п. По сути, на селе будет создан IT-кластер управляемого земледелия, что, безусловно, повысит требования к квалификации соответствующих специалистов. Одновременно переход на новый уровень автоматизации и управления сельскохозяйственным производством увеличит привлекательность отрасли для молодежи и обеспечит устойчивый рост производительности труда.

По социальной значимости предстоящие изменения и новые возможности сельскохозяйственного производства в России можно сравнить с преобразованиями 30-х гг. прошлого века, когда происходил перевод земледелия с «лошади на трактор». Тогда же на селе впервые появились привычные в настоящее время профессии трактористов-механизаторов и слесарей по ремонту и обслуживанию новых сельскохозяйственных машин и оборудования. Новые тенденции весьма важны и потому, что современное сельское хозяйство в России испытывает резкий дефицит кадров. Данная проблема на сегодняшний день решается путем использования труда мигрантов, но подобная политика приводит к возникновению новых рисков. Политическая и экономическая ситуация в мире остро ставит вопрос о продовольственном обеспечении в один ряд с ядерной безопасностью и сохранением суверенитета. Точное земледелие позволит значительно повысить эффективность производства растительной продукции в условиях нехватки кадров за счет автоматизации агротехнологий и применения космических навигационных платформ гражданского назначения, включая методы и средства дистанционного зондирования Земли, а также интеллектуальные системы поддержки агротехнологических решений.

Список литературы

Бондаренко Н. Ф. и др. Моделирование продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 264 с.

Бондаренко Н. Ф., Жуковский Е. Е., Кащенко А. С., Небольсин А. Н., Усков И. Б. Высокие урожаи по программе. Лениздат, 1986.

Глогов Л. В. Кибернетическая система управления урожайностью сельскохозяйственных культур – сущность и структура // Использование методологии системного анализа управления агроэкосистемами. СПб.: АФИ, 1987. С. 15–21.

Бихеле З. Н., Молдау Х. А., Росс Ю. К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 223 с.

Иоффе А. Ф. Физика и сельское хозяйство. М.-Л., АН СССР, 1955. 76 с.

Жуковский Е. Е., Чудновский А. Ф. Методы оптимального использования метеорологической информации при принятии решений. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 52 с.

Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев. XV Тимирязевские чтения. М.: АН СССР, 1956. С. 1–93.

Полуэктов Р. А. Динамические модели агроэкосистем. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 31 с.

Полуэктов Р. А и др. Динамические модели экологических систем. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 288 с.

Росс Ю. К. Радиационный режим и архитектоника растительного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 342 с.

Сиротенко О. Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивность агроэкосистем. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 167 с.

Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture). Коллектив авторов под общей редакцией Д. Шпаара, А. Захаренко, В. Якушева. СПб. – Пушкин, 2009.

Фитосанитарное оздоровление экосистем // Материалы II Всероссийского съезда по защите растений. В 2-х т. (т. 1 – 586 с.; т. 2 – 596 с.). СПб.: ВИЗР, 2005.

Якушев В. П. На пути к точному земледелию. СПб.: ПИЯФ РАН, 2002. 458 с.

Якушев В. В. Точное земледелие: теория и практика. СПб.: АФИ, 2016. 364 с.

Якушев В. П., Лекомцев П. В., Воропаев В. В., Конев А. В. Дифференцированное применение средств химизации при выращивании яровой пшеницы // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 4. С. 13-17.

Якушев В. П., Лекомцев П. В., Первак Т. С., Воропаев В. В. Анализ экономической эффективности возделывания яровой пшеницы в системе точного земледелия // Агрофизика. 2016. № 1. С. 43–52.

Якушев В. П., Якушев В. В. Информационное обеспечение точного земледелия. СПб., ПИЯФ РАН, 2007. 384 с.

Якушев В. П., Якушев В. В., Матвеенко Д. А. Роль и задачи точного земледелия в реализации национальной технологической инициативы // Агрофизика. 2017. № 1.

Busse M., Doernberg A., Siebert R., Kuntosch A., Schwerdtner W., König B., Bokelmann W. W. 2014. Innovation mechanisms in German precision farming // Precision Agriculture. № 15(4). P. 403–426.

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ВНЕСЕНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДЗЗ С БПЛА

Е. В. Березовский[1], Н. А. Прокофьев[2], А. Н. Телышев[3]

[1] ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева;

[2]ООО «Геоскан»;

[3]ЗАО «Откормочное»

В докладе рассмотрен вопрос подкормки озимой пшеницы азотными удобрениями в соответствии с концепцией координатного земледелия. В качестве основного источника пространственных данных использованы беспилотные летательные аппараты «Геоскан», оснащенные цифровыми фотокамерами для аэрофотосъемки в видимом и ближнем инфракрасном участках спектра. В работе принимали участие сотрудники ЗАО «Откормочное», Полевой опытной станции РГАУ-МСХА им. Тимирязева и ООО «Геоскан».

The report contains the results of field tests with variable rate nitrogen fertilization on winter wheat. As the main source of spatial data the Geoscan unmanned aerial vehicles, equipped with digital cameras for aerial photography in the visible and near infrared bands, were used. The report is a result of collaborative work between Otkormochnoe CJSC, Moscow Timiryazev Agricultural Academy and Geoscan LLC.

Пшеница – одна из основных сельскохозяйственных культур. По данным ФГБУ «Центр оценки качества зерна», в 2016 году валовый сбор пшеницы в РФ составил 73 268 тыс. тонн, или 63% от общего сбора зерна. В то же время, пшеница 3-го класса (т. е. зерно, пригодное для производства хлебопекарной муки без добавления улучшителей или более высокобелкового, «сильного» зерна) составила всего 22,3% от валового сбора мягкой пшеницы, что является самым низким относительным значением за последние пять лет. Одна из возможных причин низкого качества пшеницы в урожаях последних лет – использование современных интенсивных и высокоурожайных сортов. Исследования генотипа пшениц показали, что признак «суммарное содержание белка» является полигенным, кроме того, обнаружена отрицательная корреляция между содержанием белка в зерне и урожайностью (Balyan et al., 2013). Опыты, проведенные на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА с 1994 по 2005 год, свидетельствуют, что при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья при любом уровне урожайности можно ежегодно получать зерно продовольственного назначения

(Березовский, 2005). При этом проведение нескольких азотных подкормок является обязательным условием. Значимых результатов достигли сотрудники Агрофизического института на полях Меньковской опытной станции, с 2007 года неоднократно получая пшеницу 2-го класса (пригодную для самостоятельного хлебопечения) в условиях Ленинградской области за счет внедрения элементов точного земледелия. Таким образом, есть основания полагать, что за счет оптимизации азотного питания пшеницы возможно как увеличение урожайности, так и повышение качества зерна.

Современная техника для распределения удобрений позволяет производить подкормки дифференцированно, в соответствии с картами предписаний. Соответственно, одной из задач при подготовке к подкормке является определение пространственной неоднородности развития растений внутри поля. Одним из решений данной задачи является применение беспилотных летательных аппаратов, оснащенных аппаратурой для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Для проведения опыта было выбрано два поля, засеянных озимой пшеницей, в хозяйстве ЗАО «Откормочное» (Тульская область). Сбор данных включал в себя проведение аэрофотосъемки в видимом и ближнем ИК диапазонах и наземные наблюдения. Аэрофотосъемка проводилась трижды: в апреле (перед первой подкормкой), мае (перед второй подкормкой) и в июне. В качестве носителя аппаратуры использовались БПЛА «Геоскан». Фотограмметрическая обработка выполнялась в ПО Agisoft Photoscan. Результаты аэрофотосъемки – ортофотопланы и карты вегетационного индекса – загружались в геоинформационные системы, после чего производилось сравнение оперативных данных (БПЛА) с данными прошлых лет (композит космических снимков). Сравнение с архивными снимками необходимо для того, чтобы различать участки, на которых повышенный или пониженный вегетационный индекс (ВИ) наблюдается из года в год от участков, где отклонения в вегетации наблюдаются только в текущем сезоне (рис. 1). На основании вышеперечисленной информации, были выбраны участки для

наземных наблюдений (далее – участки № 1 и № 2), которые помимо визуальной оценки состояния растительности и наличия болезней, включали в себя подсчет количества растений на единицу площади и оценку потребности растений в азоте с помощью прибора N-Tester. Результаты измерений на участках № 1 и № 2 проиллюстрированы на рис. 2.

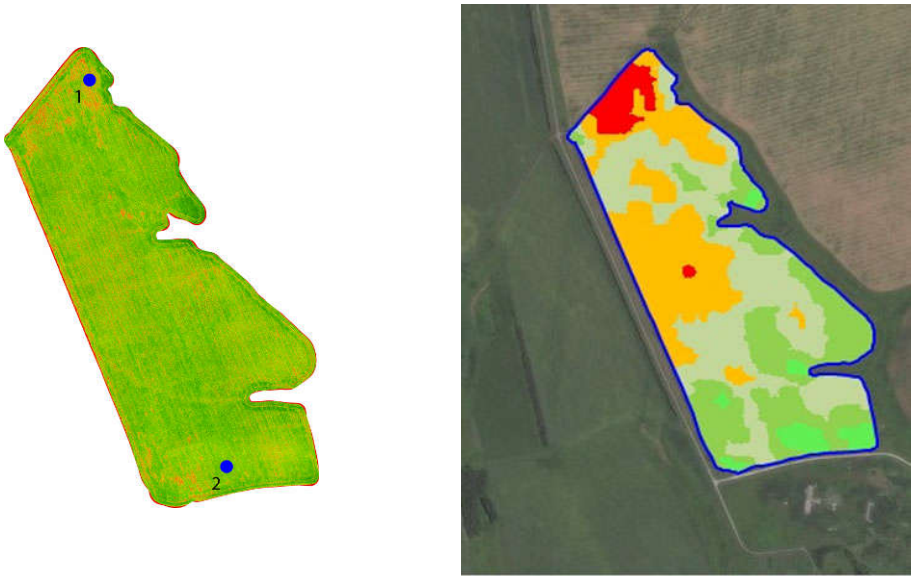


Рис. 1. Карта ВИ, полученная с помощью БПЛА с выделенными участками № 1, № 2 (слева) и пятилетний композит карт ВИ, полученных по спутниковым снимкам

Рис. 2. Показания прибора N-Tester на участках № 1 (слева, 475 раст./м^2) и № 2 (справа, 687 раст./м^2)

Следующим этапом подготовки данных является классификация по значению вегетационного индекса и преобразование исходных растровых данных в векторные карты предписаний. Для этой задачи использовалась ГИС «Спутник Агро». Данное ПО использует алгоритм расчета зональной статистики по прямоугольной сетке, в качестве параметров задаются размеры прямоугольной ячейки и наклон сетки. При классификации границы классов

указываются вручную на гистограмме. Ячейки, принадлежащие одинаковым классам, автоматически группируются в полигоны. Дозу внесения удобрений для каждого класса определяет агроном, в соответствии с выбранной стратегией подкормки. Введенные значения записываются программой в атрибуты полигонов. Результатом обработки является файл в формате Shapefile, совместимый с универсальными терминалами Amatron 3. Для внесения удобрений использовался высокопроизводительный распределитель Amazone ZG-B 8200.

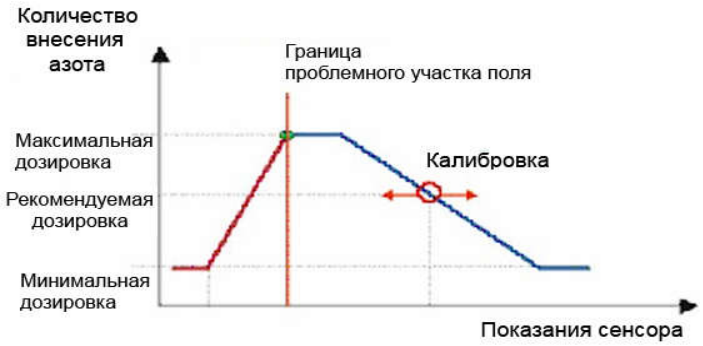


Рис. 3. Экспериментальный алгоритм внесения азотных удобрений на озимой пшенице по рекомендациям прибора N-tester в зависимости от биомассы посевов

В рассматриваемом опыте при расчете доз удобрений использовалась методика, разработанная в Тимирязевской академии (рис. 3). На сильно изреженных участках, т. е. там, где количества растений недостаточно для получения хорошего урожая, и ситуацию уже не исправить (на рис. 3, слева от вертикальной линии), применяется минимальная доза удобрений. По мере увеличения количества растений, доза азотных удобрений увеличивается вплоть до максимальной, для усиления кущения. Поскольку внесение повышенных доз азотных удобрений повышает вероятность полегания растений, на участках с высоким вегетационным индексом доза удобрений снижается (правая часть графика на рис. 3).

Карты-задания для первой и второй подкормки показаны на рис. 4. Первая подкормка проводилась дифференцированно на всем поле, в среднем по полю доза аммиачной селитры составила 150 кг/га. Во вторую подкормку на

части поля был заложен контрольный участок с фиксированной нормой 150 кг/га, остальная часть поля обрабатывалась дифференцированно и средняя величина вносимого удобрения на этом участке составила 59,9 кг/га. На рис. 5 приведен фрагмент ортофотоплана (съемка 6 июня), на котором видно, что внесение удобрений на хозяйственном фоне привело к полеганию растений (одна из причин – избыточное азотное питание).

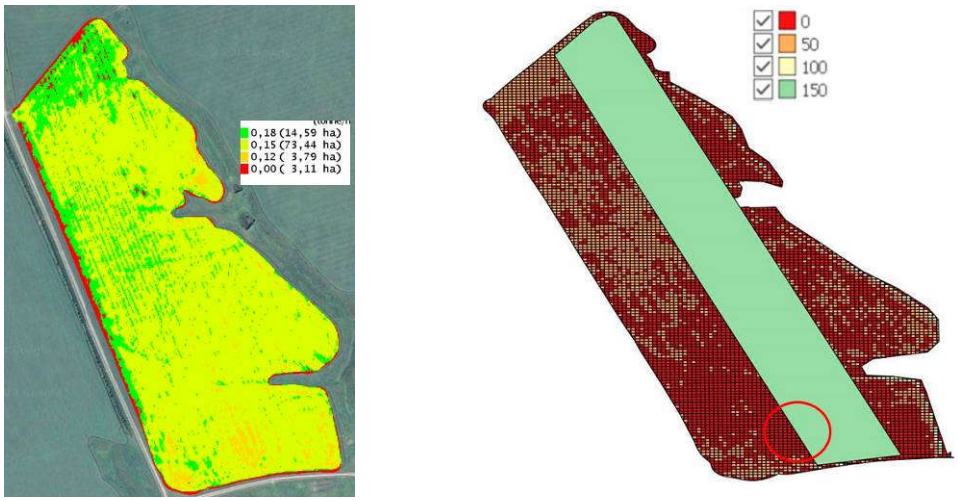


Рис. 4. Слева: карта задания для первой подкормки, величины приведены в т/га. Справа: карта задания для второй подкормки, величины приведены в кг/га. Овалом выделена область, показанная на рис. 5

Рис. 5. Увеличенный фрагмент ортофотоплана (съемка 6 июня), полегание в области с нормой внесения 150 кг/га

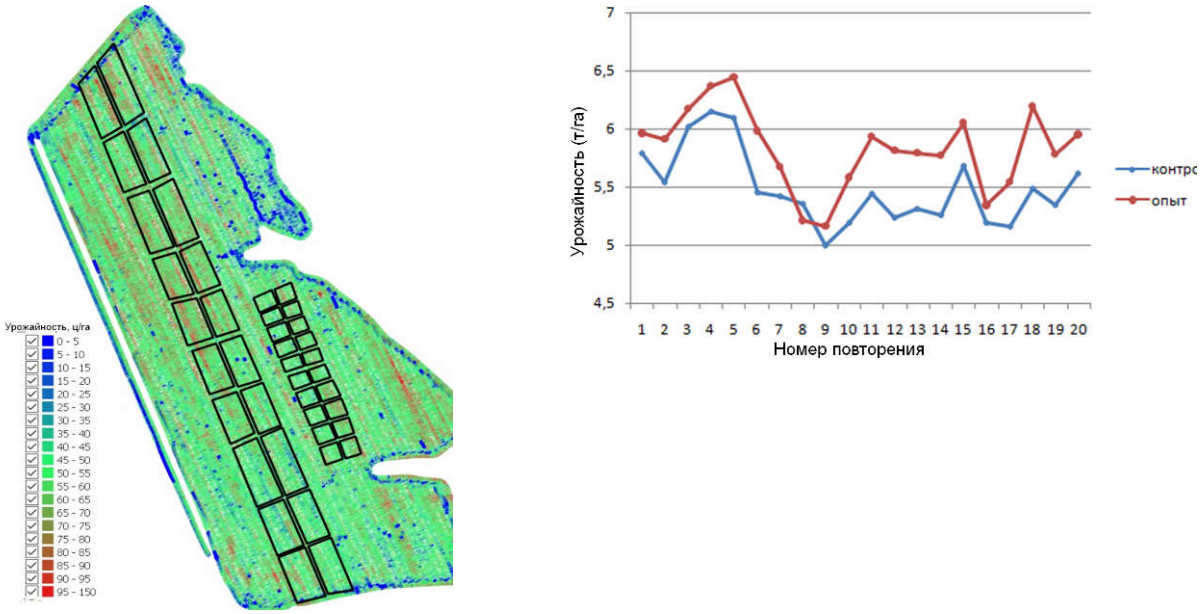


Рис. 6. Карта урожайности и средняя урожайность по выделенным парам участков

Уборка проводилась комбайнами John Deere S690. Каждый комбайн оборудован датчиками урожайности и влажности, что совместно с наличием навигационной системы и бортового компьютера позволяет вести картирование урожайности при уборке. Карта урожайности, а также сравнение средней урожайности по выборке из двадцати пар опытных/контрольных участков, приведены на рис. 6. Проанализировав данные среднего урожая на опытных и контрольных участках, можно отметить повышение сбора зерна на участках с дифференцированным внесением азотных удобрений по сравнению с классическим методом единой нормы. Средняя прибавка урожайности в варианте дифференцированного внесения азотных удобрений составила 0,345 т/га в сравнении с урожайностью контрольных участков (постоянная норма). Данная прибавка обусловлена как выравниванием фитомассы растений, так и меньшим полеганием пшеницы на участках с дифференцированным внесением.

Рассматривая полученные в ходе проведения данные с экономических позиций, можно отметить два момента:

1. В варианте дифференцированного метода средняя норма внесенных удобрений меньше на 90,1 кг/га по сравнению со стандартным способом.

2. Как отмечалась выше, получен дополнительный урожай в размере 3,45 ц/га.

При стоимости удобрений в 13900 руб./т и цене реализации зерна 10000 руб./т суммарная дополнительная прибыль, в сравнении с методикой внесения азотных удобрений, применяемых в хозяйстве, составила 4978 руб./га.

Список литературы

1. ФГБУ «Центр оценки качества зерна» Оценка качества зерна урожая 2016 года http://www.fsvps.ru/fsvps-docs/ru/news/files/20306/grain_presentation.pdf.

2. Balyan H.S., Gupta P.K., Kumar S., Dhariwal R., Jaiswal V., Tyagi S., Agarwal P., Gahlaut V., Kumari S. Genetic improvement of grain protein and other health-related constituents of wheat grain. Plant Breeding. 2013. available at http://wileyonlinelibrary.com. DOI 10.1111/pbr.12047

3. Березовский Е В. Влияние азотных удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Материалы Международной научной конференции «Агроэкологическая эффективность применения средств химизации в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур». М., 2005.

УДК 631.4:631.8:631.468

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ В ЧЕРНОЗЕМОВИДНОЙ ПОЧВЕ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВНЕСЕНИИ УДОБРЕНИЙ

Е. В. Банецкая[1], В. Ф. Прокопчук[2]

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»

(Всероссийский НИИ сои);

[2]ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет»

(Дальневосточный ГАУ)

Изучено влияние длительного применения различных систем удобрений на сезонную динамику численности микроорганизмов в черноземовидной почве. Максимум численности в сухом 2014 г. был установлен в фазу выхода в трубку, во влажном 2016 г. – в фазу кущения пшеницы. Численность всех функциональных групп микроорганизмов уменьшается к концу вегетации культуры, также снижаются показатели микробиологических процессов.

SEASONAL DYNAMIC OF NUMBER OF MICROORGANISMS IN HE BLACK-SCIENTIFIC SOIL AT A LONG-TERM FERTILIZER APPLICATION

E. V. Banetskaya[1], V. F. Prokopchuk[2]

[1]FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Soybean»

(ARSRI Soybean)

[2]FSBEI HE Far Eastern State Agrarian University (Far Eastern SAU)

The article presents the results of studying the impact of long-term application of various fertilizer systems on the seasonal dynamic of number of microorganisms in the black-scintific soil. In the dry 2014 the maximum number has been fixed in the phase of stem elongation, in the wet 2016 – in the phase of wheat tillering. The number of all functional groups of microorganisms decreased by the end of crop vegetation, as well as the indices of microbiological processes.

Микроорганизмы в почве в зависимости от условий, температуры и влажности, а также под влиянием других факторов могут быстро размножаться и вымирать. Их численность весьма динамична в течение периода вегетации

культуры (Мишустин, 1975). Данная динамика особенно показательна на микроорганизмах азотного обмена, которые могут выступать индикаторами процессов трансформации органического вещества (Емцев, Мишустин, 2005). В связи с этим цель настоящей работы заключалась в исследовании динамики численности микроорганизмов азотного обмена в период вегетации пшеницы в черноземовидной почве длительного стационарного опыта по изучению систем удобрения в севообороте.

Объекты и методы

Исследования проводились в стационарном опыте Всероссийского научно-исследовательского института сои, который был заложен в 1962–1964 гг. В. Т. Куркаевым. В 2014 и 2016 гг. исследовалась сезонная динамика численности микроорганизмов в 3-м поле одиннадцатой ротации 5-польного севооборота: *овес – соя – пшеница – соя – пшеница*. Наблюдения проводились в вариантах с непосредственным внесением N_{30} под яровую пшеницу в виде аммиачной селитры при следующих системах удобрений: 1) без удобрений (контроль); 2) N_{24}; 3) $N_{24}P_{30}$; 4) $N_{24}P_{30}$ + 4,8 т навоза на 1 га севооборотной площади. Площадь делянки составляла 180 м^2. Опыт проводился в три закладки со сдвигом во времени и в трехкратной повторности каждой закладки в пространстве.

Поскольку все процессы роста и развития пшеницы и связанные с ними микробиологические процессы в условиях агроэкосистем Дальнего Востока активно проходят в короткий период вегетации, исследования динамики комплекса почвенных микроорганизмов проводились с апреля по август. До посева и внесения удобрений, а также в фазы кущения, выхода в трубку и полной спелости проводился анализ микрофлоры почвы по методике Е. З. Теппер (2004), адаптированной для почв под сельскохозяйственными культурами. Образцы отбирались с глубины пахотного горизонта (0–20 см) стерильными шпателями. Для роста аммонифицирующих бактерий применялся мясо-пептонный агар (МПА), для микроорганизмов, использующих минеральные источники азота, – крахмало-аммиачный агар (КАА).

Результаты и обсуждение

При разложении белков и других азотсодержащих соединений в почве при участии микроорганизмов азот высвобождается в виде аммиака. Указанный процесс называют аммонификацией, или минерализацией азота. При определенных условиях имеющиеся в почве минеральные формы азота переходят в недоступные для растений соединения. Один из таких процессов возникает в результате бурного развития микроорганизмов, которые потребляют азот и переводят его в белок цитоплазмы. Подобный процесс называют иммобилизацией азота (Емцев, Мишустин, 2005). Соотношение численности микроорганизмов, осуществляющих данные процессы, т. е. иммобилизаторов азота и аммонификаторов, называется коэффициентом минерализации. Он характеризует интенсивность протекания в почве процессов трансформации органического вещества отмерших растительных и животных остатков или внесенных органических удобрений.

До посева и внесения удобрений отмечалась слабая активность микрофлоры, связанная с поздним оттаиванием почвы, характерным для региона. Количество бактерий на МПА в указанный срок незначительно изменялось по вариантам, а число микроорганизмов на КАА было в 3,5 раза больше на фоне длительного применения только азотных удобрений и почти в два раза больше на фоне применения азотно-фосфорных удобрений по сравнению с контрольным вариантом (табл.). В работе Р. Н. Степкиной (2001) наибольшее количество нитратного азота было отмечено в начале вегетации в вариантах с внесением азотных удобрений. Вероятно, именно поэтому иммобилизаторы, использующие минеральные формы азота, начинают раньше расти и развиваться, нежели аммонификаторы.

Максимум общей численности микроорганизмов почти во всех вариантах опыта в 2014 г. был установлен в фазу выхода в трубку (от 45,5 млн. КОЕ/г в варианте с минеральной системой удобрения до 69,9 млн. КОЕ/г в контроле), в 2016 г. – в фазу кущения пшеницы (от 32,1 млн. КОЕ/г в контрольном варианте до 55,7 млн. КОЕ/г при органоминеральной системе удобрения). При этом в

обоих годах наблюдений исключение составлял вариант с внесением только азотных удобрений, где пик микробиологической активности приходился на фазу полной спелости (85,8 млн. КОЕ/г) и фазу выхода в трубку (31,2 млн. КОЕ/г) соответственно по годам. Влажность почвы сыграла весьма важную роль в развитии микробного сообщества. В среднем его общая численность в сухой 2014-й год была выше в 2,1 раза, чем в более влажный 2016-й. Выявлена сильная обратная корреляционная связь числа бактерий на КАА с влажностью почвы ($r = –0,919$ при $r_{крит} = 0,707$) и умеренная – с общим количеством микроорганизмов ($r = –0,535$).

Таблица. **Численность микроорганизмов черноземовидной почвы и коэффициент минерализации**

Год	Срок отбора образцов	Вариант опыта	Количество микроорганизмов на средах, млн. КОЕ/г			Коэффициент минерализации (КАА/МПА)
			МПА	КАА	общее	
2014	Фаза кущения	1	13,8	23,8	37,6	1,7
		2	28,2	23,0	51,2	0,8
		3	31,8	18,6	50,4	0,6
		4	20,0	24,8	44,8	1,2
	Фаза выхода в трубку	1	9,4	60,5	69,9	6,4
		2	19,1	33,0	52,1	1,7
		3	16,0	29,5	45,5	1,8
		4	38,3	24,8	63,1	0,6
	Фаза полной спелости	1	11,2	20,1	31,3	1,8
		2	64,3	21,5	85,8	0,3
		3	7,8	21,7	29,5	2,8
		4	9,5	24,1	33,6	2,5
2016	До посева и внесения удобрений	1	4,3	6,2	10,5	1,4
		2	5,2	21,9	27,1	4,2
		3	6,0	12,1	18,1	2,0
		4	3,9	10,7	14,6	2,7
	Фаза кущения	1	6,3	25,8	32,1	4,1
		2	6,0	21,4	27,4	3,6
		3	15,0	22,6	37,6	1,5
		4	12,1	43,6	55,7	3,6
	Фаза выхода в трубку	1	3,8	21,2	25,0	5,6
		2	10,7	20,5	31,2	1,9
		3	7,0	16,5	23,5	2,4
		4	4,4	36,7	41,1	8,3
	Фаза полной спелости	1	4,7	8,5	13,2	1,8
		2	5,9	7,7	13,6	1,3
		3	6,3	9,8	16,1	1,5
		4	7,6	10,6	18,2	1,4

Анализируя в целом результаты исследований состояния почвенной биоты, следует отметить, что наибольшее увеличение ее численности наблюдалось в варианте с длительным использованием органоминеральных удобрений (рис.). В условиях сухого 2014 года число микробов в указанном варианте составляло 0,9–1,2 от количества микроорганизмов в контроле, а в 2016 году в условиях оптимальной влажности было отмечено увеличение их численности в 1,4–1,7 раза по сравнению с контролем. Полученные результаты свидетельствуют о том, что комплексное внесение минеральных и органических удобрений создает оптимальные условия для жизнедеятельности полезных микроорганизмов и значительно увеличивает их численность именно в условиях оптимального увлажнения, несмотря на общую тенденцию к уменьшению количества микроорганизмов при повышении влажности почвы.

Рис. Динамика изменения общей численности микроорганизмов в контроле (а) и на фоне органоминеральной системы удобрения (б), млн. КОЕ/г

Исходя из средних значений коэффициента минерализации, который в 2014 г. составил 1,85, а в 2016 г. – 2,96, можно сделать вывод, что процесс минерализации соединений азота в результате жизнедеятельности микроорганизмов интенсивнее протекает в условиях оптимальной влажности почвы, а при недостатке влаги происходит закрепление минерального азота в составе органического вещества. При этом наиболее активно процесс протекал в контрольном варианте (среднее значение 3,3) и на фоне органоминеральной системы удобрения (2,9), наименее – на фоне азотных (2,0) и азотно-фосфорных удобрений (1,8).

Таким образом, количество микроорганизмов динамично меняется в течение периода вегетации яровой пшеницы и во многом зависит от влажности почвы. Пик роста и развития микроорганизмов азотного обмена приходится на середину вегетации – фазу кущения-выхода в трубку (что было отмечено во всех вариантах, кроме длительного применения только азотных удобрений). К концу вегетации численность микроорганизмов, а также показатели микробиологических процессов снижаются.

Список литературы

1. Емцев В. Т., Мишустин Е. Н. Микробиология: Учебник для вузов. М.: Дрофа, 2005. 445 с.

2. Мишустин Е. Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов. М., Наука, 1975. 105 с.

3. Степкина Р. Н. Эффективность систематического применения удобрений в севообороте на лугово-черноземовидных почвах Приамурья. Благовещенск, ДальГАУ, 2001. 146 с.

4. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии: Учебное пособие для вузов. М.: Дрофа, 2004. 256 с.

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА УРОЖАЙНОСТИ В ПРЕДЕЛАХ АГРОЛАНДШАФТА

Д. А. Иванов

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель»

В работе представлены методы анализа данных мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур в пределах агроэкологического стационара. Установлено, что величины разнообразных статистических показателей вариабельности пространственных рядов урожайности, а также их информационных и фрактальных оценок зависят от различных факторов ландшафтной среды и агроклимата.

PECULIARITIES OF THE ANALYSIS OF PRODUCTIVITY MONITORING RESULTS WITHIN THE AGRICULTURAL LANDSCAPE

D. A. Ivanov

Scientific Institution All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands

The paper presents methods for analysing the data of the agricultural crops productivity monitoring within the agroecological landscape. It is found that the values of various statistical indicators of the productivity spatial series variability, as well as the values of their information and fractal estimates, depend on various factors of the landscape environment and the agroclimate

Продуктивность растений является основным проявлением их адаптивных реакций на условия ландшафтной среды, для изучения которых применяются разнообразные полевые и статистические методы. Полученные знания позволяют разрабатывать оптимальные технологические схемы возделывания, способствующие повышению продуктивности и устойчивости посевов, а также затуханию деградационных процессов в агроландшафте, что является одной из задач адаптивно-ландшафтного земледелия.

Характер пространственно-временной изменчивости урожайности в пределах агроландшафта изучался на примере травостоев первого года пользования, основными компонентами которых являлись клевер луговой сорта «ВИК 7» и тимофеевка луговая сорта «ВИК 9». Определение их продуктивности проводилось в одноукосном режиме. Особенности вариабельности урожайности сена в пределах конечно-моренной гряды исследовались на агроэкологическом стационаре ВНИИМЗ, достаточно подробно описанном в литературе [3–5, 7]. Он расположен в пределах конечно-

моренного холма с относительной высотой 15 м. Холм состоит из межхолмных депрессий (северной и южной), южного склона крутизной 3–5°, плоской вершины и северного склона крутизной 2–3°. Почвенный покров представлен вариацией-мозаикой дерново-подзо листых глееватых и глеевых почв, развивающихся на двучленных отложениях различной мощности. Южный склон характеризуется преобладанием песчаных и супесчаных почв, тогда как на северном преимущественно представлены их легкосуглинистые разности. Агроценозы изучались на агроэкологической трансекте – узком поле длиной 1300 м, разделенном на продольные параллельные полосы, каждая из которых засевалась определенной культурой севооборота. Трансекта пересекает все основные микроландшафтные позиции конечно-моренного холма. Урожайность сена определялась по 120 десятиметровкам, регулярно расположенным вдоль трансекты, – был построен ее пространственный ряд (регистрограмма). Исследования проводились в 1998–2016 гг.

Регистрограмма урожайности каждого года исследовалась при помощи методов описательной статистики – определялись среднее значение урожайности (X), ее стандартное отклонение (S_x) и коэффициент вариации (V(%)). Для углубленного изучения опытных данных применялись элементы информационного (энтропия (E_a), относительная энтропия (отн E_a)) [1] и фрактального анализов (D) пространственных рядов урожайности [2, 6]. В результате были получены временные ряды (за 19 лет) изменения данных показателей.

Выявление агроландшафтных и агроклиматических факторов, достоверно влияющих на временную динамику статистических и информационных показателей, а также параметров странного аттрактора Лоренца рядов урожайности многолетних трав в пределах трансекты проводилось с помощью мультирегрессионного анализа. Степень влияния факторов на исследуемые параметры определялась по методу Н. А. Плохинского [8] путем деления частной факториальной суммы квадратов на общую. Факторы, достоверно

влияющие на характер временной динамики параметров рядов урожайности, представлены в таблице.

Средние значения урожайности сена обратно пропорционально зависят от доли злаковых и разнотравья в агроценозе и прямо пропорционально – от количества фосфора в почве. Стандартные отклонения рядов урожайности в основном зависят от колебания продуктивности трав и степени прогрева поверхности осенью. Незначительное влияние на них оказывают пространственные колебания содержания фосфора в почве и суммы осадков в сентябре. Коэффициенты вариации рядов урожайности в основном зависят от погодных условий сентября и видового состава травостоев. Мера хаотичности регистрограмм урожайности достоверно зависит только от колебаний гидролитической кислотности пахотных горизонтов, тогда как на вариабельность относительной энтропии рядов оказывают влияние содержание фосфора в почве и доля бобовых в травостое. Многолетние колебания фрактальной размерности рядов урожайности в основном определяются погодными условиями осенью и в предукосный период.

Таблица. **Результаты мультирегрессионного анализа**

Факторы ландшафтной среды и агроклимата	Показатели регистрограмм					
	X	S_x	V(%)	отн E_a	E_a	D
Урожай сена	–	88,4	0	0	0	–5,4
Доля бобовых в травостое	0	0	–16,6	21,5	0	0
Доля злаковых в травостое	–28,7	0	–1,5	0	0	–1
Доля разнотравья в травостое	–12,1	0	0	0	0	–0,8
Hr пахотного горизонта	-1,1	0	0	0	30,8	0
Содержание фосфора в $A_{пах}$	35,1	2,3	0	29,7	0	0
Содержание калия в $A_{пах}$	0	0	0	0	0	8,2
Осадки в сентябре в год посева	0	–4,2	–19,6	0	0	–25,2
$\sum t > 10°$ в июне в год укоса	0	0	0	0	0	–25
$\sum t > 10°$ в сентябре в год посева	0	14,4	32,6	0	0	–31,2

Факторы, представленные в таблице, можно разделить на две группы: 1. факторы, зависящие от соотношения компонентов в травостое и агрохимического состава почв; 2. факторы, в основном зависящие от параметров агроклимата.

К первой группе относятся урожайность сена и меры хаотичности данных в пределах регистрограмм. Ко второй группе можно отнести показатели

вариабельности урожая в пределах агроландшафта и фрактальную размерность ряда.

Таким образом, расчет разнообразных параметров структуры пространственной вариабельности урожая в пределах агроландшафта позволяет полнее раскрыть природу адаптивных реакций растений на ландшафтные условия в различных агроклиматических обстановках, и, следовательно, он должен быть неотъемлемой частью анализа мониторинговой информации.

Список литературы

1. Берлянт А. М. Образ пространства: карта и информация. М., Мысль, 1986. 240 с.
2. География и мониторинг биоразнообразия. Колл. авторов. М.: Издательство Научного и учебно-методического центра, 2002. 432 с.
3. Иванов Д. А. Агрогеография (теоретические и прикладные аспекты). LAP LAMBERT ACADEMIC PUBLISHING, GmbH & Co. KG, Heinish-BocKing – Str. Saarbrücken, Deutschland. 2012. 311 с.
4. Иванов Д. А. Ландшафтно-адаптивные системы земледелия (агроэкологические аспекты). Тверь, Чудо, 2001. 304 с.
5. Иванов Д. А., Корнеева Е. М., Салихов Р. А., Петрова Л. И., Пугачева Л. В., Рублюк М. В. Создание ландшафтного полигона нового поколения // Земледелие. 1999. № 6. С. 15–16.
6. Иванов О. П., Оксогоев А. А. Синергетика и фракталы сложных систем. ТГУ, 2008. 280 с.
7. Ковалев Н. Г., Иванов Д. А., Тюлин В. А. Введение в агроландшафтоведение. Москва – Тверь, 2002. 212 с.
8. Плохинский Н. А. Биометрия. М., 1970. 268 с.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЛИСТВЕННИЦЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ СОИ

В. А. Кузнецова[1], В. С. Остронков[1], М. П. Михайлова[2]

[1]Акционерное общество «Аметис»;

[2]ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сои» (ВНИИ сои)

Применение при выращивании сои природных регуляторов роста из лиственницы «ЭкоЛарикс», «БиоЛарикс» и «ЭкстраКор» способствует защите растений от стрессовых факторов, формирует устойчивость к болезням, увеличивает высоту растений, количество и массу семян с одного растения, а также повышает урожайность культуры.

The use of natural growth regulators «EcoLarix», «BioLarix» and «ExtraCor» made of larch for soybean cultivation promotes plants protection against stress factors, increases resistance to diseases, the height of plants, the quantity and mass of seeds from one plant and the crop productivity.

Наряду с традиционными агромероприемами важным путем повышения урожайности бобовых культур является применение природных регуляторов роста нового поколения − элиситоров (иммуномодуляторов), которые проявляют эффективность при небольших дозировках. Они позволяют воздействовать на интенсивность и направленность физиологических процессов в растениях, повышать их урожайность, улучшать качество, условия уборки и хранения продукции (Шаповал и др., 2015).

Элиситоры представляют собой сигнальные соединения, в результате применения которых в растениях происходит активация собственных защитных механизмов, что позволяет им в полной мере реализовать генетически заложенный потенциал устойчивости. Наиболее эффективными и безопасными являются элиситоры, получаемые путем экстракции из лиственницы даурской.

Регулятор роста растений «ЭкоЛарикс», полученный путем экстракта из древесины комлевой части лиственницы даурской, представляет собой водорастворимый порошок, который предназначен для предпосевной обработки семян сои. Также возможна двукратная обработка растений в период вегетации (Кузнецова и др.). Под воздействием дигидрокверцетина − действующего вещества препарата «ЭкоЛарикс» − у растений сои возрастает активность пероксидаз и увеличивается содержание изофлавонов, что

активизирует антиоксидантную систему и способствует повышению устойчивости растения (Кузнецова и др.). Данный регулятор роста способствует увеличению содержания хлорофилла в растениях и, следовательно, и усилению фотосинтеза, что повышает продуктивность выращиваемой культуры и улучшает качество продукции (увеличивается количество белка и жира в семенах).

К числу инновационных природных препаратов относятся новейшие натуральные регуляторы роста растений «ЭкстраКор» и «БиоЛарикс», получаемые из лиственничной коры и смолы соответственно. Указанные высокоэффективные природные продукты предназначены для повышения урожайности сои и зерновых, они обладают выраженными фунгицидными и антидотными свойствами.

Цель исследований заключалась в том, чтобы изучить влияние на урожайность сои применения регуляторов роста нового поколения, получаемых из лиственницы даурской.

Условия, материалы и методы. Исследования проводились в 2016 г. Материалом для исследований послужили семена сои среднеспелого сорта МК-100 селекции ВНИИ сои. Обработка препаратами проводилась исходя из расчета 20 г/т семян. Проведение полевых опытов, установление сроков прохождения фенологических фаз, определение структуры урожая и математическая обработка полученных данных осуществлялись в соответствии с требованиями «Методики опытного дела» (Доспехов, 1979).

Результаты и обсуждение. Предпосевная обработка семян сои регуляторами роста нового поколения «ЭкоЛарикс», «БиоЛарикс» и «ЭкстраКор», получаемых из лиственницы даурской, усиливает метаболические процессы, что приводит к увеличению высоты растений, количества бобов с одного растения, количества семян в бобе, также массы 1000 семян, в результате чего повышается урожайность культуры (табл.).

Таблица. **Биометрические показатели сои после предпосевной обработки семян регуляторами роста, полученными из лиственницы даурской**

Вариант опыта	Высота раст., см	Кол-во бобов с одного растения, шт.	Количество семян в бобе, шт.	Масса 1000 семян, г	Урожайность, ц/га	Содержание	
						белка	жира
Контроль	72	16,6	1,84	192	24,2	36,3	19,6
«ЭкоЛарикс»	83	17,2	2,32	202	29,0	37,2	20,4
«ЭкстраКор»	81	17,0	2,34	204	29,4	37,0	20,6
«БиоЛарикс»	85	17,1	2,17	206	29,7	37,4	20,4

При обработке препаратом «ЭкоЛарикс», получаемым из древесины лиственницы, урожайность повышается на 19,8%, препаратом «ЭкстраКор» (из лиственничной коры) − на 21%, препаратом «БиоЛарикс» (из лиственничной смолы) − на 23%. Обработка данными препаратами также способствует улучшению качества продукции и увеличению количества белка и жира в семенах сои.

Список литературы

1. Кузнецова В. А., Остронков В. С., Михайлова М. П., Иваченко Л. Е. Влияние дигидрокверцетина на активность пероксидаз, количество изофлавонов, биометрические показатели и урожайность сои // Сборник материалов VIII конференции «Анапа-2014»: Перспективы использования новых форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур / Под ред. В. Г. Сычева. М., ВНИИА, 2014. С. 163–165.

2. Кузнецова В. А., Иваченко Л. Е., Михайлова М. П. Влияние арабиногалактана, дигидрокверцетина и их комплексов на активность пероксидаз семян сои // Естественные и технические науки. 2015. № 12(90). С. 24–27.

3. Шаповал О. А., Можарова И. П., Мухина М. Т. Влияние регуляторов роста растений нового поколения на рост и продуктивность растений сои // Плодородие. 2015. № 5(86). С. 32–34.

EXTRACTION OF DNA FOR PCR ANALYSIS OF PHYTOPATHOGENS FROM THE SOIL

V. Mitin, L. Tumanova, L. Pasha

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection,

Academy of Sciences of Moldova

Molecular analysis of soil microbial community depends largely on the choice of DNA extraction method. DNA extraction from the soil can be difficult due to the combined purification with humic acids, which share common properties, bind to DNA, are located in the same fractions during extraction, and thus they are purified with DNA. Since the humic acids inhibit PCR and restriction enzyme function, DNA samples purification off them is necessary. There are a lot of different methods of DNA extraction from the soil which include additional purification off the humic acid contaminants resulting in PCR-quality. These methods are described in the literature, but they are unlikely to be accepted as standard protocol.

The present protocol of DNA extraction from the soil is based on the methods of DNA extraction described in ISO 21571:2005 (Foodstuffs — Methods of analysis for the detection of genetically modified organisms and derived products — Nucleic acid extraction). It can be assumed that the proposed method of DNA extraction can be used as a standard protocol. DNA purification off the humic acid contaminants is based on the data that the DNA-humic acid complexes can be broken down at high salt concentrations.

Ammonium acetate at a concentration of 2.5 mol/dm^3, CTAB (Cetyl trimethylammonium bromide) solution containing NaCl at a concentration of 1.4 mol/dm^3 and NaCl solution at a concentration of 1.2 mol/dm^3 were used for DNA dissolution and following DNA precipitation.

Applying this method of DNA extraction, soil DNA samples were obtained and successfully used for PCR detection of Fusarium spp. и Alternaria spp. without any additional purification steps.

УДК 633.412

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ОВОЩЕВОДСТВА В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. Г. Пермяков, А. А. Комаров

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

E-mail: zelenydar@mail.ru

В статье представлены материалы по культивированию овощных культур в Ленинградской области на основании статистической отчетности о работе ассоциации «ЛЕНПЛОДООВОЩ». Показана динамика урожайности овощных культур как в целом по области, так и по отдельным хозяйствам. Выделены периоды (этапы) хозяйственной деятельности предприятий в зависимости от ее интенсивности. Намечены пути оптимизации культивирования свёклы столовой в условиях Ленинградской области.

STAGES OF THE VEGETABLE GROWING DEVELOPMENT IN THE LENINGRAD REGION

E. G. Permyakov, A. A. Komarov

Agrophysical Research Institute

14, Grazhdanskiy pr., Saint-Petersburg, Russia, 195220

E-mail: zelenydar@mail.ru

The article presents materials on the cultivation of vegetable crops in the Leningrad Region based on statistical reporting on the work of the «LENPLODOVOSCH" association. The dynamics of vegetable crops productivity is shown both on the whole region and on individual farms. The periods of economic activity of enterprises are singled out depending on its intensity. Ways of optimization of the table beet cultivation in the conditions of the Leningrad region are outlined.

Ассоциация «Ленплодоовощ» была создана в 1993 г. (реформирована в 2003 г.) с целью сохранения овощеводческой отрасли в Ленинградской области в период упадка сельскохозяйственного производства в СССР. В настоящее время в ассоциацию входят 35 коллективов, в том числе 20 сельскохозяйственных предприятий (три из них – фермерские хозяйства), а также организации, способствующие развитию сельхозпроизводства. Среди них можно выделить головное научное учреждение – Агрофизический институт, а также ООО «Урожай», ЗАО ССПП «Сортсемовощ», ОАО «Леноблагропромхимия», ООО «Петербургские Биотехнологии» и др. (Пашинский, Ковальчук, 2015; Ковальчук, 2009).

Цель настоящей работы заключалась в выделении этапов развития овощеводства в Ленинградской области.

Объектами и методами послужили материалы статистической отчетности о работе ассоциации «Ленплодоовощ» за период более двадцати лет (с 1993 по 2014 гг.), а также собственные полевые и камеральные исследования.

В результате исследований было установлено, что за период работы ассоциации не только была сохранена овощеводческая отрасль в области, но также валовое производство овощной продукции предприятий-членов ассоциации увеличилось в три раза, что составляет более 149 тыс. тонн. Основные результаты заключались в повышении как урожайности (в четыре раза), так и качества произведенной продукции, причем в настоящее время средняя урожайность овощеводческой продукции, произведенной в условиях «критического земледелия» Северо-Западного Региона РФ, составляет более 50 т/га (рис.).

Объём производства овощеводческой продукции членов ассоциации в областном масштабе составляет около 90%. При производстве свёклы столовой средняя урожайность составляет более 40 т/га.

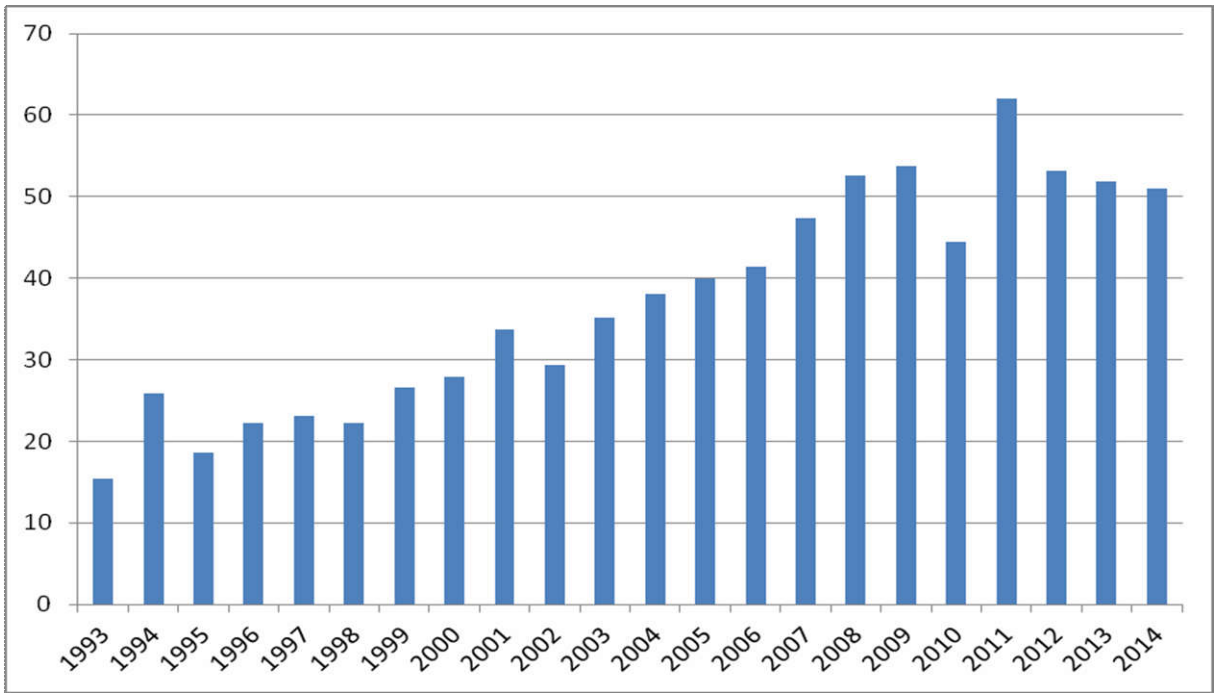


Рис. Динамика урожайности овощных культур за период 1993–2014 гг. в среднем по хозяйствам ассоциации «ЛЕНПЛОДООВОЩ» (Ленинградская область)

Оценивая динамику урожайности овощных культур как в целом по области, так и по отдельным хозяйствам, можно выделить несколько периодов (рядов лет) с различной интенсивностью прироста урожайности возделываемых культур. Так, в хозяйствах, имеющих высокий агропроизводственный потенциал, первый период прироста урожайности пришелся на 1993–2001 гг. Произошедший прирост явился результатом перестройки производства, заключавшейся во внедрении новой техники и использовании высокоурожайных сортов и гибридов, качественного посадочного материала, современных технологий и средств химизации. За указанный период были восстановлены травопольные системы земледелия при освоении севооборотов. Хозяйства сосредоточили свое производство на высокопродуктивных пахотных почвах, потенциал урожайности которых формировался благодаря предыдущим усилиям земледельцев. Средний прирост урожайности за 9 лет данного периода составил чуть более 2 т/га овощеводческой продукции на каждый агропроизводственный год.

Следующий этап, с 2002 по 2009 гг., характеризуется более существенной интенсификацией производства. Прирост урожайности на каждый агропроизводственный год составил около 3 т/га, что на 50% выше по сравнению с предыдущим этапом. Это стало результатом повышения уровня модернизации производства, внедрения инновационных разработок, развертывания систем высокоинтенсивных ресурсосберегающих технологий, в том числе систем точного земледелия. Упор в хозяйственной деятельности был сделан на биологизацию земледелия и сокращение использования минеральных удобрений и других средств химизации. Несмотря на сокращение объемов применения средств химизации почти в 3,5 раза, средняя урожайность не только не понизилась, но, наоборот, возросла. За последние семь лет средняя урожайность овощных культур составила более 52 т/га, валовое производство – 122 тыс. тонн на площади более 2300 га.

Этап с 2010 г. по настоящее время характеризуется снижением производственных показателей как в целом по региону, так и по отдельным

хозяйствам. Это объясняется не столько ухудшением метеорологических условий вегетационных периодов в последние годы, сколько экономическими проблемами (Ковальчук, 2009; Пашинский, Ковальчук, 2015).

Тем не менее, несмотря на трудности, ассоциация «ЛЕНПЛОДООВОЩ» на протяжении последних 11-ти лет сохраняет лидирующие позиции по урожайности овощных культур среди всех регионов России. На основании работы ассоциации разработана Ленинградская модель (Ковальчук, 2009) и Кластер «Ленплодоовощ» (Пашинский, Ковальчук, 2015).

Список литературы

1. Ковальчук Ю. К. Ленинградская модель: 10 лет спустя // Материалы III Всероссийского конгресса экономистов-аграрников. М., 2009. С. 163–166.

2. Пашинский В. Н., Ковальчук Ю. К. Кластер «Ленплодоовощ»: работа на импортозамещение // Картофель и овощи. 2015. № 1. С. 4–8.

ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА ПОЧВЕННУЮ МИКРОФЛОРУ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ

Г. Ю. Рабинович, Н. В. Фомичева

ФГБНУ ВНИИМЗ, г. Тверь

Предложен новый вид органического удобрения – БО, являющийся побочным продуктом процесса получения жидкофазных биосредств для растениеводства и земледелия. Локальное внесение БО в количестве 2–4 т/га при посадке картофеля обеспечило прибавку урожая ~8 т/га, увеличение численности почвенной микрофлоры, а также снижение интенсивности минерализационных процессов в почве, способствующее сохранению плодородия.

IMPACT OF NEW ORGANIC FERTILIZERS ON SOIL MICROFLORA AND POTATO PRODUCTIVITY

G. Yu. Rabinovich, N. V. Fomicheva

FGBNU VNIIMZ, Tver

The article presents a new type of organic fertilizer – biogenic base, which is a by-product of obtaining of liquid-phase biological means for plant growing and farming. Local application of biogenic base in the amount of 2–4 t/ha at potato planting ensured an increase in yield of ~8 t/ha, an increase in the number of soil microflora, and a decrease in the intensity of mineralization processes in the soil that contribute to the preservation of fertility.

Органические удобрения играют ведущую роль в круговороте и балансе элементов минерального питания и органического вещества в земледелии (Еськов, 2002). Помимо того, что органические удобрения содержат питательные вещества, они также являются энергетическим материалом и источником пищи для почвенных микроорганизмов. При этом такие удобрения, как навоз, помет или торфонавозный компост, сами весьма богаты микрофлорой, попадающей в почву вместе с удобрением.

Во Всероссийском НИИ мелиорированных земель разработана технология получения жидкофазных биосредств для растениеводства и земледелия (Рабинович, 2007). В основе технологии лежат ферментационно-экстракционные процессы преобразования органического сырья (навоза КРС, низинного или переходного торфа) с включением стимуляторов различной природы. Главная особенность технологической линии заключается в установлении заданных физико-химических параметров, позволяющих эффективно задействовать исходный потенциал микрофлоры, за счет жизнедеятельности которой формируется качественная продукция.

В процессе получения жидкофазных биосредств после разделения экстрагируемой массы образуется осадок, представляющий собою влажную (W = 60–70%) уплотненную однородную массу. Анализ состава данного осадка выявил содержание в нем основных элементов питания растений: общего азота (1,15–1,80%), общего углерода (27–40%), фосфора (P_2O_5) (1,4–2,2%), калия (K_2O) (1,0–2,3%) и агрономически полезной микрофлоры – аммонифицирующих микроорганизмов, микроорганизмов, мобилизующих органофосфаты ($n\times10^8$…$n\times10^9$ КОЕ/г), амилолитических микроорганизмов ($n\times10^8$ КОЕ/г) и др. Помимо этого в составе получаемого осадка содержатся физиологически активные вещества (аминокислоты, витамины, сахара и др.). Результаты анализа позволяют сделать вывод об определенной ценности осадка, названного биогенной основой (БО), и рассмотреть перспективы его дальнейшего использования.

Для изучения эффективности применения БО в качестве нового органического удобрения был проведен мелкоделяночный опыт, в котором она вносилась локально при посадке картофеля сорта «Жуковский» в количестве 2, 4, 6, и 8 т/га. Опыт проводился в трехкратной повторности на учетных делянках площадью 10 $м^2$, расположенных в рендомизированной последовательности с выделением защитных полос. Одним контролем служили учетные площадки без внесения удобрений, другим – учетные площадки с локальным внесением компоста многоцелевого назначения (КМН) в количестве 4 т/га (согласно рекомендациям по его применению).

КМН – известная разработка ВНИИМЗ, удостоенная Государственной премии за 2001 г.. Он представляет собой экологически чистое высокоэффективное органическое удобрение, полученное посредством биоконверсии органического сырья (основные сырьевые ресурсы – навоз КРС, куриный помет и торф). Предусмотренное в опыте локальное применение КМН и БО при посадке картофеля было направлено на повышение концентрации лимитирующих урожай элементов питания, микроорганизмов и физиологически активных веществ в прикорневой зоне растений, что в

результате было способно обеспечить увеличение коэффициента использования и высокую эффективность вносимых органических удобрений.

Учет урожайности картофеля показал достоверную прибавку урожая относительно контрольного варианта без удобрений практически во всех вариантах с применением органических удобрений, при этом максимальный и близкий к максимальному урожай был получен при внесении БО в количестве 2 и 4 т/га (табл.). Несмотря на то, что урожай в данных вариантах был выше урожая, полученного при использовании КМН, прибавка не была достоверной.

Таблица. **Влияние биогенной основы на урожайность картофеля**

Вариант опыта	Урожайность, т/га*	
	общая	± к контролю (б/у)
Контроль (б/у)	28,2	–
Контроль – КМН (4 т/га)	34,8	+ 6,6
БО 2 т/га	36,5	+ 8,3
БО 4 т/га	36,1	+ 7,9
БО 6 т/га	34,0	+ 5,8
БО 8 т/га	29,5	+ 1,3
$НСР_{0,5}$	3,21	

Примечание: * – урожайность указана в пересчете с мелкоделяночного опыта.

Влияние органических удобрений оценивалось по микробиологическому состоянию почвы, а микробиологический анализ почвенных образцов проводился трижды за сезон вегетации картофеля – в фазы всходов, клубнеобразования и отмирания ботвы. В качестве тестируемых групп выступали микроорганизмы, использующие органический азот (на мясопептонном агаре – МПА), микроорганизмы, утилизирующие минеральные формы азота (на крахмало-аммиачном агаре – КАА) и микроорганизмы, мобилизующие фосфорорганические соединения (на питательной среде Менкиной).

В результате анализа первого отбора почвенных проб был установлен эффект от применения удобрений – суммарная численность тестируемых групп микроорганизмов в вариантах с применением КМН и БО была выше, чем в контрольном варианте без удобрений (рис. 1).

Следует отметить, что применение БО в качестве основного органического удобрения под картофелем способствовало максимальному

увеличению численности почвенной микрофлоры на стадии клубнеобразования (в ключевой момент формирования урожая), а применение КМН – в конце опыта, оказывая более значительное влияние на почвенное плодородие. Методом корреляционного анализа было установлено, что данные по урожайности картофеля находятся в линейной зависимости от численности почвенной микрофлоры в фазу клубнеобразования, что описывается уравнением $y = 1{,}15343 \cdot x + 24{,}0136$ с коэффициентом корреляции $r = 0{,}72$, который свидетельствует об умеренно сильной взаимосвязи между указанными переменными.

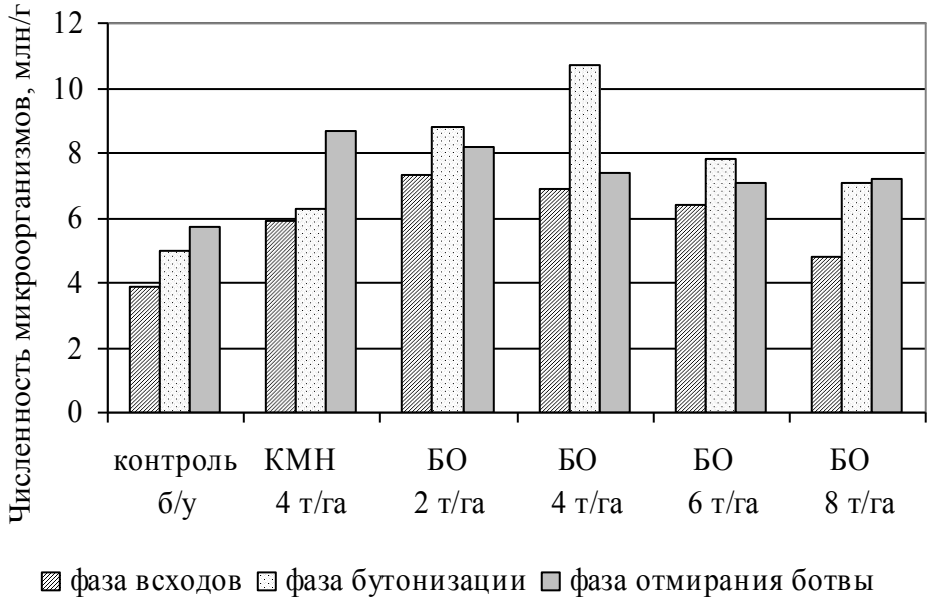


Рис. 1. Суммарная численность тестируемых микроорганизмов после локального внесения БО при посадке картофеля

Об интенсивности процессов минерализации в почве под картофелем можно судить по коэффициенту минерализации (КАА/МПА). Активизация процессов минерализации органического вещества установлена на контрольном варианте б/у. Применение органических удобрений значительно снижает интенсивность минерализационных процессов (поскольку в почву вносится достаточное количество элементов питания), что благоприятно сказывается на накоплении органического вещества в почве и в конечном итоге способствует сохранению почвенного плодородия (рис. 2).

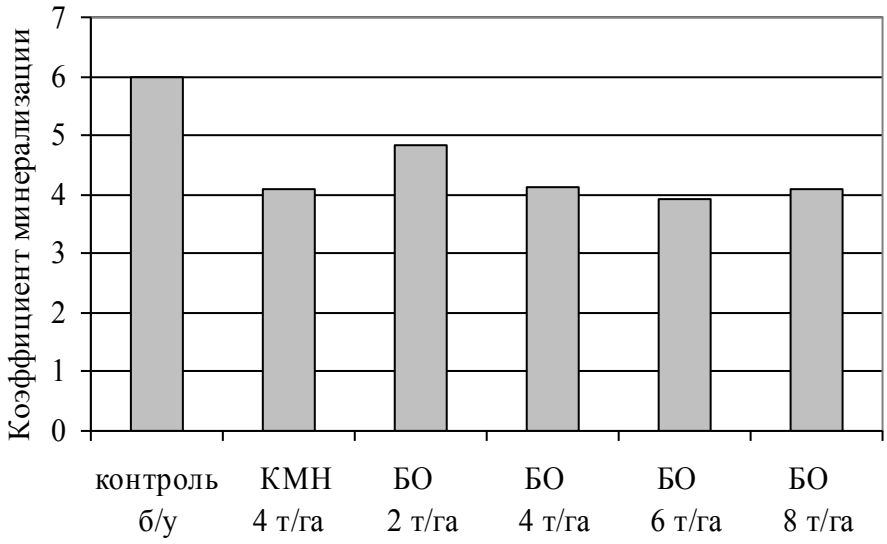


Рис. 2. Коэффициенты минерализации почвы после локального внесения БО при посадке картофеля

Таким образом, использование БО в качестве нового органического удобрения, вносимого локально при посадке картофеля в количестве 2–4 т/га, позволило получить достоверную максимальную прибавку урожая (28,0–29,4% по данным мелкоделяночного опыта), значительно увеличить численность почвенной микрофлоры в начале вегетационного периода и в ключевую фазу клубнеобразования, а также существенно снизить интенсивность минерализационных процессов, что способствует сохранению почвенного плодородия.

Список литературы

1. Еськов А. И., Рябков В. В. Перспективные технологии использования органических удобрений // Использование органических удобрений и биоресурсов в современном земледелии. Матер. Междун. научно-практ. конф., посвященной 20-летию ВНИПТИОУ. М.: РАСХН – ВНИПТИОУ, 2002. С. 62–74.

2. Рабинович Г. Ю., Ковалев Н. Г., Фомичева Н. В. Новый вид биологически активных средств: получение, состав, перспективы использования // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2007. № 3. С. 71–73.

КОНТРОЛЬ СПОРЫНЬИ ПРИ ПОМОЩИ ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Т. К. Шешегова[1], Л. М. Щеклеина[2]

[1]ФГБНУ «СВРАНЦ»;

[2]ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока»,

610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, д.166-а

E-mail: utkina.e.i@mail.ru

С целью поиска новых действующих веществ для защиты от склероциальной стадии гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. и вторичной инфекции – конидий *Shacelia segetum* – в НИИСХ Северо-Востока в период с 2012 по 2016 гг. в полевых и лабораторных экспериментах было протестировано 7 химических и 9 биологических препаратов и потенциальных биоагентов.

Установлена высокая биологическая эффективность (82–90%) новых фунгицидов Турион, КС, Витацит, КС, Бункер и ВСК, которые достоверно (при $P \geq 095$) подавляли жизнеспособность склероций. При этом количество стром на проросших склероциях не превышало 3,5 штук (на контроле – до 38 штук). К числу перспективных агентов биологического контроля спорыньи можно отнести отдельные штаммы мицелиальной бактерии рода *Streptomyces*. Жизнеспособность склероций, инокулированных штаммом Т-2-20 *Streptomyces,* снижалась на 50%. Выраженным антагонистическим свойством отличается биопрепарат Алирин Б, который достоверно (при $P \geq 095$) снижал прорастание и инфекционный потенциал обработанных склероций, т.к. на них формировалось не более 2 стром с плодовыми телами. У эталонного препарата Винцит, допущенного для защиты от спорыньи, эффективность составила 36%.

Для защиты от конидиальной стадии патогена наиболее эффективным можно считать штамм А-4 *Streptomyces hygroscopicus,* характеризующийся существенной антагонистической активностью (в культуре *in vitro*) по отношению к *S. segetum*.

Полученные результаты могут быть использованы при выборе эффективных фунгицидов для защиты от спорыньи и представляют интерес для биотехнологии новых конкурентоспособных биопрепаратов.

Введение. В условиях запущенности многих сельскохозяйственных территорий и земель Российской Федерации значительно ухудшилась фитосанитарная ситуация по многим биотическим стрессорам, в т. ч. по спорынье злаков. В Кировской области спорыньей ежегодно поражается более половины посевов озимых зерновых культур. Вполне очевидно, что успешная борьба с данной болезнью во многом определяется общей культурой земледелия и семеноводства, а также использованием фунгицидов. В «Списке пестицидов …» (2016) зарегистрировано всего семь фунгицидов, однако биологическая эффективность некоторых из них является невысокой (Шешегова, Щеклеина, 2016).

Известно, что у возбудителя спорыньи – гриба из класса Аскомицеты *Claviceps purpurea* Tul. – имеется два типа спор. Первичное заражение осуществляется аскоспорами, которые образуются в результате полового процесса, вторичное – бесполыми конидиями. Данная стадия гриба имеет самостоятельное название – *Sphacelia segetum*. Распространение спорыньи значительно увеличивается за счёт вторичной инфекции, максимальное развитие которой наблюдается к началу формирования зерна. Мероприятий по борьбе с инфекцией данного типа практически не существует. Можно лишь регулировать норму высева, т. к. в загущенных посевах вследствие контакта здоровых и поражённых колосьев распространение спорыньи увеличивается, а также ограничивать (при помощи инсектицидов) количество насекомых, питающихся «медвяной росой» и являющихся переносчиками конидий. В связи с этим необходима обработка посевов в период вегетации препаратами щадящего действия (растительного или микробиологического происхождения), которые не должны повреждать открытые цветки и завязи.

С целью поиска новых эффективных действующих веществ для защиты от склероциальной и конидиальной (*Sphacelia segetum*) стадии гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. в НИИСХ Северо-Востока в полевых и лабораторных экспериментах были протестированы химические и биологические препараты и биоагенты.

Условия, материалы и методы. Работа выполнена на экспериментальной базе НИИСХ Северо-Востока в 2012–2016 гг. Материалами исследований послужили химические фунгициды Винцит, КС, Витацит, КС (д. в. тиабендазол + флутриафол), Турион, КЭ (имазалил + прохлораз + ритиконазол), Алькасар, КС (дифеконазол + ципроконазол), Виал Траст, ВСК (тиабендазол + тебуконазол), Бункер, ВСК, Редут, КС (тебуконазол), биопрепараты Альбит, ТПС (соли калия, магния и азота), Алирин, ТАБ (*Bacillus subtilis,* шт. 10), Гамаир, ТАБ (*Bacillus subtilis*, шт. М. 22), Планриз, Ж (*Pseudomonas fluocescens*, шт. АР 33), Глиокладин, ТАБ (*Trichoderma harzianum*, шт. 18) и штаммы *Flavobacterium fulvii* (шт. Л-30), *Streptomyces hygroscopicum (*шт. А-4), *Streptomyces wedmorensis* (шт. 38.11), *Streptomyces spp.*

(шт. Т-2-20). Штаммы рода *Streptomyces* были предоставлены лабораторией биотехнологии растений и микроорганизмов ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока» с целью их биоконтроля по отношению к разным инфекционным структурами спорыньи.

Данными препаратами обрабатывались склероции, также они использовались в исследованиях *in vitro* с культурой *Sphacelia segetum*. Склероции текущего года в октябре закладывались в почву опытного участка на глубину 2–4 см. В начале июня следующего года они извлекались, после чего анализировалась их жизнеспособность по прорастанию и количеству образовавшихся стром с плодовыми телами. Каждым препаратом обрабатывалось по 10 склероций в двух повторностях. В исследованиях *in vitro* в чашках Петри повторность была четырехкратная. К 4-х дневной культуре *Sphacelia segetum* подсевались изучаемые штаммы микроорганизмов. На 7-й день оценивались стерильная зона вокруг культуры *Sp. segetum* и зона нарастания культуры на внесенный штамм, свидетельствующие об уровне антагонизма в 2-х компонентных микробных сообществах.

Результаты и обсуждение. Установлена высокая биологическая эффективность (82–90%) новых фунгицидов Турион, КС, Витацит, КС, Бункер и ВСК, которые существенно (при $P \geq 095$) подавляли жизнеспособность склероций (табл. 1). При этом среднее количество стром на проросших склероциях не превышало 3,5 шт. (на контроле – до 18 шт. при диапазоне признака от 3 до 38). У эталонного препарата Винцит, допущенного для защиты от спорыньи, эффективность в среднем за несколько экспериментов составила 36%.

В подавлении развития почвенных фитопатогенов существенную роль играют различные микроорганизмы, среди которых повсеместно распространенные роды *Trichoderma, Mucor, Penicillium, Aspergillus, Fusarium, Helminthosporium* и др.

Таблица 1. **Биологическая эффективность новых фунгицидов и биоагентов для защиты от спорыньи (2012–2014 гг. и 2016 г.)**

Препарат	Анализ склероций		Биологическая эффективность препарата, %
	количество стром на одной склероции, шт.		
	диапазон признака	в среднем	
Контроль – без обработки	3–38	18,0	–
Винцит	0–22	16,0	36
Бункер*	0–6	3,5	90
Витацит	0–5	2,0	85
Алькасар	0–13	7,0	54
Редут	0–14	8,0	43
Виал Траст	0–23	15,0	20
Турион	0–2	1,5	82
Алирин Б*	0–2	–	82
Гамаир*	0–5	–	12
Streptomyces spp. (шт. Т-2-20)*	0–6	–	50
Streptomyces wedmorensis (шт. 38.11)*	0–12	–	13

Примечание: * – данные за 2016 г.

Находящиеся в почве склероции спорыньи постоянно подвергаются воздействию токсических соединений представителей аборигенной микрофлоры, в результате чего происходит подавление их жизнеспособности или полная минерализация. К числу перспективных агентов биологического контроля спорыньи можно отнести отдельные штаммы мицелиальной бактерии рода *Streptomyces.* Достаточно высокую защиту от прорастающих склероций обеспечил новый штамм (Т-2-20) данной бактерии, который подавлял появление стром у 50% анализируемых склероций. При этом вид *S. wedmorensis* (шт. 38.11) не проявлял антагонизма по отношению к прорастающим стромам. Достоверное (при $P \geq 095$) снижение прорастания склероций выявлено также при воздействии биопрепарата Алирин Б (их жизнеспособность была на уровне 12%). Другой штамм бактерии *B. subtilis*, входящий в рецептуру биопрепарата Гамаир, наоборот, оказался малоэффективным.

В культуре *in vitro* исследования выявили заметный антагонизм в биосистеме «*Sp. segetum – S. hygroscopicum,* шт. А-4*»* и слабое ингибирование роста колоний *Sp. segetum* в присутствии штамма Л-30 *F. fulvii.* Остальные микроорганизмы, входящие в состав биопрепаратов, не ограничили рост и развитие чистой культуры *Sp. segetum.* (табл. 2).

Таблица 2. **Рост колоний Sphacelia segetum в микробных сообществах (2013 г.)**

Биоагент, биопрепарат	Площадь стерильной зоны, $см^2$	Длина зоны нарастания, см
Streptomyces hygroscopicum (шт. А-4)	4,6	0,5
Flavobacterium fulvii (шт. Л-30)	0,9	2,1
Гамаир	0	2,5
Алирин Б	0	2,2
Глиокладин	0	2,3
Планриз	0	2,3
Альбит	0	2,8

Заключение. Таким образом, несмотря на одно и то же действующее вещество химических фунгицидов (Винцит и Витацит, Редут и Бункер), их ингибирующее действие на прорастание склероций спорыньи существенно различается. Аналогичная ситуация складывается и при биоконтроле вторичной инфекции патогена: разные штаммы одного и того же вида (рода) бактерий (*Streptomyces, Bacillus)* проявляют различную антагонистическую активность по отношению к конидиям *Sp. segetum*. Поэтому при выборе фунгицида для защиты посевов от спорыньи следует ориентироваться, прежде всего, на торговую марку (название) препарата. Полученные результаты могут быть использованы при выборе эффективных фунгицидов и представляют интерес для биотехнологии новых конкурентоспособных биопрепаратов.

Список литературы

1. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ. М., 2016. 879 с.

2. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М. Экологические аспекты развития спорыньи (*Claviceps purpurea* Tul.) на посевах ржи // Агроэкологический вестник. Вып. 7. Воронеж, 2016. С. 83–90.

КОЛЛЕКЦИЯ РИЗОБИЙ ВОСТОЧНОАЗИАТСКОГО РЕГИОНА И ИХ НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА

М. В. Якименко, С. А. Бегун

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»

В результате многолетних исследований дальневосточных природных популяций ризобий в лаборатории биологических исследований Всероссийского научно-исследовательского института сои создана коллекция чистых культур данных микроорганизмов. Она представлена 289-ю наиболее ценными штаммами видов *Bradyrhizobium japonicum, Sinorhizobium fredii*, *Bradyrhizobium elkanii* с разнообразными свойствами.

NODULE BACTERIA COLLECTION OF THE EAST ASIAN REGION AND SOME THEIR PROPERTIES

M. V. Yakimenko, S. A. Begun

FSBSU All-Russian Scientific Research Institute of Soybean

As a result of long-term studies of the Far Eastern natural populations, a nodule bacteria collection has been created in the laboratory of biological research of the All-Russian Scientific Research Institute of Soybean. It is represented by 289 most valuable strains of the species *Bradyrhizobium japonicum, Sinorhizobium fredii, Bradyrhizobium elkanii* with various properties.

Особенностью Дальневосточного региона является широкое распространение диких форм сои, вступающих в симбиотические отношения с определенной группой ризобий. За счет указанных взаимоотношений соя может обеспечивать себя биологическим азотом до 80% от общей потребности. Достаточно высокая активность дальневосточных природных популяций клубеньковых бактерий сои позволила сотрудникам Всероссийского научно-исследовательского института сои начать поиск эффективных штаммов данных микроорганизмов (Якименко, Бегун, 2016).

Первый коллекционный штамм ризобий сои был выделен в чистую культуру в 1975 г. научным сотрудником лаборатории биологических исследований С. А. Бегуном из почв Серышевского района Амурской области и отнесен к медленнорастущему виду *Bradyrhizobium japonicum* (Jordan, 1982). В 1978 г. из почв Бурейского района Амурской области им же был выделен в чистую культуру первый коллекционный штамм ризобий сои, отнесенный к быстрорастущему виду *Sinorhizobium fredii* (Scholla, Elkan, 1984).

С указанного периода началось освоение методов аналитической селекции клубеньковых бактерий сои, относившихся тогда к виду *Rhizobium japonicum*. Осуществлялся подбор и усовершенствование питательных сред для выращивания данных микроорганизмов, а также разрабатывались различные методы оценки и идентификации штаммов ризобий, выделенных в чистую культуру.

В настоящее время коллекция чистых культур ризобий лаборатории биологических исследований Всероссийского научно-исследовательского института сои представлена 289-ю наиболее ценными штаммами видов *Bradyrhizobium japonicum, Sinorhizobium fredii*, выделенными из клубеньков сои, и ризобиями вида *Bradyrhizobium elkanii* (Kuykendall et al., 1993), выделенными из клубеньков других зернобобовых культур (табл. 1). Коллекция пересевается не реже двух раз в год в пробирки на агаризованную минерально-растительную среду с соевой мукой, проверяется на чистоту культуры и хранится в холодильнике при температуре +4°С.

Таблица 1. **Коллекция чистых культур клубеньковых бактерий сои и других зернобобовых культур Всероссийского НИИ сои (2016 г.)**

Регион выделения штаммов	Всего штаммов в коллекции	Ризобии сои		Ризобии других зернобобовых культур
		Bradyrhizobium. japonicum	*Sinorhizobium fredii*	
Амурская область	240	89	63	88
Хабаровский край	1	1	0	0
Приморский край	6	2	4	0
Еврейская АО	4	3	1	0
Магаданская обл.	19	0	0	19
Сахалинская обл.	1	0	0	1
Китай	18	15	3	0
Итого штаммов	289	110	71	108

Коллекционные штаммы обладают различными свойствами, в том числе высокой активностью и вирулентностью, устойчивостью к повышенным концентрациям молибдена, протравителям, гербицидам, повышенным температурам, щелоче-, кислото- и газообразующими, различной осмоустойчивостью, интенсивностью роста, окраской и консистенцией штриха, нодулируют не только сою, но и другие зернобобовые культуры, образуя эффективный симбиотический аппарат, стимулируют и оздоравливают семена различных с.-х. культур, повышают продуктивность зернобобовых культур и т. д. (Бегун, Якименко, 2013).

Отличительные признаки коллекционных штаммов ризобий сои видов *B. japonicum* и *S. fredii*, выделенных из почв российского Дальнего Востока, представлены в табл. 2.

Таблица 2. **Отличительные признаки коллекционных штаммов ризобий сои видов *B. japonicum* и *S. Fredii*.**

№ п/п	Признак	Вид ризобий сои	
		B. japonicum	*S. fredii*
1	Время появления колоний в чашках Петри, сутки	7–20	2–4
2	Изменение pH среды при выращивании	подщелачивание (до 90% штаммов)	подкисление (100%)
3	Усвоение углеродосодержащих соединений	манит, глюкоза	монозы, олигосахара, многоатомные спирты и др.
4	Осмоустойчивость	низкая	высокая
5	Рост на кислых и щелочных средах	прекращается или замедляется	не изменяется или замедляется
6	Рост при повышенных температурах (+37…+42ºС)	прекращается	может происходить
7	Вирулентность и интенсивность клубенькообразования у сои	высокая (до 100 %)	пониженная (10…100%)
8	Потеря способности образования клубеньков у сои (вирулентности)	не теряют	могут терять

99% коллекционных штаммов *B. japonicum* и *S. fredii* отличаются хорошим или обильным ростом штриха на агаризованной минерально-растительной питательной среде (МРС) с маннитом, 73% штаммов *S. Fredii* – обильным ростом на МРС с маннитом, тогда как доля штаммов *B. japonicum* с обильным ростом составляет всего 3% (табл. 3).

Таблица 3. **Культуральная характеристика коллекционных штаммов *B. japonicum* и *S. fredii* Всероссийского НИИ сои (2010 г.)**

Показатели	*B. japonicum*		*S. fredii*	
	кол-во	в % к общему кол-ву	кол-во	в % к общему кол-ву
А) Интенсивность роста штриха:	Семисуточная культура			
– скудный	0	0	0	0
– умеренный	2	1	1	1
– хороший	171	96	28	26
– обильный	6	3	79	73
Б) Окраска штриха	Шестимесячная культура			
– бесцветная	2	1	60	56
– слегка беловатая	0	0	27	25
– беловатая	142	80	12	11
– белая	0	0	7	6
– топленое молоко	31	17	1	1
– другая	4	2	1	1
В) Консистенция	Шестимесячная культура			
– водянистая	0	0	67	62
– пастообразная	177	99	28	26
– другие виды	2	1	13	12
Всего коллекционных штаммов	179	100	108	100

Оценка окраски и консистенции штриха проводилась у шестимесячных чистых культур ризобий сои после их хранения в холодильнике при температуре +4°С. Установлено, что 80% штаммов *B. japonicum* имеют беловатую окраску штриха, а 17% – окраску топленого молока. Отдельные штаммы (3%) данного вида имеют иную (слаборозовую, желтоватую, бесцветную) окраску штриха. Чистые культуры вида *S. fredii* отличаются более широким спектром окраски штриха. Так, 56% штаммов данного вида не имеет окраски штриха (бесцветная), 42% окрашены в различные тона белого цвета (от слегка беловатого до белого), единичные штаммы имеют цвет топленого молока (табл. 3).

По консистенции штаммы чистых культур *B. japonicum* и *S. fredii* также заметно различаются. Так, 99% штаммов вида *B. japonicum* имеет пастообразную консистенцию, а остальная часть штаммов – упругую студенистую. У 62% штаммов вида *S. fredii* консистенция чистой культуры водянистая, у 26% – пастообразная, у 12% – вязкая желеобразная.

На четыре коллекционных штамма (639а, 648а, АС-17, Бд-32) получены авторские свидетельства, на девять – патенты (СМ-42, БМ-85, КБ-11, ББ-49, ММ-117, ББ-55, ТБ-508, ТБ-467, ТБ-643).

Таким образом, в результате многолетних исследований дальневосточных природных популяций ризобий создана лабораторная коллекция данных микроорганизмов с разнообразными свойствами.

Список литературы

1. Якименко М. В., Бегун С. А. Основные направления исследований дальневосточных природных популяций ризобий // Вестник ДВО РАН. 2016. № 2. С. 45–49.

2. Бегун С. А., Якименко М. В. Коллекция чистых культур ризобий сои видов *Bradyrhizobium japonicum*, *Sinorhizobium fredii* (ГНУ ВНИИ сои) // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 2 (9). С. 36–37.

POSIBILITES OF BIONINSECTICIDES APPLICATION FOR RESTORATION AND CREATION OF STABLE NATURAL AND ANTROPINATED ECOSYSTEM TO CONTROL THE HYPHANTRIA CUNEA DRURY IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA

A. Stingaci, M. Chiuhrii, L. Voloshyuk, P. Zavtony

The Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection

Academy of Sciences of Republic Moldova

E-mail: aurelia.stingaci@gmail.com

The article discusses the most important results of biological control of *H. cunea* populations in different agricultural, ornamental and forest ecosystems. The results of the joint application of the biological preparation Virin ABB-3 are also presented in the article. The preparation is based on the nuclear polyhedrosesis and granuoses viruses with cumulative and synergetic action. Meanwhile, the experiment with viruses and successfully control of the species *H. cunea* persistently indicates that the insect viruses play an important role in restoring and constructing of stable natural and antropinated ecology system.

Biopesticides attract increased attention as new tools for the destruction and suppression of pest populations such as weeds, plant pathogens and insects. At the same time, they pose less risk to people and the environment than synthetic pesticides (Saxena, Pandey, 2001). Globally, the use of biopesticides has steadily increased by about 10% per year. Biopesticides are tipically obtained from living organisms, plant or microbial origin. This article focusses only on the latter.

More than 225 microbial biopesticides are manufactured in 30 countries of the Organization of Economic Development and Cooperation, (Kabaluk, Gazdik, 2014). The NAFTA countries (USA, Canada and Mexico) use about 45% of all biopesticides, the European Union – 20%, Oceanic countries – 20%, the South and Latin Americas – 10%, India and Asia – 5% (Bailey et al., 2010).

Mass production of baculoviruses at a price affordable for most potential consumers is an important problem. Production of commercial baculoviruses insecticides is still dependent on in vivo systems using specially reared or wild insects (Reid et al., 2014; Grzywacz et al., 2014b). In vivo systems the production of baculoviruses in live larvae is a usual production method for commercial companies and the public-sector programs (Moscardi, 1999; Marrone, 2007; Grzywacz et al.,

2014a). However, the relatively high cost of baculoviruses production in living insects compared to their chemical insecticide counterparts is a constraint because it is difficult to reduce farm prices below $20 per. The scaling-up of the baculoviruses production in vivo with its demands for disease-free insects is also relevant (Reid et al., 2014). Automation and mechanization of the inoculation, rearing and harvesting has facilitated mass production. As a result, baculoviruses have become a viable commercial option.

This article is focused on biopesticides, or biochemical modes of action. Specifically, it consideres examples of biopesticides – a baculoviral bioinsecticides – whose modes of action are at least partially known. The article discusses how baculovirus evolution, host range determination and pathogenesis contribute to their safety for non-target organisms. The studies emphasize the importance of understanding and effective use of baculoviruses.

Material and Methods

The researches have been conducted on the caterpillars of 2–3 ages of the *H. cunea*. The study used the Nuclear Polyhedrosis Virus, selected and identified in the laboratory of the insect viruses. The contamination of the laboratory insects was carried out through the dosed feeding, which contains respectively 10 polyhedrons for each caterpillar. The monitoring of the insect population and the estimation of the dead caterpillars has been conducted daily, beginning from the 3rd day of the contamination. The caterpillars *H. cunea* were kept under laboratory conditions at 27°C. During the process of identification and determination of biological activity of baculoviruses it was necessary to purificate them. At initial phases purification of VPN and VG does not differ substantially. Dead larvae have been soaked with a mixer, and the biological mass has been mixed with sterile filtered bidistilate through an apron screen. Purification of VPN has been carried out by several methods in the modifications of the institute, consisting of the following phases. Filtered viral suspension is centrifuged within 30 min at 1000 rpm in ȚLN-2 centrifuge. The obtained deposition is washed with water three times. The obtained suspension is centrifuged in the gradient of sucrose concentration (70-20%) at 3000 rpm within 10 min. Zones with concentration of 40-50% are put together and layered in the gradient of 50–60%. The fraction of SPVC is obtained after 15 min of centrifugation. For

determination of baculoviral suspensions concentration can be used different methods, especially electronic and optical microscopy (Ciuhri, Volosciuc, 1990). Titration is carried out with Goreaiev chamber or in the fixed and colored preparations. If the virus concentration and volume of viral suspension are known it is easy to determine lethal concentration (CL50). The mathematical treatment has been carried out on the 15th day after contamination. The statistical treatment has been carried out according to Dospehov (1985) and GAR (1963).

Results and Discussions

Two strategies of pest management with baculovirus pesticides are usually used:

• infested areas are sprayed with highly concentrated baculovirus to suppress the pest as quickly as possible;

• infested areas are sprayed with baculovirus of lower concentration that leads to creation of the virus for more than one generation.

At the present the number of registered pesticides based on baculovirus exceeds 50 formulations. Some of them are the same baculovirus preparations distributed in different countries under different trade names. Both NPVs and GVs are used as pesticides but the former group is larger (Fuxa, 2004).

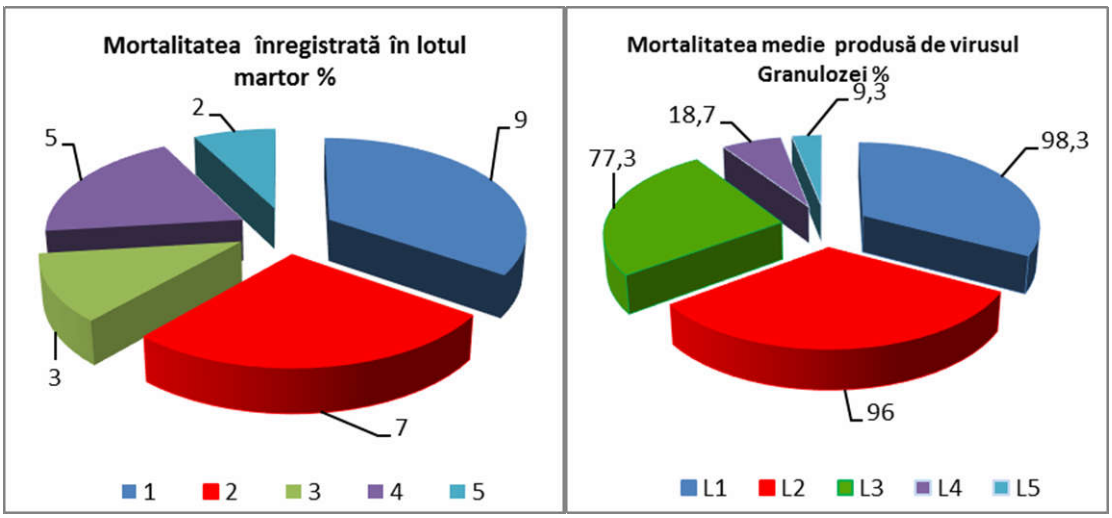


Fig. 1, 2. Susceptibility of *H. cunea* larvae of different ages to granulosis virus infection in the experience (a) and in the control (b)

The results shown in the Figure 1, 2 demonstrate that larvae are more susceptible to infection at an early age. This aspect, described by many authors, has a particular importance when the virus is used to limit the density of insect pest populations. If the larvae are infected at an early age, then the rates of their mortality are high (98.3% at the age 1 and 96% at the age 2). At the age 5 mortality is very low (9.3%) and close to the mortality rates of larvae which have not been treated with baculovirus.

Table. **Biological activity of the granulosis virus depending on the temperature in the larval growth chamber**

Temperature	Biological activity, %	Concentration, Pol./ml	TL_{30}, days	TL_{50}, days
23°C	73	1×10^7	7,8	8,7
26°C	87	$1{,}09 \times 10^7$	6	6,9
29°C	92	$1{,}24 \times I0^7$	5,7	6
33°C	68	$0{,}73 \times 10^7$	8,7	10

Results of the experiment are presented in Table. Production of SVC is not modified in the case when the larvae are kept at the temperature of 23°C, 26°C and 29°C, between 1 x $I0^7$ SVC/larva and 1,09 x $I0^7$ SVC/larva. TL_{50} decreases with increasing temperature (it was 8 days at the temperature of 23°C, 6,9 days – at 26°C, 6 days – 29°C). In the variant with the temperature of 33°C in the growth chamber TL_{50} was 12 days, and the percent of infected larvae (68%) and amount of SVC have considerably decreased in comparison with other variants. To prevent rupture of the larvae tissue, the infected larvae were placed in plastic bags and stored in the freezer till the processing. Insofar as 20-25% of SVC obtained from larva tissue remain in the medium used for filtration, that biological material should be recovered by re-suspension in distilled water, increased and filtered.

Conclusions

The insect virus pesticide is one of the methods to create and restore the stable ecosystem. Other methods that are suitable for control of target pest insects and do not lead to destruction of the environment can also be used.

As a result, it can be concluded that the described method of fighting and the doses of viral preparation are very important. Treatments with the preparation should be used only in the early stages of the larvae life. The proposed method is the preliminary result of the long-term experiments on the study of insects feeding. This method used the virus as the main mean to restore and create the stable ecosystem.

References

1. Bailey A., Chandler D., Grant W. P., Greaves J., Prince G., Tatchell M. Biopesticides: Pest Management and Regulation. CABI International, Wallingford. 2010. 232 p.

2. Ciuhrii M., Volosciuc L., Segeliscaia E. Activnosti baculovirosov, videlenih iz razni populiatii americanscoi beloi babocki / Edit. Ştiința. Chisinev. 1991. P. 97 [In Russian].

3. Glare T. R., Caradus J., Gelernter W., Jackson T., Keyhani N., Kohl J., Marrone P., Morin L., Stewart A. 2012. Have biopesticides come of age? Trends Biotechnol., 30. P. 250–258.

4. Grzywacz D., Moore D., Rabindra R. J. 2014a. Mass production of entomopathogens in less industrialized countries // Morales-Ramos J. A., Guadalupe Rojas M., Shapiro-Ilan D. I. (Eds.) Mass Production of Beneficial Organisms. Elsevier, Amsterdam. P. 519–553.

5. Kabaluk T., Gazdik K. Directory of Microbial Pesticides for Agricultural Crops in OECD Countries. Agriculture and Agri-Food. http://www4.agr.gc.ca/ resources/prod/doc/pmc/pdf/micro_e.pdf 2005, accessed November, 2014.

6. Reid S., Chan L., Van Oers M. Production of entomopathogenic viruses // Mass Production of Benef. Organ. Elsevier, Amsterdam. 2014. P. 437–482.

7. Saxena S., Pandey A. Microbial metabolites as eco-friendly agrochemicals for the next millennium // Appl. Microbial Biotechnol. 2001. Vol. 55. P. 395–403.

8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., Колос, 1979. 416 с.

9. Гар К. А. Методы испытания токсичности и эффективности инсектицидов. М., 1963. 283 с.

БАКУЛОВИРУСЫ КАК ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО БОРЬБЫ С ВРЕДНЫМИ НАСЕКОМЫМИ

П. С. Завтони, Л. Ф. Волощук, А. Н. Стынгач

Институт генетики, физиологии и защиты растений Академии наук Молдовы

Молдова, г. Кишинев, ул. Пэдурий, 20

E-mail: PantelimonZavtoni@rambler.ru

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния на томаты обработки бакуловирусным препаратом Вирин-HS-P, предназначенным для борьбы с хлопковой совкой. Анализ применения данного препарата с нормой расхода 0,15 кг/га для подавления численности хлопковой совки II поколения на томатах сорта «Рио-Гранд» установил его высокую биологическую эффективность (85,5%) в сравнении с химическим эталоном Actara, который имеет биологическую эффективность 93,8%.

BACULOVIRUSES AS AN EFFECTIVE TOOL OF INCEST CONTROL

The article presents the results obtained in the study of influence on the tomatoes of the treatment with the baculovirus preparation Virin-HS-P for the control of a cotton worm. Analysis of the application of this preparation at the rate of 0.15 kg / ha for suppressing the number of cotton worm second-generation on the tomatoes of the Rio Grand variety established that its biological efficiency is high (85.5%) in comparison with the chemical standard Actara, which biological efficiency is 93.8%.

Для Республики Молдова было характерно использование большого количества пестицидов в теплицах, садах и виноградниках (30–50 кг/га на 10–15 обработок) (Voloşciuc, 2009).

Биологические методы борьбы с сельскохозяйственными вредителями в последние годы приобрели особое значение в связи с накоплением в окружающей среде и с/х продукции химических веществ и острой необходимостью сокращения использования химических препаратов. В центральной зоне Республики Молдова пестициды использовались в больших количествах в 1975–1985 гг. (в среднем 21,0–49,5 кг д.в./га) в садоводстве, овощеводстве и виноградарстве (Стратулат, Сырку, Соколюк, Завтони, Опополь, 2004).

Использование бакуловирусных препаратов для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур дает возможность получать экологизированную продукцию без пестицидов и снижает риск отравления ею.

В связи с остро стоящими экологическими проблемами создание и использование для защиты растений энтомопатогенных вирусных препаратов приобретает весьма существенное значение.

Бакуловирусные препараты Virin-HS-2 и Virin-HS-P были разработаны в Институте генетики, физиологии и защиты растений Академии наук Молдовы и использовались на овощных культурах для борьбы с гусеницами хлопковой совки *Helicoverpaarmigera*. В 2013 г. на экспериментальном участке института был испытан бакуловирусный препарат Virin-HS-P. Анализ применения препарата для борьбы с личинками Helicoverpaarmigera II поколения на томатах сорта Djina установил его высокую биологическую эффективность (88,5%) в сравнении с химическим эталоном Актара 25 WG, который имел биологическую эффективность 97,1%.

Биологическая эффективность бакуловирусного инсектицида Virin-HS-P, применяемого на томатах в дозе 0,1 кг/га, составила 81,9% (эффективность химического эталона Actara 25 WG – 91,2%). В варианте с нормой расхода 0,15 кг/га эффективность препарата составила 85,5% (Actara 25 WG – 93,8%) (табл. 1).

Таблица 1. **Биологическая эффективность бакуловирусного инсектицида Virin-HS-P (2011–2013 гг.) для защиты томатов**

№	Год испытания	Варианты	Норма расхода, кг/га	Биологическая эффективность, %
1	2011	Virin – HS-P	0,1	88,5
		Хим.эталон Actara25WG	0,06	97,1
2	2012	Virin – HS-P	0,1	78,1
		Хим.эталон Actara25WG	0,06	82,7
3	2013	Virin -HS-P	0,1	79,2
		Хим.эталон Actara25WG	0,06	93,8
44	2013	Virin-HS-P	0,15	85,5
		Хим. эталон Actara25WG	0,06	93,8
5	Среднее (2011–2013)	Virin -HS-P	0,1	81,9
		Хим. эталон Actara25WG	0,06	91,2
6		Контроль	–	–

Другой бакуловирусный препарат Noctuavirid имеет несколько штаммов против различных видов совок. Бактериальные препараты, в отличие от химических, действуют избирательно, подавляя только один или несколько близкородственных видов вредителей и не подавляя при этом полезную энтомофауну.

Анализ применения бакуловирусного инсектицида Noctuavirid для защиты гороха сорта Frila от комплекса вредителей показал, что биологическая эффективность препарата составляет 76–88% (эффективность химического эталона Actara25WG – 83–95%) (табл. 2).

Таблица 2. **Биологическая эффективность бакуловирусного инсектицида Noctuavirid для защиты гороха сорта Frila от комплекса вредителей**

№ п/п	Препарат	Площадь, га	Норма расхода, кг/га	Гусениц до обработки, ($м^2$)	Гусениц после обработки, ($м^2$)	Биологическая эффек-сть, %
1.	Actara	1,0	0,06	*H.armigera* – 2,2 *M.brassicae* – *A.segetum* – 4,7 *A.gamma* – 7,9	0,2 – 0,8 0,4	90,9 – 82,9 94,9
2.	Noctuavirid	3,0	0,1	*H.armigera* – 2,5 *M.brassicae* – *A.segetum* – 4,6 *A.gamma* – 6,2	0,3 – 1,1 0,8	88,0 - 76,0 87,0
3.	Martor	1,0	–	*H.armigera* – 2,0 *M.brassicae* – *A.segetum* – 4,1 *A.gamma* – 5,6	2,7 – 6,2 9,4	– – – –

Проблема получения экологически чистого гороха в Молдове связана с разработкой мер по борьбе с основными вредителями при помощи биологических средств защиты растений – феромонных ловушек для совок, комплекса энтомофаг для борьбы с зерновкой, вирусных препаратов для борьбы с совками и др.

Анализ применения на горохе препарата Noctuavirid против комплекса совок (H. Armigera, M. Brassicae, A. Segetum, A. Gamma) установил, что данный биопрепарат по эффективности не уступает химическому эталону Actara (биологическая эффективность Noctuavirid в дозе 0,1 кг/га составила 76–88%, Actara в дозе 0,06 кг/га – 83–95%).

В настоящее время существует потребность в разработке новых форм бакуловирусных препаратов и способов горизонтальной передачи вирусных частиц, которые отвечали бы всем необходимым требованиям. В Институте генетики, физиологии и защиты растений Академии наук Молдовы были изобретены световые ловушки с феромоном избирательного действия для стерилизации и передачи вирусных частиц на расстояние, а также для подавления численности вредных насекомых на разных культурах (получен патент № 831 от 03.12.2014 г.).

Список литературы

1. Lucian Stoian. Gidpracticpentruculturabiologică a legumelor. Edituratipoactiv. Bacău. 2010. 390 p.

2. Voloşciuc L. Biotehnologia producerii şi aplicării preparatelor baculovirale în agricultura ecologică. Chişinău. 2009. 234 p.

3. Стратулат Т. Г., Сырку Р. Ф., Соколюк П. Т., Завтони М. Н., Опополь Н. И. Особенности комбинированного действия медного купороса Ридомил-Голд и алкоголя на организм лабораторных животных в эксперименте. Киев, 2004. 264 с.

STUDYING OF THE SOIL CONDITION IN SHORT ROTATION COPPICE WITH TREATED AMMONIUM NITRATE FERTILIZER AND SEWAGE SLUDGE COMPOST

B. Bakti[1], B. Simon[2], C. Gyuricza[3]

[1] *Forest Research Insitute, Department of Plantation Forestry, Püspökladány;*

[2]*Szent István University, Department of Soil Science and Agricultural Chemistry, Gödöllő;*

[3]*Szent István University, Institute of Plant Production, Gödöllő*

E-mail: baktib@erti.hu

Due to the continuously increasing utilization of renewable energy sources, the need for biomass as an energy source is to increase in Hungary in the near future. It is important that besides firewood production raw material for energetic purposes should be produced on agricultural lands with lower fertility through the use of woody biomass plantations. In the Crop Production and Biomass Utilization Demonstration Centre in Gödöllő an experiment was set up with woody energy crops on brown forest soil in 2007. The experiment was set up to study five willow varieties and four poplars, at three various nutrient levels (control, fertilizer, sewage sludge compost). Our objectives were to find out which nutrient treatment and which variety will produce the greatest biomass, and how will the soil properties change in a two-year harvesting schedule. The soil quality was determined by the following soil parameters: physical, chemical and biological. It was proved that in the compost-treated plots the soil moisture content was higher, which helps the plants' survival in dry periods. Furthermore, it retains or improves the favorable physical and biological condition of soil.

Introduction

Recently, there have been significant changes in the structure of cultivation, the rate of areas taken away from forest and agricultural areas increased, which can be considered a beneficial tendency in terms of biomass utilization (Szabó and Barótfi, 2009). There are approximately several hundred thousand of hectares of arable land on which the profitability cannot be guaranteed by traditional crops (Gyuricza et al., 2011). The cultivation of herbaceous and woody energy crops for heat and power especially the traditional food and feed crops for unfavorable growing areas come into play (Tamás, 1997). Installing short-rotation plantations on areas that are exposed to soil erosion performs good soil protection function, since the soils are covered all year long.

Liebhard (2009) found that their beneficial effects were observed in medium term for the important soil physical parameters. Soil provides living habitat for

several organisms. Among soil biota (edaphon), earthworms are one of the most important ones because their roles in soil ecosystem in the temperate zone is proved and essential, and they are important indicators of the biological status of soils (Satchell, 1983).

Materials and Methods

The experiment was set in the Crop Production and Biomass Utilization Demonstration Centre of Szent István University in Gödöllő in 2007. The soil of the experimental area is Luvic Chernozem (WRB, 2014). The area is subjected to erosion; soil texture is sandy loam, which is sensitive to soil compaction. The clay content of the topsoil (0–35 cm) is 26%, its water infiltration capacity is high. The organic matter content and the N level is fairly low in the topsoil. The basic soil parameters of the experimental area can be found on *Table 1*.

Table 1. **Soil parameters of the experimental farm (Gödöllő, 2009)**

Genetical horizons	Depth, (cm)	pH (H_2O)	K_A	$CaCO_3$, %	Humus, %	Total N	AL-P_2O_5	AL-K_2O
						(mg/kg)		
Ap	0-40	6,76	30	0,00	1,32	16,8	371,1	184,0
B	40-60	7,08	40	0,00	1,04	11,9	33,0	112,0
Bt	60-70	7,66	61	0,00	0,88	12,0	123,0	127,1
C	70-100	8,10	60	5,57	0,54	16,8	107,5	110,8

The experiment was carried out in a two-factor random block arrangement in three replications. Five different willow varieties and clones (*Sven, Inger, Tordis, Tora, Csala*) and four poplar varieties (*AF2, Pegaso, Sirio, Monsivo*) were used in the experiment. Three different nutrient supply levels were set up for each variety: 1) control without any added nutrient; 2) nitrogen fertilizer (ammonium-nitrate) applied in spring (50 kg/ha); 3) surface cover with wet sewage sludge compost (50 t/ha). The applied technology: twin-row arrangement, with 70 cm distance between rows and 2.5 meters between the twin rows which made it easier to carry out mechanized treatments. Twenty cm long, one year-old cuttings without any roots were used for planting.

In order to examine the soil status, soil physical (pentration resistance, soil moisture content, bulk density), chemical (pH(H_2O), pH(KCl), organic matter), and

biological (abundance, biomass and morphotypes of earthworms) parameters were measured.

The earthworms were collected by hand-sorting method (ISO 23611-1:2006). The litter layer was removed from the topsoil on the sampling points, then a soil block with 25×25×25 cm size. The collected worms were killed in 70% ethanol, then fixed in 4% formalin solution. The biomass, the morphotypes and the number of earthworms were determined and calculated to one m^2 area.

Results and Discussion

Based on the results of the penetration resistance (*Figure 1*), we can state that 100–350 kilopond/cm^2 values were measured in the top 10 cm, which means that the topsoil is loose, it has good aeration and water management.

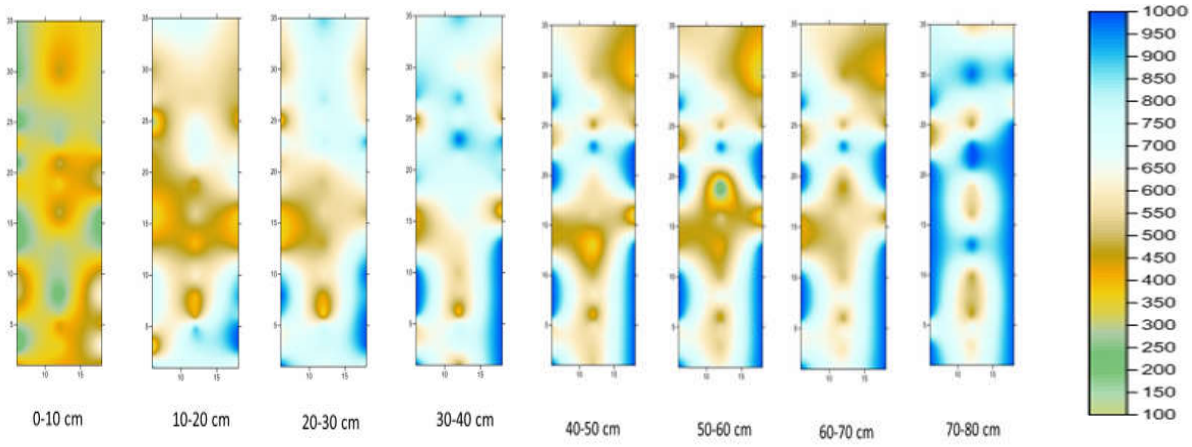


Figure 1. Result of penetration resistance graphed by Surfer 10 geoinformatical program (kilopond/cm^2) (Gödöllő, 2016)

Between 20–30 cm, higher values were obtained, at the edge of the area 650–800 kilopond/cm^2, values were measured, which means compaction and higher clay content. There is a plough pan in this layer, since the layers (40-50 cm) below this one had only 200–450 kilopond/cm^2.

The organic matter content (*Figure 2*) was determined by Walkley-Black method (1934). The gravimetric soil moisture content of the samples was also determined.

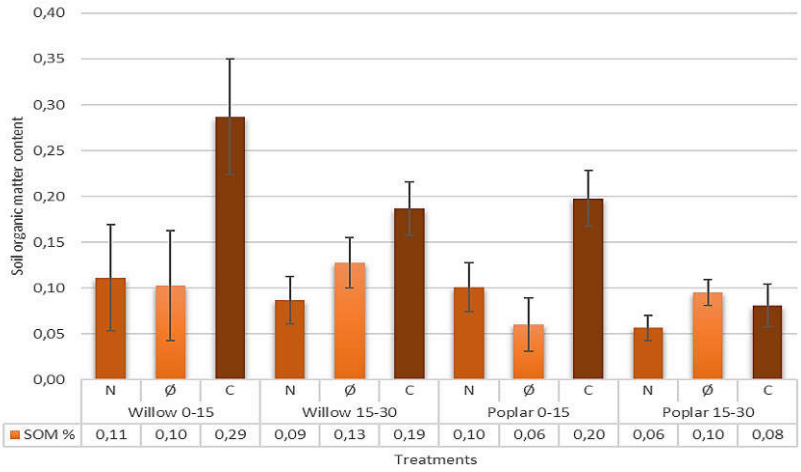


Figure 2. Soil organic matter content of soils (Gödöllő, 2014)

Based on the soil organic matter (SOM) values, we can state that the highest values were gained in the compost treated sites. The highest SOM (2,9%) was gained in the top soil (0–15 cm) under willow plantation and the lowest SOM (0,6%) was in case of the poplar plantation, under fertilizer treatment, in 15–30 cm depths.

We can state that in the compost treated sites, which had the highest SOM content, the highest earthworm abundance and biomass was measured. This high earthworm acitvity can be explained by the fact that the high amount of plant matter left on the top soil helps to maintain soil moisture content, and also helps to increase soil organic matter stock (Figure 2).

The abundance and biomass results of earthworms on one m^2 basis are shown in *Figures 3* and *4* (Spring and Autumn of 2015).

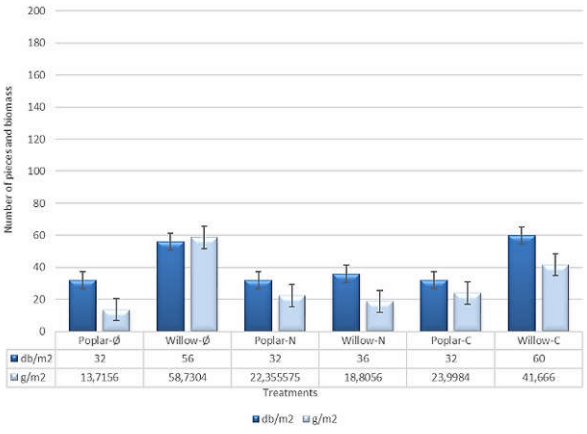


Figure 3. Average biomass (g/m^2) and abundance (ind/m^2) of earthworms (Gödöllő, Spring 2015)

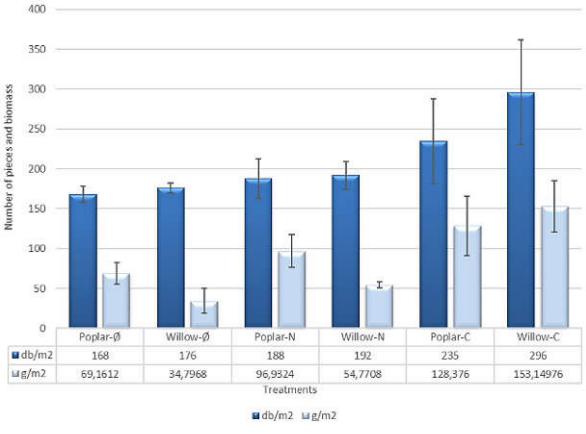


Figure 4. Average biomass (g/m^2) and abundance (ind/m^2) of earthworms (Gödöllő, Autumn 2015)

In can be seen in *Figure 3* and *4*, that more earthworms were collected during the sampling in spring than in autumn, which can be explained by the very dry summer of 2015. The compost treated sites had the highest average earthworm abundance (235 ind/m^2, 296 ind/m^2) and average biomass (128,4 g/m^2, 153,1 g/m^2) in spring 2015. The reason for this could be that the compost treated sites had higher organic matter, and higher moisture content, and it provided an undistrubed habitat for earthworm populations. In the data gathered from autumn 2015, highest abundance and biomass values (60 ind/m^2) was also obtained for the compost treated sites, while the abundance and biomass of earthworms showed similar values in case of fertilizer treated and control sites.

Conclusions

The majority of the production sites, which are unfavorable for crop production and could not be exploited economically are suitable for energy plantations to install. Several hundred thousand tons of sewage sludge is produced in Hungary, which, after the process of composting, can be used for nutrient supply in energy plantations. We proved that on sites that were treated with compost, lower soil moisture content loss can be achieved, which helps the plants to survive in dryer periods. Also, it maintains or improves the optimal soil physical and biological status, which was confirmed by the high earthworm abundance and biomass and soil organic matter values.

References

GYURICZA C. S. (2001) Changes of surface, fine pore and variable charge properties of a brown forest soil under various tillage practices. Soil Till. Res. 1573. P. 1–9.

LIEBHARD P. (2009) Energy wood plantations. Cser Publishing House. Budapest.

SATCHELL J. E. (1983) Earthworm microbiology // Earthworm Ecology: from Darwin to Vermiculture / Satchell J. E. (ed). Chapman and Hall, London. P. 351–365.

SZABÓ M. és BARÓTFI I. (2009) Energianövények környezetvédelmi szempontból.

TAMÁS R. (1997) A felszabaduló mezőgazdasági területek hasznosítási lehetőségei. Kézirat.

WALKLEY A. és BLACK I. A. (1934) An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents // Soil Science. № 63. P. 251–263.

STUDING OF THE GROWTH OF A HYBRID POPLAR AND WHITE WILLOW ENERGY PLANTATION IRRIGATED WITH EFFLUENT WATER FROM FISH FARMING

T. Kiss, J. Rásó, A. Végh K., I. Csiha, B. Bakti

National Agricultural Research and Innovation Centre,

Forest Research Institute (NARIC FRI) Experimental Station of Püspökladány

E-mail: tamas.kiss@erti.hu

Nowadays the preservation of the water quality, the decreasing of the soil stress and applying energy and watersaving irrigation methods play more and more important role in the world. The National Agricultural Research and Innovation Center's (NARIC) Forest Research Institute (FRI) and the Research Department of Irrigation and Water Management (NARIC ÖVKI) are in a joint co-operation, and they have established an experiment at the 0153/21-C parcel number site of Szarvas in 2013. The experiment was set up for investigate the usability of the fish farm effluent water in energy plantation to increase biomass production. In the experiment, we applied two different tree species – willow and poplar – and investigated their yield using different combinations of two irrigation water sources. Two irrigation doses were applied using sprinkler irrigation method. During the season, we analyzed the effect of different irrigation methods on these species with analyzes of phenology parameters and root growth.

Introduction

The cultivation of herbaceous and woody energy crops for heat and power especially the traditional food and feed crops for unfavorable growing areas come into play (Tamás, 1997). About 60% of Hungary's arable land is prone to erosion or deflation. Installing short-rotation plantations performs excellent soil protection function on erosion of exposed areas, namely it is a year-round soil sealing can be achieved. As a result, the establishment of woody energy crops beyond that the preservation of the rural population, in addition the population can be profitable agricultural activities in the future (Gyuricza, 2007). Taking into account the climatic conditions of Hungary continental, among the woody plants for the black locust (Robinia sp.), willow (Salix sp.) and poplar (Populus sp.) given for favorable growing conditions (Barkóczy et al., 2007).

Nowadays the watersaving irrigation methods plays the most important role in the agricultural and energetic plantation as well (Qadir & Oster, 2003). The importance of the irrigation is the reuse of the wastewater like effluent water from

intensive fish farms. For the energetic plantations, this could be a positive effect, because of the high nutrient level of the water which could increase the biomass production with purifying the irrigated water (Dimitriou & Aronsson, 2003). The effluent waters of fish farms have the problem of the high salinity. Using for irrigation wastewater may cause the risk of the soil salinization (Toze, 2005).

Material and Methods

The experiment established at the Research Department of Irrigation and Water Management (ÖVKI) site at Szarvas in 2013. During the vegetation season, the mean temperature (March–November) was 19,5°C and the average rainfall was 65,54 mm (http1.) (Figure 1).

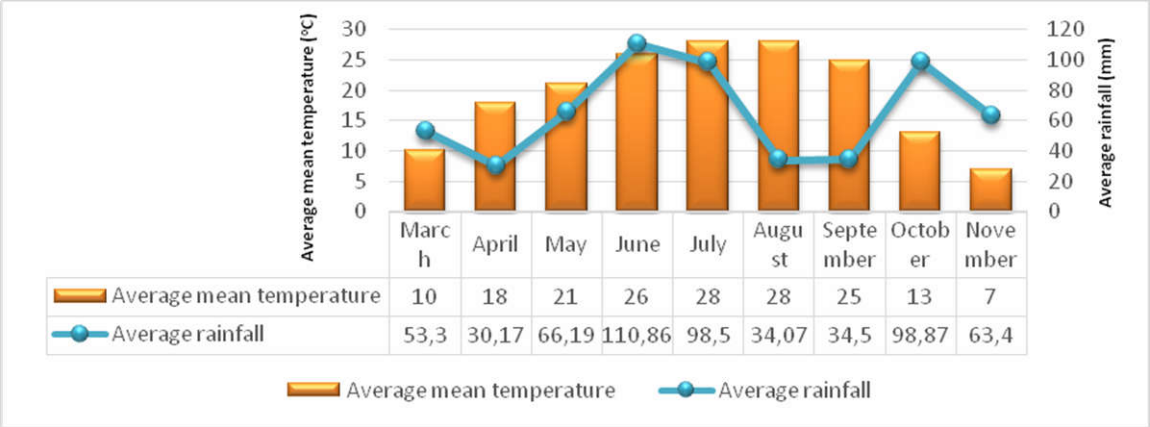


Figure 1. Climate data of Szarvas during the growth season in 2016 (source: https://www.worldweatheronline.com/v2/weather-averages.aspx?locid=970015&root_id=954533&wc=local_weather&map=~/szarvas-weather-averages/bekes/hu.aspx)

The climate is continental, and weather extremes are typical. In 2016, the average of the mean temperature in the growing season was 19,5°C. The highest temperature was 28°C in July and August. The mean precipitation was 65,54 mm, during the vegetation period. The highest amount of precipitation has fallen in June (110,86 mm).

At the experimental site, we use willow clone 82 and poplar clone 800 with three replications through randomized models.

We have established 18 plots with different irrigation methods and time with effluent water and River Körös water (effluent water/week, effluent water/2 weeks, and for control River Körös water/2 weeks). In each method, the ÖVKI sprinkle out

30 mm water with different doses of effluent water for irrigating. The applied technology: simple-row arrangement 1,5 meters between the simple rows which makes it easier to carry out mechanised treatments. The cuttings were planted at 50 cm spaces. Twenty cm long one-year old cutting without any roots were used for planting. In each block there are 216 clones from each species.

The soil type of the site is meadow soil with high clay content through the BC_2 soil horizon. The groundwater table is under 110 cm, the soil profile depth was 120 cm. In the soil profile we have found six horizons. The upper horizons (A, AB, and B) contain lime pins, at the BC_1, BC_2 horizon we have experienced iron, and manganese knots. The C horizon contains manganese and lime supply. Mostly the border of the horizons is sharp, excluding the BC_2 where this is gradual.

Results and Discussion

Investigating the soil profile (Figure 2) the depth of the profile was 120 cm, where we found the groundwater table at 110 cm. The vegetation around the profile is willow clone 82, poplar clone 800, and mixed. The parent rock is river drift.

Soil horizon	Depth (cm)	Physical properties	Structure	Packing densiti	Roots	Border
A	0-16	clay	friable	medium compact	hair roots and roots	sharp
AB	17-22	clay	friable	heavy	rootless	sharp
B	23-46	clay	prismatic	medium	less hair roots	sharp
BC1	47-78	clay	without structure	low	primary roots	sharp
BC2	79-115	sandy clay	without structure	none	-	gradual
C	116 -	sandy clay	without structure	none	-	-

Figure 2. Soil profile (Szarvas, Hungary, 2017)

We examined the density of the soil with penetrometer and with the analysed results we have made a map from the examination site (Figure 3).

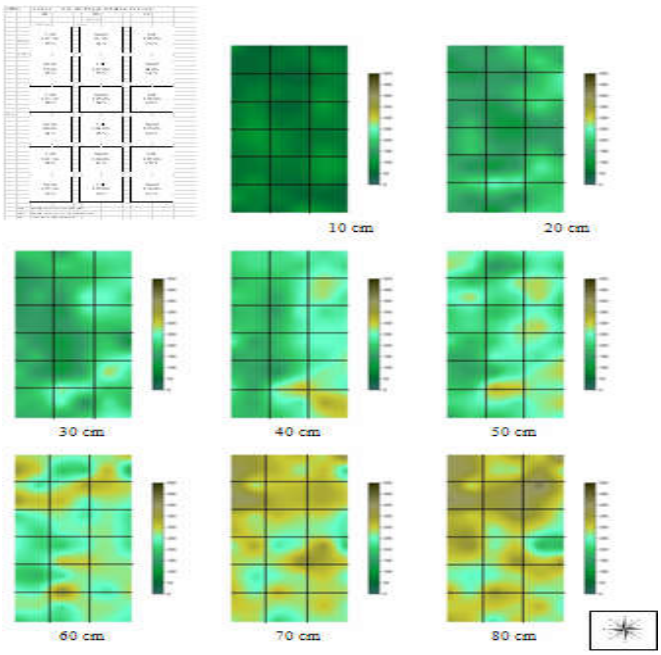


Figure 3. Soil density map from the examination site (by János Rásó, NARIC FRI)

Our goal was to research the irrigation effects on the roots and soil. We have dug out some of the roots from each irrigated species. After cleaning the roots we have made morphological analysis (Figure 4, 5, 6).

Figure 4. EW1-3 Willow (Clone 82) root

Figure 5. EW2-3 Willow (Clone 82) root

Figure 6. RK2-4 Willow (Clone 82) root

The figures show that the different irrigation have morphological effects on the growth of the roots. The EW1 (effluent water/week) shows the highest mass of the roots, at this irrigation the plants got double doses of effluent wate. The EW2 (effluent water/2 weeks) the ÖVKI sprinkles out simple doses of effluent water. The roots of the plant show that with this method the plant have grown longer and thicker primary root and have less hair roots than the EW1. The RK2 (River Körös water/2

weeks) irrigation only contains the water from the River Körös, these roots have only some hair roots, but have massive and long primary root with some secondary roots.

Conclusion

In this study we found that the density of the soil in the 40 cm layer is heavily compact at some of the blocks. The heavy density has a negative effect on the survival rate and dendromass production at the site.

Investigating the roots with the irrigation methods we experienced that the EF1 (30 mm water/week+nutrient) have an effect on the horizontal roots, especially on the hair roots. These roots were thinner and shorter, than the EF2 or the RK2 irrigation. But these roots have bigger mass than the other irrigated ones. With the RK2 (River Körös water/2 weeks) the primary root is much longer, and thick with less hair roots, the vertical growth of the root is significantive.

Acknowledgements

This research was supported by the Hungarian Ministry of Agriculture.

References

https://www.worldweatheronline.com/v2/weather-verages.aspx?locid=970015&root_id=954533&wc=local_weather&map=~/szarvas-weather-averages/bekes/hu.aspx

Barkóczy Zs., Csernyi R., Ivelics R. 2007. Energetikai faültetvények tervezése és kivielezése. Kézirat. Sopron.

Dimitriou I., Pär Aronsson 2003. Nitrogen leaching from short- rotation willow coppice after intensive irrigation with wastewater. Biomass and Bioenergy 26 (2004)/ 433–441 pp.

Gyuricza, Cs.: 2007. Cultivating woody energy crops for energetic purposes. Biowaste. 2. 4. 25–32.

Qadir M., Oster J. D. 2003. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. Science of the Total Environment 323 (2004) 1–19. pp.

Tamás R. 1997. A felszabaduló mezőgazdasági területek racionális hasznosítási lehetőségei. Kézirat. Sopron.

Toze S. 2005. Reuse of effluent water – benefits and risks. Agricultural Water Management 80 (2006). P. 147–159.

CA. P. SOLANI INFECTION ON TOMATO PLANTS DEPENDING ON THE METHOD OF SOWING AND THE GROWTH CONDITIONS

I. Zamorzaeva, A. Bahsiev, N. Mihnea

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection (IGPPP), AS of Moldova,

E-mail: izamorz@gmail.com

The article presents data that suggest that the column on tomatoes was not transmitted without the participation of insect vectors. Experiments on different genotypes of tomato have shown that the sensitivity of plants to the phytoplasm depends on the method of planting. Tomatoes planted directly in the field have greater resistance to *Ca. P solani* infection than plants, transplanted in a field from a greenhouse.

Introduction

Candidatus Phytoplasma solani (common name *Stolbur phytoplasma*) is a widely spread phytopathogen which affects a huge range of cultivated plants such as solanaceous crops, grapevine, maize, strawberry, cereal etc (EFSA, 2014). Plants infection occurs by means of insect vectors mainly from the families *Psyllidae, Cicadellidae* and *Cixiidae* (Weintraub & Beanland, 2006). Phytoplasma is a phloem-limited mycoplasma-like microorganism with no cell wall and hence it cannot be cultivated *in vitro* in cell free medium (IRPCM, 2004). This implies some difficulties in diagnosing phytoplasma infection. Moreover, some symptoms of stolbur in plants are similar with symptoms of a number of diseases caused by other phytopathogens. That's why visual evaluation of plants does not provide sufficient reliability of results. Thus, a molecular diagnosis using PCR technology provides the most efficient and qualitative monitoring of phytoplasma infections (Lee *et al.,* 1994).

The aim of this study is a molecular diagnosis and comparison of *Ca. P. solani* infection in tomato plants depending on the growth conditions and sowing methods.

Materials and methods

Molecular diagnosis of *Ca. P. solani* infection was mainly carried out in tomato plants of three varieties created in the Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection (IGPPP) of the Moldavian Academy of Science. The stolbur infection was analyzed in three groups of tomato plants each cultivated in different conditions. The first group was grown in a thermostat (+26°C) and was analyzed after 20 days. The second group (containing only plants of varieties Elvira and Desteptarea) was cultivated in the greenhouse and analyzed at the stage of 4-6 leaves.

The third set of experiments was carried out in the field: stolbur infection in tomato plants sowed as seeds directly in the soil (varieties Elvira and Cerasus) or as seedlings from the greenhouse (varieties Elvira and Desteptarea) was compared.

The DNA for nested-PCR analysis was extracted from the basal part of the leaf or from the fruit peduncle by the express alkaline method (Guo *et al.,* 2003). We used specific to *Ca. P. solani* pairs of primer cpn421 F/R (round I) and cpn200 F/R (round II) created by us based on the chaperonin gene sequence (Zamorzaeva, 2015). After the electrophoresis, the DNA fragments stained with ethidium bromide were registered in the UV light and compared with the marker of DNA fragment lengths «O'Gene 100 bp DNA Ladder Ruler». A statistical analysis of the obtained data was performed according to Fisher's criterion applied for qualitative traits in limited random sampling.

Results and Discussion

Seeds before the sowing on Petri dishes, in the field or greenhouse were previously tested by nested-PCR analysis for the presence of the infection *Ca. P. solani*. The test results demonstrated a considerable part of the seeds (43%) to be infected with phytoplasma. However, it is known that phytoplasma is not transmitted by seeds (EFSA, 2014). We have confirmed this fact by molecular analysis of tomato seedlings cultivated in the thermostat. The signs of *Ca. P. solani* infection were not found in tomato plants which were grown from seeds under these controlled conditions, where the lack of insects was guaranteed.

The results of nested-PCR analysis of young tomato plants (seedlings with 4–6 leaves) which were grown in the greenhouse differed strongly from the results obtained in the plants from the thermostat. A significant part of seedlings (33%) of the varieties Elvira and Desteptarea (17% and 50%, respectively) was infected with *Ca. P. solani* (fig. 1).

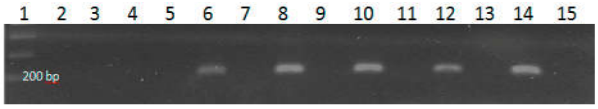
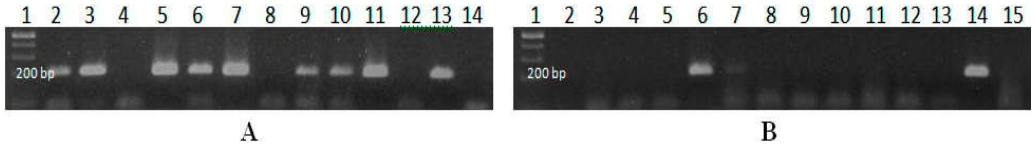


Figure 1. The results of nested-PCR analysis (fragment 200 b.p.) of tomato seedlings grown in the greenhouse. 1 – Marker of DNA fragment lengths; 2–7 – plants of the variety Elvira; 8–13 – plants of the variety Desteptarea; 14 – positive control of nested-PCR; 15 – negative control of nested-PCR.

At the same time, molecular analysis of tomato seedlings at the same stage 4–6 leaves (varieties Elvira and Cerasus) which were sowed by seeds directly in the field did not reveal a *Ca. P. solani* infection.

Thus, we think that the plants in the greenhouse have been infected with phytoplasma by intermediated hosts – insect vectors – which lacked in the field in June (ontogeny stage of tomato «4–6 leaves») and especially in the thermostat. Plant-to-plant transmission of the stolbur infection by flying adults in Europe takes place in the summer (EFSA, 2014) but not at the beginning of June. Moreover, the weather in Moldova in June 2016 at the time when we tested for phytoplasma infection in tomato plants was cold and wet. The cold and wet weather negatively influenced the activity of cicadas. Additionally, the phytoplasma infection is not manifested immediately after the introduction into the plant or insect body. The incubation period can consist of 1–2 months (Blancard, 2012).

A comparison of the stolbur infection in tomato plants at later ontogeny stages was performed in the field conditions. Two groups of plants were compared: one cultivated in the field after sowing young seedlings from greenhouse and the other sowed as seeds directly in the field. Striking differences in timing of the stolbur appearance were shown in tomato plants with different method of sowing. Thus, in plants sowed in the field as seedlings from the greenhouse the first signs (amplicons) of *Ca. P. solani* infection were registered at the beginning of fruits ripening. An abundant infection of tomato plants took place at the stage of mature fruits at the first and second racemes (fig. 2A). In the case of sowing tomato directly in the soil as seeds a much smaller number of infected plants was recorded at this stage (fig. 2B). A mass infection with *Ca. P. solani* was found in tomato plants from this group later, when fruits ripened at higher racemes.



A B

Figure 2. The results of nested-PCR analysis (fragment 200 b.p.) of tomato plants at the stage of mature fruits at the first and second racemes. **A –** tomato sowed in the field as seedlings from the greenhouse: 1 – Marker of DNA fragment lengths; 2-7 – plants of the variety Elvira; 8-12 – plants of the variety Desteptarea; 13 – positive control of nested-PCR; 14 – negative control of nested-PCR. **B** – tomato sowed in the field as seeds: 1 – Marker of DNA fragment lengths; 2-7 – plants of the variety Elvira; 8–13 – plants of the variety Cerasus; 14 – positive control of nested-PCR; 15 – negative control of nested-PCR.

Summarizing the obtained data, we can conclude that the resistance of tomato plants to phytoplasma infection depends on the method of sowing. Similar results were obtained analyzing the variety Elvira as well as combined data from all three tomato varieties studied (fig. 3). In both cases one may see that tomato plants cultivated in the field after sowing them as seedlings from greenhouse were significantly more sensitive to *Ca. P. solani* infection then plants sowed directly in the soil as seeds. The infection of plants sowed by seeds occurred later and was less abundant. The differences in numbers (percentage) of infected tomato plants at the ontogeny stage of mature fruits (racemes I, II) were significant according to Fisher's criterion ($P \leq 0.05$).

Figure 3. The dynamics of the phytoplasma spreading in the tomato field as a function of the method of plants sowing: **gray** – plants sowed in the soil as seedlings from the greenhouse; **black** – plants sowed directly in the soil as seeds. **A** – the percentages from the molecular diagnosis of phytoplasma infection in plants of the variety Elvira. **B** – combined data obtained from the molecular diagnosis of phytoplasma infection in plants of all three tomato varieties.

Conclusions

The results of our study confirm that *Ca. P. solani* infection is not transmitted to tomato plants without insect vectors intermediation. Despite a presence of the phytoplasma infection in seeds it was not detected in seedlings cultivated in the thermostat («sterile» conditions) or in the field at earlier ontogeny stages, before the mass appearance of flying cicadas.

Clear differences in the timing of the stolbur appearance and spreading were shown on tomato plants with different methods of sowing. The resistance of plants to phytoplasma infection is higher when tomatoes are sowed as seeds directly in the field.

References

1. Blancard D. 2012. Tomato diseases. Identification, Biology and Control. Second edition. Manson Publishing Ltd. 555 p.

2. EFSA (European Food Safety Authority). 2014. Scientific Opinion on the pest categorisation of *Candidatus Phytoplasma solani*. European Food Safety Authority (EFSA), Parma, Italy. EFSA Journal. № 12. 3924.

3. Guo Y., Cheng Z.-M., Walla J. A. 2003. Rapid PCR-based Detection of Phytoplasmas from Infected Plants. Hort Science. № 38(6). P. 1134–1136.

4. IRPCM (International Organization for Mycoplasmology). 2004. '*Candidatus Phytoplasma'*, a taxon for the wall-less, non-helical prokaryotes that colonize plant phloem and insects // International Journal of Systematic and and Evolutionary Microbiology. № 54(4). P. 1243–1255.

5. Lee I.-M., Gundersen D. E., Hammond R. W., Davis R. E. 1994. Use of mycoplasma-like organism (MLO) group-specific oligonucleotide primers for nested-PCR assays to detect mixed-MLO infections in a single host plant // Phytopathology. № 84. P. 559–66.

6. Weintraub P.G., Beanland L. 2006. Insect vectors of phytoplasmas // Annual Review of Entomology. № 51. P. 91–111.

7. Zamorzaeva I. 2015. Creating primers for detecting *Phytoplasma* infections in tomato plants. Abstract book of the X International Congress of Geneticists and Breeders. Chisinau, Moldova. P. 26.

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ФИТОСАНИТАРНЫХ ПРОБЛЕМ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Л. Ф. Волощук

Институт генетики, физиологии и защиты растений АН Молдовы

ул. Пэдурий, 20, Кишинэу – 2002, Республика Молдова

E-mail l.volosciuc@gmail.com

The paper aimed to present the problems of plant protection in ecological agriculture, using the possibilities of modern biotechnology. Applicationtraditionaltechnologies demonstrate indispensablecontradiction between theplant protectionrequirementsconditionandthe need to preserveenvironment. The systemic approach ofrelations betweencrop andpestsopens new possibilitiesin researchingbiocenoticrelationshipswithinecosystems andhaltingspending growthtrendsdirectedtoplant protection. For solving of plant protection problems were developed biotechnological processes of production and application of an impressive range of biological means, which is used for conventional and ecologic agriculture.

***Key words**:* Conventional agriculture, organic farming, ecology, entomophagies, biological preparations, biologic active substances, technology.

Введение

Возрастающие темпы проявления экологических кризисов и целесообразность увеличения объемов сельскохозяйственного производства определяют необходимость перехода к природным агротехнологиям, продолжением которых является экологическое земледелие. Решение проблем защиты растений возможно только при глубоком изучении взаимоотношений между вредным организмом и растением-хозяином[2, 3, 6].

Достижение этих целей невозможно без широкого внедрения приемов биологической защиты, основанной на изучение механизмов взаимодействия биологических агентов с целевыми объектами и влияния факторов окружающей среды. Ведущая роль среди этих факторов принадлежит полезным микроорганизмам и поиску подходов к совершенствованию биотехнологических приемов производства и применения микробиологических средств защиты растений от болезней и вредителей [1, 5, 10].

Разработка биопрепаратов на основе полезных микроорганизмов (энтомопатогенных вирусов, бактериофагов, антагонистических бактерий и грибов, специфических актиномицет и микроспоридий), открывает возможности формирования экологически ориентированных систем защиты

растений и их использование в систему интегрированной защиты, что позволяет уменьшить влияние пестицидов на агроценозы. Зарегистрированные нами биопрепараты доказали возможность не только управлению численностью вредных организмов, но и восстановлению естественной саморегуляции биоценозов путем сохранения биологического разнообразия агроэкосистем. Широкое внедрение биопрепаратов обеспечивает повышение продуктивности и качества основных культур, возможность переориентации хозяйств на производство экологической продукции. Наряду с этими неоспоримыми преимуществами, использование микробиологических агентов в современных технологиях позволяет добиться улучшения показателей сельскохозяйственных растений [7, 9].

Расширение спектра биопрепаратов предполагает выделение, идентификацию и первичную оценку широкого спектра антагонистов фитопатогенных микроорганизмов, энтомопатогенов вредных насекомых [6, 7]. Решение этих проблем предусматривает постоянное обогащение спектра микробиологических агентов, разработку биотехнологических приемов производства и применения микробиологических средств защиты растений, обеспечивающих высокую биологическую и экономическую эффективность, но и их экологическую безопасность [1, 11].

Материалы и методы

В исследованиях использованы штаммы энтомопатогенных вирусов, грибов и бактерий антагонистов возбудителей болезней сельскохозяйственных культур, штаммы полезных микроорганизмов и образцы биологических препаратов [5, 9].

Определениезащитного эффекта культур и штаммов антагонистов осуществляли на фоне искусственного заражения семян патогенами в лабораторных условиях во влажной камере методом агаровых блоков.

Титр определяли методом Коха, а биологическую эффективность определяли по формуле:

$$C = \frac{(a-b)}{A}100,$$

где, *C* – биологическая эффективность; *a* – количество больных растений в контроле; *b* – количество больных растений в варианте.

Антибиотическую активность и совместимость штаммов-продуцентов биопрепаратов с перспективными пестицидами определяли, используя метод диффузии в агар.

Результаты и обсуждение

Успешная защита растений с использованием биологических препаратов предполагает решение более сложных многофакторных задач, чем при использовании биоцидных средств. Биотехнологиская отрасль позволяет использовать возможности природных процессов для повышения показателей сельскохозяйственных культур и индикаторов экологической безопасности [1, 4, 7, 8].

Биологическая защита растений в системах традиционного и экологического земледелия использует биологические препараты основанными на многочисленных механизмах функционирования энтомопатогенных и антагонстических микроорганизмов, которые в зависимости от их природы разделяются на вирусные, микроспоридиальные, бактериальные, грибные, актиномицетные и др.

Производство микробиологических препаратов осуществляется в рамках биотехнологических процессов, используя разнообразные биологические агенты. Фундаментальным элементом биологической защиты являются энтомопатогенные препараты на основе бактерии *Bacillus thuringiensis* и препараты для подавлении болезней растений – бактерии рода *Pseudomonas* и *Bacillus subtilis*.

Производство энтомопатогенных биопрепаратов на основе микроспоридий и нематод осуществляется на линиях живых насекомых и требует применения разнообразных питательных сред и разработку эффективных препаративных форм. Их производство и применение сопровождается ограничениями информацией о взаимоотношениях с клетками-хозяинами и технологическими приемами применения.

Для защиты растений от возбудителей болезней растений нами разработаны технологические приемы производства и применения препаратов на основе антагонистических свойств и их природных метаболитов. Достоинства использования препаратов состоит в высокой активности, быстродействии, отсутствие устойчивости у целевых объектов и достаточный срок их хранения в составе сухих и жидких препаративных форм. Положительная динамика производства и применении биологических препаратов обеспечена разработкой высокотехнологичных, сохраняющих долгое время их исходные свойства препаративных форм [4].

Сотрудники Института генетики, физиологии и защиты растений АНМ, выделяя, идентифицируя и определяя биологические особенности многих полезных микроорганизмов (вирусов, бактерий и микроскопических грибов), разработали оригинальные технологические приемы производства и применения эффективных биопрепаратов для подавления численности вредных организмов, оказывающих наибольший импакт для основных сельскохозяйственных культур [5, 7].

Бакуловирусный препарат Virin-HSP **предназначен для борьбы с**гусеницами хлопковой совки (Helicoverpa armigera), которая на протяжении последних лет постоянно расширяет ареал распространения и спектр поражаемых растений. Препарат разработан на основе высокоспецифичного вируса ядерного полиэдроза в виде пасты с титром 6 млрд полиэдров/г.

Бактериальный препарат Paurin **представлен на основе бесспоровых бактерий вида** Pseudomonas fluorescens BKM CP 330 D для борьбы с возбудителем бактериального рака (Agrobacterium tumefaciens) на плодовых культурах и виноградной лозе.

Грибной препарат Trichodermin **SC** разработан в виде жидкой препаративной формы на основе гриба Trichoderma lignorum M-10 для борьбы с патогенными агентами подсолнечника (*Sclerotinia sclerotiorum*), сои (*Fusarium spp*.), виноградной лозы (*Botrytis cinerea*), обеспечивая высокую биологическую, экономическую и экологическую эффективность.

Грибной препарат Gliocladin SC **представляет собой биологический фунгицид на основе биологически активных веществ гриба** Trichoderma virens 3X для борьбы с белой гнилью подсолнечника (*Sclerotinia sclerotiorum*), фузариозом сои (*Fusarium spp*.) и серой гнилью виноградной лозы (*Botrytis cinerea*).

Концепция экологического земледелия основывается на использование механизмов, обеспечивающих высокие показатели количественного и качественного роста, что доказано экономическими и рыночными достижениями. Наряду с этим, экологическое земледелие сопряжено повышением экологических индикаторов и улучшением состояния здоровья населения, развитием социальной структуры, сохранением биоразнообразия, снижением отрицательных эффектов изменения климата. Таким образом, разработанные нами биотехнологические средства обеспечивают улучшение финансового состояния фермеров, что указывает не только на изменение производственных процессов и повышения конкурентоспособности, но и на улубление сотрудничества между представителями сельскохозяйственного производства и экологического мониторинга.

Список литературы

1. Biopesticides: Pest management and regulation, by *D.Chandler et al.* CABI, 2010, 256 p.
2. Brown L. 2011. World on the Edge. Earth Policy Institute. 174 p.
3. Chris Maser,Carol A. Pollio. 2011. Resolving Environmental Conflicts, 2nd Edition. 286 p.
4. Vincent C., Goettel M. S., Lazarovits G. 2007. Biological Control: A Global Perspective. CABI, 464 p.
5. Voloşciuc L. T. 2009a. Biotehnologia producerii şi aplicării preparatelor baculovirale în protecţia plantelor. Chişinău // Mediul ambiant. 262 p.
6. Voloşciuc L. T. 2009б. Probleme ecologice în agricultură. Chişinău: Bons Offices, 264 p.
7. Voloşciuc L., Pânzaru B., Lemanov N., Nicolaev A., Şcerbacov T., Nicolaev S., Zavtoni P., Moraru L. 2015.Recent achievements in microbiological plant protection. Journal of ASM, Life Sciences. No. 2(326). P. 178–183.
8. Willer H., Lernoud J. 2015. The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends. FiBL, IFOAM. 309 p.
9. Закатаева Н.П., Юсупова Ю.Р., Романенков Д.Р., Лившиц В.А. 2013. Современные методы генетического конструирования промышленных штаммов на основе бактерий рода *Bacillus*. Биотехнология. 5. С. 8–18.
10. Огарков Б. Н. 2011. Mycota – основа многих биотехнологий. Иркутск. 207 с.
11. Штерншис М. В. 2012. Тенденции развития биотехнологии микробных средств защиты растений в России. Вестник Томского государственного университета. № 2. С. 92–100.

УДК 632 : 937.15

РОЛЬ ПОЧВООБИТАЮЩИХ ДИАЗОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ (PGPR) В ПОВЫШЕНИИ СУПРЕССИВНОСТИ ПОЧВЫ

Н. Б. Леманова, В. В. Горбунова

Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений АН,

Молдова, г. Кишинев, ул. Пэдурий, 20

The increase of soil suppressive ability is due to same strains of rhizobacteries. Bacterials metabolites improve the growth and extension of plants and at same time exhibit the antagonistic action against the agents phytopathogens *Fusarium sp.* and *Meloidogine sp.*

Длительное применение химических средств защиты растений отрицательно влияет на почвенную микрофлору и способствует накоплению в почве токсических веществ т. е. общему ухудшению состояния биоценоза. Отдельные виды почвенных микроорганизмов находятся на этапе исчезновения. Также перестают разлагаться запаханные в почву растительные остатки. На фоне понижения супрессивности почвы (показатель почвенного здоровья) происходит сдвиг баланса между почвообитающими микроорганизмами в сторону патогенов-возбудителей корневых гнилей растений [1, 2].

Еще в середине XX века был предложен метод изменения состава микрофлоры почвы, заключающийся во внесении микроорганизмов в виде биопрепаратов. Также нашел применение принцип бактеризации посадочного материала [3]. Было установлено, что некоторые штаммы почвообитающих бактерий способствуют значительному улучшению роста и развития растений и одновременно снижению активности фитопатогенов [4].

Бактерии различных родов и видов, объединяемые термином «ассоциативные диазотрофы», способны активно размножаться в ризосфере различных небобовых растений. Так, например, штаммы *Azotobacter sp.* в ризосфере растений способствуют фиксации атмосферного азота в аммонийной форме, который, в отличие от минерального, усваивается растениями на 100%. Кроме того, известна способность данного микроорганизма продуцировать в

ризосфере ИУК, подвижные цитокинины, гиббереллин и витамины группы В. Среди грамотрицательных почвообитающих бактерий преобладают псевдомонады (*Pseudomonas sp*.). Ризосферных псевдомонады, обладающие К-мобилизующей способностью, гармонизируют совместную деятельность с другими обитающими в почве штаммами бактерий, что оказывает положительное влияние на повышение качества выращиваемой с/х продукции [4]. Среди метаболитов данного рода микроорганизмов идентифицированы многие биологически-активные вещества, способные разрушать клеточные стенки патогенных организмов.

Галловые нематоды-многоядные паразиты поражают более двух тысяч видов растений. Перспективной мерой борьбы с почвообитающими паразитами считается микробиологическая рекультивация тепличных грунтов, приводящая к насыщению почвы полезной микробиотой.

Целью исследований было установление возможности применения бактериальных штаммов в процессе выращивания огурцов и картофеля для снижения их поражаемости корневыми фузариозными гнилями и нематодами и получения качественной продукции.

Возбудитель сухой фузариозной гнили, интенсивно развивающийся в Молдове при высоких температурах воздуха и почвы в период вегетации, вызывает существенные потери урожая, нередко достигающие 30–50%. Галлообразующая нематода Meloidogyne incognita наносит до 90% ощутимого ущерба в тепличных хозяйствах (5).

Материалы и методы

В опытах использовались выделенные из почвы бактериальные штаммы, депонированные в Национальной коллекции непатогенных микроорганизмов Молдовы. Бактерии *Pseudomonas fluorescens CNMN-PsB-04, Azotobacter chroococcum CNMN-AzB-01, Pseudomonas aureofacien CNMN-PsB-05, Pseudomonas putida CNMN-PsB-06, Bacillus subtilis CNMN-BB-08* культивировались в жидкой минеральной минимальной питательной среде в течение 48 часов при температуре 29°С. Антагонистические свойства бактерий

относительно возбудителей сухой гнили (грибы *Fusarium gibbosum* и *Fusarium oxysporum)* проверялись *in vitro* по зонам угнетения роста мицелия патогенов на поверхности питательной среды в чашках Петри. Определение нематицидной активности бактериальных штаммов по отношению к паразитической галлообразующей нематоде *Meloidogyne incognita* проводилось *in vitro* в микроячейках под микроскопом.

Результаты и обсуждение

Влияние бактериальных метаболитов на нематоды определялось по способности парализовывать волнообразное движение особей и снижать их жизнеспособность. Для этого 20 личинок нематод 2-го возраста помещалось в микроячейки со 100 мл культуральных жидкостей бактериальных штаммов, разведенных водой в пропорции 1:10, при комнатной температуре. Величина нематицидной активности метаболитов определялась по количеству подвижных особей нематод в течение определенного периода времени.

Таблица 1. **Влияние метаболитов бактериальных штаммов на подвижность нематод *Meloidogyne incognita,* выделенных из грунта теплицы**

Время экспозиции (часы)	Штаммы бактерий					
	Azotobacter chroococcum	Bac. subtilis	Ps.putida	Ps.aureofa-ciens	Ps.fluores-cens	Ps.cepacia
0.1	0	+	+++	+++	+++	+++
2		0	++	++	++	++
5			0	0	++	++
8					+	+
24					0	0

Примечание: +++ – 80–100% активных подвижных нематод; ++ – 40–60% активных подвижных особей; + – 10–30% полуподвижных нематод; 0 – неподвижные нематоды.

Изучение влияния бактериальных суспензий на особи нематод проводилось в теплице. За десять дней до высадки рассады огурцов в почву на месте посадки вносились суспензии бактериальных штаммов с титром 10^8 КОЕ/мл в комбинациях (1:1). Впоследствии осуществлялось припосадочное внесение с поливной водой и дважды (с интервалом в 10 дней) – внесение после высадки. На опытных делянках площадью 5 м^2 высаживалось по 30 растений. В период вегетации проводились учёты развития растений до первого урожая с

целью определения влияния микроорганизмов на рост, цветение и урожайность. При выкопке растений в конце октября осматривалась корневая систему для установления развития нематод на корнях.

Таблица 2. **Влияние бактериальных суспензий на развитие растений огурца и нематод на корнях (среднее из 30-ти растений)**

Вариант	Внесение в почву до и при посадке	Последующие внесения	Высота побега, см	Кол-во цветков на 1 раст.	Кол-во плодов	Вес (кг) урожая 1 сбора	Кол-во галлов на корнях
1	Az.ot..chr.+Ps..putida	Pseud.putida	59	6,9	36	1,5	0
2	Azot..chr.+Bac.subtilis.	Bac.subtilis	45,9	6,2	17	0,7	0
3	Azot..chr +Ps.aureofas	Ps..aureofacien	37,5	3,4	12	0,55	0
4	Контроль	Вода	30,2	2,4	9	0,39	19 / 1 раст.

Использование бактериальных штаммов оказало стимулирующий эффект на развитие растений и их урожайность, а также предупредило заселение корневой системы нематодами *Meloidogine incognita*. Проведенные исследования показали перспективность применения комплекса штаммов ризосферных бактерий для защиты тепличного грунта от вредоносного воздействия галлообразующих нематод.

Для разработки мероприятий по защите картофеля от возбудителей фузариозных гнилей в почве изучались *in vitro* взаимоотношения патогенных грибов рода *Fusarium sp.* с метаболитами бактериальных штаммов. Зоны угнетения роста мицелия грибов, высеянных на газон с картофельно-глюкозной питательной средой, под влиянием метаболитов бактериальных штаммов измерялись после восьми дней совместного культивирования микроорганизмов в чашках Петри.

Таблица 3. **Размер зон угнетения роста мицелия гриба *Fusarium spp.* на КГА в чашках Петри под воздействием метаболитов бактериальных штаммов *in vitro***

Штаммы	Радиус зон угнетения роста колоний патогена *Fusarium sp.* (мм) под влиянием метаболитов бактерий	
	Fusarium oxysporum	*Fusarium gibbozum*
Azotobacter chroococcum	9,7 мм	9,5 мм
Pseudomonas aureofaciens	10,5 мм	8,2 мм
Pseudomonas fluorescens	13,9 мм	13,5 мм
Bacillus subtilis	17,0 мм	10,02–10,4 мм
Pseudomonas putida	18,6 мм	10,06–10,14 мм

Посадка картофеля в полевых условиях осуществлялась во второй половине апреля на участке сортоиспытания опытного хозяйства института. Перед посадкой клубни на 30 минут погружались в рабочий раствор, представляющий собой 2-х суточную концентрированную бактериальную суспензию *Ps fluorescens*, разведенную в воде до титра 10^7 КОЕ/мл. Растения в опытных рядах опрыскивались бактериальной суспензией титром 10^6 КОЕ/мл через 15 дней после всходов при наличии 2–3-х листьев, в период бутонизации в июне и после окончания цветения в июле. При сборе урожая проводился учет развития болезней на клубнях. В качестве эталона использовался препарат Престиж (1%).

Таблица 4. **Результаты применения метаболитов штамма *Pseudomonas fluorescens* при выращивании картофеля**

Сорт Препарат	Кол-во клубней в варианте, шт.	Клубней на 1 раст., шт.	Вес (кг) в вар-те	Крупных клубней, %	% клубней с гнилями при уборке	Биологич. эффект-ть (%) при уборке	% клубней с гнилями после 3-х мес. хранения	Биологич. эфф-ть (%) после хранения
Labella *								
Престиж	243	8,6	10,2	20,4	12,5	16		
Ps.fluoresc.	330	11,8	11,6	21,5	7,8	48	0	100
Контроль	241	8,4	10,0	19,3	15,0	-	13,6	-
Irga**								
Престиж	373	13,1	12,0	27,5	2,7	66		
Ps.fluoresc.	377	13,5	14,6	39,7	1,8	77	0	100
Контроль	340	12,0	11,3	24,0	8,0	-	20,0	-

*Коэфф-т Стьюдента t расч. 11,0 >t табл. 2,15 различия с контролем существенны

** Коэфф-т Стьюдента t расч. 5,5 >t табл. 2,10 различия с контролем существенны

Предпосадочная бактеризация клубней картофеля и проведение 3-х опрыскиваний бактериальной суспензией *Pseudomonas fluorescens* в вегетационный период способствовали повышению урожайности сортов Labella и Irga на 1,6–3,3 кг/растение, увеличению количества крупных клубней в структуре урожая на 2,2-5,7% и снижению количества гнилых клубней при уборке (сухая гниль *Fusarium sp*.) на 7,2–6,2% (биологическая эффективность – 48–77%). Опрыскивание клубней и тары суспензией *Pseudomonas fluorescens* перед укладкой на хранение позволило снизить развитие сухой гнили (*Fusarium sp*.) после 3-х месяцев хранения на 13,6–20,0%.

Полученные результаты подтверждают возможность использования почвообитающих диазотрофных бактерий и продуктов их метаболизма для создания биологических препаратов как альтернативы пестицидам, а также разработки биологических методов защиты растений, применение которых обогащает почву полезными микроорганизмами. Продукты микробного происхождения являются основой ведения экологического сельского хозяйства.

Список литературы

1. Полянская Л. М., Звягинцев Д. Г.Содержание и структура микробной биомассы как показатель экологического состояния почв // Почвоведение. 2005. № 6. С. 706–714.

2. Плотникова Т. Н. Биологизированные элементы в технологии выращивания и защиты табака // Сб. Межд. конференции «Состояние и перспективы развития интегрированной защиты растений». Вып. 9. Краснодар, 2016. С. 508–511.

3. Редина Н. Е. Применение биологических препаратов для ускорения деструкции растительных остатков // Сб. Межд. конференции «Состояние и перспективы развития интегрированной защиты растений». Вып. 9. Краснодар, 2016. С. 511–513.

4. Иутинская Г. А., Антипчук А. Ф., Икин Д., Ямборко Н. А. Корневая система растений – сфера взаимоотношений растений с микроорганизмами // Биорегуляция микробно-растительных систем. 2010. С. 7–17.

5. Леманова Н. Б., Пойрас Л. Н. Нематицидные свойства ризосферных бактерий // Сб. «Микробиологическая биотехнология – наукоемкое направление современной науки». Кишинев, 2011. С. 174–175.

ВЛИЯНИЕ ГЕТЕРОГЕННОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯБЛОНИ И ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЭЛЕМЕНТАМИ ПИТАНИЯ ПРИ ФЕРТИГАЦИИ

Т. Г. Фоменко, В. П. Попова

ФГБНУ «Северо-Кавказский зональный научно-исследовательский институт садоводства и виноградарства»

Фертигация плодовых насаждений оказала существенное влияние на вариабельность наиболее важных параметров почвенного плодородия садовых ценозов. Внесение даже относительно небольших доз минеральных удобрений на участках с повышенной обеспеченностью питательными веществами не привело к планомерному повышению содержания элементов питания в почве. В связи с этим можно сделать вывод, что проведение фертигации плодовых насаждений на участках с повышенной исходной обеспеченностью питательными веществами является нецелесообразным.

В настоящее время значительные площади плодовых насаждений оборудованы системами капельного орошения, при котором осуществляется локальное внесение минеральных удобрений. За период полного цикла возделывания плодового сада (многолетняя бессменная культура) неизбежно происходит формирование зон с различными параметрами почвенного плодородия. Фертигация плодовых насаждений оказывает значительное влияние на вариабельность агрохимических свойств почвы садового ценоза и, как следствие, на усиление микроизменчивости наиболее важных характеристик почвенного плодородия садовых ценозов. В результате корневая система плодовых растений располагается в зонах с различными параметрами почвенного плодородия – зоне интенсивного агрогенного воздействия (в местах локализации минеральных удобрений и малообъемного увлажнения почвы) и зоне слабого агрогенного воздействия.

Особенности пестроты почвенного покрова садовых ценозов являются основным критерием, определяющим необходимость и эффективность дифференцированного внесения удобрений. Цель настоящего исследования заклбчалась в том, чтобы установить закономерности изменения уровней обеспеченности растений яблони доступными элементами питания в зоне

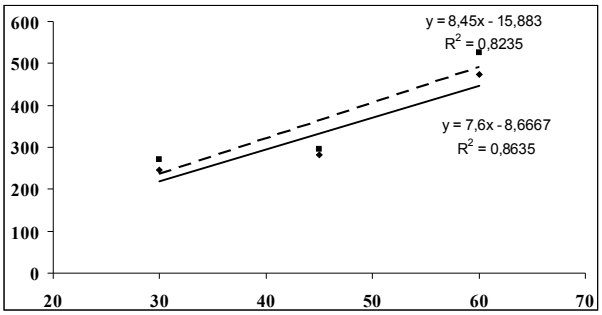
локализации минеральных удобрений при малообъемном орошении с учетом гетерогенности почвенного покрова садового ценоза.

Объекты и методы исследований. Исследования проводились в Краснодарском крае в условиях неустойчивого увлажнения. Почвенный покров исследуемой территории представлен черноземами выщелоченными сверхмощными слабогумусными легкоглинистыми на лессовидных глинах. Опыт был заложен в промышленных насаждениях яблонь зимних сортов, возделываемых по интенсивным технологиям, на слаборослом подвое М9. Деревья высажены весной 2009 г. со схемой размещения 4,5×1,2 м, площадь участка составляла 2,6 га.

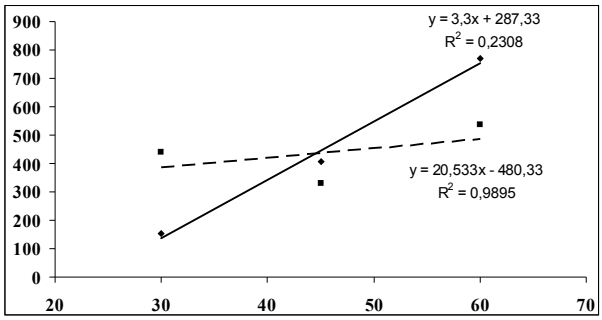
В результате изучения пространственной неоднородности почв садового агроландшафта было выделено два элементарных участка, характеризующихся различной степенью обеспеченности питательными веществами: участок № 1 – параметры почвы близки к среднему арифметическому содержанию элементов питания ($X_{средн}$); участок № 2 – почвы характеризуются высокими показателями содержания элементов питания (X_{max}).

На участках применялись минеральные удобрения в соответствии с различными нормами: $N_{30}P_4K_{20}$, $N_{45}P_6K_{30}$ и $N_{60}P_8K_{40}$. Минеральные удобрения при фертигации вносились в растворенном виде равными частями через систему капельного орошения на протяжении вегетационного периода. Использовались хорошо растворимые формы удобрений – аммиачная селитра (N-34,6), сульфат калия (K_2O-51) и нитрофоска солуб (N-8 P_2O_5-12 K_2O-24).

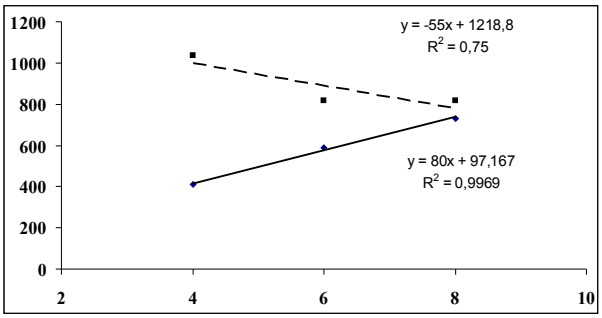
Результаты и обсуждение. Гетерогенность почвенного покрова садового ценоза оказала существенное влияние на изменение параметров дифференциации свойств почвы в зоне локального внесения минеральных удобрений с поливной водой. Установлено, что на элементарном участке с близкими к средним показателями обеспеченности почвы элементами питания повышение нормы внесения минеральных удобрений привело к последовательному увеличению концентрации питательных веществ в зоне локализации минеральных удобрений и увлажнения почвы (рис.).



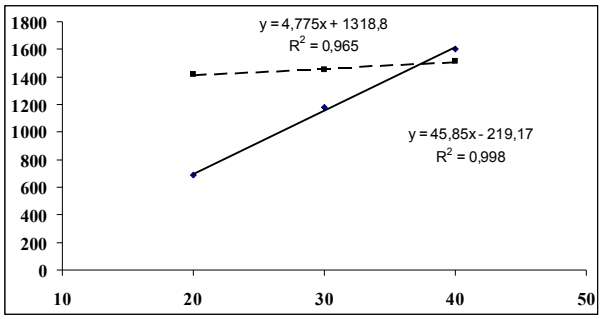
Азот нитратный ($N\text{-}NO_3$)



Азот аммиачный ($N\text{-}NH_4$)



Подвижный фосфор (P_2O_5)



Обменный калий (K_2O)

Рис. Изменение содержания элементов питания в зоне локального внесения минеральных удобрений с поливной водой с учетом гетерогенности почвенного покрова садового ценоза (слой 0–30 см).

По горизонтали – дозы внесения удобрений, кг д.в.; по вертикали – содержание элементов питания в зоне локального внесения удобрений, мг/кг почвы.

▬▬ – Элементарный участок № 1; ▬ ▬ ▬ – Элементарный участок № 2.

При увеличении нормы внесения минеральных удобрений на элементарном участке с высокой обеспеченностью элементами питания изменение параметров почвы было менее выраженным. Наиболее существенные изменения произошли в содержании нитратного азота ($N\text{-}NO_3$), менее существенные – в содержании аммиачного азота ($N\text{-}NH_4$) и обменного калия (K_2O), по содержанию подвижного фосфора наблюдалась обратная корреляционная зависимость. Установлено, что локальное внесение минеральных удобрений при фертигации плодовых насаждений на участках с высокой обеспеченностью питательными веществами является нецелесообразным.

Сравнительный анализ эффективности фертигации на различных участках показал, что наибольшей отзывчивостью характеризовались деревья яблони на участке со средней обеспеченностью элементами питания. Доля влияния фактора (различных норм фертигации) на урожайность растений яблони сорта Чемпион в опыте составила 32,8%. Внесение минеральных удобрений на данном участке оказалось более целесообразным по сравнению с

их внесением на участке с высоким уровнем обеспеченности почвы элементами питания.

На элементарном участке с высоким содержанием питательных веществ разница между опытными вариантами была несущественной и находилась в пределах ошибки опыта ($НСР_{05}$), поэтому здесь можно отметить лишь тенденцию к увеличению урожайности яблонь при фертигации.

Результаты исследований показывают, что приемы оптимизации водного и пищевого режимов посредством капельного орошения и фертигации не оказывают прямого влияния на увеличение урожайности яблони (табл.). Отчасти это может быть обусловлено тем, что вносимые удобрения сравнительно мало контактировали с активной частью поглощающей корневой системы плодовых растений. Основная часть элементов питания концентрировалась в верхнем слое почвы 0–30 см и на расстоянии не более 20 см от точки падения капли раствора питательных веществ.

Таблица. **Влияние приемов улучшения водного и пищевого режимов плодового ценоза на урожайность и товарные качества плодов яблони**

Варианты опыта	Средняя масса плодов, г	Количество плодов на дереве, шт.	Урожайность, т/га
Участок со средним содержанием питательных веществ (сорт Чемпион)			
Контроль	152,0	142,4	40,1
Фертигация $N_{30}P_4K_{20}$	162,0	159,6	47,8*
Фертигация $N_{45}P_6K_{30}$	164,0	148,1	44,9
Фертигация $N_{60}P_8K_{40}$	165,0	166,2	51,1*
НСР 05		**24,9**	**7,53**
Критерий Фишера		$F_{факт}$ (1,41) > $F_{станд\ 05}$ (3,49)	$F_{факт}$ (2,96) < $F_{станд\ 05}$ (3,49)
Доля влияния фактора на изменчивость признака, %		9,4	32,8
Участок с высоким содержанием питательных веществ (сорт Прикубанское)			
Контроль	192,1	49,5	23,48
Фертигация $N_{30}P_4K_{20}$	190,0	58,9	27,66
Фертигация $N_{45}P_6K_{30}$	194,6	59,1	28,40
Фертигация $N_{60}P_8K_{40}$	195,7	57,3	27,68
НСР 05		**15,3**	**7,25**
Критерий Фишера		$F_{факт}$ (0,75) < $F_{станд\ 05}$ (3,49)	$F_{факт}$ (0,82) < $F_{станд\ 05}$ (3,49)
Доля влияния фактора на изменчивость признака, %		0,0	0,0

* – существенная разница при 95%-м уровне вероятности.

Заключение. Гетерогенность почв садовых ценозов может обуславливать различную степень дифференциации свойств почвы в зоне локального внесения минеральных удобрений с поливной водой. Внесение даже относительно небольших доз минеральных удобрений на участках с высокой обеспеченностью питательными веществами не привело к планомерному повышению содержания элементов питания в почве. Вероятнее всего, при внесении удобрений в высоких дозах определенная часть вносимых элементов питания переходит в труднодоступные для растений формы. Поэтому применение методов точного земледелия в садовых ценозах в первую очередь должно быть направлено на рациональное использование удобрений и снижение нагрузки на окружающую среду.

При расчете доз применения минеральных удобрений необходимо учитывать изменение абсолютных показателей агрохимических свойств почвы в зоне их локального внесения. При проведении почвенно-агрохимического обследования почв садовых ценозов предлагается оценивать пространственную неоднородность и учитывать микроизменчивость, обусловленную агрогенной дифференциацией комплекса свойств почвы в результате локального применения минеральных удобрений. Это позволит корректировать дозы внесения минеральных удобрений с учетом уровня обеспеченности почвы элементами питания и степени удобренности.

ВЛИЯНИЕ ПРИЕМОВ ОБРАБОТКИ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ В ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ ЦТЗ

А. И. Беленков

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева

Установлена взаимосвязь и взаимодействие основных показателей плодородия дерново-подзолистых почв и урожайностью культур зернопропашного севооборота в условиях полевого опыта Центра точного земледелия (ЦТЗ). В среднем за годы исследований, лучше реагировали на вспашку картофель, на нулевую обработку викоовсяная смесь и озимая пшеница, ячмень сформировал одинаковую среднюю урожайность по обеим обработкам почвы. Плотность сложения почвы соответствовала или незначительно превышала оптимальные для культур показатели. Несколько больше влаги содержалось по нулевой обработке в сравнении со вспашкой и только для двух замыкающих севооборот культур различия составили порядка 1–2% с превышением по отвальной обработке. Минимальные и нулевые варианты характеризовались более высокой твердостью почвы, однако такие различия со вспашкой не являлись существенными в плане влияния на продуктивность полевых культур. Следует отметить большую биологическую активность почвы и, соответственно, наименьшую ее токсичность на прямом посеве под викоовсяной смесью и озимой пшеницей в сравнении со вспашкой. Эти же показатели оказались более высокими по отвальной обработке в сравнении с минимальной, что объясняется положительным влиянием агрофизических показателей почвы, приводимых в предыдущей таблице. Максимальная масса пожнивно-корневых остатков опытных культур, зафиксирована на минимальных вариантах, за исключением картофеля, по которому превалировала отвальная обработка. Сравнительный анализ взаимозависимостей урожайности культур и содержания в почве гумуса и элементов питания подтверждает вывод о наибольшем содержании органического вещества в случае минимальных обработок. При сравнении содержания гумуса под картофелем и ячменем показатели нивелировались. Если разница в пользу прямого посева на однолетних травах и озимой пшенице составляла по содержанию гумуса 0,05%, то на картофеле и ячмене уже отмечалось преимущество вспашки на 0,02%. Различия по содержанию элементов питания в почве под культурами также неоднозначно. Более наглядна разница между вариантами по викоовсяной смеси с преимуществом нулевой обработки, на картофеле следовало бы выделить отвальную.

INFLUENCE OF WORKING TREATMENTS ON CROP PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL CROPS AND FERTILITY OF SOIL IN THE FIELD EXPERIENCE OF TTSZ

A. I. Belenkov

Russian State Agrarian University – MAAA named after K. A. Timiryazev

The interrelation and interaction of the main fertility indices of sod-podzolic soils and the productivity of crops of grain-growing crop rotation in the conditions of the field

experience of the Center for Precision Farming (TZZ) have been established. On average, over the years of research, the potato was better reacted to plowing, the vine-winter mixture and winter wheat were treated to zero, the barley formed the same average yield for both soil treatments. The density of soil addition corresponded to or slightly exceeded the optimal for crops indicators. Somewhat more moisture was contained in the zero processing compared to plowing, and only for the two crop rotation cropping the differences were of the order of 1-2% with the excess in the dump processing. Minimal and zero variants were characterized by higher soil hardness, however such differences with plowing were not significant in terms of impact on the productivity of field crops. It should be noted the great biological activity of the soil and, consequently, its lowest toxicity on direct seeding under the mixture of vine and winter wheat in comparison with plowing. The same indices proved to be higher in dump processing than in the minimal one, which is explained by the positive influence of the agrophysical soil indicators given in the previous table. The maximum mass of stubble-root residues of experimental crops is fixed in minimal variants, with the exception of potatoes, which was dominated by dump processing. A comparative analysis of the interdependencies of crop yields and soil humus content and nutrient elements confirms the conclusion about the largest content of organic matter in the case of minimal treatments. When comparing the content of humus under potatoes and barley, the indicators were leveled. If the difference in favor of direct sowing on annual grasses and winter wheat was 0.05% in humus content, then the advantage of plowing by 0.02% was already noted on potato and barley. Differences in the content of nutrients in the soil under the crops are also ambiguous. More clearly the difference between the variants for the VEA mixture with the advantage of zero processing, on the potato should be allocated a dump.

В 2007 году в рамках инновационного общеобразовательного проекта в РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева впервые в стране в учебном ВУЗе был создан научный Центр точного земледелия (ЦТЗ). Основу Центра составляет полевой опыт общей площадью около 6 га по сравнительному изучению технологий точного и традиционного земледелия в четырехпольном зернопропашном севообороте с чередованием культур: викоовсяная смесь на корм – озимая пшеница с пожнивным посевом горчицы на сидерат – картофель – ячмень. В опыте изучаются два фактора – технологи возделывания полевых культур (фактор А) и приемы основной обработки почвы (фактор В). Традиционная технология основана на использовании современной техники с соблюдением рекомендуемых параметров, сроков и нормативных показателей их выполнения. Технология точного земледелия основана на принципах использования спутниковой навигационной системы GPS, с помощью которой корректируется выполнение агроприемов. Изучаемые приемы обработки различаются между собой по интенсивности и характеру воздействия на почву: отвальная, минимальная и «нулевая».

В среднем за годы исследований, лучше реагировали на вспашку картофель, на нулевую обработку викоовсяная смесь и озимая пшеница, ячмень сформировал одинаковую среднюю урожайность по обеим обработкам почвы (табл. 1).

Таблица 1. **Урожайность культур в полевом опыте ЦТЗ, т/га**

Обработка почвы	Урожайность по годам, т/га								
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	среднее
викоовсяная смесь на корм									
отвальная	21,3	20,5	10,8	20,6	22,1	24,5	31,2	25,3	22,04
нулевая	25,0	19,4	9,4	27,3	24,3	25,3	28,9	27,5	23,39
$НСР_{05}$, т/га	3,40	1,08	2,59	3,10	2,0	0,83	3,07	3,10	-
озимая пшеница									
отвальная	4,23	4,63	3,70	6,31	6,12	2,75	6,74	5,00	4,94
нулевая	5,09	4,11	3,55	6,15	5,87	4,59	6,73	5,52	5,20
$НСР_{05}$, т/га	0,23	0,25	0,23	0,14	0,19	1,42	0,11	0,39	-
картофель									
отвальная	41,5	21,7	24,4	19,9	28,6	25,1	31,4	31,0	28,0
минимальная	37,5	20,7	23,2	18,3	25,9	24,6	26,2	26,7	25,4
$НСР_{05}$, т/га	1,74	1,42	0,50	0,56	0,16	0,90	1,08	2,11	-
ячмень									
отвальная	5,40	3,35	2,62	4,33	5,16	3,85	5,52	4,03	4,28
минимальная	5,78	2,99	2,83	4,20	5,00	4,01	5,22	3,99	4,25
$НСР_{05}$, т/га	0,26	0,21	0.41	0,90	0,13	0,17	0,28	0,19	-

Однако, при анализе ситуации по отдельным годам исследований, следует обратить внимание, что по большинству лет урожайность озимой пшеницы по вспашке превышала прямой посев. Исключение составляет 2014 г., когда озимая пшеница по отвальной обработке сформировала урожай в 1,7 раза меньше нулевой, вследствие значительного выпада всходов на отвальном фоне из-за частых и обильных осадков осенью 2013 г. Поэтому средняя за восемь лет урожайность культуры на прямом посеве превышает вспашку на 0,26 т/га. Неоднозначно выглядит влияние отвальной и минимальной обработок на урожайность ячменя. В половине лет периода исследований преимущество за минимальной обработкой, и только благодаря превышению урожайности на отвальном фоне в 2015 и 2016 гг., средние показатели в пользу этого варианта, но говорить о существенном преимуществе какой либо обработки не приходится, поскольку различие составило всего 0,03 т/га. Достаточно отчетливо по большинству лет отмечается более высокая урожайность зеленой массы викоовсяной смеси на прямом посеве, по которому в среднем на 1,35 т/га получено урожая больше в сравнении со вспашкой. Данная ситуация говорит о

возможности возделывания викоовсяной смеси в качестве парозанимающей культуры с посевом по необработанной почве. Картофель традиционно наибольшей продуктивностью отзывался на отвальную обработку почвы. За все годы исследований урожайность клубней картофеля по вспашке превышала минимальную обработку на 2,6 т/га (Беленков, Сабо Умар, Кунафин, 2016).

Сравнение вариантов опыта по агрофизическим показателям почвенного плодородия свидетельствует в пользу вариантов, по которым получены несколько большие урожайные данные (табл. 2) (Николаев, Беленков, 2016).

Таблица 2. **Агрофизические показатели дерново-подзолистой почвы в зависимости от варианта полевого опыта (в среднем за годы исследования)**

Культура	Вариант обработки почвы	Плотность* почвы, г/см^3		Запас воды* в почве, мм		Твердость почвы* МПа в слое	
		начало	конец	начало	конец	0-10 см	10-20 см
Вика + овес на корм	отвальная	1.31	1,34	57,21	19,38	3.5	5.3
	нулевая	1.33	1,39	59,19	25,63	4,1	6,4
Озимая пшеница	отвальная	1,30	1,35	55,30	17.51	3,6	5.1
	нулевая	1,33	1.37	57,72	25.22	4,0	5,8
Картофель	отвальная	1,28	1.33	58,77	22.62	2.7	4.2
	минимальная	1,30	1.34	58,13	20.54	3,2	5.2
Ячмень	отвальная	1.30	1.34	58,23	26,04	3.0	4.8
	минимальная	1,32	1,38	57.13	25,79	3.5	5,1

Примечание: * – плотность и влажность почвы определялись дважды – весной и перед уборкой с.-х. культур, твердость – в середине вегетации.

Данная ситуация касается, прежде всего, содержания воды в почве и послойной твердости. Плотность сложения почвы, в большинстве случаев, соответствовала или незначительно превышала оптимальные для культур показатели. Несколько больше влаги содержалось по нулевой обработке в сравнении со вспашкой и только для двух замыкающих севооборот культур различия составили порядка 1–2% с превышением по отвальной обработке. Минимальные и нулевые варианты характеризовались более высокой твердостью почвы, однако такие различия со вспашкой не являлись существенными в плане влияния на продуктивность полевых культур.

В таблице 3 приводятся данные взаимозависимости урожайности культур и отдельных биологических показателей в среднем за период 2009–2016 гг. Следует отметить незначительно большую биологическую активность почвы и, соответственно, наименьшую ее токсичность на прямом посеве под

викоовсяной смесью и озимой пшеницей в сравнении со вспашкой (Николаев, Беленков, Дмитриевская, 2017).

Таблица 3. **Урожайность культур и биологические показатели почвы в зависимости от варианта полевого опыта (среднее за годы исследования)**

Культура	Вариант обработки почвы	Урожай-ность, т/га	Биологическая активность, % распада полотна	Биологическая токсичность почвы, %	Масса растительных остатков, т/га*
Вика + овес на корм	отвальная	22,04	31,62	23,53	2,44
	нулевая	23,39	32,72	22,41	3.65
Озимая пшеница	отвальная	4,94	29,36	21,29	3,85
	нулевая	5,20	30,33	20,50	4,44
Картофель	отвальная	28,0	33,45	20,53	1,96
	минимальная	25,4	30,83	22,30	1.71
Ячмень	отвальная	4,28	30,74	21,94	2.44
	минимальная	4,25	30,06	22,60	2,71

Примечание: * – использованы данные из автореферата Л. И. Катковой (2016).

Эти же показатели оказались более высокими по отвальной обработке в сравнении с минимальной, что объясняется положительным влиянием агрофизических показателей почвы, приводимых в предыдущей таблице. Максимальная масса пожнивно-корневых остатков опытных культур, в среднем за период исследований зафиксирована на минимальных вариантах, за исключением картофеля, по которому превалировала отвальная обработка.

Связь урожайности и агрохимических показателей приведена в таблице 4.

Таблица 4. **Урожайность с.-х. культур и агрохимические показатели почвы в зависимости от варианта полевого опыта (в среднем за годы исследования)**

Культура	Вариант обработки почвы	Урожай-ность, т/га	Содержание гумуса в слое 0–20 см, %	Содержание элементов питания в слое 0–20 см, мг/кг почвы		
				N	P_2O_5	K_2O
Вика + овес на корм	отвальная	22,04	2,25	94	236	197
	нулевая	23,39	2,30	99	246	202
Озимая пшеница	отвальная	4,94	2,29	81	232	193
	нулевая	5,20	2,34	85	238	202
Картофель	отвальная	28,0	2,28	91	243	196
	минимальная	25,4	2,26	90	237	190
Ячмень	отвальная	4,28	2,21	87	229	189
	минимальная	4,25	2,19	85	220	183

Сравнительный анализ взаимозависимостей урожайности культур и содержания в почве гумуса и элементов питания подтверждает вывод о

наибольшем содержании органического вещества в случае минимальных обработок (Беленков, Сабо Умар, Малахов, 2016). При сравнении содержания гумуса под картофелем и ячменем показатели нивелировались. Если разница в пользу прямого посева на однолетних травах и озимой пшенице составляла по содержанию гумуса 0,05%, то на картофеле и ячмене уже отмечалось преимущество вспашки на 0,02%. Различия по содержанию элементов питания в почве под культурами также неоднозначно. Более наглядна разница между вариантами по викоовсяной смеси с преимуществом нулевой обработки, на картофеле следовало бы выделить отвальную.

Общим выводом может служить положение о наличии взаимозависимости различной степени выраженности между продуктивностью культур и отдельными показателями почвенного плодородия.

Список литературы

1. Беленков А. И., Сабо Умар, Кунафин Р. И. Основная обработка почвы: сравнительная оценка в современных системах земледелия // Нивы России. 2016. № 11(144), ноябрь. С. 68–69.

2. Николаев В. А., Беленков А. И. Как обработка почвы влияет на ее агрофизику? // Фермер. 2016. № 7. С. 32–35.

3. Николаев В. А., Беленков А. И., Дмитриевская И. И. Регулирование фитосанитарного состояния посевов зерновых культур на полигоне Точного земледелия // Вестник Алтайского ГАУ. 2017. № 2 148), февраль. С. 5–10.

4. Коткова Л.И. Роль разноглубинной заделки сидерата и соломы в повышении плодородия дерново-подзолистой почвы и продуктивности зернопропашного севооборота в условиях ЦР НЧЗ. Специальность 06.01.01. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. М., 2016. 23 с.

5. Беленков А. И., Сабо Умар, Малахов Н. В. Изучение влияния технологии обработки на плодородие дерново-подзолистой почвы в полевом опыте ЦТЗ // Агрохимический вестник. 2016. № 3. С. 29–32.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НОВОГО ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ НА ДЕГРАДИРОВАННОЙ СУПЕСЧАНОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

И. А. Фрейдкин

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

В ходе исследований в многолетнем микрополевом опыте в 2012–2014 гг. установлена высокая агрономическая эффективность применения нового органо-минерального удобрения на основе птичьего помёта на легкой дерново-подзолистой почве. Доказана необходимость периодического применения НОМУ в сочетании со средними и повышенными дозами полного минерального удобрения, а также его легирования калием.

THE EFFECTIVENESS OF A NEW ORGANO-MINERAL FERTILIZER ON DEGRADED SANDY LOAM SOD-PODZOLIC SOIL

I. A. Fraidkin

Agrophysical Research Institute

In the course of research in Mitropoleos years of experience in 2012–2014 high agronomic efficiency of application of new organic-mineral fertilizers based on poultry manure on light sod-podzolic soil. The proven need for periodic use of CONDOM in combination with medium and higher doses of complete mineral fertilizers, as well as its doping with potassium.

Проблема воспроизводства плодородия дерново-подзолистых почв всегда была и будет ключевым вопросом организации высокотоварного земледелия в Нечернозёмной зоне (Иванова, Иванов, Иванов, 1991; Архипов, Иванов, Синицына и др., 2015). В условиях перманентно развивающегося кризисного положения отрасли долгие годы проблеме не уделяется должного внимания (Архипов, Иванов, Данилова, 2016). Активная производственная деятельность по экономическим причинам была перенесена, преимущественно, на хорошо окультуренные почвы (Иванов, 1993, 1998; Иванов, Семёнова, 1998; Иванов, Цыганова, Воробьёв, 2010). В результате развитие скрытых деградационных процессов привело к увеличению доли пахотных почв с повышенной кислотностью на Северо-Западе РФ до 44%, низким содержанием гумуса – до 63%, калия – до 28%, фосфора – до 11% (Петриков и др. 2013). Особенно тяжёлые последствия связаны с утратой почвой кальция и калия (Иванов, Иванов, Воробьёв, Лямцева, 2009; Иванов, Цыганова, Воробьёв, 2010). Негативные явления стали следствием недостаточного использования в т. ч.

ресурсов местных удобрений. Практически прекратилось применение агрономически весьма ценных сапропелей (Иванов, Иванова, Моисеев, 2005; Иванов, Иванов, Надточий, Сорокина, 2008) и пригодных осадков сточных вод (Иванов, 1998). Уровень использования навоза и помёта даже в относительно развитой Ленинградской области достигает лишь 40% от объёмов их производства. Исходя из понимания этих проблем совместно с ООО «Билавис» была разработана технология производства нового гранулированного органо-минерального удобрения (НОМУ). Его комплексное изучение в 2010–2012 гг. показало высокую агрономическую эффективность и экологическую безопасность (Иванов, Фрейдкин, Иванова, 2014). Целью исследования, начатого в Меньковском филиале АФИ в 2012 г., был поиск эффективных сочетаний НОМУ с минеральными удобрениями, обеспечивающих максимальный агрономический эффект и восстановление плодородия деградированной дерново-подзолистой почвы.

Методической основой служил микрополевой опыт в полиэтиленовых сосудах без дна размером 1×1×0,4 м с искусственно сформированной верхней частью профиля (Апах. – 0–20 см., A_2B – 20–40 см) супесчаной дерново-подзолистой почвы, подвергшейся тридцатилетней скрытой деградации в агроэкологическом стационаре (Иванов, Фесенко, Вертебный, Дубовицкая, 2012). Она обладала средними показателями pH_{KCl} – 4,75, Нг – 3,46; ммоль(экв)/100 г, $S_{обм}$ – 3,20 ммоль(экв)/100 г, содержанием гумуса – 1,83%, подвижных соединений фосфора и калия 217 и 92 мг/кг соответственно. Опыт реализовался в трёх закладках семипольного полевого севооборота: 1) пар сидеральный (люпиновый) – озимые зерновые – ячмень + многолетние травы; 2) ячмень + многолетние травы – многолетние травы 1 г.п. – многолетние травы 2 г.п.; 3) картофель – рапс яровой – люпин сидеральный. Двухфакторная схема опыта предполагала ежегодное внесение минеральных удобрений и периодическое (под пшеницу озимую, ячмень и картофель) – НОМУ (табл.). Изучаемое удобрение характеризовалось влажностью 2,2%, pH – 9,0 ед., содержанием 74,4% органического вещества, 2,46% азота, 4,51% фосфора, 3,36% калия, 7,18% кальция, 2,48% магния, 97 мг/кг меди, 484 мг/кг цинка, 7,9 мг/кг никеля, 21 мг/кг свинца и 0,1 мг/кг. Повторность в опыте 4-х кратная.

В отличие от минеральных и органических систем удобрения на основе навоза действие нового органо-минерального удобрения в дозах 3–10 т/га имело выраженный нейтрализующий эффект, сравнимый с действием аналогичных доз реагентного ОСВ или известковистого сапропеля (Иванов, 1998; Иванов, Иванов, Надточий, Сорокина). За счёт обогащенности оксидами, карбонатами и гидрокарбонатами кальция, магния и калия добавляемой золы от внесения 1 т/га НОМУ pH сол. в среднем по вариантам опыта повышался на 0,036 ед., сумма обменных оснований – на 0,045 ммоль(экв)/100 г, степень насыщенности основаниями – на 0,7%. При этом заметно проявилось и оструктуривающее действие НОМУ на изучаемую супесчаную дерново-подзолистую почву. Так за три года вследствие оптимизации кислотно-основных свойств, увеличения прихода свежего органического вещества коэффициенты структурности и водопрочности повысился в среднем с 0,69 до 1,18–1,69 и с 0,55 до 0,76–0,85. Полевая влагоёмкость почвы возросла с 20,6 до 21,6–22,7%, что привело к определённой оптимизации и её водного режима. Положительное действие НОМУ на питательный режим почвы носило ещё более выраженный характер. И в первую очередь, это касалось, азотного и фосфатного режима почвы (Иванова, Фрейдкин, 2014).

Результаты сплошных весовых учётов, выполненных в опыте, показали, что основными факторами повышения отдачи от нового органо-минерального удобрения выступали продолжительность вегетационного периода и активного потребления элементов питания, выраженное последействие на культурах севооборота и сочетание со средними дозами азотных и калийных удобрений. В частности пшеница озимая и картофель отзывались на применение НОМУ гораздо лучше, чем ячмень, имеющий в 2–3 раза более короткий период активного потребления элементов питания из почвы. При внесении чистого НОМУ под пшеницу (доза 3–7 т/га) и картофель (доза 4–10 т/га) продуктивность культур увеличивалась на 35–160%, а оплата 1 кг действующего вещества удобрения достигла 4,4–8,3 з. ед. При сочетании НОМУ со средними и повышенными дозами минеральных удобрений абсолютная величина прибавок в большинстве вариантов опыта увеличивалась и, как следствие, возрастала до 10,4–12,4 з. ед. окупаемость удобрения.

Аналогичные показатели у раннеспелого ячменя сорта Ленинградский были ниже в среднем на 28% в благоприятном по погоде 2014 году и на 63% – в неблагоприятном 2012 году.

В целом по севообороту пар сидеральный – пшеница озимая – ячмень + многолетние травы – многолетние травы 1 г.п. – многолетние травы 2 г.п. – картофель – рапс яровой» высокая агрономическая эффективность оказалась свойственна как минеральной, так и органической системам удобрения (табл..

Таблица. **Эффективность НОМУ в системах удобрения полевого севооборота**

Доза НОМУ (фактор Б)	Продуктивность, кг з.ед./м^2	Прирост урожайности от НОМУ		Окупаемость 1 кг д.в., кг з.ед.		
		кг з.ед.	%	общая	НОМУ	K_2O
Контроль – без удобрений (фактор А)						
Контроль – без удобрений	1,907	–	–	–	–	–
НОМУ, 3–4 т/га	2,795	0,888	47	7,9	7,9	–
НОМУ, 5–7 т/га	3,261	1,354	71	7,0	7,0	–
НОМУ, 7–10 т/га	3,303	1,396	73	5,0	5,0	–
НОМУ, 3–4 т/га + $К_{30-40}$	3,034	1,127	59	9,1	9,1	21,7
НОМУ, 5–7 т/га + $К_{50-70}$	3,356	1,449	76	6,7	6,7	5,0
НОМУ, 7–10 т/га + $К_{70-100}$	3,566	1,659	87	5,4	5,4	9,7
N75P50K50 (фактор А)						
Контроль – без удобрений	2,800	-	-	17,0	-	-
НОМУ, 3–4 т/га	3,707	0,907	32	10,9	8,0	-
НОМУ, 5–7 т/га	4,151	1,351	48	9,0	6,9	-
НОМУ, 7–10 т/га	4,482	1,682	60	7,8	6,0	-
НОМУ, 3–4 т/га + $К_{30-40}$	4,242	1,442	52	13,2	11,6	48,6
НОМУ, 5–7 т/га + $К_{50-70}$	4,672	1,872	67	10,3	8,7	27,4
НОМУ, 7–10 т/га + $К_{70-100}$	4,663	1,863	67	7,7	6,1	6,7
N100P75K75 (фактор А)						
Контроль – без удобрений	3,491	–	–	21,1	–	–
НОМУ, 3–4 т/га	4,707	1,216	35	14,9	10,3	–
НОМУ, 5–7 т/га	4,866	1,375	39	11,0	6,8	–
НОМУ, 7–10 т/га	5,314	1,823	52	9,7	6,4	–
НОМУ, 3–4 т/га + $К_{30-40}$	4,818	1,327	38	14,6	10,4	5,2
НОМУ, 5–7 т/га + $К_{50-70}$	5,192	1,701	49	10,1	7,7	16,6
НОМУ, 7–10 т/га + $К_{70-100}$	5,199	1,708	49	8,7	5,6	0
$НСР_{05}$ по фактору А		0,186				
по фактору Б		0,279				
по взаимод. АБ		0,465				

Но максимальный агроэкономический эффект был достигнут в вариантах с сочетанием применения повышенных (5–7 т/га) доз НОМУ с повышенными дозами полного минерального удобрения. И хотя по мере усиления питания за счёт минеральных удобрений относительная отдача от НОМУ сокращалась,

абсолютные прибавки продолжали увеличиваться с 0,888–1,659 до 0,907–1,863 и 1,216–1,823 з.ед/м^2. Наивысшая отдача от легирования НОМУ сульфатом калия была зарегистрирована в системе удобрения, базирующейся на применении чистого НОМУ, 7–10 т/га + $К_{70-100}$, а по фону средних и повышенных доз минеральных удобрений – в варианте НОМУ, 5–7 т/га + $К_{50-70}$.

Таким образом, новое органо-минеральное удобрение на основе птичьего помёта оптимизирует кислотно-основные свойства почвы, её водный и питательный режимы. В среднем по вариантам опыта при внесении 1 т/га этого удобрения pHсол. увеличивался на 0,036, а сумма обменных оснований – на 0,048 мМоль/100 г. Его периодическое применение в полевом севообороте в дозах от 3 до 10 т/га является экологически безопасным и представляет собой мероприятие химической мелиорации, направленное на преодоление скрытых деградационных процессов интенсивно используемых дерново-подзолистых почв. Внесение НОМУ в дозах от 11 до 27 т/га за ротацию полевого севооборота позволяет повысить его продуктивность на 47–73%, при легировании сульфатом калия – на 59–87%, при сочетании со средними и повышенными дозами минеральных удобрений – на 94–145 и 147–177% соответственно. Окупаемость 1 кг NPK нового удобрения при этом достигает 5,4–11,6 з.ед.

Список литературы

Архипов М.В., Иванов А.И., Синицына С.М. и др. Методологические и информационно-технологические основы развития кормопроизводства в Северо-Западном регионе РФ. СПб.: СЗЦППО, 2015. 184 с.

Архипов М.В., Иванов А.И., Данилова Т.А. и др. Оценка биопотенциала производства продовольствия в Северо-Западном регионе России. СПб.-Пушкин, 2016. 136 с.

Иванов А.И. Оптимизация условий питания полевых культур на дерново-подзолистых почвах с высоким содержанием фосфора и калия. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. СПб. – Пушкин, 1993. 15 с.

Иванов А.И. Осадок сточных вод в системах удобрения зерновых // Зерновые культуры. 1998. № 6. С. 10–11.

Иванов А.И. Особенности удобрения зерновых на окультуренных дерново-подзолистых почвах с высокими запасами фосфора и калия // Зерновые культуры. 1998. № 3. С. 20–21.

Иванов А.И., Семёнова Н.И. Перспективы удешевления систем удобрения кормовых культур // Кормопроизводство. 1998. № 6. С. 24–26.

Иванов А.И., Цыганова Н.А., Воробьёв В.А. Оценка длительного использования хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении разных систем удобрения // Агрохимия. 2010. № 3. С. 17–21.

Иванов А.И., Воробьёв В.А., Иванова Ж.А. Современные деградационные процессы в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Проблемы агрохимии и экологии. – 2015. № 3. С. 15 – 19.

Иванов А.И, Иванов И.А., Воробьёв В.А., Лямцева Е.Г. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении калий-дефицитной системы удобрения // Агрохимия. 2009. № 4. С. 21–26.

Иванов А.И., Иванов И.А., Надточий И.А., Сорокина И.Ю. Оценка мелиорирующего эффекта сапропелевых удобрений на загрязнённых кадмием дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. 2008. № 2. С. 77–85.

Иванов А.И., Иванова Ж.А., Воробьёв В.А., Цыганова Н.А. Агроэкологические последствия длительного применения дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. 2016. № 4. С. 10–17.

Иванов А.И., Фесенко М.А., Вертебный В.Е., Дубовицкая В.И. О результатах и развитии исследований в многолетнем стационарном опыте в семипольном севообороте // Агрофизика. 2012. № 3(7). С. 50 – 57.

Иванов А.И., Фрейдкин И.А., Иванова Ж.А. Агроэкологическая эффективность применения нового органоминерального удобрения на основе птичьего помёта // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 3. С. 19–22.

Иванов А.И., Конашенков А.А., Иванова Ж.А., Воробьёв В.А., Фесенко М.А., Данилова Т.А., Филиппов П.А. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала Северо-Запада России // Агрофизика. 2016. № 2. С. 35–45.

Иванова В.Ф., Иванов И.А., Иванов А.И. Совершенствование агрохимической классификации почв // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 12. С. 24–25.

Иванова Ж.А., Фрейдкин И.А. Зависимость питательного режима почвы от культуры севооборота и вида системы удобрения. Мат. науч. сессии по итогам 2013 года АФИ. СПб.: АФИ, 2014. С. 156– 61.

Петриков А.В. и др. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения. М.: Росинформагротех, 2013. 148 с.

МИКРОБИОЛОГИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЧВАХ

А. С. Галушко

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

Гуминовые кислоты составляют группуприродных органических веществ, участвующих в окислительно – восстановительных процессах в экосистемах. Вследствие присутствия в молекулах этих веществ функциональных групп способных служить акцепторами и донорами электронов, гуминовые кислоты способны влиять на развитие микробиологических процессов. Восстановление окисленных ГК могут осуществлять как микроорганизмы с дыхательным, так и с бродильным типом метаболизма.Большое количество бактерий используют восстановленные гуминовые кислоты в качестве доноров электронов для денитрификации. Несмотря на то, что микроорганизмы с этими свойствами широко распространены в природе, присутствие и активность микроорганизмов, способных к окислительно – восстановительным трансформациям ГК в сельскохозяйственных почвах недостаточно изучено. Исследования в этом направлении проводятся в секторе экологической микробиологии отдела Отдела светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт».

MICROBIOLOGY OF REDOX REACTIONS OF HUMIC ACIDS IN AGRICULTURAL SOILS

A. S. Galushko

Agrophysical Research Institute, Sankt-Petersburg, Russia

Humic acids are a group of natural organic compounds that participate in redox processes in various environments. Due to the presence of various functional groups that might serve as acceptors and donors of electrons, humic acids take part in the microbiological processes. Microorganisms with respiratory of fermentative metabolism can reduce oxidized humic acids. Numerous bacteria can utilize reduced humic acids as electron donors for denitrification. Though such bacteria are quite common in various environments, the presence and activity of microorganisms capable of redox transformation of humic acids in agricultural soils are not well studied. Microbiology of redox reactions of humic acids in agricultural processes is investigated in the group of ecological microbiology of the Department of light plant physiology and bioproductivity of agroecosystems of Agrophysical Research Institute.

Гуминовые кислоты (ГК) являются природной группой темноокрашенных сложных органических веществ, образующихся в процессе трансформации органических веществ в почве путем окислительного разрушения, конденсации и трансформации отмерших растительных и животных остатков.Традиционно считается, что гуминовые кислоты входят в

состав гумуса, представленного сложными полимерными молекулами с большой молекулярной массой (Орлов, 1990; Stevenson, 1994; Piccolo, 2001; Sutton, Sposito, 2005; Remucal и др., 2012).Основными химическими элементами ГК являются углерод, азот, водород и кислород. Структурными компонентами ГК являются сложные ароматические и алифатические группы.

Содержащиеся в ГК функциональные группы (карбоксильные, гидроксильные, амино и фенольные) определяют значительное разнообразие физико – химических и биологических свойств ГК. Эти вещества способны осуществлять несколько функций в природных экосистемах: аккумулятивную, транспортную, протекторную и регуляторную. В последнюю функцию входит регулирование окислительно – восстановительных процессов. Это связано сприсутствием в гуминовых кислотах функциональных групп способные принимать и отдавать электроны (Aiken и др.,1985; Visser, 1964). Считается, что такими свойствами в ГК обладают группы хинонового типа (Dunnivant и др.,1992; Scott и др., 1998; Ratasuk, Nanny, 2007; Aeschbacher и др., 2010; Hernández-Montoya и др., 2012;Walpen и др., 2016). Стандартный окислительно – восстановительный потенциал ГК при pH 7 варьирует в пределах –0,3 и +0,15В(Aeschbacheи др., 2011). Вследствие этогоГКспособны служить как акцепторами, так и донорами электронов для различных микроорганизмов (Lovley и др., 1996; Benz и др., 1998; Coates и др., 1998; Lovley и др., 1998; Lovley и др., 1999; Lovley и др., 2000; Cervantes и др., 2002; Coates и др., 2002; Luijten и др., 2004; Van Trump и др.,2006; Jiang, Kappler, 2008). При этом окислительно – восстановительная функция ГК обычно не нарушается и эти вещества способны многократно участвовать в процессах переноса электронов (Klüpfel и др., 2014).

Восстановление окисленных ГК могут осуществлять как микроорганизмы с дыхательным, так и с бродильным типом метаболизма. Такие микроорганизмы найдены среди представителей Archaea, Acidobacteria, Actinobacteria, Firmicutesи различных классов Proteobacteria. На примере Fe(3+) – восстанавливающих Deltaproteobacteriaрода *Geobacter* было показано, что

микроорганизмы, способные осуществлять дыхание, получают энергию для роста клеток в процессе восстановления ГК (Lovley и др.,1996).

Денитрифицирующие бактерии, представленные в Acidobacteria, Firmicutes и различных классах Proteobacteria, способны использовать восстановленные ГК в качестве донора электронов (Lovley и др.,1999, Coatesи др., 2002).

Несмотря на то, что микроорганизмы, способные к окислительно – восстановительным трансформациям ГК, широко распространены в природе, распространение и видовое разнообразие таких микроорганизмов в сельскохозяйственных почвах изучено слабо. Публикации по микробиологическому восстановлению ГК в сельскохозяйственных почвах фактически отсутствуют. Окисление восстановленных ГК денитрифицирующими бактериями, присутствующими в почвах кукурузных и соевых полей, было изучено в 2011 г. (Van Trump и др., 2011). Сельскохозяйственные почвы содержали 10^4–10^6 клеток/г почвы. Авторы выделили чистые культуры бактерий, принадлежащие к Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria, и Gammaproteobacteria. Лабораторные эксперименты с использованием анализа генов 16SpРНК выявили, что в дополнение к Proteobacteria в окислении ГК участвовали представители Acidobacteria и Firmicutes.

Таким образом, окислительно – восстановительные свойства ГК способны играть значительную роль в регуляции микробиологических процессов в природных экосистемах. Однако, микробиология окислительно – восстановительных реакций гуминовых кислот в сельскохозяйственных почвах изучена слабо. Исследования в этом направлении проводятся в секторе экологической микробиологии отдела Отдела светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт».

Список литературы

Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: МГУ, 1990. 325 с.

F.J. Stevenson. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994, 512 p.

A. Piccolo. The supramolecular structure of humic substances. Soil Sci, 166 (2001), 810–832.

R. Sutton, G. Sposito. Molecular structure in soil humic substances: the new view. Environ SciTechnol, 39 (2005), p. 9009–9015.

C. Remucal, R. Cory, M. Sander, K. McNeill. Low molecular weight components in an aquatic humic substance as characterized by membrane dialysis and orbitrap mass spectrometry. Environ SciTechnol, 46 (2012), p. 9350−9359.

G. Aiken, D. McKnight, R. Wershaw, P. MacCarthy. Humic substances in soil, sediment and water: geochemistry, isolation and characterization. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1985. 692 p.

S. Visser. Oxidation–reduction potentials and capillary activities of humic acids. Nature, 204 (1964), p. 581.

F. Dunnivant, R. Schwarzenbach, D. Macalady. Reduction of substituted nitrobenzenes in aqueous solutions containing natural organic matter. Environ SciTechnol, 26 (1992), p. 2133–2141.

D. Scott, D. McKnight, E. Blunt-Harris, S. Kolesar, D. Lovley. Quinone moieties act as electron acceptors in the reduction of humic substances by humics–reducing microorganisms. Environ SciTechnol, 32 (1998), p. 2984–2989.

N. Ratasuk, M. Nanny.Characterization and quantification of reversible redox sites in humic substances. Environ SciTechnol, 41 (2007), p. 7844–7850.

M. Aeschbacher, M. Sander, R. Schwarzenbach. Novel electrochemical approach to assess the redox properties of humic substances. Environ SciTechnol, 44 (2010), p. 87–93.

V. Hernández-Montoya, L. Alvarez, M. Montes-Morán, F. Cervantes. Reduction of quinone and non-quinone redox functional groups in different humic acid samples by *Geobactersulfurreducens*.Geoderma, 183–184 (2012), p. 25–31.

N. Walpen, M. Schroth, M. Sander. Quantification of phenolic antioxidant moieties in dissolved organic matter by flow-injection analysis with electrochemical detection. Environ. Sci. Technol., 50 (2016), p. 6423–6432.

M. Aeschbacher, D. Vergari, R. Schwarzenbach, M. Sander. Electrochemical analysis of proton and electron transfer equilibria of the reducible moieties in humic acids. Environ SciTechnol, 45 (2011), p. 8385–8394.

D. Lovley, J. Coates, E. Blunt-Harris, E. Phillips, J. Woodward. Humic substances as electron acceptors for microbial respiration. Nature, 382 (1996), p. 445–448.

M. Benz, B. Schink, A. Brune. Humic acid reduction by Propionibacterium freudenreichii and other fermenting bacteria.Appl Environ Microbiol, 64 (1998), p. 4507–4512.

J. Coates, D. Ellis, E. Blunt–Harris, C. Gaw, E. Roden, D. Lovley.Recovery of humic-reducing bacteria from a diversity of environments.Appl Environ Microbiol, 64(1998), p. 1504–1509.

D. Lovley, J. Fraga, E. Blunt-Harris, L. Hayes, E. Phillips, J. Coates.Humic substances as a mediator for microbially catalyzed metal reduction. ActaHydrochHydrob, 26(1998), p. 152–157.

D. Lovley, J. Fraga, J. Coates, E. Blunt-Harris. Humics as an electron donor for anaerobic respiration. Environ Microbiol, 1 (1999), p. 89–98.

D. Lovley, K. Kashefi, M. Vargas, J. Tor, E. Blunt-Hurris. Reduction of humic substances and Fe(III) by hyperthermophilic microorganisms. ChemGeol, 169 (2000), p. 289–298.

F. Cervantes, F. de Bok, T. Duong-Dac, A. Stams, G. Lettinga, A. Field. Reduction of humic substances by halorespiring, sulphate-reducing and methanogenic microorganisms. Environ Microbiol, 4(2002), p. 51–57.

J. Coates, K. Cole, R. Chakraborty, S. O'Connor, L. Achenbach. Diversity and ubiquity of bacteria capable of utilizing humic substances as electron donors for anaerobic respiration.Appl Environ Microbiol, 68(2002), p. 2445–2452.

M. Luijten, S. Weelink, B. Godschalk, A. Langenhoff, M. Van Eekert, G. Schraa, A. Stams. Anaerobic reduction and oxidation of quinone moieties and the reduction of oxidized metals by halorespiring and related organisms. FEMS MicrobiolEcol, 49 (2004), p. 145–150.

J. Van Trump, Y. Sun, J. Coates. Microbial interactions with humic substances. Adv Appl Microbiol, 60(2006), p. 55–96.

J. Jiang, A. Kappler. Kinetics of microbial and chemical reduction of humic substances: implications for electron shuttling. Environ SciTechnol, 42(2008), p. 3563–3569.

L. Klüpfel, A. Piepenbrock, A. Kappler, M. Sander. Humic substances as fully regenerable electron acceptors in recurrently anoxic environments. Nature Geoscience, 7 (2014), p. 195–200.

J. Van Trump, K. Wrighton, J. Thrash, K. Weber, G. Andersen, J. Coates. Humic acid-oxidizing, nitrate–reducing bacteria in agricultural soils 2 (2011), 4 e00044–11. doi:10.1128/mBio.00044-11.

ДЕЙСТВИЕ БИОУГЛЯ НА pH И СОДЕРЖАНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПРОМЫВНЫХ ВОДАХ ИЗ ОРГАНОГЕННОГО ГОРИЗОНТА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ

Т. В. Ардашева, С. В. Павлик, Н. П. Бучкина

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

В лабораторном эксперименте показано, что внесение в почву биоугля приводит к достоверному изменению величины pH и концентраций макроэлементов в промывных водах из органогенного горизонта супесчаной дерново-подзолистой почвы.

Введение

К настоящему времени еще не существует однозначного мнения о том, каким образом биоуголь влияет на подвижность питательных веществ в сельскохозяйственных почвах. Это имеет значение для обеспечения питательными элементами растений и микроорганизмов, а также важно для решения вопроса о способности биоугля влиять на выщелачивание или перераспределение питательных веществ в почве. В работе Y. Yao et al. (2012) был проведен ряд лабораторных экспериментов для определения влияния биоугля на сорбцию и выщелачивание нитратов, аммония и фосфатов в песчаной почве. В общей сложности в лабораторных экспериментах по сорбции были испытаны тринадцать видов биоугля, большинство из которых показало низкую способность или полную неспособность адсорбировать из водного раствора нитраты или фосфаты, однако девять типов биоугля адсорбировали аммиак. В экспериментах по выщелачиванию было показано, что часть испытанных биоуглей эффективно уменьшала общее количество нитратов, аммония и фосфатов в фильтратах, тогда как другая – уменьшала выщелачивание нитратов и аммония, но вызывал дополнительное выделение фосфатов из почв.

D. Laird et al. (2010) изучал выщелачивание питательных веществ из почвы после внесения навоза и различных доз биоугля. Эти исследования показали, что при увеличении дозы биоугля происходило достоверное снижение выщелачиваемых из почвы азота, фосфора, магния и кремния, не

смотря на то, что с биоуглем в почвы вносили значительные количества этих элементов.

L. A. Biederman и W. S. Harpole (2013) с помощью мета-анализа провели первый количественный обзор данных 371 независимого исследования по применению биоугля и обнаружили, что, несмотря на изменчивость, вызванную свойствами почв и климатом, добавление биоугля в почвы привело к достоверному увеличению продуктивности надземной биомассы, урожайности культур, микробной биомассы почв, концентрации калия в клеточной стенке растений, концентрации общего фосфора, обменного калия, общего азота и общего углерода в почве по сравнению с контрольными условиями. pH почвы, как правило, тоже возрастал после добавления биоугля. Параметры, которые не показали достоверного отклика на внесение биоугля, включали продуктивность подземной биомассы, соотношение надземной и подземной биомассы, микоризную колонизацию корней, концентрацию азота в растительной ткани и концентрацию доступного фосфора и азота в почве.

Из вышеизложенного следует, что внесение биоугля в почву может быть эффективным способом управления выщелачиванием питательных веществ в сельскохозяйственном производстве. Однако воздействие биоугля на выщелачивание питательных веществ из почв неоднозначно и варьирует в зависимости от типа биоугля и питательных веществ, поэтому характеристики сорбции питательных веществ биоуглем следует изучать до его использования в конкретном проекте по мелиорации почвы.

Цель настоящего исследования состояла в оценке влияние биоугля на выщелачивание питательных макроэлементов из пахотного горизонта дерново-подзолистой супесчаной почвы после применения минерального удобрения.

Объекты и методы

Исследования проводили в лабораторном эксперименте при средней температуре воздуха 20°С и средней влажности воздуха 30%. Для исследований использовали органогенный горизонт дерново-подзолистой супесчаной почвы Меньковского филиала ФГБНУ АФИ и мелкую фракцию (< 1 мм) биоугля,

полученного из древесины широколиственных деревьев. Опыт включал 4 варианта: почва (П); почва + биоуголь 20 т га$^{-1}$ (ПБ); почва + удобрение: 120 кг N га$^{-1}$, 135,2 кг Р га$^{-1}$, 259 кг К га$^{-1}$ (ПУ); почва + биоуголь 20 т га$^{-1}$+ удобрение: 120 кг N га$^{-1}$, 135,2 кг Р га$^{-1}$, 259 кг К га$^{-1}$ (ПБУ).

В пластмассовые цилиндры объемом 940 мл и высотой 12 см закладывали почву с плотностью сложения 1,3 г см$^{-3}$. При этом верхние 8 см почвы в цилиндрах перемешивали с биоуглем и удобрением. Почва была увлажнена до наименьшей влагоемкости (20%). Цилиндры с почвой взвешивали и оставляли для стабилизации на пять суток. После стабилизации цилиндры с почвой снова взвешивали и доводили влажность почвы до наименьшей влагоемкости. В эксперименте почву в цилиндрах на протяжении трех дней поливали высокими дозами воды (345 см^3), соответствующими максимально высокому количеству осадков (44 мм), наблюдаемому в естественных условиях. Промывные воды собирали каждый день. В них определяли концентрацию доступного азота, фосфора, калия и значение pH по стандартным методикам.

Результаты и обсуждение

Внесение в почву биоугля приводило к достоверному подщелачиванию, внесение минерального удобрения – к достоверному подкислению, а совместное внесение биоугля и минерального удобрения не вызывало достоверных изменений в величинах pH промывных вод. На протяжении трех дней наблюдалось повышение величины pH промывных вод во всех вариантах опыта (табл. 1).

Содержание доступного аммиачного и нитратного азота в промывных водах не зависело от внесения биоугля, если в почву не вносили минеральное удобрение. При внесении минерального удобрения содержание доступного аммиачного и нитратного азота в промывных водах на третий день было достоверно выше в вариантах опыта с биоуглем (табл. 1). Ранее (Рижия и др., 2015) было показано, что внесение биоугля в супесчаную дерново-подзолистую почву приводило к усилению процесса нитрификации в почве в связи с изменениями физических свойств почв (Buchkina et al., 2013) под воздействием

биоугля. Таким усилением процесса нитрификации можно объяснить увеличение концентрации нитрат-ионов в промывных водах. Однако, в другой работе (Бучкина и др., 2017) не было установлено достоверного влияния биоугля на процесс нитрификации в почве легкого гранулометрического состава.

Таблица 1. **pH и содержание доступного азота (NH_4^+, NO_3^-) в промывных водах в течение трех дней проведения эксперимента (среднее значение ± стандартнее отклонение)**

Вариант опыта	pH			NH_4^+, мг дм$^{-3}$			NO_3^-, мг дм$^{-3}$		
	1 день	2 день	3 день	1 день	2 день	3 день	1 день	2 день	3 день
П	6,3 ± 0,1	6,8 ± 0,1	6,9 ± 0,1	4,7 ± 0,8	6,3 ± 0,4	6,0 ± 0,1	228,4 ± 23,6	109,4 ± 3,1	11,3 ± 0,35
ПБ	6,6 ± 0,1	7,3 ± 0,1	7,3 ± 0,1	3,8 ± 0,4	5,2 ± 0,4	6,0 ± 0,3	221,1 ± 9,3	47,3 ± 11,5	11,0 ± 0,91
ПБУ	6,3 ± 0,2	6,7 ± 0,2	6,9 ± 0,2	78,2 ± 8,4	79,3 ± 19,5	65,8 ± 9,9	247,4 ± 37,8	69,6 ± 28,3	49,93 ± 0,69
ПУ	6,0 ± 0,1	6,4 ± 0,0	6,7 ± 0,1	107,9 ± 14,6	62,1 ± 8,1	36,4 ± 2,4	221,1 ± 26,6	61,6 ± 10,4	24,69 ± 1,04

П – почва; ПБ – почва + биоуголь 20 т га$^{-1}$; ПУ – почва + удобрение: 120 кг N га$^{-1}$, 135,2 кг P га$^{-1}$, 259 кг K га$^{-1}$; ПБУ – почва + биоуголь 20 т га$^{-1}$ + удобрение: 120 кг N га$^{-1}$, 135,2 кг P га$^{-1}$, 259 кг K га$^{-1}$.

Содержание в промывных водах подвижного фосфора и обменного калия также не зависело от внесения биоугля, если в почву не вносили минеральное удобрение. Внесение минерального удобрения приводило к достоверному увеличению концентрации подвижного фосфора и обменного калия в промывных водах, при этом внесение биоугля в удобренную почву достоверно снижало содержание фосфора и повышало содержание калия в промывных водах на третий день эксперимента (табл. 2).

Таблица 2. **Содержание доступного фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) в промывных водах в течение трех дней проведения эксперимента (среднее значение ± стандартнее отклонение)**

Вариант опыта	P_2O_5, мг дм$^{-3}$			K_2O, мг дм$^{-3}$		
	1 день	2 день	3 день	1 день	2 день	3 день
П	0,20 ± 0,06	0,11 ± 0,01	0,13 ± 0,04	26,08 ± 5,32	13,13 ± 2,80	8,05 ± 0,50
ПБ	0,16 ± 0,05	0,07 ± 0,01	0,25 ± 0,02	15,90 ± 0,80	13,48 ± 0,85	11,21 ± 0,83
ПБУ	2,83 ± 1,12	9,00 ± 3,78	3,14 ± 0,35	125,62 ± 19,49	125,87 ± 13,97	108,84 ± 19,95
ПУ	4,19 ± 0,69	13,15 ± 1,08	8,97 ± 0,17	169,21 ± 15,67	145,34 ± 11,09	72,65 ± 2,39

П – почва; ПБ – почва + биоуголь 20 т га$^{-1}$; ПУ – почва + удобрение: 120 кг N га$^{-1}$, 135,2 кг P га$^{-1}$, 259 кг K га$^{-1}$; ПБУ – почва + биоуголь 20 т га$^{-1}$+ удобрение: 120 кг N га$^{-1}$, 135,2 кг P га$^{-1}$, 259 кг K га$^{-1}$.

Список литературы

Бучкина Н.П., Балашов Е.В., Шимански В., Игаз Д., Хорак Я. Изменение биологических и физических параметров почв разного гранулометрического состава после внесения биоугля // Сельскохозяйственная биология. 2017. № 3. С. 471–477.

Рижия Е.Я., Бучкина Н.П., Мухина И.М., Белинец А.С., Балашов Е.В. Влияние биоугля на свойства образцов дерново-подзолистой супесчаной почвы с разной степенью окультуренности (лабораторный эксперимент) // Почвоведение. 2015. №. 2. С. 211–220.

Biederman L. A., Harpole W. S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis // Bioenergy. 2013. Vol. 5: 2. P. 202–214.

Buchkina N., Rizhiya E., Pavlik S., Igaz D., Horak J., Balashov E. Biochar properties related to a possibility of its agricultural use. In: Enviro Nitra 2013. Proceedings of the 18th international scientific conference Enviro Nitra. 2013. P. 16–20.

Laird D., Fleming P., B. Wang, Horton R., Karlen D. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil // Geoderma. 2010. Vol. 158. № 3–4. P. 436–442.

Yao Y., Gao B., Zhang M., Inyang M., Zimmerman A. R. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil // Chemosphere. 2012. Vol. 89: 11. P. 1467–1471.

РЕЦИКЛИНГ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР: ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗОРАЗРУШАЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БИОКОМПОСТОВ

О. А. Борцова[1], А. С. Галушко[1], Н. П. Цветкова[2], Д. В. Кудрявцев[1], В. Е. Вертебный[1], В. И. Дубовицкая[1], Ю. В. Хомяков[1], Г. Г. Панова[1]

[1]ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);

[2]ООО «Фитосфера»

Исследование посвящено разработке метода оптимизации рециклинга непищевого растительного сырья в условиях фитотехнологических комплексов и других сооружений защищенного грунта. В частности проводится скрининг эффективных целлюлозоразрушающих микроорганизмов для создания на их основе биодобавки, способствующей ускорению процесса компостирования.

RECYCLING IN AGRICULTURAL PRODUCTION OF VEGETABLES: SEARCH FOR EFFECTIVE CELLULOSE-DIGESTING MICROORGANISMS FOR COMPOST PREPARATION

O.A. Bortsova[1], A.S. Galushko[1], N.P. Tsvetkova[2], D.V. Kudryavtsev[1], V.E. Vertebniy[1], V.I. Dubovitskaya[1], Yu.V. Khomyakov[1], G.G. Panova[1]

[1]Agrophysical Research Institut, Saint-Petersburg, Russia;

[2]LLP "Fitosfera"

The study deals with the development of optimization method for recycling plant residues at phytotechnological complexes and other buildings protected ground. In particular, the screening of effective cellulose digesting microorganisms to create supplements to accelerate the composting process.

Фитотехнологические комплексы представляют собой наукоемкие сооружения по круглогодичному интенсивному ресурсосберегающему экологически безопасному и рентабельному производству высококачественной растительной продукции. Организация таких сооружений возможна в любых вентилируемых помещениях, имеющих электро- и водоснабжение. Фитотехкомплексы разрабатываются в ФГБНУ АФИ для решения проблемы обеспечения населения свежей качественной экологически безопасной растениеводческой продукцией, особенно во внесезонный период (Панова и др., 2015). Для создания безотходного производства целевой продукции требуется решить вопрос переработки отходов, в частности, растительных

остатков и отработанного субстрата-грунта, с целью их возврата в основное производство.

Фитотехнологические комплексы, как и другие регулируемые агроэкосистемы, являются автономными, закрытыми системами. И в отличие от естественных, открытых систем нуждаются в постоянном контроле и управлении со стороны человека. Рециклинг (утилизация растительных остатков выращивания сельскохозяйственной продукции в защищенном грунте) является важным элементом экологического менеджмента на сельскохозяйственном предприятии.

Проблема эффективной утилизации непищевого растительного сырья на сегодня остается весьма актуальной. Как на мировом уровне, так и в России, как для тепличных хозяйств, так и для создаваемых фитотехнологических комплексов, где необходимо осуществлять замкнутый цикл производства. Наиболее экологически безопасным методом утилизации растительных остатков является метод компостирования. Более полной и быстрой переработке отходов может способствовать искусственная интродукция микроорганизмов, обладающих ферментами целлюлазного комплекса. В связи с этим актуальным представляется поиск штаммов микроорганизмов, способных продуцировать различные целлюлозолитические ферменты.

До недавнего времени считалось, что в ферментативной деструкции целлюлозы участвуют исключительно целлюлазы гидролитического типа действия. Однако в 2010–2011 гг. были открыты новые ферменты, осуществляющие окислительную деструкцию природных полисахаридов, названные литическими полисахаридмонооксигеназами (ПМО) (Vaaje-Kolstad et al., 2010). Впервые они были обнаружены у бактерий, разрушающих хитин (Horn et al., 2012). Активность ПМО проявляется в отношении большинства полисахаридов, включая целлюлозу, гемицеллюлозу и крахмал (Kracher et al., 2016; Булахов и др., 2016).

Наше исследование проводится с целью разработки оригинальной технологии рециклинга в условиях фитотехнологических комплексов и других

сооружений защищенного грунта посредством создания биодобавки для оптимизации процесса компостирования на основе микроорганизмов с высокой ферментативной активностью в отношении переработки растительных остатков.

Объектами исследования были микробные культуры, выделенные из различных экосистем (разлагающаяся древесина, наносы водоемов и водотоков, торфо-растительные компосты, и др.), растительные остатки овощного производства (томата, огурца, редиса) и отработанный субстрат-грунт на основе верхового торфа. Работа велась в двух взаимосвязанных направлениях: во-первых, мы осуществили скрининг микроорганизмов, обладающих высокой целлюлазной активностью, а также провели опыты по компостированию растительных остатков сельскохозяйственного производства овощной продукции с отработанным субстратом с целью определения оптимальных параметров для ускорения процесса компостирования (Борцова и др., 2016). Выделение культур микроорганизмов осуществлялось по стандартным методикам и с применением разработанных питательных сред, способствующих обнаружению микроорганизмов-продуцентов ПМО. Целлюлазная активность определялась аппликационными и фотометрическими методами. Компостирование растительных остатков проводилось в садовых компостерах CompostBin и в лабораторных ферментерах.

В результате скрининга с применением разработанной питательной среды на основе минеральной среды М9 получены накопительные культуры микроорганизмов, проявляющих целлюлазную активность и потенциально обладающие ферментами оксигеназной группы. Полученные образцы были подвергнуты биохимическому анализу, который позволил выявить культуры микроорганизмов с высокой целлюлазной активностью (рис.). Оценка уровня ферментативной активности проводилась по образованию редуцирующих сахаров. Контролем служил буферный раствор без инокулята (культуральной жидкости).

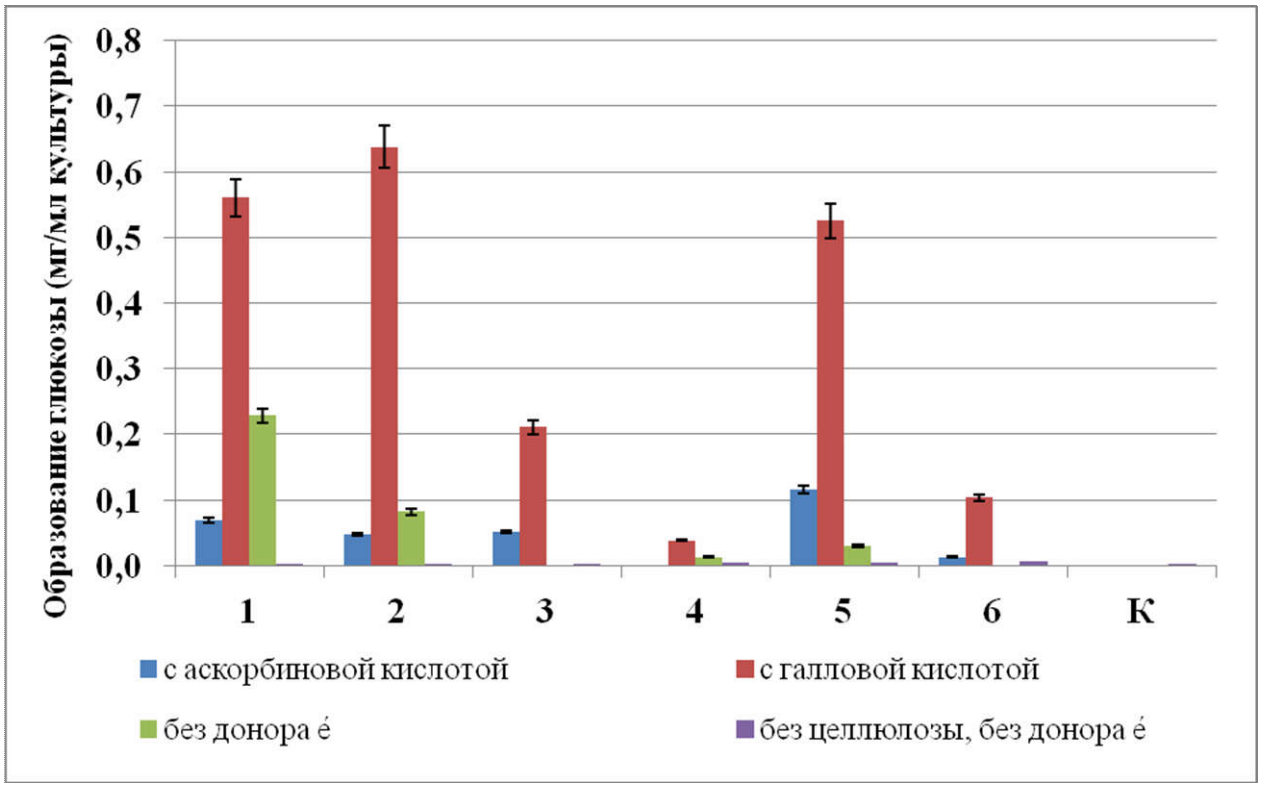


Рис. Целлюлазная активность микроорганизмов.
1 – образец грунта из канавы Пискаревского лесопарка; 2 – седимент р. Приветинская (Курортный р-он Санкт-Петербурга); 3 – седимент заболоченного берега Финского залива; 4 – зрелый компост из листового опада сквера АФИ; 5 – компост с садового участка (Ломоносовский р-он Ленинградской обл.); 6 – компост из листового опада сквера АФИ; К – без инокулята.

Целлюлазная активность оксигеназного типа увеличивалась в присутствие в реакционной смеси доноров электронов (аскорбиновая и галловая кислоты). Ферментативную активность гидролитического типа проявили накопительные культуры микроорганизмов № 1, 2, 4 и 5. Оксигеназная активность была обнаружена во всех исследованных образцах. Показатели содержания глюкозы достоверно отличаются от контроля. Микробные культуры, показавшие максимальную целлюлазную активность и потенциально обладающие ферментами ПМО, задействованы в дальнейших исследованиях.

Таким образом, разработан способ получения накопительных культур целлюлозоразрушающих бактерий из природных источников. Проведено исследование и определение типа ферментативной активности выделенных культур и выявлены микроорганизмы, потенциально обладающие ПМО. В перспективе – проведение лабораторных исследований влияния

микроорганизмов с высокой целлюлазной активностью в составе биодобавки на процесс компостирования растительных остатков овощного производства.

Работа поддержана грантом Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Список литературы

Борцова О.А., Галушко А.С., Цветкова Н.П., Кудрявцев Д.В., Вертебный В.Е., Хомяков Ю.В., Панова Г.Г. Разработка технологии утилизации растительных остатков в фитотехнологических комплексах: поиск эффективных целлюлозоразрушающих бактерий // Сборник научных трудов молодых ученых, аспирантов, студентов и преподавателей по результатам проведения Седьмого молодежного экологического Конгресса «Северная Пальмира», 22–24 ноября 2016 г., Санкт-Петербург. СПб.: НИИЦЭБ РАН, 2016. С. 297–300.

Булахов А.Г., Гусаков А.В., Чекушина А.В. и др. Получение гомогенных полисахаридмонооксигеназ из грибных источников и изучение их синергизма с целлюлазами при действии на целлюлозу // Биохимия, 2016. Т. 81, № 5. С. 701–709.

Панова Г.Г., Черноусов И.Н., Удалова О.Р., Александров А.В., Карманов И.В., Аникина Л.М., Судаков В.Л., Якушев В.П. Научно-технические основы круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции при искусственном освещении //Доклады РАСХН, 2015. № 4. С. 17–21.

S.J. Horn, G. Vaaje-Kolstad, B. Westereng, V.G. Eijsink. Novel enzymes for the degradation of cellulose // Biotechnology for Biofuels, 5:45 (2012).

D. Kracher, S. Scheiblbrandner, A. K. G. Felice, E. Breslmayr, M. Preims, K. Ludwicka, D. Haltrich, V. G. H. Eijsink, R. Ludwig. Extracellular electron transfer systems fuel cellulose oxidative degradation // Science 27 May 2016: Vol. 352, Issue 6289, pp. 1098–1101.

G. Vaaje-Kolstad, B. Westereng, S. J. Horn, Z. Liu, H. Zhai, M. Sørlie, V. G. Eijsink. An oxidative enzyme boosting the enzymatic conversion of recalcitrant polysaccharides // Science, 330 (2010). P. 219–222.

ОКУЛЬТУРИВАНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ НА ПОЛЕВЫХ И ОВОЩНЫХ КУЛЬТУРАХ

Ж. А. Иванова, П. А. Филиппов, Н. В. Смирнова

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

В ходе исследований в длительном стационарном полевом опыте в 2015–2016 гг. установлена высокая агрономическая эффективность мероприятий по интенсивному окультуриванию дерново-подзолистой почвы и применению повышенных доз минеральных удобрений. Ограничивающим фактором выступают неблагоприятные погодно-климатические условия и эпифитотии вредоносных заболеваний.

In studies conducted in long-term stationary field experiment in the period of 2015–2016 has high agronomic efficiency of intensive cultivation of sod-podzolic soil and the use of high doses of mineral fertilizers. The limiting factor are the adverse weather conditions and epidemics harmful diseases.

Высокое значение минеральных и органических удобрений в деле повышения плодородия дерново-подзолистых почв и эффективности земледелия Северо-Западного региона Российской Федерации подтверждается многочисленными исследованиями отечественных учёных (Сапожников, Корнилов, 1977; Иванов, 1989; Иванова, Иванов, Иванов, 1991; Иванов, 1993; Небольсин, Небольсина, Яковлева, Поляков, 1997). Однако современный этап развития регионального земледелия отличается целым рядом особенностей: низким уровнем применения удобрений, в т.ч. местных (Архипов, Иванов, Данилова и др., 2016), высокой концентрацией производства на окультуренных дерново-подзолистых почвах (Иванов, 1998; Иванов, Семёнова, 1998; Архипов, Иванов, Синицына и др., 2015), как следствие, развитием не только явных (на неиспользуемых землях), но и скрытых деградационных процессов (Иванов, Цыганова, Воробьёв, 2010; Иванов, Воробьёв, Иванова, 2015; Иванов, Иванова, Воробьёв, Цыганова, 2016), выраженным повышением роли погодно-климатического фактора в снижении устойчивости производства (Архипов, Иванов, Данилова и др., 2016; Иванов, Конашенков, Иванова, Воробьёв, Фесенко, Данилова, Филиппов, 2016).

На поиск эффективных приёмов воспроизводства плодородия активно используемых окультуренных дерново-подзолистых почв направлено

исследование в многолетнем стационарном опыте «Агрофизический стационар», заложенном в Меньковском филиале АФИ в 2006 году на почвах трёх видов окультуренности (средней, хорошей и высокой), сформированных интенсивным применением навоза (а также птичьего помёта) и поддерживающим известкованием. Он представляет собой 3-хфакторный стационарный опыт в системе зернотравянопропашного (ячмень+мн. травы – мн. травы 1 г.п. – мн. травы 2 г.п. – рожь озимая – картофель – однолетние травы) и зернопропашного севооборотов (картофель ранний – пшеница озимая – люпин узколистный – свёкла столовая – капуста белокочанная – ячмень). Схема опыта представлена в табл. 1 и 2, общая площадь делянки – 200 м^2, учётная – 140 м^2, размещение делянок систематическое, повторность 3-х кратная.

В 2015 и 2016 годах в зернотравянопропашном севообороте возделывались рожь озимая и картофель, а в зернопропашном севообороте – свёкла столовая и капуста белокочанная. Особенности роста и развития культур в эти годы определялись не только изучаемыми в опыте факторами, но и весьма своеобразными погодными условиями с необычно длительными безморозными волнами холода в начале вегетации. И всё же, несмотря на неблагоприятные погодные условия начала вегетации 2015 г. (острая поздневесенняя засуха и волна холода в июне), уровень продуктивности ржи озимой и свёклы столовой находился в пределах 4,83–8,08 и 14,25–38,57 т/га соответственно (табл. 1).

Более требовательная к плодородию свёкла столовая чувствительнее реагировала на окультуривание дерново-подзолистой почвы (поддерживаемое применением органических удобрений), формируя прибавки урожайности корнеплодов в 53 и 83% при 30 и 43% у ржи озимой.

Таблица 1. **Зависимость продуктивности ржи озимой и свёклы столовой от окультуренности почвы и уровня применения удобрений**

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели продуктивности по видам почвы (фактор А)						
	Урожайность зерна, т/га	Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности		Прибавка от минеральных удобрений	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%
Рожь озимая							
Среднеокультуренная почва							
Контроль – 0	4,83	-	-	-	-	-	-
N70P30K30	6,21	1,38	31	-	-	1,38	29
N140P60K60	6,88	2,05	47	-	-	2,05	42
Хорошо окультуренная почва							
Контроль – 0	6,30	1,47	33	1,47	30	-	-
N70P30K30	7,18	2,35	54	0,97	16	0,88	14
N140P60K60	7,85	3,02	69	0,97	14	1,55	25
Высокоокультуренная почва							
Контроль – 0	6,93	2,1	48	2,1	43	-	-
N70P30K30	7,90	3,07	70	1,69	27	1,6	23
N140P60K60	8,08	3,25	74	1,2	17	1,15	17
$НСР_{05}$ фактор А фактор Б фактор АБ		0,40 0,57 $Fфакт<F_{05}$					
Свекла столовая							
Среднеокультуренная почва							
Контроль – 0	14,25	-	-	-	-	-	-
N70P50K100	21,28	7,03	49	-	-	7,03	49
N110P70K200	24,33	10,08	71	-	-	10,08	71
Хорошо окультуренная почва							
Контроль – 0	21,88	7,63	54	7,63	53	-	-
N70P50K100	30,52	16,27	114	9,24	43	8,64	39
N110P70K200	36,00	21,75	153	11,67	48	14,12	64
Высокоокультуренная почва							
Контроль – 0	26,12	11,87	83	11,87	83	-	-
N70P50K100	34,76	20,51	144	13,48	63	8,64	33
N110P70K200	38,57	24,32	171	14,24	58	12,45	48
$НСР_{05}$ фактор А фактор Б взаимод АБ		1,87 2,63 $Fфакт<F_{05}$					

Отдача от минеральных удобрений у ржи озимой закономерно снижалась по мере роста степени окультуренности почвы. Если на средне- и хорошо окультуренной почве оптимальной была доза N140P60K60, то на высоко окультуренной N70P30K30. У свёклы столовой эта закономерность отсутствовала. Прибавка урожайности корнеплодов от минеральных удобрений по мере роста окультуренности почвы здесь не только не снижалась, но и имела тенденцию к увеличению в абсолютном исчислении с 7–10 до 9–14 т/га.

Причина этого в высокой потребности культуры в комплексной оптимизации питательного режима почвы (нейтральной реакции, оптимальном обеспечении микроэлементами и др.).

Анализ факторов продуктивности ржи озимой показал, что уровень окультуренности почвы, как и уровень применения минеральных удобрений больше влияли на продуктивную кустистость растений, их выживаемость к уборке и число зёрен в колосе. Масса тысячи зёрен на изучаемом агротехническом фоне оказалась относительно стабильным показателем.

Окультуренность почвы существенно влияла на полевую всхожесть семян и выживаемость растений свёклы столовой к уборке (густота стояния растений увеличилась с 18 до 21–22 шт./м^2. Влияние минеральных удобрений на этот показатель было слабовыраженным. Напротив, средняя масса корнеплода зависела и от уровня окультуренности почвы (77, 106 и 121 г) и от уровня применения удобрений (134, 155, 157 г). По мере роста плодородия почвы товарность корнеплодов увеличилась с 71 до 86–91%, а минеральные системы удобрения повысили её в среднем с 83 до 90–92%. Применение максимальной дозы минерального удобрения на фоне хорошей и высокой окультуренности почвы способствовало увеличению доли крупных корнеплодов, что выражалось в тенденции снижения их товарности.

В 2016 г. неблагоприятные условия, выражались в продолжительной волне холода со второй декады мая до середины июня и в исключительно избыточном увлажнении периода активного формирования клубней (с конца июля до середины августа). В условиях повышенной влажности почвы и пониженных температур существенно повысилась подвижность фитотоксичных соединений марганца и поражённость растений ризоктониозом. Особенно значительные потери от эпифитотии ризоктониоза были зафиксированы на капусте белокочанной, где уровень поражения прямо коррелировал с дозами минеральных удобрений, и обратно, с уровнем окультуренности почвы. В результате уровень недобора урожая от такого неблагоприятного сочетания агроэкологических условий варьировал от 32–40%

в контрольных вариантах (без минеральных удобрений) до 43–64% – на фоне высокой их дозы (табл. 2).

Таблица 2. **Зависимость продуктивности картофеля и капусты белокочанной от окультуренности почвы и уровня применения удобрений**

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели продуктивности по видам почвы (фактор А)							
	Урожайность, т/га		Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности		Прибавка от минеральных удобрений	
	Потенц.	Фактич.	т/га	%	т/га	%	т/га	%
Капуста белокочанная								
Среднеокультуренная почва – без помёта								
Контроль-0	30,5	25,0	-	-	-	-	-	-
N100P40K160	47,0	30,6	5,6	22	-	-	5,6	22
N150P60K240	58,9	21,2	-3,8	-15	-	-	-3,8	-15
Хорошо окультуренная почва								
Контроль-0	109,9	75,0	50,0	200	50,0	200	-	-
N100P40K160	141,6	82,9	57,9	232	52,3	171	7,9	11
N150P60K240	143,3	81,8	56,8	227	60,6	242	6,8	9
Высокоокультуренная почва – 70 т/га помёта								
Контроль-0	128,1	77,3	52,3	209	52,3	209	-	-
N100P40K160	161,7	81,6	56,6	226	51,0	167	4,3	6
N150P60K240	162,5	79,0	54,0	216	57,8	272	1,7	2
$НСР_{05}$ фактор А фактор Б фактор АБ	8,70 8,70 15,07	7,40 $Fф<F_{05}$ $Fф<F_{05}$						
Картофель								
Среднеокультуренная почва – без помёта								
Контроль-0	20,8	17,9	-	-	-	-	-	-
N80P20K100	30,4	25,1	7,2	40	-	-	7,14	40
N120P40K150	35,5	28,2	10,3	57	-	-	10,25	57
Хорошо окультуренная почва – 35 т/га помёта								
Контроль-0	29,4	23,7	5,8	32	5,8	32	-	-
N80P20K100	38,1	29,5	11,6	65	4,4	18	5,81	25
N120P40K150	43,0	32,1	14,2	79	3,9	14	8,40	35
Высокоокультуренная почва – 70 т/га помёта								
Контроль-0	33,6	25,3	7,4	41	7,4	41	-	-
N80P20K100	38,8	28,1	10,2	57	3,0	12	2,79	11
N120P40K150	42,9	30,0	12,1	67	1,8	6	4,70	19
$НСР_{05}$ фактор А фактор Б взаимод АБ	3,71 3,71 $Fф<F_{05}$	2,69 2,69 $Fф<F_{05}$						

Фактически даже резкое повышение товарности продукции на фоне минеральных систем удобрения, достигнутое во второй половине вегетации, лишь компенсировало потери от изреживания посадок культуры в начале вегетационного периода, а их действие может быть выражено лишь тенденциями (от отрицательных на среднеокультуренном фоне до

положительных – на хорошо- и высокоокультуренном). Отзывчивость на минеральные удобрения картофеля также ограничивалась неблагоприятными условиями начала и конца вегетации, когда на фоне избыточного увлажнения произошло эпифитотийное поражение посадок культуры фитофторозом. Прямые потери урожая клубней (гибель от поражения возбудителем и незавершенное формирование клубней) на средне-, хорошо и высококультуренных почвах составили 16–26, 24–34 и 33–43% соответственно. Однако относительный положительный эффект здесь всё же был достоверным и достигал на средне-, хорошо- и высокоокультуренном фонах 40–57, 25–35 и 11–19% прибавок урожая клубней. Повышение дозы минерального удобрения до максимального уровня оказалось эффективным только на среднеокультуренном фоне.

В целом же агрономические эффекты от уровня окультуренности почвы и минеральных удобрений в значительной степени трансформировались в 2016 г. в связи с применением высокой (35 т/га) и очень высокой (70 т/га) дозы птичьего помёта. На фоне неблагоприятных погодных и фитосанитарных условий оптимизация питательного режима почвы под действием помёта, положительно отразившаяся на комплексе биометрических показателей обеих культур достоверно реализовалась в урожае лишь при первом уровне дозы в 35 т/га. Прибавка урожайности картофеля достигла 32, а капусты белокочанной – 200%. Применение очень высокой дозы помёта хотя и имело ряд положительных биометрических эффектов, а так же повышало товарность основной продукции, существенного роста урожая не вызвало.

Таким образом, комплексное окультуривание дерново-подзолистой почвы и приёмы воспроизводства её плодородия позволяют повысить продуктивность полевых (ржи озимой и картофеля) и овощных (свеклы столовой и капусты белокочанной) культур на 30–32 и 53–200%. Стабильно высокая эффективность свойственна лишь первому уровню минеральных систем удобрения. Реализация биопродуктивного потенциала культур на фоне высоко интенсивного окультуривания и применения органических и

минеральных удобрений ограничивается неблагоприятным сочетанием погодно-климатических и фитосанитарных условий. По прежнему, основные издержки здесь связаны с недостаточной теплообеспеченностью и периодическим переувлажнением.

Список литературы

Архипов М.В., Иванов А.И., Синицына С.М. и др. Методологические и информационно-технологические основы развития кормопроизводства в Северо-Западном регионе РФ. СПб.: СЗЦППО, 2015. 184 с.

Архипов М.В., Иванов А.И., Данилова Т.А. и др. Оценка биопотенциала производства продовольствия в Северо-Западном регионе России. СПб.-Пушкин, 2016. 136 с.

Иванов А.И. Оптимизация условий питания полевых культур на дерново-подзолистых почвах с высоким содержанием фосфора и калия. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. С-Пб.-Пушкин, 1993. 15 с.

Иванов А.И. Особенности удобрения зерновых на окультуренных дерново-подзолистых почвах с высокими запасами фосфора и калия // Зерновые культуры. 1998. № 3. С. 20–21.

Иванов А.И., Семёнова Н.И. Перспективы удешевления систем удобрения кормовых культур // Кормопроизводство. 1998. № 6. С. 24–26.

Иванов А.И., Цыганова Н.А., Воробьёв В.А. Оценка длительного использования хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении разных систем удобрения // Агрохимия. 2010. № 3. С. 17–21.

Иванов А.И., Воробьёв В.А., Иванова Ж.А. Современные деградационные процессы в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Проблемы агрохимии и экологии. – 2015. № 3. С. 15–19.

Иванов А.И., Иванова Ж.А., Воробьёв В.А., Цыганова Н.А. Агроэкологические последствия длительного применения дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. 2016. № 4. С. 10–17.

Иванов А.И., Конашенков А.А., Иванова Ж.А., Воробьёв В.А., Фесенко М.А., Данилова Т.А., Филиппов П.А. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала Северо-Запада России // Агрофизика. 2016. № 2. С. 35–45.

Иванов И.А. Пути повышения эффективности минеральных удобрений в условиях Северо-Запада РСФСР. Дисс. … докт. с.-х. наук. Великие Луки, 1989. 388 с.

Иванова В.Ф., Иванов И.А., Иванов А.И. Совершенствование агрохимической классификации почв // Химизация сельского хозяйства. 1991. №12. С. 24–25.

Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Яковлева Л.В., Поляков В.А. Научные основы и технологии использования удобрений и извести. СПб: 1997. 52 с.

Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф. Научные основы системы удобрения в Нечернозёмной полосе. Л.: Колос, 1977. 296 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ПОСАДОК КАРТОФЕЛЯ ОТ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РФ

В. В. Смук

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

В результате многолетних исследований выявлен разнообразный видовой состав, сложная структура и сильная степень засоренности посадок картофеля, размещенных по пласту многолетних трав на Северо-Западе РФ. Влияние полного минерального удобрения проявлялось в фитоценотическом подавлении роста и развития сорных растений, снижении их видового и численного состава во второй половине вегетации картофеля. Самым эффективным способом борьбы с сорными растениями в посадках картофеля оказался комбинированный, сочетающий механические и химические мероприятия.

IMPROVE THE PROTECTION OF THE PLANTING POTATOES FROM THE WEEDS IN THE NORTH-WEST REGION OF RUSSIA

V. V. Smuk

Agrophysical Research Institute

A diverse species composition, complex structure and a strong degree of infestation of potato placed on perennial grasses on the North-West of Russia revealed in the result of years of research. Effect of complete fertilizer was manifested in phytocenotic suppressing the growth and development of weeds, reduction of species and numerical composition in the second half of the growing season of potatoes. The most effective way of weed control in potato plantings were combined, joint mechanical and chemical events.

Сорная растительность является существенным фактором недобора урожая картофеля в Северо-Западном регионе РФ (Гончаров, 2009). Это обусловлено сильной засоренностью, которая, например, в Ленинградской области может составлять от 200–300 до 800 экз./м^2 (Надточий, 2005; Редюк и др., 2008). Таким образом, в абсолютном большинстве посадок картофеля наблюдается превышение экономических порогов вредоносности сорных растений и требуется проведение комплекса эффективных защитных мероприятий. При разработке наиболее оптимальной структуры и последовательности приёмов защиты картофеля от сорной растительности, наиболее существенное значение приобретает изучение влияния предшественника и внесения минеральных удобрений на сорный компонент

агроценоза, а также поиск наиболее рационального сочетания применения агротехнических и химических обработок в течение вегетации культуры.

Исследования по совершенствованию интегрированных подходов в защите посадок картофеля от сорной растительности проводились в период 2012–2016 гг. на полях агроэкологического стационара Меньковского филиала Агрофизического НИИ, расположенного в Гатчинском районе Ленинградской области. Стационар представляет собой 7-польный зерно-травяно-пропашной севооборот с традиционным для Северо-Западного региона набором и чередованием культур. Согласно схеме севооборота предшественником картофеля являются многолетние травы (тимофеевка луговая + клевер красный) второго года пользования. Схемой опыта было предусмотрено изучение трех уровней удобренности, формируемых разными дозами минеральных удобрений из расчета планируемой урожайности (высокий – $N_{100}P_{75}K_{75}$, средний – $N_{65}P_{50}K_{50}$, низкий – $N_0P_0K_0$), и трех способов защиты посадок картофеля от сорной растительности (механический, химический и комбинированный). Механический способ состоял из двух сплошных довсходовых и двух междурядных послевсходовых обработок КОН-2.8 + БРУ-0.7, а также окучивания. В варианте с химической защитой кроме окучивания проводилось две обработки гербицидами: Торнадо, ВР (3 л/га) за 3–5 дней до появления всходов и Титус, СТС (50 г/га) + Тренд 90 (80 мл/га) при высоте растений картофеля 10–15 см. Комбинированный способ включал две сплошные довсходовые обработки КОН-2.8 + БРУ-0.7, обработку гербицидом Титус, СТС (50 г/га) + Тренд 90 (80 мл/га) и окучивание.

Для оценки засоренности посадок картофеля использовалась методика постоянных учетных площадок с их стационарным размещением на протяжении всего периода вегетации культуры (Зубков, 1978). На постоянных площадках 1,4 м^2 определялся видовой состав сорной растительности, учитывалась численность и фитомасса сорных растений в отдельности по видам. На них же несколько раз за вегетацию определялась густота растений картофеля и высота, урожайность и основные элементы структуры урожая.

В результате проведенных исследований на посадках картофеля выявлено 53 вида сорных растений, относящихся к 19 семействам (Смук, Шпанев, 2016). Из них к биологическим группам однолетних и многолетних сорных растений относились 34 и 19 видов соответственно. Для посадок картофеля, размещенных по пласту многолетних трав, оказалась характерна сильная степень засоренности. Через семь дней после посадки ежегодно насчитывалось 134–153 экз./м^2. Видовой состав характеризовался присутствием в посадках картофеля от 37 до 44 видов сорной растительности. Видовое обилие сорных растений составляло 15–22 вида/м^2. Различия в структуре засоренности определяли варьирование по годам фитомассы, сформированной сорными растениями за период произрастания в посадках картофеля. Значение фитомассы сорняков на момент проведения десикации изменялось от 47,4 до 812,6 г/м^2.

Влияние многолетних трав, выступающих в качестве предшественника картофеля, проявлялось как в увеличении общей численности многолетних видов сорных растений, так и существенном росте присутствия пырея ползучего в посадках культуры. Вследствие этого наблюдалось формирование сложного корневищно-малолетнего типа засоренности посадок картофеля, ввиду наличия существенной доли многолетних злаковых видов (12–40%). Однако на отдельных полях может формироваться еще более сложный тип засоренности – корнеотпрысково-корневищно-малолетний. Например, в 2012 г. доля многолетних двудольных сорняков составляла 48%, многолетних однодольных – 26,4%, малолетних двудольных – 25,5%.

Наиболее массовым и трудноискоренимым из доминирующих сорных растений в посадках картофеля, размещенных по пласту многолетних трав, являлся пырей ползучий. Доля его в общей засоренности культуры составляла 27,5% при среднемноголетней численности 40 экз./м^2.

Анализ полученных нами данных показал положительные изменения происходящие с засоренностью картофеля при разных уровнях удобрения посадок (Шпанев и др., 2017). Внесение минеральных удобрений приводило к

достоверным изменениям в структуре засоренности посадок картофеля. В частности, сильное негативное влияние данного фактора проявилось в росте численности малолетних двудольных видов на довсходовом этапе развития культуры. Противоположная ситуация отмечалась для многолетних двудольных видов, наименьшая плотность которых фиксировалась на вариантах с внесением высоких доз удобрений. По всей видимости, в отношении наблюдаемого эффекта подавления этой группы сорняков можно говорить о действии на них мощного пролонгированного фитоценотического прессинга культурных растений, полностью обусловленного уровнем удобренности посадок картофеля. Происходит это вследствие повышения конкурентоспособности культурных растений, которые под влиянием минеральных удобрений формируют мощную вегетативную массу и густую посадку.

Положительное влияние удобрений наиболее сильно проявляется на втором этапе вегетации, в условиях полного отсутствия механических обработок посадок. Так, на высокоудобренном варианте рост численности сорняков за период от окучивания до десикации составил 3,1 раза, среднеудобренного – 3,9 раза, неудобренного – 7,9 раза. Кроме того, влияние удобрений сказывается на развитии сорных растений. С повышением обеспеченности почвы основными элементами питания отмечалось снижение высоты и массы у таких сорных растений, как марь белая, дымянка аптечная, редька дикая и торица полевая.

Самым эффективным способом борьбы с сорными растениями в посадках картофеля, размещенных по пласту многолетних трав, оказался комбинированный, включающий две довсходовые сплошные обработки почвы культиватором-окучником и ротационной бороной, гербицидную обработку препаратом Титус, СТС и окучивание (Смук, Шпанев, 2017). Многолетние злаковые сорные растения уничтожались на 81%, многолетние двудольные – 89%, малолетние двудольные – 91%. Итоговая эффективность по всем группам сорных растений составляла 88%.

Эффективность одних агротехнических приемов, состоящих из двух довсходовых сплошных обработок, двух послевсходовых междурядных обработок и окучивания, составляла 68%. При этом малолетние виды были уничтожены на 77%, тогда как многолетние злаковые только на 51%.

Эффективность варианта с химической защитой посадок картофеля от сорной растительности была выше агротехнических приемов только за счет большей результативности по отношению к многолетним злаковым сорнякам. Их численность снижалась на 72%, в том числе под влиянием обработки Торнадо, ВР – 87%. и Титуса, СТС – 85%. Общая гибель сорных растений после проведения всех мероприятий, предусмотренных данным вариантом опыта, составила 77%.

Список литературы

Гончаров Н.Р. Нормативы сохраняемого урожая от применения химических средств защиты растений в РФ в зависимости от интенсивности земледелия. СПб., 2009. 8 с.

Зубков А.Ф. Методические указания по сбору полевой биоценологической информации с целью оценки вредоносности комплекса вредных организмов. Л., 1978. 18 с.

Надточий И.Н. Определение критического периода вредоносности комплекса сорной растительности в культуре картофеля в условиях Ленинградской области // Фитосанитарное оздоровление агроэкосистем. Т. 1. СПб., 2005. С. 345-347.

Редюк С.И., Голубев А.С., Кириленко Е.И., Маханькова Т.А., Долженко В.И. Действие гербицидов разных классов на сорные растения в посадках картофеля // Современные средства, методы и технологии защиты растений. Новосибирск, 2008. С. 167–169.

Смук В.В., Шпанев А.М. Засоренность посадок картофеля, размещенных по пласту многолетних трав в Ленинградской области // Вестник защиты растений. 2016. № 2. С. 38–42.

Смук В.В., Шпанев А.М. Борьба с сорняками на посадках картофеля, размещенных по пласту многолетних трав // Защита и карантин растений. 2017. № 1. С. 18–21.

Шпанев А.М., Смук В.В., Фесенко М.А. Фитосанитарный эффект применения минеральных удобрений в Северо-Западном регионе // Агрохимия. 2017. № 9. С. 58–65.

УДК 631.861

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕРНОВО-КАРБОНАТНОЙ ПОЧВЫ

П. А. Суханов[1], А. А. Комаров[1], А. Д. Кирсанов[1], М. В. Васильев[2], Е. Ф. Завьялова[2]

[1]ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);

[2]ООО «АГРОХИМЗЕМ»

В рамках многоцелевого многолетнего производственного опыта проведены комплексные исследования по оценке эколого-экономической эффективности различных видов органических удобрений и глубины их заделки в кормовом севообороте на дерново-карбонатной оподзоленной суглинистой почве. В предлагаемой работе рассматриваются результаты влияния различных видов органических удобрений и глубины их заделки на ряд агрофизических свойств почв, наиболее важных с агрономической точки зрения(структурное состояние пахотного горизонта, водопрочность структурных агрегатов, содержание гумса, влагозапасы).

Ключевые слова: Дерново-карбонатные почвы, агрофизические свойства, структурное состояние, органические удобрения, птичий помёт.

Введение. Органические удобрения, в отличие от минеральных, многофункциональны и оказывают влияние не только на содержание в почве макро- и микроэлементов, но и улучшают её физико-химические и буферные свойства, водный и воздушный режимы, активизируют жизнедеятельность полезной микрофлоры.

Установлено, что внесение навоза улучшает сложение почв, повышает водопрочность структурных агрегатов не только в слое 20 см, но и на большей глубине. Системное применение органических удобрений существенно улучшает водно-физические свойства дерново-подзолистых почв. Так, внесение навоза по сравнению с эквивалентным количеством минеральных удобрений в среднем на 78% увеличивает фильтрационную способность, на 23% повышает полную влагоемкость и на 31% – количество продуктивной влаги (табл. 1).

Таблица 1. **Действие систематического (7 лет) применения навоза и минеральных удобрений на водно-физические свойства почвы (Научные основы применения органических удобрений в Ленинградской области, 1987)**

Варианты	Фильтрац. способность, мм/мин	Полная влагоемкость, % от абс. сухой почвы	Продуктивная влага, мм	Содержание водопрочных агрегатов, % на абс. сух. почву	Коэффициент агрегатности	pH (KCl)	Емкость поглощения, мг-экв/100 г	Содержание подвижных форм мг/100 г	
								P_2O_5	K_2O
Без удобрений	1,06	46,7	31,4	44,2	0,70	5,5	7,3	16,6	4,5
Навоз	2,18	58,3	41,3	55,3	0,9	5,8	8,8	21,0	13,8
Мин. удобрения (экв.100 т навоза)	1,22	47,1	31,5	45,2	0,68	5,0	7,4	22,7	7,0

Однако, влияние органических удобрений на свойства дерново-карбонатных почв, занимающих около 20% площади сельскохозяйственных угодий в Ленинградской области и широко распространенных в других регионах, изучено значительно меньше.

Объекты и методы. Объектами для исследований выбраны три вида органических удобрений, наиболее широко применяемые в сельском хозяйстве Северо-западного региона: органические удобрения на основе навоза крупного рогатого скота, куриного помета и компост многоцелевого назначения на основе торфа и куриного помета (КМН). Исследования свойств почв проводились после трех лет действия органических удобрений, в которые на опытном поле выращивались ячмень (2014 и 2015 гг., многолетние травы 2016 г.). Исследования проводились в производственных условиях ЗАО «Гатчинское» Гатчинского района Ленинградской области. Схема опыта приведена в таблице (табл. 2).

Варианты опыта 2–7 были выровнены по суммарному количеству азота, фосфора и калия.

Таблица 2. **Схема производственного опыта**

Вариант	Доза удобрения
1. Контроль (без удобрений)	-
2. Навоз под дискование	(60 т/га)
3. Навоз под вспашку	(60 т/га)
4. Куриный помёт под дискование	(20 т/га)
5. Куриный помёт под вспашку	(20 т/га)
6. КМН, расчётная доза под дискование	(30 т/га)
7. КМН, расчётная доза под вспашку	(30 т/га)
8. КМН, рекомендованная производителем доза под дискование	(6 т/га)
9. КМН, рекомендованная производителем доза под вспашку	(6 т/га)
10. Расчётная доза минеральных удобрений	$N_{90}P_{90}K_{90}$

Чрезвычайно важное значение в агрономическом плане имеет структурное состояние почв. Структурное состояние является одним из основных критериев оценки устойчивости физических свойств почвы.

Агрономическое значение агрегатов заключается в том, что они определяют связность – устойчивость агрегатов к механическому воздействию, водопрочность – способность не разрушаться при увлажнении, пористость – способность впитывать воду и обеспечивать проникновение микроорганизмов и корневых волосков растений. Агрономически ценны агрегаты размером 0,25–10 мм, обладающие пористостью более 45%, механической прочностью. Наиболее предпочтительными при этом являются агрегаты от 1 до 3 мм (комковатая и зернистая структура), устойчивые против размывающего действия воды.

В схеме предусматриваются варианты с традиционными органическими удобрениями на основе навоза КРС, куриного помёта и традиционными минеральными удобрениями (азофоска). Кроме того, в схеме производственного опыта предусмотрена различная глубина заделки органических удобрений до 10 см (дискование) и до 20 см (вспашка). В качестве контрольного варианта в опыте присутствует вариант без внесения каких-либо удобрений. Все технологические приемы по выращиванию сельскохозяйственных культур выполнены одинаково на всех вариантах. Пахотный горизонт почв опытного поля характеризовался следующими

агрохимическими параметрами по вариантам: органическое вещество от 3,5 до 4,0%, pH от 5,7 до 6.0, содержание подвижного фосфора от 150 до 200 мг P_2O_5 на 1 кг, обменного калия от80 до 100 мг K_2O на 1 кг почвы. Разница в значениях агрохимических показателей опытных делянок не выходила за рамки одной градации. Образцы почв отбирались после завершения уборки урожая многолетних трав, в октябре 2016 года.

Результаты и обсуждение. О степени структурности почвы можно судить по данным агрегатного и микроагрегатного анализов. Естественное структурное состояние почвы характеризуют результаты сухого просеивания образцов почвы опытных делянок, представленные в таблице 3.

Таблица 3. **Агрегатный состав почвы опытных делянок по данным сухого просеивания**

Варианты опыта	Фракции агрегатов в мм, % к массе почвы								
	>10	10-7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5-0,25	<0,25
1. Контроль без удобрений	16,6	7,5	9,1	12,8	10,9	17,9	6,3	7,6	11,6
2. Навоз КРС, дискование	18,8	6,8	7,5	11,7	10,1	18,1	8,1	7,6	11,3
3. Навоз КРС, вспашка	12,5	6,8	6,1	9,9	9,5	19,9	8,0	9,9	17,4
4. Куриный помёт, дискование	19,3	8,5	8,7	9,4	9,4	18,3	7,3	8,6	10,5
5. Куриный помет, вспашка	17,9	7,3	7,1	11,1	10,6	18,5	8,1	7,9	11,5
6. КМН, расчетная доза, дискование	14,5	6,2	7,2	10,0	9,5	17,2	8,0	9,5	17,9
7. КМН, расчетная доза, вспашка	20,1	7,9	7,0	10,0	9,1	18,6	9,4	6,4	11,5
8. КМН, рекомендуемая доза, дискование	13,7	7,1	8,7	12,3	10,9	18,1	8,0	9,7	11,5
9. КМН, рекомендуемая доза, вспашка	16,1	7,5	8,6	13,1	10,1	17,2	6,8	8,0	12,6
10. NPK	21,3	7,7	8,4	13,2	10,9	18,2	6,7	13,4	15,2

Оценка агрегатного состояния почв по соотношению фракцийприведена в таблице 4.

Согласно полученным данным, структурное состояние почвы на всех делянках опыта оценивается как хорошее, при этом массовая доля наиболее ценных агрегатов размером от 1 до 3 мм составляет, как правило более 30% от массы воздушно-сухой почвы.

По вариантам опыта наблюдаются незначительные колебания по суммарному содержанию агрегатов размером 0,25–10 мм. Их общее содержание не превышает 30% во всех вариантах, при этом наи более высокие значения по этому показателю характерны для 1 и 10 вариантов(соответственно контроль и минеральные удобрения.

Таблица 4. **Оценка агрегатного состояния почвы (метод сухого просеивания)**

Варианты опыта	Содержание агрегатов разме-ром 0,25–10 мм % к массе почвы	Содержание агрегатов разме-ром 1–3 мм % к массе почвы	Структурное состояние почвы
1. Контроль без удобрений	71,9	28,7	хорошее
2. Навоз КРС, дискование	69,9	28,2	хорошее
3. Навоз КРС, вспашка	70,1	29,4	хорошее
4. Куриный помет, дискование	65,3	24,7	хорошее
5. Куриный помет, вспашка	70,6	29,1	хорошее
6. КМН, расчетная доза, дискование	67,6	26,7	хорошее
7. КМН, расчетная доза, вспашка	58,4	24,7	хорошее
8. КМН, рекомендуемая доза, дискование	74,8	29,0	хорошее
9. КМН, рекомендуемая доза, вспашка	71,3	27,3	хорошее
10. NPK	73,5	29,1	хорошее

Другим методом оценки структурного состояния почвы является расчётный по коэффициенту структурности (Шеин, 2005).

Данные расчета коэффициента структурности приведены в таблице 5.

Оценка почвы данным методом свидетельствует не просто о хорошем, а об отличном структурном состоянии пахотного горизонта дерново-карбонатных почв опытного поля во всех вариантах опыта, в том числе в

контрольном варианте. Исключение составил вариант с минеральными удобрения, в котором отмечается ухудшение структурного состояния пахотного горизонта по сравнению с контрольным вариантом. состоянии почвы всех делянок, в том числе, и контрольных.

Таблица 5. **Оценка агрегатного состояния почвы по коэффициенту структурности**

Варианты опыта	Сумма макро-агрегатов от 0,25 до 10 мм, %	Сумма <0,25 мм и комков >10 мм, %	Коэффициент структурности	Структурное состояние почвы
1. Контроль без удобрений	71,9	28,2	2,5	отличное
2. Навоз КРС, дискование	69,9	30,1	2,3	отличное
3. Навоз КРС, вспашка	70,1	29,9	2,3	отличное
4. Куриный помет, дискование	70,2	29,8	2.6	отличное
5. Куриный помет, вспашка	70,6	29,4	2,4	отличное
6. КМН, расчётная доза, дискование	67,6	32,4	2,1	отличное
7. КМН, расчётная доза, вспашка	68,4	31,6	2,2	отличное
8. КМН, рекомендуемая доза, дискование	74,8	25,2	3,0	отличное
9. КМН, рекомендуемая доза, вспашка	71,3	28,7	2,5	отличное
10. NPK	63,5	36,5	1,8	хорошее

Принимая во внимание невысокие дозы использованных в опыте органических удобрений, можно предположить, что такое структурное состояние почвы является результатом длительного окультуривания почвы в предшествующие опыту годы.

Другим показателем структурного состояния почвы считается ее устойчивость к воздействию внешним факторам, среди которых наиболее существенным является воздействие воды.

Это чрезвычайно важно, так как почва должна сохранять свою уникальную комковатую зернистую структуру после обильных осадков и следующего лёгкого подсушивания, когда образуется не плотная

непроницаемая для газов и воды корка, а вновь хорошо различимые почвенные комочки, агрегаты. Это качество структуры называют водоустойчивостью.

Характеризуют это качество структуры с помощью рассева на ситах в стоячей воде (мокрое просеивание). Информация о результатах мокрого просеивания представлена в таблицах 6 и 7.

Таблица 6. **Агрегатный состав почвы по данным мокрого просеивания**

Варианты опыта	Фракции агрегатов в мм, % к массе почвы					
	>5	5-3	3-1	1-0,5	0,5-0,25	<0.25
1. Контроль без удобрений	14,1	7,35	16,4	17,65	20,2	24,4
2. Навоз КРС, дискование	9,1	8,1	24,2	18,1	17,1	23,3
3. Навоз КРС, вспашка	3,6	17,9	25,9	13,8	12,3	26,5
4. Куриный помет, дискование	16,8	8,4	22,4	15,1	13,7	23,6
5. Куриный помет, вспашка	9,2	7,9	25,6	16,4	19,4	21,5
6. КМН, расчетная доза, дискование	7,6	8,3	24,7	19,5	20,0	20,0
7. КМН, расчетная доза, вспашка	22,8	7,2	22,1	12,2	16,8	18,9
8. КМН, рекомендуемая доза, дискование	11,0	7,1	16,5	11,1	25,5	28,8
9. КМН, рекомендуемая доза, вспашка	8,4	8,8	18,0	19,9	7,0	38,0
10. NPK	11,0	7,4	25,2	16,6	10,8	28,9

Таблица 7. **Оценка водоустойчивости почвенной структуры**

Варианты опыта	Содержание водопрочных агрегатов размером 0,25–10 мм, %	Водоустойчивость структуры
1. Контроль без удобрений	74,1	хорошая
2. Навоз КРС, дискование	76,7	избыточно высокая
3. Навоз КРС, вспашка	73,5	хорошая
4. Куриный помет, дискование	76,4	избыточно высокая
5. Куриный помет, вспашка	78,5	избыточно высокая
6. КМН, расчетная доза, дискование	80,0	избыточно высокая
7. КМН, расчетная доза, вспашка	81,1	избыточно высокая
8. КМН, рекомендуемая доза, дискование	71,2	хорошая
9. КМН, рекомендуемая доза, вспашка	62,0	хорошая
10. NPK	71,1	хорошая

Согласно полученным данным, хорошей водоустойчивостью обладают почвы следующих вариантов опытов: 1. Контрольный; 3. Навоз КРС, вспашка; 8. КМН, рекомендуемая изготовителем доза, дискование; 9. КМН, рекомендуемая изготовителем доза, вспашка; 10. NPK.

В других вариантах опыта водоустойчивость почвы характеризуется как избыточно высокая, особенно при внесении КМН в расчетной дозе. Вероятно,

это связано с наличием торфа в составе КМН, обладающего высокой водоудерживающей способностью. Таким образом, можно отметить положительное влияние органических удобрений на водопрочность почвенных структурных агрегатов.

Важным показателем, характеризующим физические свойства почвы, является её влажность, от величины которой зависят условия развития растений.

Для почв разного гранулометрического состава оптимальные значения влажности отличаются. Согласно ГОСТ 28268-89, для среднесуглинистой почвы, какой является почва опытного участка, предпочтительной следует считать массовую долю влаги в диапазоне значений от 15 до 20%.

Результаты анализов почвы пахотного горизонта на содержание влаги в нем, приведенны в таблице 8.

Таблица 8. **Содержание влаги и органического вещества в почвах опытных делянок**

Варианты опыта	Массовая доля влаги, %	Массовая доля органического вещества, %
1. Контроль без удобрений	14,7	3,52
2. Навоз КРС, дискование	15,8	3,66
3. Навоз КРС, вспашка	14,8	3,67
4. Куриный помет, дискование	15,4	3,60
5. Куриный помет, вспашка	14,9	3,78
6. КМН, расчетная доза, дискование	15,1	3,71
7. КМН, расчетная доза, вспашка	14,8	3,82
8. КМН, рекомендуемая доза, дискование	14,0	2,64
9. КМН, рекомендуемая доза, вспашка	14,4	2,92
10. NPK	13,4	3,31

Влажность почв всех опытных делянок по окончании опыта находилась на уровне нижней границы оптимальных значений.

В большинстве вариантов опыта просматривается определенная корреляционная зависимость величины влажности почвы от массовой доли органического вещества в почве соответствующего варианта.

Выводы. Таким образом, по прошествии трех лет после закладки производственного опыта с органическими удобрениями, получены следующие результаты:

1. Оценка почвы по коэффициенту структурности свидетельствует об отличном структурном состоянии состоянии почвы всех делянок, в том числе, и контрольных;

2. Массовая доля наиболее ценных агрегатов размером от 1 до 3 мм составляет более 30% от массы воздушно-сухой почвы. По вариантам опыта наблюдаются незначительные колебания по суммарному содержанию агрегатов размером 0,25–10 мм, однако их содержание не превышает

3. Отмечено положительное влияние органических удобрений на водопрочность почвенных структурных агрегатов;

4. Влажность почв всех опытных делянок по окончании опыта находилась на уровне нижней границы оптимальных значений. В большинстве вариантов опыта просматривается корреляционная зависимость величины влажности почвы от массовой доли её органического вещества.

Список литературы

1. Научные основы применения органических удобрений в Ленинградской области, 1987.

2. Шеин Е. В. Курс физики почв.: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.

ВКЛАД ТЕХНОГЕННЫХ И АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ КУЛЬТУР ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА

М. А. Фесенко, А. М. Шпанев

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

Представлены данные о вкладе в формирование урожайности ярового ячменя, озимой ржи, картофеля и ярового рапса факторов интенсификации земледелия – минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений. Вклад техногенных факторов оценивали как отдельно по каждому из вегетационных периодов, так и в целом за 4–5 лет изучения.

CONTRIBUTION OF ANTHROPOGENIC AND AGROMETEOROLOGICAL FACTORS IN YIELD FORMATION IN CULTURES OF FIELD CROP ROTATION

M. A. Fesenko, A. M. Shpanev

Agrophysical Research Institute

Data are presented on the contribution to the formation of spring barley yield, winter rye, potato and spring rape of factors of agricultural intensification – mineral fertilizers and integrated plant protection system. The contribution of technogenic factors was assessed both separately for each of the growing seasons, and in general for 4–5 years of study. Yield in a separate growing season was determined in cereal crops primarily by the level of mineral nutrition, in rape by the effectiveness of monitoring the phytosanitary situation. The yield of potatoes could be determined by the level of mineral nutrition, the effectiveness of the plant protection system, and the unidirectional action of both factors. The determination of the contribution of anthropogenic and climatic factors in yield formation in several years showed the dominance of conditions on the system of fertilizers and plant protection. The yield level of spring crops and potatoes reliably depended on the level of mineral nutrition, and on the plant protection system, and on the interaction of each of these technogenic factors with specific vegetation conditions. The reliability of the «condition of the year – man – caused factor» interactions for these crops testifies to the higher adaptability of such agrocenoses to climatic conditions, the possibility of correcting them with negative influence of agro-climatic conditions of vegetation, and the prospect of developing new effective chemistry-controlled high-precision agriculture technologies

Продуктивность агроценозов определяется совокупным действием контролируемых, антропогенных (средства агротехнологий), случайных, лимитирующих (погода) и детерминированных (почва) факторов. Определение вклада природных и основных корректирующих факторов – удобрений и средств защиты растений в формирование продуктивности ряда культур проводилось в условиях длительного стационарного зерно-травяно-пропашного севооборота Меньковского филиала АФИ (Ленинградская обл.). В стационаре созданы и поддерживаются длительным ежегодным внесением минеральных удобрений три уровня почвенного плодородия (МУ): 1 – контроль – без

удобрений; 2 – хозяйственный – $N_{65}P_{50}K_{50}$; 3 – высокоинтенсивный – $N_{100}P_{75}K_{75}$ (Иванов и др., 2012). Большинство полей имеют сильную степень засоренности. Для культурных растений постоянную угрозу представляют болезни (фитофтороз на картофеле, снежная плесень и бурая листовая ржавчина на озимой ржи, гельминтоспориозные пятнистости на ячмене) и вредители (проволочники и колорадский жук на картофеле, крестоцветные блошки, капустная моль и рапсовый цветоед на рапсе) (Шпанев, Рогожникова, 2014). Система защиты растений (СЗР) состояла из обязательного протравливания. Фунгицидами, гербицидами и инсектицидами обрабатывали при превышении экономического порога вредоносности. Таким образом, на каждой культуре было создано по 6 сочетающих разные комбинации уровня почвенного плодородия и систем защиты растений вариантов.

Варьирование урожайности культур по годам в значительной степени определялось гидротермическими условиями вегетации, которые действуют на продуктивность как непосредственно, так и через развитие вредных организмов, а также способность культур к эффективному использованию минерального питания. Однако средние за вегетационный период климатические характеристики далеко не всегда имели определяющее значение в результативности продукционного процесса полевых культур (табл. 1). Наименьшая урожайность на всех культурах во все годы изучения получена на вариантах без применения удобрений и системы защиты растений, и, вследствие этого, является показателем отклика культуры исключительно на метеоусловия конкретного вегетационного периода. Анализ данных показал, что различия в урожайности по годам таких «нулевых» вариантов от 2,5 раз у озимой ржи до 6,5 раз на картофеле. Использование техногенных средств выравнивало продуктивность – максимальная урожайность различалась в 1,7 раз (озимая рожь) и 3,6 раз (картофель).

Таблица 1. **Гидротермические условия вегетации и размах изменчивости урожайности культур полевого севооборота**

Год	Гидротермические условия вегетации			Урожайность, т/га средняя/размах изменчивости			
	∑t>10C° за период вегетации	сумма осадков, мм	ГТК	Озимая рожь	Яровой ячмень	Яровой рапс	Картофель
2012	1520	340	2,2	–	2,52/ 1,13÷4,06	1,08/ 0,75÷1,55	21,34/ 11,60÷29,90
2013	1778	391	2,2	4,25/ 3,24÷5,02	1,41/ 0,62÷2,35	0,80/ 0,20÷1,48	9,88/ 4,67÷14,83
2014	1671	213	1,3	3,70/ 2,23÷4,79	2,57/ 1,15÷4,06	1,06/ 0,71÷1,60	29,92/ 23,37÷42,80
2015	1419	166	1,2	5,40/ 4,75÷6,01	3,02/ 2,49÷3,32	1,05/ 0,90÷1,14	42,14/ 30,53÷53,10
2016	1579	298	1,9	2,61/ 1,91÷3,58	1,81/ 1,05÷2,33	–	34,85/ 17,97÷50,23

Урожайность зерновых культур в отдельный вегетационный период определялась в первую очередь уровнем минерального питания (таблица 2). У ярового ячменя система защиты растений в меньшей степени, но в большинство лет достоверно влияла на величину зерновой продуктивности. Урожайность рапса в большинство из лет изучения, напротив, зависела от эффективности контроля фитосанитарной обстановки. При этом близкая как по средним значениям, так и по амплитуде урожайность в 2012 году была получена за счет применения системы защиты, а в 2014 – удобрений и СЗР. Урожайность картофеля могла определяться и уровнем минерального питания, и эффективностью системы защиты растений, и однонаправленным действием обоих факторов. Синергического воздействия обоих факторов на урожайность не отмечалось на большинстве культур, за исключением озимой ржи.

Таблица 2. **Вклад техногенных факторов в формирование урожайности культур полевого севооборота по годам, %**

Культура	Фактор	2012	2013	2014	2015	2016
Озимая рожь	СЗР	–	2,0	2,2*	5,4	3,8
	МУ		68,4*	89,4*	13,7	56,2*
	Взаимодействие СЗР-МУ		1,8	3,4*	3,7	17,2*
	Повторений		5,7	2,4	37,3	6,3
	Случайное		22,1	2,6	40,0	16,5
Яровой ячмень	СЗР	7,9*	16,8*	37,3*	3,2	21,3*
	МУ	90,9*	49,3*	49,3*	53,4*	73,1*
	Взаимодействие СЗР-МУ	0,4	2,9	4,3	1,4	2,0
	Повторений	0,0	2,6	0,5	29,2	0,0
	Случайное	0,8	28,4	8,6	12,8	3,5
Яровой рапс	СЗР	39,8*	62,6*	21,6*	1,0	–
	МУ	18,5	9,8	51,7*	31,1	
	Взаимодействие СЗР-МУ	11,6	2,4	9,9	3,8	
	Повторений	7,2	0,9	2,5	25,9	
	Случайное	22,8	24,3	14,3	38,2	
Картофель	СЗР	31,3*	76,1*	9,9	0,0	77,5*
	МУ	63,4*	0,1	48,4*	62,1*	11,1*
	Взаимодействие СЗР-МУ	1,3	0,8	12,7	0,6	0,8
	Повторений	0,0	8,1	0,3	8,7	4,4
	Случайное	4,0	14,8	28,8	28,5	6,1

* – различия по фактору между вариантами существенны

Определение вклада агроклиматических (Год) и контролируемых факторов в формирование урожайности культур полевого севооборота показало доминирование условий года над системой удобрения и защитой растений (табл. 3).

Таблица 3. **Вклад техногенных и агрометеорологических факторов в формирование урожайности культур полевого севооборота, %**

Фактор	культура			
	озимая рожь	яровой ячмень	яровой рапс	картофель
Год	59,1*	34,4*	8,7*	60,1*
СЗР	0,2	10,0*	24,3*	9,0*
МУ	21,3*	32,8*	14,9*	10,2*
Взаимодействие Год-СЗР	1,1	4,0*	17,7*	6,7*
Взаимодействие Год-МУ	4,0*	10,4*	7,2*	4,3*
Взаимодействие СЗР-МУ	1,5*	0,6	2,2	0,4
Взаимодействие Год-СЗР-МУ	0,6	1,0	3,1	0,6
Повторений	3,3	0,4	1,1	0,5
Случайное	8,8	6,4	20,6	8,1

* – различия по фактору между вариантами существенны

Вместе с тем, уровень урожайности яровых культур и картофеля достоверно зависел и от уровня минерального питания, и от системы защиты растений, и от взаимодействия каждого из данных техногенных факторов с

конкретными условиями вегетации. Достоверность взаимодействий «условия года-техногенный фактор» для этих культур свидетельствует о более высокой адаптивности таких агроценозов к климатическим условиям и перспективности разработки новых эффективных, регулируемых высокоточными технологиями земледелия блоков химизации. Данный вывод в значительной степени применим и к озимой ржи, однако, в этом случае основным корректирующим погоду фактором будут являться минеральные удобрения.

Одной из своих задач при публикации данных экспериментальных материалов авторы считают обоснование необходимости проведения как минимум 3–4-х летних наблюдений, и отказ от распространенных в последние годы 1–2-летних полевых опытов по изучению антропогенных факторов. Краткосрочные полевые наблюдения, даже с учетом грамотно проведенного статистического анализа, искажают вклад того или иного фактора коррекции, не позволяют оценить его адаптивность и, как следствие, корректно разрабатывать новые эффективные, высокоточные технологии земледелия.

Список литературы

1. Иванов А. И., Фесенко М. А., Вертебный В. Е., Дубовицкая В. И. Результаты и развитие исследований в многолетнем стационарном полевом опыте в семипольном севообороте // Агрофизика. 2012. № 3(7). С. 50–57.

2. Шпанев А. М., Рогожникова Е.С1 К вопросу о совершенствовании защиты растений на агроэкологическом стационаре МФ АФИ // Материалы научной сессии по итогам 2013 года Агрофизического института 2014. С. 149–152.

ВЛИЯНИЕ НЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ ФОСФОРНО-КАЛИЙНЫМ УДОБРЕНИЕМ НА УРОЖАЙНОСТЬ РИСА

В. Н. Чижиков, В. Н. Паращенко, Э. Р. Авакян

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт риса (ВНИИ риса)

Комплексные удобрения, применяемые в виде некорневой подкормки, являются одним из эффективных способов для повышения продуктивности растений риса. Исследованиями установлено, что внесение комплексного фосфорно-калийного удобрения позволило повысить урожайность за счёт повышения числа зёрен на метёлке, массы 1000 зёрен и снижения пустозёрности.

THE INFLUENCE OF NUTRITION SPRAYING WITH PHOSPHATE-POTASSIUM FERTILIZER ON RICE YIELD

Vitaliy N. Chizhikov, Vladimir N. Paraschenko, Elmira R. Avakyan

All: FSBSI «ARRRI», 3 Belozerny, Krasnodar, 350921, Russia

E-mail: arrri_kub@mail.ru

In modern rice growing, along with traditional nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers, complex ones are also used. An effective method of their application are foliar top dressings for individual or all phases of plants vegetation. These fertilizers are well absorbed, actively included in the metabolic processes of the plant organism (nitrogen, phosphorus and potassium), thereby contributing, in the final analysis, to an increase in the productivity of rice plants. research carried out in the field experiment has found that the introduction of the complex phosphate-potassium fertilizer Nutri-Fait RK allowed to increase the yield by 11%, with an increase of 0.85 t/ha. Yield increases due to the increase in productive tillering, number of grain panicle, the mass of 1000 grains and the decrease of grain sterility. This is largely due to the fact that phosphorus in the fertilizer Nutri-Fait RK is in the form of phosphite, which, unlike phosphate, is better absorbed by the leaves. As a result, the plants regulate the physiological distribution of phosphite independently, depending on their need for phosphorus.

Благоприятные природные условия Краснодарского края, наличие инженерных оросительных систем и потенциал районированных сортов позволяют получать стабильно высокие урожаи риса.

Применение минеральных удобрений является неотъемлемой составляющей частью современной технологии возделывания риса, в которой наряду с азотными требуются фосфорные и калийные.

Фосфор регулирует процессы дыхания и переноса энергии. Энергия фосфатных связей макроэргических соединений (АТФ и АДФ) необходима для всех жизненных процессов роста и развития растений Растения риса особенно

чувствительны к недостатку этого элемента питания в раннем возрасте, когда имеют слаборазвитую корневую систему и не могут извлекать фосфор из труднодоступных фосфатов почвы. В дальнейшем также требуется полное обеспечение риса фосфором, иначе наблюдаются нарушения в белковом обмене, корневая система развивается слабо, кущение задерживается, а метелка получается малоозерненной и снижается масса зёрен.

Калий в клетках растений способствует стабилизации мембран, обеспечивая благоприятные условия для протекания синтетических процессов. Его недостаток до дифференциации конуса нарастания приводит к снижению числа колосков на метёлке. Поэтому важно обеспечить растения достаточным количеством калия начиная с фазы всходов. Снабжение риса калием во второй половине вегетации способствует усилению оттока запасных углеводов из вегетативных органов в генеративные, что в результате обеспечивает повышение урожайности. При достаточном калийном питании повышается устойчивость растений к заболеваниям и полеганию.

Известно, что быстрое и эффективное устранение недостатка элементов минерального питания в растениях в периоды их наибольшего потребления достигается проведением некорневых (листовых) подкормок.

Цель исследований – охарактеризовать воздействие удобрения Нутрифайт РК применяемого в виде некорневой подкормки на метаболизм растения повышающего продуктивность риса.

Материалы и методы

Изучение эффективности некорневой подкормки комплексным фосфорно-калийным удобрением проводили в условиях полевого опыта на РОС ОПУ ФГБНУ «ВНИИ риса» (карта 14, чеки 4 и 8). Почва опытного участка – лугово-черноземная слабосолонцеватая тяжелосуглинистая. Характеризуется следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 2,9%, валовых форм азота, фосфора и калия 0,32%, 0,18% и 0,94% соответственно, легкогидролизуемого азота 4,30 мг/100 г почвы, обменного аммония

0,23 мг/100 г почвы, подвижного фосфора и калия 4,1 и 21,9 мг/100 г почвы соответственно, pH – 7,68.

Схема опыта: 1. $N_{120}P_{50}K_{30}$ – Фон; 2. Фон + Нутри-Файт РК по 0,5 л/га (5-6 и 8-9 листьев); 3. Фон + Нутри-Файт РК 1,0 л/га (8–9 листьев).

Повторность вариантов опыта – четырехкратная. Площадь делянок – общая – 20 $м^2$, учетная – 15,6 $м^2$. Сорт риса – Флагман. Посев рядовой, нормой 7 млн. шт./га всхожих семян. Азотно-фосфорно-калийный фон ($N_{120}P_{50}$ K_{30}) создан следующим образом: $N_{50}P_{50}K_{30}$ перед посевом, а N_{70} в фазу кущения (5–6 листьев).

Используемые минеральные удобрения: карбамид (N_{46}) аммофос ($N_{12}P_{52}$), хлористый калий (K_{50}).

Комплексное фосфорно-калийное удобрение Нутри-Файт РК (P_2O_5 28%, K_2O 26%) вносили в виде некорневых подкормок в дозах и сроки согласно схемы опыта малообъемным ранцевым опрыскивателем с нормой расхода рабочей жидкости на делянку из расчёта 250 л/га. Одновременно с комплексным удобрением вносили препарат «Спартан» в дозе 0,1 л/га, улучшающий смачивающуюся способность поверхности листьев. Режим орошения – укороченное затопление. Технология возделывания риса соответствует рекомендациям ВНИИ риса (Система рисоводства, 2011).

В опыте были проведены следующие учеты, наблюдения и анализы: учет густоты стояния растений риса по всходам и перед уборкой урожая на всех делянках опыта, регистрация наступления фенологических фаз (Шеуджен, 2015), экспресс-контроль обеспеченности растений риса азотом прибором «N-tester» (Параценко, 2003) и определение активности пероксидазы в листовых пластинках через семь дней после некорневой подкормки в возрасте 7–8 листьев (Плешков,1975), отбор модельных снопов и биометрический анализ растений риса; учёт урожая с приведением полученных данных к 100% чистоте и 14% влажности, статистическая обработка полученных результатов проводилась методом дисперсионного анализа (Шеуджен, 2015).

Результаты и обсуждение

В результате исследований установлено, что густота всходов риса была равномерной на всех вариантах опыта. В фазу всходов она составила 298–309 раст./м^2, а перед уборкой – 234–253 раст./м^2.

При постановке эксперимента исходили из того, что комплексное фосфорно-калийное удобрение, внесённое в виде некорневой подкормки должно активизировать общий метаболизм растения. Косвенным показателем повышения метаболической активности является активность фермента пероксидазы. Она играет большую роль в окислительно-восстановительных процессах. Пероксидаза катализирует окисление различных полифенолов, находящихся в растительном организме в свободном или связанном состоянии, а также ароматических аминов.

Роль пероксидазы прослеживается в настоящем опыте, где в результате применения изучаемого удобрения активность этого фермента возросла в среднем по сравнению с контролем на 17,6%. Это согласуется с данными по обеспеченности растений риса азотом, которая была больше на 10,9% (таблица 1).

Таблица 1. **Активность пероксидазы и обеспеченность азотом растений риса**

Вариант	Активность пероксидазы, у.е./г/час	Показания N-тестер, ед.
1.	0,588	481
2.	0,714	532
3.	0,670	540

Урожайность риса является результирующим показателем эффективности изучаемого агроприёма. Применение некорневых подкормок комплексным удобрением позволило обеспечить повышение урожайности зерна риса.

Внесение комплексного фосфорно-калийного удобрения в два срока (5–6 и 8–9 листьев) позволило повысить урожайность до 8,52 т/га, при прибавке 0,85 т/га, а в один срок в (8-9 листьев) до 8,43 т/га, при прибавке 0,76 т/га.

Из результатов эксперимента, приведённых в таблице (табл. 2) видно, что прибавка урожая сформировалась за счёт повышения, в среднем количества колосков на 16,2%, массы 1000 зёрен на 5,6% и снижения пустозёрности на

3,0%. Это обеспечило увеличение массы зерна с растения в среднем на 20,9%, при этом масса зерна с главных метёлок увеличилась 6,9%, а с боковых на 109,9%.

Таблица 2. **Элементы структуры урожая**

Вариант	Масса зерна с гл. метелки, г	Масса зерна с бок. метелки, г	Масса зерна с раст., г	Масса соломы, г	Число колосков, шт.	Пустозёр-ность, %	Масса 1000 зерен, г
1.	3,71	0,59	4,30	2,98	161	11,3	26,8
2.	3,96	1,27	5,23	3,06	196	8,1	28,1
3.	3,97	1,20	5,17	3,17	178	7,7	28,5
$НСР_{05}$			0,72				1,07

Полученные данные показывают, что прибавка урожая в основном сформировалась за счёт увеличения массы зерна с боковых метёлок.

Выводы

1. Эффективность некорневой подкормки риса комплексным фосфорно-калийным удобрением в определённой степени связано с повышением активности фермента пероксидазы по сравнению с контролем.

2. Повышение обеспеченности растений азотом на 10,9% обусловлено активизацией азотного метаболизма.

3. Применение комплексного фосфорно-калийного удобрения в дозах по 0,5 л/га в фазы кущения и трубкования позволило получить прибавку урожая 0,85 т/га (11,0%), а дозой 1,0 л/ в фазу трубкования — 0,76 т/га (9,9%).

4. Увеличение урожайности риса при применении комплексного фосфорно-калийного удобрения получено за счёт снижения пустозерности, повышения количества и массы 1000 зерен на растении.

Список литературы

Система рисоводства Краснодарского края / под ред. Е. М. Харитонова. Краснодар, 2011. 316 с.

Шеуджен А.Х. Бондарева Т.Н. Методика агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов. Майкоп, 2015. 664 с.

Паращенко В.Н., Кузнецова О.В. Адаптация метода диагностики обеспеченности риса азотом с использованием «N-тестера» // Современное приборное обеспечение и методы анализа почв, кормов, растений и сельскохозяйственного сырья: Материалы международн. конф. 2-4 декабря 2003 г., Москва. М.: ВНИИА, 2003. С. 123–124.

Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М.: Колос, 1976. 213 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ

А. М. Шпанев[1,2], В. В. Смук[1], Е. С. Денисюк[1]

[1]*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);*

[2]*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (ВИЗР)*

В статье обобщены многолетние данные тематических исследований по защите растений, проводившихся на Меньковском филиале Агрофизического НИИ. Приведены сведения о фитосанитарном состоянии посевов и посадок с.-х. культур, роли вредных организмов в формировании урожая яровой пшеницы. Показано влияние минеральных удобрений на фитосанитарную обстановку зерновых культур. Приведены результаты оценки эффективности новых биофунгицидов в защите ярового ячменя от болезней. Полученные результаты должны послужить научной основой при разработке и совершенствовании систем защиты культур от вредных организмов в Северо-Западном регионе РФ.

IMPROVEMENT OF SYSTEMS OF PLANTS PROTECTION IN THE NORTH-WEST OF RUSSIA

A. M. Shpanev[1,2], V. V. Smuk[1], E. S. Denisyuk[1]

[1]*Agrophysical Research Institute;*

[2]*All-Russian Research Institute Of Plant Protection*

The article summarizes long-term data case studies on plant protection, held at Minkowska branch of the Agrophysical research Institute. Provides information on phytosanitary condition of crops and plantings of agricultural crops, the role of harmful organisms in crop production of spring wheat. Shows the effect of mineral fertilizers on the phytosanitary situation of crops. The results of the evaluation of new biological fungicides in the protection of spring barley against diseases. The results obtained should serve as the scientific basis for the development and improvement of systems of protection of crops from pests in North-West region Russian Federation.

Как известно, практическая защита растений реализуется в системах защиты, которые в соответствии с современными изменениями в фитосанитарной обстановке, а также развитии новых средств, методов и технологий нуждаются в постоянном совершенствовании. В полной мере актуально это и для Северо-Западного региона.

Исследования в области совершенствования систем защиты растений велись сотрудниками Агрофизического НИИ на протяжении 2012–2017 гг. на базе Меньковского филиала, расположенного в Гатчинском районе

Ленинградской области. В качестве приоритетных направлений считалось изучение фитосанитарного состояния посевов и посадок с.-х. культур, комплексной вредоносности вредных организмов, фитосанитарного значения предшественников, сроков и норм сева, вносимых удобрений, оценка сортовой устойчивости, эффективности современного ассортимента химических средств и новых биопрепаратов для защиты растений.

Данные многолетнего фитосанитарного мониторинга показали, что большинство посевов возделываемых на Северо-Западе культур имеют сильную степень засоренности и поражение грибными болезнями. Так, в посадках картофеля размещенных по пласту многолетних трав ежегодно насчитывается 15–22 вида/м^2 и 134–153 экз./м^2 сорных растений (Смук, Шпанев, 2016). При этом наблюдается формирование сложного корневищно-малолетнего типа засоренности, ввиду наличия существенной доли многолетних злаковых видов (12–40%). В посевах зерновых культур преобладающей группой сорных растений являются однолетние двудольные виды. На их долю приходится не менее 90% от общей численности сорняков, что указывает на малолетний тип засоренности посевов. При этом на единице площади посева присутствует от 8 до 13 видов/м^2 (Шпанев и др., 2016).

Наиболее сложная фитопатологическая ситуация складывается на картофеле. Она обусловлена, в первую очередь, фитофторозом. Заболевание ежегодно проявляется в умеренной или сильной степени. В первом случае доля пораженной листовой поверхности составляет 30–50%, пораженных клубней – 1–3%, во втором – 70–90 и 10–25% соответственно (Шпанев, Смук, 2017).

К числу основных болезней ярового ячменя, имеющих хозяйственное значение в Северо-Западном регионе, относятся корневые гнили и гельминтоспориозные пятнистости листьев. В фазу кущения корневыми гнилями обычно поражается около 60% растений ячменя, а развитие составляет 15–40%. В годы с засушливым маем развитие болезни не превышает 5%, с избыточным увлажнением, сопровождающимся сильным уплотнением пахотного горизонта и плохой аэрацией корневой системы, достигает 30–40%.

Сильное развитие гельминтоспориозных пятнистостей соответствует уровню 15–20% в фазу налива зерна на первом подфлаговом листе, слабое – 1–5%, умеренное – 5–15% (Шпанев, Денисюк, 2017).

Вредные насекомые постоянную угрозу представляют для ярового рапса и картофеля. На рапсе перечень опасных вредителей состоит из крестоцветных блошек, капустной моли, рапсового цветоеда. Крестоцветными блошками ежегодно повреждается 70–85% всходов с интенсивностью 12–20%. Капустная моль в годы массового заселения посевов рапса, когда насчитывается 500 гусениц/10 взм. сачком, повреждает более 90% листьев, уничтожая листовую поверхность на 55%, и 35% соцветий, в результате чего растения оказываются непродуктивными. Имаго и личинки рапсового цветоеда выедают содержимое бутонов. Их численность может достигать 10 и 100 особей/10 взм. сачком.

На картофеле сложная ситуация с вредителями складывается прежде всего потому, что большинство полей в сильной степени заселены личинками жуков щелкунов. Их численность может достигать 20–50 лич./м^2, поврежденность клубней – 20–40% (Шпанев и др., 2014).

По результатам оценки комплексной вредоносности вредных организмов определена их роль в формировании урожая яровой пшеницы в Ленинградской области (Шпанев, 2015). Общие потери урожая зерна оказались равными 7.0 ц/га, или 18.2% от потенциальной, рассчитанной по уравнению урожайности в 39 ц/га. Наибольшее хозяйственное значение в регионе имеют листовые болезни и сорные растения, на долю которых приходится 3.2 (8.2%) и 2.7 (7.1%) ц/га потерь урожая. Недобор урожая от сорной растительности варьирует по годам от 3.6 до 18.2%, а на каждый 1% проективного покрытия однолетних двудольных видов урожай яровой пшеницы снижается на 0.18 ц/га (0.47%), многолетних двудольных – 0.36 ц/га (0.93%) (Шпанев, 2016). Недобор урожая от деятельности вредных насекомых составляет 0.7 ц/га (1.8%), мышевидных грызунов – 0.2 ц/га (0.6%).

Согласно полученным данным сорта зерновых культур зарубежной селекции значительно сильнее поражаются болезнями, чем местные. Например,

развитие бурой ржавчины на флаговом листе в фазу молочной спелости на сорте немецкой селекции Тризо достигало 35%, мучнистой росы – 10%, септориоза – 5%, тогда как на сорте Эстер – 10, 2 и 1% соответственно (Лаптиев и др., 2013).

Внесение минеральных удобрений неоднозначно сказывается на фитосанитарном состоянии посевов яровой пшеницы и ячменя (Рогожникова, Шпанев, 2014; Рогожникова и др., 2016). Положительные изменения связаны с повышением конкурентоспособности культурных растений. По нашим данным, в посевах яровой пшеницы на вариантах с низкой обеспеченностью азотом ($N_{0–30}$) плотность сорняков к уборке культуры по сравнению с фазой кущения снижается в 3.9 раза, на средних дозах азотных удобрений (N_{60-90}) – в 4.9 раза, а на высоких ($N_{120–150}$) – в 6.5 раза. В посевах ячменя снижение численного состава сорных растений в зависимости от доз минеральных удобрений составляло 1.3 ($N_0P_0K_0$), 1.5 ($N_{65}P_{50}K_{50}$) и 1.8 ($N_{100}P_{75}K_{75}$) раза. При повышении уровня минерального питания снижается общая густота сорной растительности и доля присутствия в посеве многолетних видов. Происходит это под действием усиливающегося фитоценотического давления со стороны культурных растений, которое наблюдается при многолетнем применении минеральных удобрений в севообороте. В то же время возрастает численность отзывчивых на внесение азотных удобрений мари белой (с 69 до 148 экз./м^2) и пикульников (с 22 до 55 экз./м^2). Отрицательные последствия внесения минеральных удобрений выражаются в более сильном повреждении флагового листа личинками пьявиц, а также более сильном поражении листовыми болезнями.

Опыты с яровым ячменем показали слабую эффективность микробиологических препаратов Витаплан, СП и Трихоцин, СП в защите этой культуры от болезней (Шпанев, Рогожникова, 2016). Снижение развития корневых гнилей и пятнистостей листьев находилось в пределах 10–30%. Их можно рекомендовать к применению при обработке посевного материала с низкой инфекционной нагрузкой патогенной микобиоты. В этом случае

развитие гельминтоспориоза на зерне снижается на 77.2%, тогда как при средней и сильной степенью зараженности зерна данным патогеном на 28.2 и 18.3%. Смеси химических препаратов с биологическими, защитный эффект которых составляет 45–60%, целесообразно использовать при средней степени зараженности семян возбудителями корневых гнилей и прогнозируемом умеренном развитии листовых болезней.

Список литературы

Лаптиев А.Б., Шпанев А.М., Гончаров Н.Р., Лекомцев П.В., Воропаев В.В. Региональная система интегрированной защиты продовольственных посевов пшеницы яровой от вредных организмов на северо-западе Нечерноземной зоны. СПб., 2013. 24 с.

Рогожникова Е.С., Шпанев А.М. Засоренность ячменя с подсевом многолетних трав при разных уровнях минерального питания // Вестник защиты растений. 2014. № 4. С. 49–51.

Рогожникова Е.С., Шпанев А.М., Фесенко М.А. Влияние удобрений на поражение ярового ячменя болезнями в IV агроклиматической зоне Ленинградской области // Вестник защиты растений. 2016. № 4(90). С. 56-61.

Смук В.В., Шпанев А.М. Засоренность посадок картофеля, размещенных по пласту многолетних трав в Ленинградской области // Вестник защиты растений. 2016. № 2. С. 38–42.

Шпанев А.М. Комплексная вредоносность вредных организмов на яровой пшенице в Ленинградской области // Вестник защиты растений. 2015. № 3(85) С. 41–45.

Шпанев А.М. Вредоносность сорных растений в посевах яровой пшеницы на северо-западе Нечерноземья // Земледелие. 2016. № 2. С. 42–44.

Шпанев А.М., Гусева О.Г., Нейморовец В.В., Смук В.В., Воропаев В.В. Картирование полей на заселенность проволочниками // Картофель и овощи. 2014. № 9. С. 24–25.

Шпанев А.М., Денисюк Е.С. Особенности развития основных болезней ярового ячменя в Северо-Западном регионе // Современная микология в России. Т. 7. М., 2017. С. 114–115.

Шпанев А.М., Лекомцев П.В., Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Фитосанитарная обстановка в посевах яровой пшеницы на северо-западе Нечерноземной зоны // Зерновое хозяйство России. 2016. № 5. С. 66–69.

Шпанев А.М., Рогожникова Е.С. Эффективность микробиологических препаратов в защите ярового ячменя от болезней на северо-западе России // Состояние и перспективы защиты растений. Минск, 2016. С. 132–135.

Шпанев А.М., Смук В.В. Эпифитотии развития фитофтороза на картофеле в Северо-Западном регионе // Современная микология в России. Т. 7. М., 2017. С. 113–114.

НОВЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ И КРЕМНЕЗОЛЬНЫХ НАНОСТРУКТУР И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАСТЕНИЯ

Г. Г. Панова[1], К. Н. Семенов[2], О. А. Шилова[3], А. М. Артемьева[4], Д. Л. Корнюхин[4], Е. В. Канаш[1], Н. А. Чарыков[5], Т. В. Хамова[3], Л. М. Аникина[1], О. Р. Удалова[1], В. Е. Вертебный[1], Ю. В. Хомяков[1], Т. А. Банкина[2], М. А. Журавлева[2], С. Ю. Блохина[1]

[1]ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);

[2]Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ);

[3]ФГБУН Институт химии силикатов имени И. В. Гребенщикова РАН;

[4]ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ФГБНУ ФИЦ ВИР);

[5]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) (СПбГТИ (ТУ))

Разработаны нанокомпозиции на основе углеродных структур и кремнезолей в комплексе с макро- и микроэлементами, физиологически активными соединениями, обеспечивающих эффективное поступление последних в растения и реализацию функционального назначения препаратов (трофическое, адаптогенное, протекторное, регуляторное, ростстимулирующее и др.), что способствует повышению эффективности реализации продукционного потенциала культурных растений на всех этапах онтогенеза в благоприятных условиях и наиболее выражено – при действии стрессовых факторов различной природы.

Nanocomposites based on carbon and silica structures combined with macro- and microelements, physiologically active compounds, ensuring effective delivery of the latter to plants and the realization of the functional purpose of the preparations (trophic, adaptogenic, protective, regulatory, growth-stimulating, etc.) are developed, which contributes to an increase in efficiency realization of the productive potential of cultivated plants at all stages of ontogeny under favorable conditions and is most pronounced – under the action of stressful factors of different nature.

Высокая потребность АПК в экологически безопасных биодеградируемых препаратах комплексного положительного действия на растения делает актуальным поиск и разработку новых их форм, обеспечивающих транспортировку в растения макро- и микроэлементов и физиологически активных соединений, обладающих свойствами адаптогенов и протекторов. В качестве перспективных источников таких препаратов при

некорневой обработке растений рассматриваются углеродные наноструктуры – водорастворимые производные фуллеренов C_{60} и C_{70}. Они используются в биомедицине и фармакологии благодаря их способности проникать через биомембраны вследствие липофильности и наноразмерам, транспортировать лекарственные вещества к клеткам мишеням, а также антиоксидантным свойствам. Композиции на основе кремнезолей, в которых введены растворы и макро- и микроэлементов, предлагаются для обработки семян растений и создания на их поверхности воздухопроницаемой защитной пленки (оболочки) – матрицы, обогащенной кремнием и другими микро- и макроэлементами. Основу оболочки – матрицы составляют продукты кислого или щелочного гидролиза тетраэтилового эфира ортокремневой кислоты – тетраэтоксисилана (ТЭОС) $Si(OEt)_4$, осуществляемого при избытке воды или этилового спирта, и последующей поликонденсации.

Особенности и механизмы влияния водорастворимых производных фуллеренов и кремнезолей на растения в агро- и экосистемах практически не изучены, так как исследовательская работа в данном направлении только начинает активно развиваться.

Целью работы явилась оценка влияния синтезированных водорастворимых производных фуллерена C_{60} и кремнезолей на основе тетраэтоксисилана на рост, развитие растений в регулируемых условиях и их устойчивость к стрессорам различной природы.

Для проведения исследований нами были синтезированы с применением оригинальной одностадийной методики (Семенов с соавт., 2013). фуллеренол и аддукты фуллерена C_{60} с незаменимыми аминокислотами треонином, лизином, аргинином, гистидином, метионином а также с аминокислотами гидроксипролином, пролином, цистеином, глутамином, разработаны пленкообразующие золи для обработки семян (Шилова с соавт., 2017), отличающиеся составом водно-спиртовой среды, различной кислотностью среды, содержанием основного вещества пленкообразователя $Si(OEt)_4$ – тетраэтоксисилана (ТЭОС) (0,1; 0,5; 1,0; 10; 20 и 30 масс. % по синтезу),

вариантами составов растворов макро- и микроэлементов. С целью усиления фитопротекторных свойств разрабатываемых препаратов для обработки семян в кремнезоли с высокой эффективностью действия на растения были добавлены диоксид титана в форме анатаза (TiO_2) или детонационный наноалмаз (ДНА), шихта детонационного наноалмаза (АШ) в различных концентрациях, легированная соединениями бора.

В качестве тестовых культур использованы растения яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum L.*) сорта Ленинградская 6, а также ярового ячменя (*Hordeum vulgare L.*) сортов Ленинградский, Белогорский, Пиркка, пекинская капуста сорта Да-цин-коу. Влияние производных фуллеренов на растения изучали в серии вегетационных опытов (биополигон АФИ) в регулируемых благоприятных условиях и при моделировании окислительного стресса (УФ-В облучение надземной части растений, дефицит почвенной влаги). Растения выращивали в сосудах с аэрируемыми питательными растворами, а также с дерново-подзолистой супесчаной почвой (Апах) при искусственном освещении (Панова с соавт., 2015) в течение 1-3 мес. в вегетационных светоустановках, оснащенных подъемными световыми блоками с лампами ДНаЗ-400 (Россия). Мощность излучения в области ФАР (фотосинтетически активной радиации) – 80–90 Вт/м^2, продолжительность светового периода 14 час., температура воздуха 25±2°С, относительная влажность воздуха 65±5%. Число растений – 10 шт./сосуд, повторность опыта – 30 растений в варианте опыта. Методика проведения экспериментов описана в ранее опубликованной статье (Panova et al., 2016; Панова с соавт., 2017)

Обработка семян осуществлялась посредством их перемешивания в кремнезолях в течение 10 минут. После обработки семена сушились при комнатной температуре и затем при 30°С в течение 50 минут. Проращивание семян и оценку их ростовых показателей осуществляли по стандартной методике (Методика…, 2009). Повторность опыта трехкратная.

Оценка влияния предпосевной обработки семян (на примере ярового ячменя) экспериментальными образцами кремнезольных нанокомпозиций на

устойчивость к возбудителю корневой гнили *Cochliobolus sativus (S. Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur* проводили по следующей известной методике (Методические указания…, 1976). Визуально оценивали степень поражения каждого растения, давали оценку поражения в баллах по шкале Гойман (1954).

Результаты и обсуждение

В двух вегетационных экспериментах в регулируемых условиях биополигона ФГБНУ АФИ выявлено стимулирующее влияние испытуемых производных фуллерена на рост, нетто-продуктивность яровой пшеницы и ячменя, что, очевидно, связано с установленной их способностью оказывать значимый регуляторный эффект на синтез фотосинтетических пигментов, на эффективность работы фотосинтетического аппарата растений, а также на работу антиоксидантной системы защиты растений против окислительного стресса. Под влиянием испытуемых производных фуллерена в листьях и/или корнях растений отмечается снижение интенсивности перекисного окисления липидов, генерация активных форм кислорода, увеличение активности супероксиддисмутазы. Указанные изменения в состоянии растений наиболее выражены при действии фуллеренола, C_{60} треонина и C_{60} гидроксипролина. В результате, при моделировании стресса устойчивость обработанных растворами C_{60} треонина и C_{60} гидроксипролина растений ячменя к действию УФ-В радиации, судя по массе надземной части и корней, была выше на 10–20% относительно контрольных облученных растений, у которых под воздействием стрессора отмечается снижение массы надземной части на ~33%, масса корней – на 10–20%.

Полученные в условиях моделирования возникновения почвенной засухи результаты изменения активности работы фотосинтетического аппарата в листьях растений, обработанных аддуктами фуллеренов C_{60} с треонином, с гидроксипролином и с пролином, свидетельствуют о процессах изменения метаболизма и физиологического состояния растений, ведущих к повышению их устойчивости к действию стрессора, что подтверждается данными по продуктивности растений. У контрольных растений она падала на 38%, в то

время как в вариантах с некорневой обработкой аминокислотными производными фуллерена и соответствующими аминокислотами продуктивность растений была выше на 7–96% от таковой у контрольных растений, выросших при благоприятном уровне влаги в почве.

Наиболее эффективным в повышении устойчивости растений к действию стрессоров оказался вариант обработки производным фуллерена C_{60} с треонином (рис.).

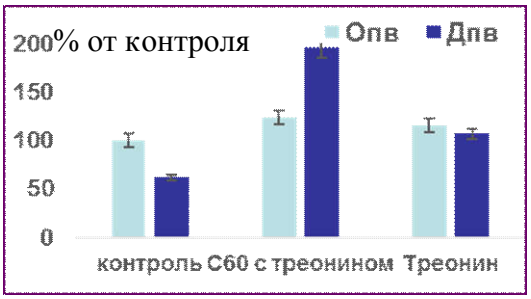


Рис. Зерновая продуктивность яровой пшеницы (с. Ленинградская 6) при некорневой обработке растворами аминокислотного производного фуллерена на примере C_{60} с треонином (концентрация 0,1 мг/л) при благоприятном уровне влажности почвы (Опв – 60–70% от полной влагоемкости) и при дефиците почвенной влаги (Дпв – 25–30% от полной влагоемкости)

Таким образом, треонин и аддукт фуллерена с треонином обеспечивали неспецифическую устойчивость растений к действию стресса, вызванного дефицитом почвенной влаги, в то время как аддукты C_{60} с пролином и гидроксипролином были эффективны только в условиях дефицита почвенной влаги. Отмеченный факт позволяет предположить более универсальное использование треонина в качестве промежуточного продукта в различных путях синтеза защитных веществ при действии стрессоров. Так, известно, что в ходе превращения треонина в лейцин или валин образуется пируват (Azevedo, 2006), который в аэробных условиях трансформируется в ацетил-кофермент А, выступающего в свою очередь в качестве основного субстрата для серии реакций, известных как цикл Кребса, или дыхательный цикл, цикл трикарбоновых кислот с последующим образованием различных вторичных метаболитов с протекторными, сигнальными и другими функциями

С помощью сканирующего электронного микроскопа CamScan MX2500S, оборудованного энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments INCA

Energy 200 при увеличение 1:1000, продемонстрировано формирование ‘skin’-слоя на поверхности семян растений после их обработки кремнеземными золь-гель нанокомпозициями.

Среди созданных кремнезолей более высокую ростстимулирующую способность в отношении растений проявляют 20 масс.% ТЭОС pH 7–8 с 0,1 масс.% TiO_2, а также 1 масс% и 20 масс.% ТЭОС (pH 2–3 или 7–8), легированные 0,1 масс.% шихтой детонационного наноалмаза с добавкой бора; фитопротекторную – 20 масс. % ТЭОС pH 7–8 с 2,5 масс.% ДНА и 1 масс.% ТЭОС pH 2–3 с 0,1 масс.% TiO_2 (Панова с соавт., 2017). При этом кремнеземные золь-гель композиции способны повышать устойчивость растений к поражению фитопатогенов не только за счет активизации иммунитета растений, но и посредством регуляции численности микроорганизмов на поверхности семян, в том числе потенциально патогенных;

На примере пекинской капусты показано выраженное положительное влияние обработки ее семян разработанными золь-гель композициями и синтезированными аминокислотными производными фуллерена C_{60} на последующие рост и развитие растений на протяжении 20–25 суток их выращивания в условиях теплицы. Формирование растений с более высокой биомассой (на 6–248% выше контрольной) в данных вариантах обусловлено более высокими значениями диаметра, высоты растения, количества листьев на нем, размеров листьев. Следует отметить, что по биомассе растения пекинской капусты в большинстве вариантов обработки ее семян существенно выше таковой в эталонном варианте – при обработке семян фитогормоном роста гетероауксином.

Выявленное положительное влияние синтезированных водорасторимых производных фуллерена C_{60} и кремнезольных нанокомпозиций на продукционный процесс растений, их устойчивость к возникновению окислительного стресса, высокая эффективность данных веществ в малых концентрациях, и, соответственно, низкая стоимость затрат на их применение,

экологическая безопасность свидетельствуют о перспективности дальнейшего изучения механизмов влияния данных веществ на почвенно-растительную систему с целью создания и использования в растениеводстве высокоэффективных препаратов на их основе.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований: проект № 15-29-05837 офи_м:

Список литературы

Azevedo R.A., Lancien M., Lea P.J. The aspartic acid metabolic pathway, an exciting and essential pathway in plants // Amino Acids (2006) 30: 143–162. DOI 10.1007/s00726-005-0245-2

Гойман Э. Инфекционные болезни растений. М.: Изд. Ил., 1954. 610 с.

Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. Л.: ВАСХНИЛ, ВИР, 1976 г. 59 с.

Семёнов К.Н., Чарыков Н.А., Кескинов В.А., Кескинова М.В., Сафьянников Н.М., Шубина В.А. Способ получения фуллеренолов. Патент РФ на изобретение RU 2481267 C2. ООО «Биогельтек» (RU). № 2011106276/05. Заявл. 11.02.2011. Опубл. 10.05.2013. Бюл. № 13.

Панова Г.Г., Шилова О.А, Хамова Т.В., Аникина Л.М., Артемьева А.М., Корнюхин Д.Л., Удалова О.Р., Гусакова Л.П., Синявина Н.Г., Блохина С.Ю., Долматов В.Ю. Влияние нанокомпозиционной кремнезольной оболочки на поверхности семян на начальные этапы развития растений // Агрофизика, 2017. № 2. С. 30–39

Panova G.G., Ktitorova I.N., Skobeleva O.V., Sinjavina N.G., Charykov N.A., Semenov K.N. Impact of polyhydroxy fullerene (fullerol or fullerenol) on growth and biophysical characteristics of barley seedlings in favourable and stressful conditions. Plant Growth Regulation, 2016, 79: 309-317. DOI: 10.1007/s10725-015-0135-x

Панова Г.Г., Черноусов И.Н., Удалова О.Р., Александров А.В., Карманов И.В., Аникина Л.М., Судаков В.Л. Научно-технические основы круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции при искусственном освещении. Доклады РАСХН, 2015, 4: 17–21.

Шилова О.А., Хамова Т.В., Панова Г.Г., Аникина Л.М. Способ предпосевной обработки семян ячменя. Патент РФ на изобретение № 2 618 143 от 02.02.2016. Патентообладатели: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт химии силикатов им. И. В. Гребенщикова Российской академии наук (ИХСРАН), Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ). Опубликовано: 02.05.2017 Бюл. № 13.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НОВОГО НАПРАВЛЕНИЯ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ИНДУСТРИИ ПРОИЗВОДСТВА КАЧЕСТВЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Г. Г. Панова[1], О. Р. Удалова[1], И. Н. Черноусов[1], А. М. Артемьева[2], Е. В. Канаш[1], А. А. Кочетов[1], А. В. Александров[1], Л. М. Аникина[1], Ю. В. Хомяков[1], И. С. Середин[3], А. Н. Антонов[4], Ю. В. Сербин[5] В. А. Мельников[5], Ю. В. Чесноков[1]

[1]ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);

[2]ФГБНУ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ФГБНУ ФИЦ ВИР);

[3]ООО «О2 Световые системы»;

[4]Акционерное общество «Полигон» (АО «Полигон»);

[5]Открытое акционерное общество «Авангард» (ОАО «Авангард»)

Обоснована возможность создания и широкого применения в различных регионах, в том числе и в Арктике, наукоемких фитотехкомплексов по ресурсосберегающему круглогодичному интенсивному производству растительной продукции высокого качества при искусственном освещении. Технические и агробиологические испытания созданного вегетационно-облучательного оборудования различного типа для фитотехкомплексов показали высокую эффективность реализуемых в них методов организации световой, корнеобитаемой сред и ресурсосберегающих агротехнологий для круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции.

The possibility of creating the high tech phytotechcomplexes on resource saving all-the-year-round intensive manufacture of high-quality vegetative production under artificial light and their wide use in the different region, including Arctic, is substantiated. Technical and agrobiological tests of the elaborated plant growing light equipment of various types for phytotechcomplexes shown high efficiency realized in them of the methods of the light and root-habitad environments organization, and resource-saving agrotechnologies in order to obtain all-year high yields of high-quality plant products.

Острая проблема продовольственной безопасности и круглогодичного обеспечения населения нашей страны свежей растительной продукцией с заданными качественными и функциональными характеристиками имеет приоритетный характер и требует инновационных подходов к ее решению.

Актуальность проблемы, обусловлена:

– невозможностью на сегодняшний день силами существующих хозяйств АПК в отрасли растениеводства обеспечить в течение всего года население

страны отечественной свежей овощной продукцией в объемах, требуемых медицинскими нормативами,

– необходимостью внедрения на предприятиях АПК растениеводства защищенного грунта отечественных наукоемких ресурсосберегающих технологий производства качественной растительной продукции и устранения высокой зависимости хозяйств от поставок зарубежных комплектующих, расходных материалов.

Один из перспективных путей решения указанной проблемы – создание новой отечественной агробиотехнологической индустрии круглогодичного производства высококачественной растительной продукции при искусственном освещении в имеющихся у организаций помещениях или сооружениях в непосредственной близости от потребителя. Это потребует выполнение комплексных задач:

- Выполнение научно-исследовательской программы, направленной на создание инженерно-технических комплексов с новыми ресурсосберегающими технологиями (фитотехкомплексов) непрерывного получения высококачественной растительной продукции многоцелевого назначения (пищевого, лекарственного, декоративного) при искусственном освещении в непосредственной близости от потребителя. Технологии основаны на создании и использовании нового автоматизированного вегетационно-облучательного оборудования различного типа с технологическим обеспечением, оригинальных информационно-измерительных средств контроля физиологического состояния растений и оценки параметров микроклимата в помещениях, биологически активных и экологически безопасных средств оперативного управления продукционным процессом растений и качеством растительной продукции, реестра высокопродуктивных сортов и гибридов культурных растений, технологий биоконверсии растительных остатков и восстановления свойств субстратов для культивирования растений.
- Разработка инженерно-технического обеспечения фитотехкомплексов для круглогодичного интенсивного выращивания растений

в регионах с неблагоприятными природно-климатическими условиями, в зонах экологического риска, в труднодоступных для транспорта местах проживания людей.

- Ввод в эксплуатацию инфраструктуры промышленных мощностей безотходного производства высококачественной растительной продукции в фитотехкломплексах
- Применение и внедрение результатов научных исследований в отрасли растениеводства защищенного грунта и в других отраслях экономики, а также в военно-промышленном комплексе, в социальной сфере
- Подготовка кадров высшей квалификации и повышение квалификации кадров посредством создания научной основы для подготовки магистерских, кандидатских и докторских диссертаций
- Обеспечение гуманитарной оболочки реализации программы.

Целью работы – обоснование возможности создания наукоемких автоматизированных фитотехкомплексов, масштабируемых от урбанизированной домашней светогрядки до мобильных и стационарных комплексов по круглогодичному выращиванию растительной продукции с заданными качественными и функциональными характеристиками вне зависимости от условий природной среды.

Фитотехкомплексы – совокупность инженерно-технического сооружения с регулируемыми условиями микроклимата и вегетационно-облучательного оборудования, ресурсосберегающих технологий выращивания овощных культур при искусственном освещении с использованием разработанных в ФГБНУ АФИ методов формирования корнеобитаемой среды – малообъемной и тонкослойной панопоники – и приема формирования световой среды с помощью светодиодных светильников с оптимизированным спектром под выращиваемые культуры и регуляцией интенсивности светового потока, обеспечивающие стабильное получение высоких урожаев качественной растительной продукции (Панова с соавт., 2009; 2011; 2015).

Фитотехкомплексы могут быть организованы в компактных сооружениях (мобильный тип), а также в помещениях зданий и сооружений (стационарный тип). Размеры таких комплексов могут колебаться от нескольких тысяч до нескольких квадратных метров. Фитотехкомплексы позволят в условиях Арктической зоны и других регионах ежесуточно производить листовую, листостебельную и плодовую овощную продукцию высокого качества.

Получаемая овощная продукция имеет высокие качественные показатели по содержанию витаминов, минеральных элементов и другим характеристикам пищевой ценности. Содержание нитратов в ней значительно ниже установленных санитарных норм, полностью отсутствуют пестициды и другие загрязнители.

На сегодняшний день отечественные аналоги фитотехкомплексам с промышленным производством растительной продукции на вегетационно-облучательном оборудовании при полностью искусственном освещении в России отсутствуют. За рубежом в Японии, Южной Корее, Тайване, Китае и др. странах проекты комплексов или «овощных фабрик» по промышленному производству растительной продукции при искусственном освещении к настоящему времени активно разрабатываются и находят применение (Watanabe, 2011; Goto, 2012; Kurihara et al., 2014; Hitoshi et al., 2015 и др.). Прогнозируется, что количество подобных фабрик в мире будет расти. С ними связан новый этап научно-технического прогресса в отрасли растениеводства (Marcelis et al., 2014). Однако в связи с тем, что ПДК на содержание нитратов в растительной продукции в зарубежных странах существенно выше таковых в нашей стране, имеется высокий риск, что производимая по зарубежным технологиям продукция не будет соответствовать требованиям санитарно-гигиенических нормативов РФ.

В результате объединения знаний, опыта и усилий специалистов в области наук о растениях (физиология и биохимия растений, растениеводство, агрохимия, генетика растений и селекция, биотехнология), опытно-конструкторских разработок (системы создания и регуляции микроклимата,

АСУ, световые системы, системы электро-, водо- и теплоснабжения), промышленного производства разработанных опытных образцов, а также менеджмента, маркетинга, рекламы и продвижения инновационных разработок стало возможным решение задачи создания и внедрения масштабируемых фитотехкомплексов, что было продемонстрировано на военно-техническом форуме «Армия 2017».

Разрабатываемые фитотехкомплексы имеют следующие ключевые преимущества:

- возможность выращивания широкого ассортимента овощных, лекарственных и декоративных культур высотой до 0,4; до 2 метров и более в непосредственной близости от потребителя;
- высокая производительность;
- высокое качество получаемой растительной продукции;
- высокая технологическая надежность;
- экологическая безопасность;
- технологическая простота доставки, монтажа и эксплуатации устройств;
- автономность вследствие реализации возможности подключения к альтернативным генераторам энергии.

Социально-экономические эффекты от реализации проекта создания и внедрения фитотехкомплексов в РФ:

1. Увеличение продолжительности жизни населения и снижение количества хронических заболеваний вследствие существенного повышения качества питания.

2. Улучшение качества жизни регионов РФ и снижение их зависимости от импорта зарубежных агробиотехнологий и овощной продукции.

3. Укрепление научно-технического потенциала АПК РФ вследствие появления «агроиндустриального стенда», включающего все типы масштабируемых фитотехкомплексов для разработки, усовершенствования и внедрения современных отечественных технологий получения растительной продукции с заданными качественными и функциональными

характеристиками, и реализации на его основе образовательной программы по индустриальному растениеводству.

4. Обеспечение успешного трансфера технологий от науки к бизнесу.

Список литературы

Goto E. Plant production in a closed plant factory with artificial lighting // Acta Hortic., (2012) 956: 37–49.

Hitoshi O. Automatic Plant Cultivation System (Automated Plant Factory) / Tatsuya H., Kouji K., Yoshifumi N. // Environ. Control Biol. (2015). 53 (2), 93–99.

Kurihara S. Consumer Evaluation of Plant Factory Produced Vegetables / Ishida T., Suzuki M., Maruyama A. // Focusing on Modern Food Industry (FMFI). (2014). V. 3. P. 1–9.

Marcelis, L.. Innovations in crop production: a matter of physiology and technology / Buwalda F., Dieleman J., Dueck T., Elings A., Gelder A. // Acta Hortic. (2014)1037: 39–45.

Панова Г.Г. Научно-технические основы круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции при искусственном освещении / Черноусов И.Н., Удалова О.Р., Александров А.В., Карманов И.В., Аникина Л.М., Судаков В.Л., Якушев В.П. // Доклады РАСХН, 2015. № 4. С. 17–21.

Панова Г.Г., Драгавцев В.А., Канаш Е.В., Архипов М.В., Черноусов И.Н. Научно-технические основы оптимизации продукционного процесса в регулируемой агроэкосистеме // Агрофизика. 2011. № 1. С. 29–37.

Панова Г.Г., Драгавцев В.А., Желтов Ю.И., Судаков В.Л., Черноусов И.Н., Канаш Е.В., Аникина Л.М., Удалова О.Р. Стратегия наукоемкого ресурсосберегающего круглогодичного производства высококачественной растительной продукции // Аграрная Россия. 2009. № 5. С. 7–10.

Watanabe H. Light-controlled plant cultivation system in Japan – Development of a vegetable factory using LEDs as a light source for plants, Acta Hort. (2011) 907: 37–44.

ВЛИЯНИЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОЙ МИКРОБИОТЫ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

А. С. Журавлева

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

Проведено исследование влияния нефтезагрязнения на состояние ценозов почвенных бактерий и грибов на территории, прилегающей к нефтехранилищу в пос. Малые Колпаны Ленинградской области комплексом методов. Методами прямого микроскопирования и высева установлено, что грибной ценоз оказался более чувствительным к нефтезагрязнению, чем бактериальный. Исследование бактериального ценоза методами высева и ПЦР показало, что ценоз адаптирован к 2% уровню нефтезагрязнения, тогда как изменения, происходящие в структуре ценоза при 6% загрязнении, свидетельствуют о неблагоприятных условиях, сформировавшихся в исследуемой почве.

An investigation is devoted to the effect of oil pollution on the condition of cenosis of soil bacteria and fungi in the area adjacent to the oil storage in the village MalyeKolpany, Leningradskaya oblast by a set of methods. Method of direct microscopy and method of seeding established that the cenosis of fungis was more sensitive to oil contamination than bacterial. A study of bacterial cenosis by seeding methods and PCR showed that the cenosis was adapted to a 2% level of oil contamination, whereas the changes in the structure of the cenosis with 6% contamination indicate unfavorable conditions formed in the explored soil.

Для разработки эффективных методов очистки нефтезагрязненных территорий, неизбежно возникающих при добыче, хранении и транспортировке нефти, необходимо исследование почвенной микрофлоры, как основного компонента экосистемы, участвующего в разложении нефтепродуктов. Сообщества микроорганизмов-нефтедеструкторовразличаются в зависимости от географических зон и особенностей климата. В настоящее время все еще существует довольно мало работ, посвященных исследованию микробиотынефтезагрязненных почв Ленинградской области в естественной среде, тогда как при осуществлении модельных экспериментов зачастую затруднительно воссоздать все условия, неизбежно влияющие на функционирование микробного сообщества.

Целью работы было исследование влияния нефтезагрязнения на состояние почвенной микробиотыи сравнение эффективности различных методов оценки. Для этого были взяты образцы насыпного грунта у нефтехранилища в Малых Колпанах в Ленинградской области. По сделанным прикопкам почва на исследуемой территории определена как дерново-

подзолистая. Были взяты образцы грунта из свежего разлива, более старогои контрольный – незагрязненный. Исследование показало содержание в них нефти в 6% от массы грунта, 2% и 0%, соответственно. Агрохимический анализ показал, что грунт характеризуется pH, близким к нейтральному, низким содержанием общего азота, нитратов и калия, средним содержанием аммония и высоким содержанием фосфора. Наиболее высокое количество общего N, его подвижных форм и P отмечено в образцах с 6% нефти. Количество общего Си соотношение C:N возрастали в вариантах с нефтью в прямо пропорциональной зависимости от дозы нефти.

В свежих образцах были проведены следующие анализы: анализморфокультуральных типови численности колониеобразующих единицгрибов и бактерий методом высева на твердые питательные среды,анализ длины грибного мицелия и численности спор методом микроскопирования по Демкиной-Мирчинк, и анализ таксономического состава и структуры бактериоценоза методом ПЦР. На основе данных, полученных методами посева и ПЦР, были рассчитаны экологические индексы.

Исследование микробоценозакомплексом методов показало, что нефтезагрязнение негативно влияет на состояние ценозов прокариот и микромицетов.Низкое содержание в грунте общего азота и калия также обуславливало снижение численности микроорганизмов, по сравнению со значениями, характерными для дерново-подзолистой почвы в Ленинградской области.Анализ посевов показал, что в грунте с нефтью увеличилась численность прокариот, предположительно за счет развития групп-нефтедеструкторов, что показывает таксономический состав и структура бактериоценоза, полученные методом ПЦР.В образце с 6% нефти на фоне увеличения численности произошло сужение разнообразия, смена доминант и увеличениеконцентрации доминирующих форм.Возросла доля представителей *Gammaproteobacteria*, к которому относятся многочисленные нефтедеструкторы. Доминирование *Gammaproteobacteria* указывает на то, что в разливе проходит начальная стадия разложения нефти. В образце с 2% нефти

доля *Gammaproteobacteria* сократилась, но возросла доля *Actinobacteria*, которые осуществляют анаэробнуюдеградацию циклических и ароматических углеводородов на более поздних стадиях биодеградации нефти. Расчет экологических индексов по результатам ПЦР и посева показал, что в образце с 2% нефти сформировался стабильный бактериоценоз, адаптированный к нефтезагрязнению. Метод ПЦР оказался более чувствительным, так как высев на питательную среду не выявил снижения стабильности бактериального комплекса при 6% содержании нефти в грунте.

Грибной ценоз оказался более чувствительным к нефти, чем бактериальный. Прямым микроскопированием установлено, что уже при 2%поллютанта частота встречаемости и количество грибного мицелия в грунте резко сократились и еще более снизились при 6%. На фоне уменьшения количества мицелия возросла численность грибных спор, что свидетельствует об изменении биоморфологической структурымикоценоза, его характер указывает на неблагоприятные для микромицетов условия в нефтезагрязненном грунте, которые ухудшаются с увеличением дозы поллютанта. С помощью высева на питательную среду в микоценозе загрязненных образцов установлено уменьшение численности КОЕ грибов, сужение разнообразия морфолого-культуральных типов, смена доминант и увеличение долевого участия отдельных видов. Расчет экологических индексов по результатам посева свидетельствует о сокращении видового богатства, увеличении концентрации доминирования и снижение стабильности комплекса микромицетов в образцах с нефтью. Эти результаты соответствуют результатам, полученным прямым методом.

В целом, комплексом биологических методов получены сходные результаты при обследовании бактериального и грибного ценозов загрязненного нефтью грунта. Это позволяет использовать каждый метод для оценки состояния комплекса почвенных микроорганизмов при нефтезагрязнении, однако наиболее эффективными являются метод ПЦР и метод прямого микроскопирования.

Проведенные исследования почвы на территории, прилегающей к нефтехранилищу в пос. Малые Колпаны Ленинградской области, свидетельствуют о негативном влияниизагрязнения почвы нефтью в 2% и 6% на грибной ценоз, тогда как бактериальный ценозоказалсяменее чувствителен к нефтезагрязнению и, в частности, при содержании нефти в 2% был адаптирован к изменившимся условиям в почве.

Исследование осуществлено в рамках магистерской диссертации на тему «Влияние нефтехранилища на состояние почвенной микрофлоры прилегающей территории», СПбГУ, 2016.

Список литературы

Журавлева А.С. Состояние почвенного бактериоценоза при нефтезагрязнении / Материалы междунаро дной научной конфере нции XIX Докучаевские молодежные чтения «Почва – зеркало ландшафта» 1–4 марта 2016г., http://www.dokuchaev skie.ru/information/ 2016g

Андронов Е.Е., Пинаев А.Г., Першина Е.В., Чижевская Е.П. Выделение ДНК из образцов почвы (методические указания). СПб.: ВНИИСХМ РАСХН, 2011. 27 с.

Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина М.: Изд-во Московского университета, 1970. 486 с.

Мирчинк Т.Г. Почвенная микология. М.: МГУ, 1988. 220 с.

PREMISES FOR USING OF PREDATORY BUG *PERILLUS BIOCULATUS* F. (HEMIPTERA, PENTATOMIDAE) IN THE CONDITIONS OF REPUBLIC OF MOLDOVA

D. S. Elisovetcaia, V. V. Derjanschi

Institute of Zoology of the Academy of Sciences of Moldova,

Kishinev, Moldova (IZ ASM),

E-mail: dina.elis.s@gmail.com, valder2002@yahoo.com

The stink bug *Perillus bioculatus* F. (Hemiptera, Pentatomidae) a predator of the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say, Coleoptera, Chrysomelidae) was acclimatized in the conditions of Moldova since 2013. Investigations during 2014-2016 have confirmed the possibility of using natural populations of the *P. bioculatus* for rearing in the laboratory conditions and following mass releasing on the fields for the protection potatoes culture from dangerous pest *L. decemlineata*. The biological efficiency of the mass releasing of the nymphs' *P. bioculatus* on the potato field in the ratio 1:10 or 1:15 reaches 80% or more.

Введение

Известно, что хищные клопы-азопины *Podisus maculiventris* Say и *Perillus bioculatus* F. (Hemiptera, Pentatomidae) были завезены в Европу еще в середине прошлого столетия для массового разведения и использования в качестве биологических агентов контроля опасного фитофага (Lipa, 1985). В Молдове исследования по подбору и усовершенствованию питательных сред хищных клопов *P. maculiventris* и *P.bioculatus*, а также их применению для защиты картофеля и баклажан, проводились во Всесоюзном научно-исследовательском институте биологических методов защиты растений (ВНИИБМЗР, Кишинев), начиная с конца 60-х гг. прошлого столетия (Суменкова и Язловецкий, 1994). Однако многочисленные попытки по акклиматизации клопов-азопин на территории европейского континента оказались безуспешными и по завершении биохимических исследований (в середине 90-х гг.) работы с ним в Молдове, впрочем, так же, как и во многих других странах Европы и республиках бывшего СССР, были прекращены.

После более чем 20-летнего перерыва нами в Центральной зоне Молдовы (муниципий Кишинев) на полях картофеля, заселенных колорадским жуком (*Leptinotarsa decemlineata* Say), в третьей декаде июля 2013 года была

обнаружена популяция *Perillus bioculatus*, состоящая из имаго и личинок всех возрастов (Derjanschi and Elisoveţcaia, 2013).

Целью настоящей работы было изучение возможности использования хищного клопа *Perillus bioculatus* в качестве агента биологического контроля колорадского жука в условиях Республики Молдова.

Материалы и методы

Разведение хищника осуществляли в лабораторных условиях в лаборатории энтомологии Института Зоологии (ИЗ АНМ). Имаго и личинок хищника *P. bioculatus* содержали в садках при температуре +25…+27°С, влажности воздуха 70-75% и длине светового дня в осеннее-зимний период не менее 16 часов (Coudron, 2004; Нефёдова, 2015; Elisovetkaya and Derjanschi, 2014).

Личинок периллюса II–III возраста в течение вегетационных периодов 2015–2016 гг. выпускали партиями на поля картофеля, заселенные колорадским жуком, в различных агроклиматических зонах Республики Молдова.

Результаты и обсуждение

Хищный клоп *P. bioculatus* был введен нами в лабораторную культуру в 2014 г., была налажена методика разведения хищника как на колорадском жуке, так и на других хозяевах, в частности на гусеницах галлерии *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera, Pyralidae) (Elisovetkaya and Derjanschi, 2014). На протяжении вегетационных периодов 2015–2016 гг. нами проводились массовые выпуски личинок клопа II–III возраста на экспериментальные участки картофеля (площадью 0,2–0,3 га) в различных агроклиматических зонах Молдовы (в 2015 году было всего выпущено более 2 тысяч личинок хищника, и в 2016 – порядка 9 тысяч). Были задействованы следующие населенные пункты: Северная зона – р-н Бричень (с. Тецкань), р-н Единцы (с. Брынзень); Центральная зона – мун. Кишинэу, Южная зона – р-н Кагул (с. Пелиней). Личинок выпускали на участки картофеля дважды – по первому и по второму поколению колорадского жука (в Центральной и Южной зонах – в первой декаде июня и июля, в Северной зоне – во второй декаде июня и июля). Соотношение хищник:фитофаг зависело от

плотности вредителя и составляло в Южной зоне 1:15 (плотность КЖ в среднем 30 личинок/куст), а в Центральной и Северной зонах – 1:10 против первого поколения и 1:15 против второго поколения (плотность КЖ первого поколения в среднем 35 личинок /куст, второго – 30 личинок/куст).

В результате наблюдений отмечено, что личинки периллюса непосредственно после выпуска сражу же приступали к поиску жертв и начинали атаковать фитофага. Также установлено, что личинки хищника активно мигрировали и самостоятельно перераспределялись на участке, в зависимости от плотности заселения кустов колорадским жуком. Отмечено, что личинки периллюса младших возрастов предпочитали питаться яйцекладками колорадского жука, а в их отсутствие – личинками. Личинки хищника старших возрастов питаются всеми фазами колорадского жука – от яиц до имаго. Так, были зафиксированы многочисленные случаи охоты личинок периллюса старших возрастов на имаго колорадского жука (рис. 1а).

а б

Рис. 1. Личинка и имаго и энтомофага *Perillus bioculatus* питающиеся имаго колорадского жука на картофеле

Одновременно установлено, что после линьки в имаго периллюс оставался на участках картофеля и продолжал охотиться на фитофага. Наши наблюдения позволили выявить также интересные факты относительно поведения имаго хищника. Во второй половине июля при снижении плотности вредителя на кустах картофеля периллюс, после линьки в имаго, покидает кусты, на которых еще остались не полинявшие личинки хищника. Тем самым имаго *P. bioculatus* оставляют для своих личинок более доступный корм в виде

яйцекладок и личинок колорадского жука и предпочитают охотится на взрослых особей фитофага (рис. 1б).

Отмечено, что в результате выпусков личинок хищного клопа численность колорадского жука первого поколения на экспериментальных участках снизилась на 80% (до предпорогового уровня). В Южной зоне на экспериментальном участке с. Пелиней, который находился изолированно от других посадок пасленовых культур, не потребовалось дополнительных выпусков по второму поколению вредителя: численность колорадского жука второго поколения была достаточно низкой – в среднем 1–2 личинки и 2–5 яйцекладок на 100 кустов, а также по 1–2 имаго *L. decemlineata* на куст при 30%-ной заселенности растений. В Центральной и Северной зонах численность фитофага второго поколения в июле превысила пороговый уровень, поэтому были осуществлены дополнительные выпуски хищника. В результате установлено, что на небольших и изолированных участках (Центральная зона, мун. Кишинэу; Северная зона с. Брынзень) удалось снизить плотность популяции фитофага второго поколения на 80–90%. Одновременно отмечено, что при наличии больших массивов картофельных полей по соседству с экспериментальными участками (с. Тецкань, р-н Бричень, Северная зона) локальные выпуски периллюса были малоэффективны.

В результате проводимых регулярных учетов было определено, что периллюс после линьки приступает к откладке яиц только в случае достаточной плотности фитофага на участке (не менее пяти личинок на куст при 30% заселенности растений личинками и яйцекладками), а также при удовлетворительном состоянии кустов картофеля. При крайне низкой численности вредителя, при физиологическом увядании картофеля, в отсутствии яйцекладок колорадского жука большая часть полинявших в имаго клопов мигрирует на другие участки пасленовых культур.

Таким образом, проведенные исследования доказали, что в настоящее время существуют предпосылки для успешного использования хищного клопа

Perillus bioculatus в качестве агента биологического контроля колорадского жука в различных агроклиматических зонах Республики Молдова.

Список литературы

Coudron T.A., Kim Y., 2004. Life History and Cost Analysis for Continuous Rearing of Perillus bioculatus (Heteroptera: Pentatomidae) on a Zoophytogenous Artificial Diet. J Econ Entomol., Editor-in-Chief: John T. Trumble, PhD. vol. 97(3), p. 807–812.

Derjanschi V., Elisoveţcaia D., 2013. Predatory shield bug *Perillus bioculatus* F. (Hemiptera, Pentatomidae) in the Republic of Moldova: acclimatization or natural colonization? Actual problems of protection and sustainable use of the animal world diversity. Mater. of 8th Intern. Conf. of Zoologists. Book of Abstract. Chisinau, p. 124–125.

Derjanschi V., Elisoveţcaia D. 2014. Predatory Stink Bug *Perillus bioculatus* F. (Hemiptera, Pentatomidae) in the Republic of Moldova. Oltenia. Studii şi comunicări. Ştiinţele naturii. Publisher: Museum of Oltenia Craiova, Craiova, România. vol. XXX, no.1, p. 104–107.

Elisovetkaya D.S., Derjanschi V.V., 2014. Predatory stink bug *Perillus bioculatus* F. (Hemiptera, Pentatomidae) in the Republic of Moldova. "Biological plant protection as the basis of ecosystem stabilization". Issue 8, Proceedings of the Intern. Conference «Innovative Technologies for the Application of Biological Plant Protection Agents in Organic Agriculture», Ed. Acad. V. D. Nadykta and PhD. V. Ya. Ismailov. Krasnodar, p. 145–151.

Lipa J.J., 1985. Progress in biological control of the Colorado beetle (Leptinotarsa decemlineata) in Eastern Europe. EPPO Bulletin, Edited by Mr Martin Ward, 15 (2), p. 207–211.

Нефёдова М.В. Изучение пищевой специализации хищного клопа-щитника *Perillus bioculatus* Fabr. // Молодой ученый. 2015, № 9.2, с. 45–46. (Nefedova M. V. The study of food specialization of a predatory bug Pentatomidae *Perillus bioculatus* Fabr.)

Суменкова В.В., Язловецкий И.Г., 1994. Пищеварительные протеазы хищных клопов подизуса *Podisus maculiventris* и периллюса *Perillus bioculatus*. Журн. эволюц. биохимии и физиологии. ФГУП, Издательство «Наука». с. 632–642. (Sumenkova V. V. Yazlovetskij I. G. Digestive proteases from predaceous bugs *Podisus maculiventris* and *Perillus bioculatus*).

ВЛИЯНИЕ НЕКОРНЕВЫХ ОБРАБОТОК НА АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО СТРЕССА

В. Е. Вертебный, Ю. В. Хомяков, В. И. Дубовицкая, П. Ю. Конончук,
М. А. Москвин, Т. А. Гурова

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

В клетках живых растительных организмов большинство окислительно-восстановительных химических реакций происходит с участием молекулярного кислорода. Катализатором в данных реакциях выступают окислительно-восстановительные ферменты. Существует и немало спонтанных реакций, вызываемых активными формами кислорода (АФК) и приводящие к необратимым окислительным повреждениям важнейших биомолекул. АФК необходимы для жизнедеятельности орагнизмов, они регулируют их рост и развитие, участвуют в защитных реакциях на неблагоприятные воздействия и стресс.

Гуминовые вещества, способны оптимизировать дыхание растений, участвовать в активизации окислительно-восстановительных ферментативных систем, влияют на кислородный обмен и повышают энергетический потенциал растений [1, 2].

Целью работы является оценка изменения активности окислительно-восстановительных ферментов и других биохимических процессов после обработки растений пшеницы гуминовым препаратом в условиях стресса, вызванного ультрафиолетовым облучением.

Активные формы кислорода (АФК) – неизбежные участники аэробного метаболизма. Их «активность» проявляется в том, что они спонтанно, то есть без помощи ферментов, реагируют с органическими молекулами, что может приводить к их повреждению. Взаимодействие АФК с белками, липидами, нуклеиновыми кислотами приводит к нарушению структуры и функции мембран, активности ферментов, мутагенезу и, в итоге, к остановке клеточного цикла и апоптозу. Стресс, вызванный облучением ультрафиолетом, способствовал увеличению содержания активных форм кислорода в листьях

яровой пшеницы. Обработка гуминовым препаратом снижала содержание АФК.

В нормальных условиях и при стрессе антиоксидантные ферменты, такие как, супероксиддисмутазы (СОД), пероксидаза, каталаза и другие, играют важную роль в поддержании уровня содержания АФК. Стресс, вызванный ультрафиолетом, привел к увеличению активности пероксидазы в листьях и корнях яровой пшеницы. При этом обработка гуминовым препаратом в условиях стресса способствовала дополнительному увеличению активности фермента, особенно в листьях. Увеличение активности пероксидазы в условиях стресса могло привести к более интенсивному разрушению перекиси, снижению содержания АФК и как следствие к нейтрализации негативных влияний вызванных ультрафиолетовым облучением растений.

Список литературы

1. Оценка физиологических реакций растений яровой пшеницы на применение некорневых подкормок и обработок / Вертебный В.Е., Хомяков Ю.В., Кончук П.Ю., Дубовицкая В.И., Москвин М.А., Гурова Т.А. // «Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления» Материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием). СПб, 2016. С. 155–160.

2. Физиологическая отзывчивость разных сортов яровой пшеницы на некорневую подкормку и обработку различными препаратами / Вертебный В.Е., Хомяков Ю.В., Николенко В.Ф. // Материалы научной сессии по итогам 2013 года Агрофизического института. СПб, 2014. С. 139–143.

КАРТИРОВАНИЕ ЛОКУСОВ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ У ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР СЕМЕЙСТВА КАПУСТНЫЕ (*Brassicaceae Burnett*)

А. М. Артемьева[1], Н. В. Кочерина[1], А. Б. Курина[1], Д. А. Фатеев[1], Ю. В. Чесноков[2]

[1]*ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР)», 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42-44;*

[2]*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ), 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14*

В настоящей работе представлены результаты QTL-анализа картирующих популяций репы *Brassicarapa* L. и капусты огородной *B.oleracea* L., а также ассоциативного картирования стержневых коллекций белокочанной капусты, брокколи, репы и редиса ВИР. Выявлен ряд специфичных молекулярных RAPD и SSR-дескрипторов видов и разновидностей и найдены уникальные фрагменты спектра у отдельных образцов. Установлены SSR-маркеры, общие для всех исследованных геномов, что свидетельсвует об их близости. Найдены хромосомные локусы, контролирующие многие количественные хозяйственные признаки. При параллельных анализах линий картирующих популяций и сортообразцов коллекций тех же культур получены сходные позиции хромосомных локусов: например, установлено, что контроль многих биохимических признаков культур вида репа, таких как содержание каротинов и хлорофиллов, свободных аминокислот и фенольных соединений, осуществляют локусы, расположенные в нижней части третьей, в средине пятой и шестой групп сцепления, контроль времени перехода к цветению – локусы вверху второй и десятой, внизу третьей группы сцепления. Выявлено блочное строение геномов изученных культур, при этом один геномный район контролирует проявление различных признаков. Найдены молекулярные маркеры, сцепленные с изученными признаками.

Введение. Картирование локусов количественных хозяйственных признаков, поиск ассоциаций молекулярных маркеров с признаками и маркерная помощь отбору (MAS – marker assisted selection, англ.) являются одними из важнейших современных направлений биологической науки, сочетающих фундаментальные и прикладные подходы: раскрытие генетических детерминант, обуславливающих проявление признаков интереса,

локализация их на группах сцепления и определение сцепленных с ними ДНК-маркеров для ускорения селекционного процесса.

К семейству Капустные относятся масличные и овощные культуры, без которых невозможно ведение сельскохозяйственного производства. В коллекции генетических ресурсов овощных культур РФ, хранящейся в ВИР, находится 2500 образцов 8-ми разновидностей капусты огородной *Brassicaoleracea* L. (геном С *Brassica*), более 1000 образцов капустных культур вида репа, пекинской, китайской, розеточной, японской капуст *B.rapa*L. ssp. *pekinensis, chinensis, rosularis, nipposinica*, 550 образцов корнеплодной репы *B.rapa*ssp. *rapa* (геном А), 250 образцов брюквы *B.napus*L. var. *Rapifera* (геном АС), более 2300 образцов редиса и редьки *Raphanussativus* L. (геном R). В результате многолетнего изучения коллекций внутри них выделены стержневые коллекции, образцы которых фенотипированы по многим морфологическим, фенологическим, биохимическим и иммунологическим признакам. К настоящему времени проведен молекулярно-генетический скрининг стержневых коллекций с помощью RAPD, SSR, AFLP и S-SAP маркеров.

Материалы и методы. Материалом для QTL-анализа послужили картирующие популяции линий удвоенных гаплоидов репы *B.rapa* (DH30 – 40 линий и DH38 – 60 линий) и капусты огородной *B.oleracea* (AGDH – 100 линий). Генетические карты популяций насыщены SSR и AFLP молекулярными маркерами (Bohuonetal., 1996; Louetal., 2007, 2008). Материалом для проведения ассоциативного картирования являлись стержневые коллекции белокочанной капусты (35 образцов), брокколи (40 образцов), листовых, корнеплодных и масличных культур вида репа (96 образцов) и редиса (36 образцов). Сортообразцы белокочанной капусты и брокколи генотипированы SSR маркерами, редиса – RAPD маркерами, репы – SSR и S-SAP маркерами. Все изученные линии и сортообразцы фенотипированы согласно Методическим указаниям ВИР (1988), описание включало 45–50 признаков.

Кластерный анализ проводился с использованием компьютерных программ Treecon и Statistica 10.0, QTL анализ – с использованием MAPQTL 6.0

(Van Ooijen, 2009), ассоциативное картирование – с помощью программы Tassel.

Результаты и обсуждение. По результатам ДНК-анализа построены дендрограммы, отражающие филогенетические взаимоотношения между коллекционными образцами. Коллекция белокочанной капусты, по данным SSR анализа, ясно разделена на кластеры западноевропейских, русских и примыкающих к последним восточных сортотипов, что соответствует агробиологическому делению, при этом полиморфизм русского генпула выше, чем европейского. В коллекции брокколи выделяются кластеры голландских, американских и особенно резко японских образцов.

Филогенетическое дерево стержневой коллекции *B. rapa* представлено двумя большими кластерами восточноазиатских овощных культур и индоевропейских масличных и репы. Первый кластер разделен на подкластеры пекинской капусты, включая группы полукочанных и кочанных образцов, и китайской капусты и близких к ней культур. Второй кластер разделен на подкластеры масличных культур из Непала и Пакистана, европейской репы и масличных из Китая и Индии.

RAPD дендрограмма коллекции редиса соответствует предложенному делению культуры на группы сортотипов (6 групп), которое учитывает географическое происхождение сортообразцов, фенологические особенности, морфологию листовой розетки и корнеплода.

По результатам QTL анализа были обнаружены 4 QTL, контролирующие время перехода к цветению у линий обеих картирующих популяций репы при всех условиях выращивания. Они расположены на второй (2 QTL), седьмой и десятой группах сцепления. QTL на A03, A05, и A06 были зависимы от условий среды. Были обнаружены 30 QTL, контролирующие признаки размеров растений у DH30 и 22 QTLyDH38, при этом QTL, контролирующий многие морфологические признаки обеих популяций, располагался на A09. Самые важные QTL, стабильно детерминирующие проявление нескольких биохимических признаков, располагаются в близких позициях на вершине A05 и в средине A09. В рамках настоящего исследования были найдены 10 блоков коадаптированных генов у DH30 и 11 блоков у DH38. Важнейший QTL у обеих

популяций, контролирующий время переходя к цветению, а также признаки продуктивности и биохимического состава, найден в нижней части A03, где находится *BrFLC5*.

У картирующей популяции AGDH*B.oleracea,* полученной при скрещивании белоцветковой капусты и брокколи, QTL, детерминирующие размеры растений, были найдены в нижней части C01, C07, на вершине C04, C05, C09. QTL, контролирующие содержание аскорбиновой кислоты, находились в нижней части C01, C03, C08, содержание белка – в средней части C07, сухого вещества и каротиноидов – в нижней части C09.

С использованием фенотипированных и генотипированных образцов стержневых коллекций капустных культур были найдены существенные ассоциации маркер/признак для многих хозяйственно-ценных признаков (переход к цветению, признаки продуктивности и качества). Так, у культур вида репа найдены 11 блоков коадаптированных генов, контролирующих морфологические признаки продуктивности и качества в полевых и тепличных условиях, расположенных на всех группах сцепления, кроме A07 и A08. Наиболее важные блоки расположены на вершине A01, A10, на вершине и в нижней части A02, в нижней части A03, в средней части A05 и A06. Установлено совпадение позиций найденных при ассоциативном картировании хромосомных локусов, определяющих те же признаки, с позициями QTL на A02, A03, A05 и A06, что подтверждает достоверность полученных результатов и важность вклада данных локусов в развитие растений. Также установлено совпадение позиций локусов, определяющих проявление биохимических признаков при использовании картирующих популяций и образцов коллекции, в нижней части A03 и в средней части A05. Данные локусы детерминируют также содержание многих свободных аминокислот и фенольных соединений, а локусы в верхней части A02, A05 и A10 – содержание глюкозинолатов и продуктов их распада. При этом позиции локусов на вершине A02, в нижней части A03 и в верхней части A10 соответствуют позициям генов перехода к цветению *BrFLC2, BrFLC5, BrFLC1*. Таким образом, время перехода к цветению определяет также морфологические и биохимические признаки у растений *Brassica*.

Список литературы

1. Боос Г. В., Джохадзе Т. И., Артемьева А. М., Кривченко В. И., Симон А. М., Тимошенко З. В., Петровская Н. Н., Власова Э. А., Синельникова В. Н., Барашкова Э. А., Ивакин А. П., Ермаков А. И., Воскресенская В. В. Методические указания поизучению и поддержанию мировой коллекциикапусты. Л., ВИР, 1988. 118 с.

2. Bohuon E. J. R., Keith D. J., Parkin I. A. P., Sharpe A. G., Lydiate D. J. Alignment of the conserved C genomes of Brassica oleracea and Brassica napus // Theor. Appl. Genetics. 1996. V. 93. P. 833–839.

3. Lou P., Zhao J., He H., Hanhart C., Pino del Carpio D., Verkerk R., Custers J., Koornneef M., Bonnema G. Quantitative trait loci for glucosinolate accumulation in Brassica rapa leaves // New Phytol. 2008. V. 179. P. 1017–1032.

4. Lou P., Zhao J., Kim J. S., Shen S., Pino del Carpio D., Song X. Quantitative trait loci for flowering time andmorphological traits in multiple populations of Brassicarapa // J. Exp. Bot. 2007. V. 58. P. 4005–4016.

5. Van Ooijen J. W. MapQTL 6. Software for the mapping of quantitative trait loci in experimental populations of diploid species. Wageningen, Netherlands. 2009. 60 p.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ КАРЛИКОВЫХ СОРТОВ ТОМАТА СЕЛЕКЦИИ ВНИИССОК В ДВУХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ

И. Т. Балашова[1], С. М. Сирота[1], Е. Г. Козарь[1], Е. В. Пинчук[1],
Г. Г. Панова[2], О. Р. Удалова[2], Л. М. Аникина[2]

[1] ФГБНУ Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур, 143080, Московская область, Одинцовский р-н, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14
E-mail: balashova56@mail.ru;

[2]ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ), 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14,
E-mail: gpanova@agrophys.ru

Сорта селекции ВНИИССОК Наташа и Тимоша, созданные с помощью целевого отбора по спорофиту для вертикальных гидропонных установок, испытаны в условиях многоярусной узкостеллажной гидропоники МУГ (ВНИИССОК) и вертикальной светоустановки ВСУ (АФИ) (Панова и др., 2015). Сорт Тимоша в условиях ВСУ сохранял уровень проявления основных хозяйственно ценных признаков, но продуктивность его снижалась. Сорт Наташа в условиях ВСУ также сохранял уровень проявления основных хозяйственно ценных признаков, однако его продуктивность существенно повысилась. Сорт Наташа можно рекомендовать для выращивания на многоярусных гидропонных установках разного типа.

TESTING TWO DWARF TOMATO VARIETIES OF VNIISSOK SELECTION AT TWO TECHNOLOGIES

I. T. Balashova[1], S. M. Sirota[1], E. G. Kozar[1], E. V. Pinchuk[1],
G. G. Panova[2], O. R. Udalova[2], L. M. Anikina[2]

[1]All-Russian Research Institute for Vegetable Breeding and Seed Production (VNIISSOK),
E-mail: balashova56@mail.ru;

[2]Agrophysical Research Institute,
E-mail: gpanova@agrophys.ru

Varieties of VNIISSOK selection Natasha and Timosh, created with the help of targeted selection for sporophytes for vertical hydroponic installations, have been tested in conditions of multi-level narrow-columned hydroponics and vertical light installation. Timosha variety has maintained the level of manifestation of the main economically valuable traits, but its productivity has been declined under conditions of the Supreme Armed Forces. Natasha variety also maintained the level of manifestation of the main economically valuable traits, but its productivity has been significantly increased in conditions of vertical light installation. Natasha variety can be recommended for cultivation on multi-tiered hydroponic installations of different types.

Введение. К 2050 г. примерно 85% из 9-миллиардного населения Земли будет жить в городах, а растущему населению мира будет угрожать нехватка продовольствия и воды. Решение данной проблемы возможно осуществить путем создания т.н. «городских ферм» на свободных площадях в подвалах и на крышах домов, что подразумевает использование многоуровневых гидропонных установок. Экспериментальные установки такого типа проходят испытание в Нидерландах (фирмы PlantLab и Philips), где на площади 234 м^2 выращиваются листовые овощи (салаты и др. зеленные культуры), травы и земляника (http://prohitech.ru). Японская компания Mirai в индустриальном районе Хабаровска выстроила агрокомбинат, оснащённый современными гидропонными комплексами. Особенностью проекта является запрещение использования растительных материалов, модифицированных с помощью микроорганизмов, и химических методов борьбы с вредителями. При введении в эксплуатацию данного комплекса регион сможет увеличить самообеспеченность овощами и зеленью с 10 до 60% (http://m.hab.kp.ru/). Несмотря на определённые успехи в развитии «городских ферм», основные овощные культуры защищённого грунта – томат и огурец – пока не удавалось вырастить на таких установках. В России в ФГБНУ ВНИИССОК впервые в мире при помощи целевого отбора по спорофиту в 2015 г. были получены новые сорта томата Наташа и Тимоша, ***созданные специально для технологии многоярусной узкостеллажной гидропоники (МУГ)*** (Балашова и др., 2015; Balashova et al., 2016).

Цель настоящего исследования – сортоиспытание: оценка проявления сортовых признаков новых сортов томата в двух технологических средах – на многоярусной узкостеллажной гидропонике (МУГ, ВНИИССОК) без специального освещения и контроля температурного режима и на вегетационной установке с интенсивным освещением (ВСУ, АФИ) (Панова и др., 2015).

Материалы и технологии исследований

Материалом исследований полужили два новых сорта томата селекции ВНИИССОК Наташа и Тимоша, созданные с помощью целевой селекции по спорофиту для гидропонных установок.

Технологии исследований:

1. Многоярусная узкостеллажная гидропоника (МУГ). Растения выращивались в блоках минеральной ваты (Ульяновский завод теплоизоляционных изделий) на пятиярусной узкостеллажной конструкции с размещением по 5 растений на 1 погонном метре. Рассаду получали в рассадном отделении теплицы с поликарбонатным покрытием (фирма «Ришель», Франция) на передвижных столах, заполняемых традиционным питательным раствором для рассады (раствор № 1). После анализа высоты растений и отбора по спорофиту растения помещались на установку пятиярусной узкостеллажной гидропоники с автоматизированной подачей питательного раствора (раствор № 2) по трубам в лотки нержавеющей стали из растворного узла (фирма «ФИТО», Россия). Установка расположена в коридоре теплицы «Ришель». Температура воздуха в первом обороте составляла +18-20^{0}С. Источниками света служили лампы ДНа3-400 (ООО «Рефлакс»), продолжительность освещения составляла 12 час./сутки до цветения растений. Во втором обороте растения выращивались без дополнительного освещения. Температура воздуха составляла +25…+32°С.

2. Вегетационная светоустановка (ВСУ). Растения выращивались в торфяном питательном субстрате (торфопредприятие «Пельгорское М», Ленинградская обл.). При выращивании рассады использовали традиционный питательный раствор Кнопа, после высадки в установку – разработанные в АФИ растворы для вегетативного (раствор № 1) и генеративного (раствор № 2) периода развития растений томата. Подача питательного раствора осуществлялась по щелевому капилляру (Панова и др., 2015). Источниками света служили лампы ДНа3-400 (ООО «Рефлакс»). При выращивании растений томата температура воздуха поддерживалась в пределах +22–24°С днём и +18–20°С ночью, относительная влажность воздуха – в пределах 50–60%.

Продолжительность светового периода составляла 16 час./сутки, облучённость растений – 85–90 Вт/м^{2}ФАР.

Проводение фенологических наблюдений и оценка биометрических параметров растений осуществлялись в течение даух циклов наблюдений (2 оборота) на установке МУГ и одного цикла наблюдений – на установке ВСУ. Повторность экспериментов – 10-кратная. В качестве стандарта на установке МУГ использовался сортотип Комнатный. Обработка экспериментального материала осуществлялась по Б. А. Доспехову (1985).

Результаты исследований

Первоначально оценивалась продолжительность фенологических фаз при выращивании растений в условиях МУГ без специального освещения и контроля температурного режима и в условиях строгого контроля режима температуры и освещённости в ВСУ.

На установке МУГ посев в первом обороте проводили в пробки минеральной ваты 22.01.2016., пикировку сеянцев в кубики минеральной ваты осуществили 4.02.2016., расстановку растений на МУГ – 2.03.2016. Первый сбор плодов у образца Наташа был проведен 18.04.2016. Во втором обороте посев провели в пробки минеральной ваты 23.03.2016., пикировку сеянцев в кубики минеральной ваты осуществили 14.04.2016., расстановку на МУГ – 23.05.2016. Первый сбор плодов у образца Наташа проводился 21.06.2016.

На установку ВСУ проклюнувшиеся семена томата сортов Наташа и Тимоша высадили 22.02.2016. В фазе второго настоящего листа (01.03.2016.) сеянцы были распикированы в рассадные стаканчики и 02.03.2016. помещены в установку ВСУ. Растения сортов Наташа и Тимоша в фазе бутонизации (17.03.2016) высадили в лотки ВСУ по 11 растений каждого сорта.

Результаты фенологического анализа, представленные в сводной таблице 1, свидетельствуют о том, что условия в ВСУ, как и ожидалось, способствуют ускоренному прохождению фаз развития у растений томата. Ускорение по прохождению фаз развития в условиях ВСУ составило 6–8 суток и привело к более раннему созреванию плодов.

Таблица 1. **Продолжительность фенологических фаз у образцов томата в разных технологических средах (ФГБНУ ВНИИССОК и ФГБНУ АФИ, 2016)**

Образец (сорт)	Дата посева (высадки в школку)	Наступление фаз развития растений: сутки от посева (высадки в школку)					
		2-й наст. лист (пикировка)	Бутонизация	Цветение	Завязывание плодов	Созревание	Уборка
На установке МУГ, ВНИИССОК, I оборот							
Наташа	22.01.16.	14	30	38	44	98	100
Тимоша	22.01.16.	14	28	35	46	98	100
На установке МУГ, ВНИИССОК, II оборот							
Наташа	23.03.16.	12	41	48	54	77	81
Тимоша	23.03.16.	12	39	46	52	77	81
На установке ВСУ, АФИ							
Наташа	22.02.16.	***8***	***22***	***30***	***37***	***67***	***80***
Тимоша	22.02.16.	***8***	***20***	***31***	***37***	***74***	***80***

Во втором цикле экспериментов было оценено проявление основных биометрических признаков у растений томата указанных сортов (табл. 2). Высота растения во ВНИИССОК оценивалась до помещения растений на установку МУГ, к концу вегетации она составляла 30–35 см. В АФИ высота растений оценивалась после уборки урожая.

Таблица 2. **Проявление основных хозяйственно ценных признаков у образцов томата, предназначенных для многоярусной узкостеллажной гидропоники, в различных технологических средах (ФГБНУ ВНИИССОК и ФГБНУ АФИ, 2016)**

№	Поколение	Образец (сорт)	Высота растения $\bar{x}$, см	Период «посев – созревание» $\bar{x}$, сутки	Продуктивность $\bar{x}$, г/растение	Масса 1 плода $\bar{x}$, г	Окраска плода
На установке МУГ, ВНИИССОК, I оборот							
1	F_0	Комнатный – St	7,9*	108	249,6	8,5	красная
2	F_6	Наташа	8,8	98	338,4	10,3	красная
3	F_6	Тимоша	8,2	98	300,4	8,7	жёлтая
$НСР_{01}$*			4,7	8,0	108,6	4,9	–
На установке МУГ, ВНИИССОК, II оборот							
1	F_0	Комнатный - St	11,7*	81	139,0	8,9	красная
2	F_6	Наташа	13,7	77	378,0	9,6	красная
3	F_6	Тимоша	13,1	77	390,0	9,0	жёлтая
		$НСР_{01}$*	3,9	3,2	81,7	7,7	–
На установке ВСУ, АФИ							
1	F_6	Наташа	28,3 ± 1,8**	67	430 ± 80**	7,6±0,6	красная
2	F_6	Тимоша	32,9 ± 1,6	74	250 ± 80	8,6±0,4	жёлтая

* Статистический анализ результатов вегетационного эксперимента проводился на 1%-м уровне значимости по Б. А. Доспехову (1985).

**В таблице приведены средние арифметические значения параметров и их доверительные интервалы при 95%-м уровне вероятности по t-критерию. Статистическая обработка результатов выполнена с помощью программного обеспечения MS Exel 2003.

Анализ экспериментального материала (табл. 1, 2) показывает, что контролируемые условия в ВСУ способствовали ускоренному прохождению фаз развития растений при сохранении ими такого ключевого признака, как карликовость. Ситуация с проявлением основных хозяйственно ценных признаков складывалась следующим образом:

1. ***Средняя высота растений*** у обоих сортов сохранялась в разных технологических средах и к концу вегетации не превышала 35 см. Это свидетельствует о строгом сохранении генами группы *d* контроля над проявлением признака в разных условиях окружающей среды: при нерегулярном освещении в первом обороте МУГ, при повышенной температуре воздуха во втором обороте МУГ и при повышенной освещённости на установке ВСУ.

2. ***Средняя продуктивность*** у сорта Тимоша была выше на установке МУГ, а средняя продуктивность сорта Наташа – на установке ВСУ.

3. ***Средняя масса 1 плода*** у сорта Наташа была существенно выше на установке МУГ (10,3 г). Средняя масса одного плода у сорта Тимоша была более стабильной и сохранялась как на установке МУГ (8,7–9,0 г), так и на установке ВСУ (8,6 г).

4. ***Раннеспелость*** сохранялась у обоих сортов в разных технологических средах.

До периода созревания сорта Наташа и Тимоша на установке ВСУ развивались практически одинаково. Созревание плодов сорта Наташа в условиях ВСУ опередило созревание плодов сорта Тимоша на 7 дней, при этом у сорта Наташа произошли практически полное завязывание и созревание завязавшихся плодов. Сорт Тимоша оказался более позднеспелым и в условиях дополнительного освещения сформировал вегетативную массу, в 1,7 раза превышающую вегетативную массу растений сорта Наташа. Таким образом, сорт Наташа можно рекомендовать для выращивания не только на установке МУГ, но и в ярусных установках типа ВСУ.

Список литературы

1. Интернет ресурс: http://prohitech.ru.

2. Интернет ресурс: http://m.hab.kp.ru/

3. Балашова И. Т., Сирота С. М., Козарь Е. Г., Пивоваров В. Ф. Создание карликовых форм томата для новой гидропонной технологии // Современное состояние и перспективы инновационного развития сельского хозяйства. – Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 85-летию со дня основания Приднестровского научно-исследовательского института сельского хозяйства. 16–17 ноября, 2015. Тирасполь, Eco-TIRAS. С. 22–27. – ISBN 978-9975-53-552-6.

4. Balashova I. T., Sirota S. M., Kozar E. G., Pivovarov V. F. Target tomato breeding for special hydroponic technology // Abstracts of 20th EUCARPIA Congress, 29 August –1 September, 2016, Zurich, Switzerland. P. 343. – ISBN 978–3906804-22-4.

5. Панова Г. Г., Черноусов И. Н., Удалова О. Н., Александров А. В., Карманов И. В., Аникина Л. М., Судаков В. Л., Якушев В. П. Научно-технические основы круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции при искусственном освещении // Доклады РАСХН. 2015. № 4. С. 17–21.

ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРОЦЕССЫ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ ЛУКА

А. Д. Боровская, А. В. Гуманюк, Н. А. Мащенко, В. Ф. Ботнарь

Институт генетики, физиологии и защиты растений Академии наук Молдовы

Изучена возможность применения регуляторов роста растительного происхождения для предпосевной обработки семян лука репчатого с целью повышения энергии прорастания и использования их в качестве элемента технологии выращивания данной культуры. Исследовано влияние гликозидов различной химической природы на процессы прорастания, развитие растений лука, продуктивность и товарное качество. Установлено, что предпосевная обработка семян водными растворами указанных соединений обеспечивает повышение энергии прорастания, появление дружных всходов и устойчивость растений к патогенам и неблагоприятным условиям возделывания, что гарантирует прирост урожайности и улучшение качества товарной продукции. Наиболее эффективным оказалось использование 0,01%-ного раствора суммы линарозидов, полученной путем водно-спиртовой экстракции из *Linaria vulgaris Mill. L.*

THE INFLUENCE OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES ON THE DEVELOPMENT OF ONIONS PLANT

A. Borovskaia, A. Gumaniuk, N. Mashcenco, V. Botnari

Institute of Genetics, Physiology and Protection of Plants, Academy of Science of Moldova

The paper presents the results of using growth regulators of plant origin for the presowing treatment of onion seeds in order to increase energy of germination. The influence of glycosides of various chemical nature on the processes of germination, development of onion plants, productivity and commercial quality has been studied. The most effective was the use of a 0.01% solution of linarosides obtained by hydroalcoholic extraction from *Linaria vulgaris Mill. L*. Presowing treatment of seeds ensures an increase in germination energy and appearance of simultaneous sprouts, plant resistance to pathogens and to unfavorable conditions of cultivation, which guarantees the growth of yields and quality of marketable products.

Лук репчатый относится к числу традиционных овощных культур, возделываемых в республике Молдова. Его широкое распространение и употребление связано с ценными вкусовыми, питательными и лечебными свойствами, обусловленными наличием в нем фитонцидов, витаминов С, Bl, B2, PP, а также ряда других полезных веществ.

Площадь под данной культурой в республике в разные годы варьируется от 4 до 6 тыс. гектаров. В специализированных хозяйствах на свободных от сорняков полях при орошении урожайность лука местных сортов достигает 30–

50 т/га, тогда как средний урожай по республике не превышает 10–12 т/га. Одной из причин подобной урожайности лука является низкая полевая всхожесть семян. При недостаточной энергии прорастания всходы часто не способны преодолеть почвенную корку, образовавшуюся в результате весенних осадков и быстрого подсыхания почвы. В связи с этим значительное внимание уделяется приемам, повышающим полевую всхожесть семян.

Повышение иммунитета и усиление жизненных процессов в зародыше на данном этапе развития растений являются важными агротехническими задачами, решение которых может обеспечить применение биорегуляторов роста растительного происхождения. Использование данных соединений объясняется тем, что продукты вторичного метаболизма растений – флавоноиды, иридоиды, стероиды, гликозиды и пр. – в последние десятилетия привлекают пристальное внимание исследователей в связи с широким спектром их биологического действия [2, 3]. В связи с этим авторами была предпринята попытка использовать комплекс биологически активных веществ, выделенных из растений, широко представленных в дикорастущей флоре Молдовы, в качестве регуляторов роста и развития для предпосевной обработки семян лука репчатого.

Для максимально эффективного применения указанных соединений в качестве элемента технологии возделывания необходимо учитывать разнонаправленность их действия в зависимости от химической структуры, оптимальные концентрации, способ применения, время экспозиции, а также сортовые особенностей культуры, что достоверно устанавливается на этапе предварительного тестирования [2].

Лабораторное тестирование проводилось по методике, апробированной на семенах других овощных культур: семена лука репчатого замачивались на 24 часа в водных растворах гликозидов, выделенных из разных растительных объектов, в диапазоне концентраций 0,0001…0,01% [1, 2, 4]. Источниками получения природных биорегуляторов в данном эксперименте служили *Linaria vulgaris* Mill. L. (линарозиды), *Scrophularia nodoza* L. (скрофулариозиды), *Melampyrum nemorosum* L. (мелампирозиды), *Verbascum densiflorum* Bertol. (вербаскозиды), а также официальный рострегулирующий препарат

растительного происхождения «Экостим». Контролем являлись семена, замачиваемые в дистиллированной воде. Каждый вариант эксперимента проводился в четырёх повторностях.

Представленные в табл. 1 результаты исследования свидетельствуют, что все испытуемые биорегуляторы обеспечивают существенное повышение энергии прорастания семян лука и их общей всхожести.

Таблица 1. **Влияние биорегуляторов на всхожесть семян лука репчатого**

Вариант	Концен-трация, %	Энергия прорастания		Общая всхожесть	
		%	% к контролю	%	% к контролю
Контроль		52,8		58,8	
Экостим	0,0001	51,5	-2,5	57,8	-1,7
	0,001	56,3	6,6	67,0	13,9
	0,005	55,3	4,7	56,3	-4,3
	0,01	**61,5**	**16,5**	**70,3**	**20,0**
Мелампирозиды	0,0001	57,0	8,0	64,0	8,8
	0,001	**58,5**	**10,8**	**65,5**	**11,4**
	0,005	47,3	-10,4	56,3	-4,3
	0,01	50,3	-4,7	57,8	-1,7
Скрофулариозиды	0,0001	50,0	-5,3	57,8	-1,7
	0,001	51,5	-2,5	57,5	-2,2
	0,005	58,5	10,8	72,0	22,4
	0,01	**65,3**	**23,7**	**70,8**	**20,4**
Линарозиды	0,0001	56,3	6,6	66,5	13,1
	0,001	60,3	14,2	67,0	13,9
	0,005	62,8	18,9	73,5	25,0
	0,01	**69,0**	**30,7**	**74,5**	**26,7**
Вербаскозиды	0,0001	**61,5**	**16,5**	**70,3**	**20,0**
	0,001	42,5	-20,0	50,0	-15,0
	0,005	42,8	-19,0	52,0	-11,6
	0,01	55,3	4,7	64,3	9,4

Следует отметить, что по степени стимулирующего эффекта выделился вариант, где для замачивания семян применяли раствор суммы гликозидов из *Linaria vulgaris Mill.* L. [5]. В данном случае показатели общей всхожести превосходили контроль на 13,1–26,7%, а длина корешка на 7,5–30% в зависимости от концентрации применяемого раствора.

Учитывая особенности строения семян лука, кожица которых растягивается при набухании и не восстанавливается до прежнего состояния при подсушке, их длительное предпосевное замачивание не рекомендуется [2]. Часть набухших и просушенных семян шелушится при механизированном посеве, поэтому их необходимо замачивать не более чем на 20–30 мин. с

последующей подсушкой до сыпучести. Авторами установлено, что сокращение экспозиции замачивания семян не приводит к достоверному снижению эффективности биорегуляторов.

В производственном испытании для предпосевной обработки использовался 0,01%-й раствор суммы линарозидов, выделившийся по стимулирующему эффекту в лабораторном испытании. Для сравнения использовались семена, обработанные в растворе препарата экостим такой же концентрации. Замачивание проводилось в течение 15–20 мин. из расчета 8–10 л раствора на 1 т семян с последующей подсушкой.

Предпосевная обработка семян биорегуляторами положительно влияла на структуру урожая и товарный вид продукции. Так, на участке с применением линарозидов стандартных, пригодных для коммерческих целей, луковиц массой 67-73 г было собрано на 9,075 т/га больше, чем в контрольном варианте (табл. 2).

Таблица 2. **Влияние биорегуляторов на структуру урожая лука репчатого**

Вариант	Урожайность			
	стандартных луковиц*		нестандартных луковиц**	
	т/га	% к контролю	т/га	% к контролю
Контроль	32,425±2,6		14,975±1,0	
Экостим	37,875±1,1	16,8	18,225±0,9	21,7
Линарозиды	41,5±1,5	28,0	18,35±1.3	22,5

*стандартные луковицы одинакового размера с массой 67-73 г;
**нестандартные луковицы массой 28-34 г, не имеющие товарного вида.

Кроме того, наблюдалось значительное повышение общей урожайности данной культуры. Так, на опытном участке, где для обработки применялись линарозиды, урожайность лука была выше на 12,45 т/га, чем в случае, где семена замачивали в воде (табл. 3).

Таблица 3. **Влияние биорегуляторов на урожайность лука репчатого**

Вариант	Урожайность		
	т/га	% к контролю	± контролю, т/га
Контроль	47,5±2,1		
Экостим	56,0±2,1	18,35	8,7
Линарозиды	59,8±2,3	26,7	12,45

Следует отметить, что применение биорегуляторов также обеспечило улучшение биохимического состава луковиц. Содержание общего сахара повысилось на 7,8%, а витамина С – на 19,6% по сравнению с контролем (табл. 4).

Таблица 4. **Влияние биорегуляторов на биохимический состав лука репчатого**

Вариант	Сухие вещества		Общий сахар		Витамин С	
	%	% к контролю	%	% к контролю	мг/100 г	% к контролю
Контроль	12,6		7,4		9,2	
Экостим	13,1	4,0	7,7	4,1	9,6	4,3
Линарозиды	13,1	4,0	7,8	**5,4**	11,0	**19,6**

Таким образом, применение вышеуказанного способа предпосевной обработки семян лука обеспечило появление дружных всходов и повышение урожайности на 8–12 т/га при одновременном улучшении товарного качества продукции за счет стимулирования ростовых процессов растений.

Список литературы

1. Боровская А. Д., Ботнарь В. Ф., Кинтя П. К. Повышение энергии прорастания и общей всхожести семян лука // Материалы VII Международной научной конференции. Минск, 26–28 октября 2011 г. С. 32.

2. Ботнарь В. Ф., Боровская А. Д., Мащенко Н. Е., Василаки Ю. Л., Фокша Н. Г., Гуманюк А. В., Градинар Д. Г., Козарь Е. Д., Балашова И. Т. Рекомендации по применению регуляторов роста растений в технологии возделывания овощных культур / Отв. за вып. Ботнарь В. Ф. Кишинев, Print-Caro, 2015. 24 с.

3. Мащенко Н. Е., Боровская А. Д. Потенциальные возможности применения регуляторов роста растительного происхождения в овощеводстве // Материалы XI межд. научно-методической конференции «Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия культурных растений», 9–13 июня 2014. Махачкала. Ч. I. С. 30–34.

4. Botnari V., Chintea P., Borovskaia A., Ganceacovschi I. Brevet nr. MD 315. Procedeu de tratare a semințelor de ceapă. 2011.

5. Mascenko N., Kintia P., Gurev A., Marchenko A., Bassarello C., Piacente S., Pizza C. Glycosides from *Linaria vulgaris Mill*. Chem. J. of Moldova. V. 3. № 2. 2008. P. 98–100.

РЕАКЦИЯ НЕКОТОРЫХ ГЕНОТИПОВ И ГИБРИДНЫХ КОМБИНАЦИЙ F_5 ТОМАТОВ НА КУЛЬТУРАЛЬНЫЕ ФИЛЬТРАТЫ ГРИБОВ *ALTERNARIA* SPP. И *FUSARIUM OXYSPORUM* VAR. *ORTHOCERAS*

С. В. Григорча, Г. А. Лупашку, Н. И. Михня, С. И. Гавзер, К. В. Кошалык, В. И. Позняков

Институт генетики, физиологии и защиты растений Академии наук Молдовы

В статье представлены данные по влиянию грибов *Alternaria* spp. и *Fusarium oxysporum* var. *orthoceras* на некоторые признака роста и развития растений томата на ранней стадии онтогенеза в контролируемых условиях. Выявлены кластеры перспективных для селекции генотипов пшеницы, устойчивых к указанным патогенам.

REACTION OF THE SOME GENOTYPES AND F_5 TOMATOES HYBRID COMBINATIONS ON THE CULTURE FILTRATE OF THE *ALTERNARIA* SPP. AND *FUSARIUM OXYSPORUM* VAR. *ORTHOCERAS* FUNGUS

S. V. Grigorcea, G. A. Lupashku, N. I. Mihnea, S. I. Gavzer, C. V. Coshalik, V. I. Pozneacov

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of the Academy of Sciences of Moldova

The article presents data on the effect of fungi *Alternaria spp.* and *Fusarium oxysporum var. Orthoceras* on some signs of the growth and development of tomato plants in the early stage of ontogeny under controlled conditions. Clusters of wheat genotypes resistant to these pathogens have been identified.

В условиях Республики Молдова среди наиболее распространенных и вредоносных возбудителей болезней на томатах отмечаются грибы *Fusarium* spp. и *Alternaria* spp. (Lupaşcu, 2010; Grigorcea et al., 2016). В связи с этим представляет интерес реакция некоторых родительских форм и перспективных форм (реципрокные гибриды F_5) на культуральные фильтраты наиболее часто встречающихся грибов – *A. alternata, A. consortiale* и *F. oxysporum* var. *orthoceras*.

Материалом для исследований послужили сорта и перспективные популяции – гибриды F_5 томата. В реципрокной гибридной популяции Gloria x Jubiliar оценивались генотипы с удлиненной формой плода (УФП) и округлой

формой плода (ОФП). Для обработки семян были использованы культуральные фильтраты (КФ) грибов *A. alternata, A. consortiale* и *F. oxysporum* var. *orthoceras*, приготовленные на базе питательной среды Чапек-Докса (Tuite, 1969). Обработка данных проводилась в пакете программ STATISTICA 7.

Согласно полученным данным, в контрольном варианте всхожесть семян родительских форм и гибридов F_5 томата варьировалась в пределах 86,7%...100%. Под влиянием КФ *F. oxysporum* var. *orthoceras* во многих вариантах произошло снижение уровня признака, наиболее выраженное у гибридов F_5 Jubiliar x Gloria с у.ф.п. (на 56,7%) и F_5 Gloria x Jubiliar с у.ф.п. (на 33,3%) (табл. 1).

Таблица 1. **Влияние культуральных фильтратов грибов *Alternaria spp.* и *F. oxysporum var. orthoceras* на всхожесть семян некоторых сортов и реципрокных гибридов F_5 томата**

Nr.	Родительская форма, популяция F_5	Контроль (H_2O)	КФ *A. alternata*	КФ *A. consortiale*	КФ *F. oxysporum* var. *orthoceras*
1	Gloria	100	96,7	91,7	88,3
2	Jubiliar	90,0	100,0	93,3	100,0
3	Атласный	100,0	98,3	95,0	93,3
4	Застава	96,7	100,0	100,0	96,7
5	F_5 Gloria x Jubiliar (у.ф.п.)	93,3	91,7	93,3	68,3
6	F_5 Jubiliar x Gloria (у.ф.п.)	100,0	100,0	96,7	43,3
7	F_5 Gloria x Jubiliar (о.ф.п.)	100,0	100,0	100,0	66,7
8	F_5 Jubiliar x Gloria (о.ф.п.)	86,7	96,7	80,0	80,0
9	F_5 Gloria x Атласный	96,7	91,7	98,3	85,0
10	F_5 Атласный x Gloria	98,3	95,0	95,0	83,3
11	F_5 Gloria x Застава	100,0	100,0	93,3	98,3
12	F_5 Застава x Gloria	100,0	90,0	98,3	100,0

Установлено, что у родительских форм КФ не оказали значительного влияния на всхожесть семян, в то время как у гибридов КФ гриба *F. oxysporum var. orthoceras* вызвал достоверное снижение данного признака на 19,4%. КФ гриба *A. alternata* вызвал стимуляцию длины корешка у комбинаций F_5 Jubiliar x Gloria (у.ф.п.) и F_5 Застава x Gloria на 16,4 и 27,9% соответственно, а также стимуляцию длины стебелька у комбинации F_5 Атласный x Gloria на 55,2% (табл. 2).

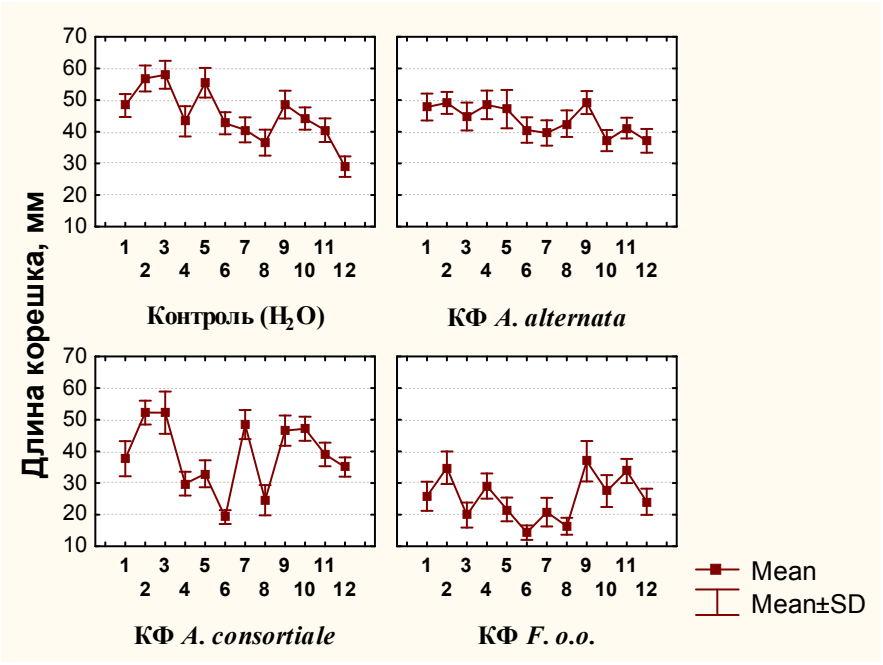
Таблица 2. **Сравнительные данные всхожести семян у родительских и гибридных форм томата при обработке семян культуральными фильтратами грибов *Alternaria spp.* и *F. oxysporum var. Orthoceras***

Вариант	Родительские формы		Комбинации F_5	
	$x \pm m_x$,%	σ	$x \pm m_x$,%	σ
Контроль (H_2O)	96,7±2,4	4,71	96,9±1,7	4,74
КФ *A. alternata*	98,8±0,8	1,58	95,6±1,5	4,17
КФ *A. consortiale*	95,0±1,8	3,60	94,4±2,2	6,29
КФ *F. oxysporum* var. *orthoceras*	94,6±2,5	5,00	78,1±6,6*	18,53

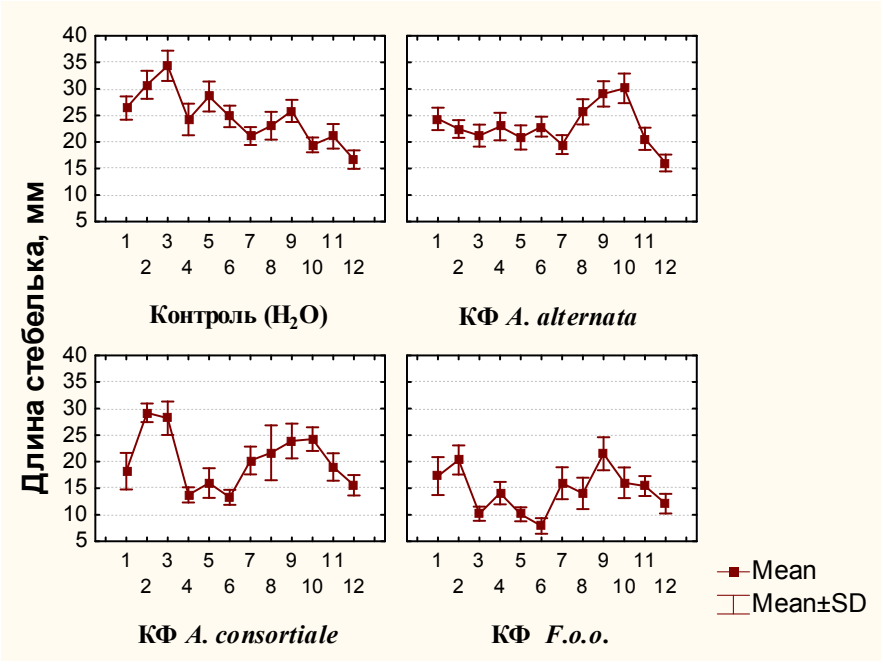
* – достоверное отличие от контроля ($p \leq 0,05$).

Под влиянием КФ гриба *A. consortiale* произошло значительное ингибирование роста корешка у сорта Застава, комбинаций F_5 Gloria x Jubiliar (у.ф.п.), F_5 Jubiliar x Gloria (у.ф.п.) и F_5 Jubiliar x Gloria (о.ф.п.) на 31,2–55,0%. Рост стебелька существенно снизился у сорта Застава, комбинаций F_5 Gloria x Jubiliar (у.ф.п.), F_5 Jubiliar x Gloria (у.ф.п.) (на 44,1–46,5%). КФ гриба *F. oxysporum* var. *orthoceras* ингибировал рост корешка и стебелька у всех изученных сортов и форм томата, что свидетельствует об их высокой чувствительности к данному патогену на ранней стадии онтогенеза (рис. 1).

Установлено, что фактор вида гриба внес наибольший вклад в вариабельность длины корешка и стебелька – 82,5 и 77,8% соответственно (таблица 3). При помощи кластерного анализа (метод *k*-средних) выявлено, что родительские формы и гибридные популяции F_5 Атласный x Gloria, F_5 Gloria x Застава и F_5 Застава x Gloria обладают наибольшей устойчивостью к изученным патогенам в контролируемых условиях (табл. 4).



А



Б

Рис. 1. Влияние культуральных фильтратов грибов *Alternaria* spp. и *F. oxysporum* var. *orthoceras* на рост корешка (А) и стебелька (В) томата.
По горизонтали: 1…12 – нумерация генотипов/гибридов согласно табл. 1.

Следовательно, изученные генотипы родительских форм и форм F_5 томата обладают дифференцированной чувствительностью к КФ грибов *Alternaria* spp. *F. oxysporum* var. *orthoceras* на ранних этапах онтогенеза в контролируемых условиях.

Таблица 3. **Факторный анализ взаимодействий «генотип томата – вид гриба»**

Источник вариабельности	Степень свободы	Средняя сумма квадратов	Вклад в вариабельность, %
Длина корешка			
Генотип томата	11	7115*	13,0
Вид гриба	3	45226*	82,5
Генотип томата х вид гриба	33	2271*	4,1
Остаточные эффекты	2500	238	0,4
Длина стебелька			
Генотип томата	11	2085*	15,6
Вид гриба	3	10447*	77,8
Генотип томата х вид гриба	33	789*	5,9
Остаточные эффекты	2440	75	0,6

* – $p \leq 0,05$.

Таблица 4. **Кластерный анализ (к-средних) генотипов томата по параметрам роста и развития при обработке семян культуральными фильтратами грибов**

Кластер	Признак	Значения	Генотипы
1	Всхожесть, %	95,1	Gloria, Atlasnâi, Jubiliar, Zastava, F_5 Gloria x Atlasnâi, F_5 Atlasnâi x Gloria, F_5 Gloria x Zastava, F_5 Zastava x Gloria.
	Длина корешка, мм	38,6	
	Длина стебелька, мм	20,3	
2	Всхожесть, %	80,0	F_5 Jubiliar x Gloria (fr. a.).
	Длина корешка, мм	24,7	
	Длина стебелька, мм	14,7	
3	Всхожесть, %	86,3	F_5 Gloria x Jubiliar (fr. a.), F_5 Gloria x Jubiliar (f.r.), F_5 Jubiliar x Gloria (f.r.).
	Длина корешка, мм	32,7	
	Длина стебелька, мм	18,4	

В результате проведенных исследований были выявлены наиболее перспективные генотипы для включения в селекционные программы после их дополнительного тестирования в полевых условиях.

Список литературы

1. Grigorcea S., Lupaşcu G., Mihnea N., Zamorzaeva I. Causative agents of leaf brown staining and root rot on tomato in conditions of the Republic of Moldova // Oltenia. Studii şi comunicări. Ştiinţele Naturii. 2016. P. 45–50.

2. Lupaşcu G. The role of interactions in the formation of valuable quantitative trait phenotypes in farm plants // Buletinul AŞM. 2010. № 2 (311). P. 122–125.

3. Tuite J. Plant pathological Methods // Minneapolis: Burgess Publ. Company. 1969. 239 p.

ИЗМЕНЕНИЕ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ В РАСТЕНИЯХ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ПОРАЖЕНИИ КОЛОРАДСКИМ ЖУКОМ

М. В. Дудов[1], М. С. Гинс[1,2], А. А. Байков[1]

[1]*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур (ВНИИССОК);*

[2]*ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов (РУДН)*

Исследовано влияние стрессового воздействия колорадского жука на суммарное содержание антиоксидантов в листьях *Solanum tuberosum* L. сорта Жуковский ранний. Установлено, что на 21 сутки от начала колонизации пикромерусом в фазе личинок первого возраста величина ССА составила 80–92% от начальной, в то время как в системе «картофель – колорадский жук» без пикромеруса – всего 36–42% от начальной.

CHANGES OF THE TOTAL AMOUNT OF ANTIOXIDANTS IN POTATO PLANTS AT THE DISTURBANCE BY THE COLORO BEETLE

V. Dudov[1], M. S. Gins[1,2], A. A. Baikov[1]

[1]*All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Breeding and Seed Production;*

[2]*Peoples' Friendship University of Russia*

The article presents the results of studing of the stress effect of the Colorado potato beetle on the total antioxidant content in the leaves of Solanum tuberosum L. of Zhukovsky's early variety. It was found that on the 21st day from the beginning of colonization by picromerus in the phase of larvae of the first age, the value of CCA was 80–92% of the initial, while in the «potato – Colorado beetle» system without picromerus, only 36–42% of the initial one.

Колорадский картофельный жук (*Leptinotarsa decemlineata* Say) является основным вредителем пасленовых (Solanaceae) культур, особенно рода *Solanum*. Имаго и личинки жука объедают листья, проделывая в них отверстия или скелетируя, что в свою очередь приводит к снижению урожайности растений. Использование синтетических инсектицидов для борьбы с данным вредителем привело к резистентности практически во всех классах инсектицидов, включая органофосфаты, карбаматы, пиретроиды и неоникотиноиды (Wang et al., 2016). Поэтому биологическая защита растений с целью получения экологически чистой продукции и предотвращения появления устойчивых к химическим препаратам насекомых вредителей в настоящее

время выходит на первый план (Pavela, 2010). Ряд исследований посвящен применению растительных препаратов с инсектицидной активностью (Pavela, 2010; Гинс и др., 2016), энтомопатогенных грибов и бактерий (Wraight, Ramos, 2015; Kryukov et al., 2009) и энтомогфагов (Tipping et al., 1999). Среди последних наибольший интерес представляет применение хищных клопов подсемейства Asopinae, хотя их использование зачастую требует решения проблемы акклиматизации (Агасьева и др., 2013). В связи с этим представляет интерес распространенный в Палеарктике представитель данного подсемейства щитник (=пикромерус) двузубчатый (*Picromerus bidens* L.), который даёт одно поколение в год, зимует в стадии яйца и охотится преимущественно на личинок из отрядов Coleoptera, Hymenoptera и Lepidoptera на травах и деревьях. В лабораторных и полевых исследованиях установлена способность пикромеруса снижать численность личинок колорадского жука на картофеле (*Solanum tuberosum* L.) (Волков и др., 2013).

Начатые во ВНИИССОК полевые исследования по изучению динамики взаимодействия хищного клопа пикромеруса и колорадского жука на растениях картофеля показали, что количественное описание параметров эксперимента вызывает затруднения из-за высокой мобильности фито- и энтомофагов. Поэтому модельные исследования было решено провести в свето-климатической установке. Растения картофеля сорта Жуковский ранний выращивались при температуре 18–25°С и 15-часовом фотопериоде (200–400 мкмоль·м$^{-2}$с$^{-1}$). Для проведения круглогодичного эксперимента была отработана методика поддержания необходимой численности особей колорадского жука различного возраста. Имаго содержались в пластмассовых ёмкостях с предварительно засыпанной в них почвой, в которую помещалась свежая ботва картофеля, сверху ёмкости закрывались смоченным в воде марлевым материалом. Емкости устанавливались в холодильную камеру с температурой воздуха +3–6°С и одновременным поддержанием оптимальной влажности, что вызывало состояние диапаузы у колорадского жука. Постепенное «пробуждение» проводилось путём помещения колорадских жуков в определённом количестве на листья картофеля в свето-климатической установке при температуре +25°С с поддержанием необходимой влажности. Наблюдения в свето-климатической установке показали, что имаго колорадского жука постепенно просыпалось с повышением температуры и начинало активно питаться листьями ботвы картофеля. Жуки откладывали яйца

на листьях картофеля, и через некоторое время из них появлялись личинки I возраста, которые затем последовательно проходили через стадии личинок II-III-IV возраста и превращались в новых молодых жуков (имаго).

Для оценки состояния стресса у растений картофеля использовался показатель суммарного содержания антиоксидантов (ССА, мг. экв. ГК/г). Измерения проводились амперометрическим методом, адаптированным для определения как гидрофильных, так липофильных фракций. Для получения экстрактов из растительной ткани использовались бидистиллят, спирт этиловый 80% и смесь ацетона и этилового спирта (1:1 v/v). В случае использование спирта этилового 80% анализ проводился в двух вариантах. В первом варианте измельченный в растворе растительный материал помещали в пробирки с крышками и нагревали при 60°С на водной бане в течение 60 мин. Во втором варианте стадию с нагревом пропускали, так же поступали при экстракции бидистиллятом и смесью ацетона и этилового спирта. Далее гомогенат центрифугировали при 10000 g 15 мин при 4°С. Аликвоту супернатанта использовали для определения содержания антиоксидантов, при необходимости разбавляя. Измерения проводились на приборе «Цвет-Яуза-01-АА» в постоянно-токовом режиме (Мамедов и др., 2016).

К опытным растениям в нулевые сутки были подсажены имаго колорадского жука из холодильной камеры в количестве 16 особей на 8 растений картофеля в каждый бокс. На 21-е сутки в одном из боксов был проведен выпуск личинок пикромеруса 1-го возраста в количестве 10 особей на 8 растений.

В ответ на начальное повреждение растений колорадским жуком на 3-и сутки увеличилось суммарное содержание антиоксидантов (табл.). Это может свидетельствовать о том, что в растении запустились процессы оптимизации на уровне антиоксидантной и фотосинтетической систем (Дудов и др., 2017). В дальнейшем на 14–21-е сутки наблюдался спад ССА, подобный эффект также наблюдался при повреждении листьев земляники садовой атлантическим паутинным клещом – он был связан с перекисным окислением мембранных липидов (Baikov et al., 2012; Байков и др., 2013). Исследование действия регургитанта (орального секрета) личинок колорадского жука IV возраста на механически поврежденные листья фасоли обыкновенной показало, что окислительный взрыв, связанный с образованием перекиси водорода посредством NADPH-оксидазы и супероксиддисмутазы, является

необходимым звеном (наряду с биосинтезом и рецепцией этилена), ведущим к увеличению активности пероксидазы и полифенолоксидазы в листьях (Steinite et al., 2004). Это подтверждает, что антиоксидантная система участвует в первичном ответе растения и является чувствительным индикатором на воздействие колорадского жука.

На 28–42-е сутки в боксе с колорадским жуком спад ССА в листьях картофеля продолжился, в то же время в боксе, где был произведен выпуск личинок пикромеруса, величина суммарного содержания антиоксидантов стала постепенно возрастать и на 42-е сутки составила 80–92% от начальной, что свидетельствует о снижении напряженности стрессового фактора.

Анализ зависимости содержания термостабильных антиоксидантов от общего их количества при экстракции 80% этанолом при нагревании до 60°С в течение 60 мин показал, что вклад неустойчивых к термическому воздействию антиоксидантов составляет 12–17%.

Наибольшая величина ССА при прочих равных наблюдалась в 80% этаноле, наименьшая – в бидистилляте.

Таблица. **ССА в листьях картофеля в норме и при поражении *L. Decemlineata***

Сутки	ССА, мг. экв. ГК/г							
	контроль				опыт			
	H2O	ацетон/этанол 1:1 v/v	этанол, 80%	этанол 80%, 60°С/60 мин.	H_2O	ацетон/этанол 1:1 v/v	этанол, 80%	этанол 80%, 60°С/60 мин.
0	0,65±0,04	0,73±0,04	0,82±0,04	0,69±0,04	0,69±0,04	0,71±0,04	0,84±0,03	0,72±0,04
3	0,62±0,04	0,75±0,04	0,87±0,04	0,74±0,04	0,78±0,04	1,02±0,05	1,16±0,07	0,97±0,05
7	0,63±0,04	0,73±0,04	0,83±0,04	0,71±0,03	0,66±0,03	0,73±0,04	0,81±0,04	0,70±0,04
14	0,62±0,04	0,81±0,04	0,87±0,04	0,76±0,03	0,56±0,03	0,60±0,03	0,63±0,03	0,52±0,03
21	0,65±0,04	0,78±0,04	0,84±0,04	0,71±0,03	0,42±0,02	0,47±0,02	0,49±0,02	0,43±0,02
28	0,61±0,04	0,75±0,04	0,85±0,04	0,72±0,04	0,33±0,02 0,40±0,02*	0,37±0,02 0,45±0,02*	0,41±0,02 0,47±0,02*	0,36±0,02 0,39±0,02*
35	0,64±0,04	0,82±0,04	0,89±0,04	0,72±0,04	0,28±0,01 0,51±0,03*	0,33±0,02 0,58±0,03*	0,33±0,02 0,66±0,03*	0,28±0,01 0,57±0,03*
42	0,66±0,04	0,80±0,04	0,86±0,04	0,75±0,04	0,25±0,01 0,55±0,03*	0,30±0,01 0,62±0,02*	0,31±0,01 0,77±0,04*	0,27±0,01 0,64±0,03*

* отмечены данные в боксе, где был произведен выпуск личинок пикромеруса.

Список литературы

1. Wang Z., Zhao Z., Cheng X., Liu S., Wei Q., Scott I. V. Conifer flavonoid compounds inhibit detoxification enzymes and synergize insecticides // Pestic. Biochem. Physiol. 2016. V. 127. P. 1–7.

2. Pavela R. Antifeedant activity of plant extracts on *Leptinotarsa decemlineata* Say. and *Spodoptera littoralis* Bois. larvae // Ind Crop Prod. 2010. V. 32. P. 13–319.

3. Гинс В. К., Пиункова С. А., Коничев А. С., Гинс М. С., Пивоваров В. Ф., Байков А. А., Горбатовская Е. А., Романова Е. В., Кузнецова Л. В. Инсектицидное действие метаболитов экстрактов амаранта // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2016. № 12. С. 191–195.

4. Wraight S. P., Ramos M. E. Delayed efficacy of *Beauveria bassiana* foliar spray applications against Colorado potato beetle: impacts of number and timing of applications on larval and next-generation adult populations // Biol. Control. 2015. V. 83. P. 51–67.

5. Kryukov V. Y., Khodyrev V. P., Yaraslavtseva O. N., Kamenova A. S., Duisembekov B. A., Glupov V. V. Synergistic action of entomopathogenic hyphomycetes and the bacteria *Bacillus thuringiensis* ssp. *morrisoni* in the infection of Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* // Appl. Biochem. Microbiol. 2009. V. 45. P. 511–516.

6. Tipping P. W., Holko C. A., Abdul-Baki A. A., Aldrich J. R. Evaluating *Edovum puttleri* Grissell and *Podisus maculiventris* (Say) for augmentative biological control of Colorado potato beetle in tomatoes // Biol. Control 1999. V. 16. P. 35–42.

7. Агасьева И. С., Исмаилов В. Я., Федоренко Е. В., Нефедова М. В. Разведение и применение хищных клопов пентатомид против колорадского жука // Защита и карантин растений. 2013. № 11. С. 21-24.

8. Волков О. Г., Мешков Ю. И., Яковлева И. Н. Развитие и хищничество *Picromerus bidens* (Heteroptera: Pentatomidae) на *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae) // Russian Entomological Journal. 2013. Т. 22. № 1. С. 43–50.

9. Мамедов М. И., Пышная О. Н., Джос Е. А., Байков А. А., Матюкина А. А. Содержание полифенолов, аскорбиновой кислоты, каротиноидов и антиоксидантные свойства плодов *Capsicum chinense* Jacq // Овощи России. 2016. № 4 (33). С. 84–89.

10. Дудов М. В., Гинс М. С., Байков А. А. Физиолого-биохимические характеристики листьев картофеля в норме и при повреждении надземной части растения колорадским жуком // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Принята к публикации.

11. Baikov A. A., Kvitka A. Yu., Popov S. Ya., Gins M. S., Solntsev M. K. Effects of biotic stress (spider mite injury) on leaf water status, total antioxidant capacity and lipid peroxidation in strawberry plants // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012. № 7. С. 113–115.

12. Байков А. А., Караваев В. А., Попов С. Я., Квитка А. Ю., Левыкина И. П., Солнцев М. К., Тихонов А. Н. Люминесцентные характеристики листьев земляники на ранних стадиях повреждения растений паутинным клещом // Биофизика. 2013. Т. 58. № 2. С. 321–328.

13. Steinite I., Gailite A., Levinsh G. Reactive oxygen and ethylene are involved in the regulation of regurgitant-induced responses in bean plants // J. Plant Physiol. 2004. V. 161. P. 191–196.

УДК 633.853.52:631:521:541.144.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФЛУОРИМЕТРИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СОРТОВ СОИ С ВЫСОКОЙ АКТИВНОСТЬЮ ФОТОСИНТЕЗА

О. С. Душко

ФГБНУ ВНИИ сои

Статья посвящена актуальным на сегодняшний день темам исследований – изучению фотосинтеза и выявлению продуктивности культурного растения. В полевых условиях в листьях новых сортов сои дальневосточной селекции при помощи портативного анализатора MINI-PAM определялись основные показатели интенсивности фотосинтетического процесса: квантовый выход фотосинтеза и квантовый выход флуоресценции хлорофилла. Выделены образцы сортов с высокими значениями квантового выхода фотосинтеза и с наименьшими значениями квантового выхода флуоресценции хлорофилла. Проведенные исследования позволяют рекомендовать сорта сои Увертюра, Пепелина и Кружевница для использования в селекционном процессе как высокоактивные по фотосинтетическому аппарату.

USE OF FLUORIMETRY'S METHOD FOR IDENTIFICATION OF SOYBEAN SORTS WITH HIGH PHOTOSYNTESIS ACTIVITY

O. S. Dushko

FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Soybean» (ARSI)

The article concentrates on topical theme of research – photosynthesis study productiveness detection of cultivated plants. In field, new soybean sorts of far East selection's leaves with the help of portable analyzer MINI-PAM define highlights intensity of photosynthetic process: quantum yield of photosynthesis and quantum yield of chlorophyll fluorescence. The sample sorts with high quantum yield of photosynthesis index and low quantum yield of chlorophyll fluorescence index have been undificate. Soybean sorts Uvertura, Pepelina and Kruzhevnitsa are recommended for selection process as sorts with highly effective photosynthetic feature.

Доказано, что урожай формируется из продуктов фотосинтеза, поэтому важно знать, какие факторы в большей степени воздействуют на фотосинтетические процессы. Поскольку основным фотосинтезирующим органом растения является лист, настоящие исследования направлены на изучение фотосинтезирующей поверхности у сои с целью получения информации по основным показателям интенсивности фотосинтетического процесса у новых сортов сои, которые в дальнейшем будут использованы в селекционном процессе. Изучение основных показателей интенсивности фотосинтетического процесса в посевах различных сортов позволит определить условия, которые дадут возможность сформировать посевы, способные не только поглощать наибольшее количество энергии фотосинтетически активной

части солнечной радиации, но и максимально обеспечить высокий коэффициент ее использования на фотосинтез и образование общей и хозяйственно-полезной части урожая.

В полевых условиях в основные фазы развития новых среднеспелых сортов сои, выведенных учеными Всероссийского НИИ сои, при помощи анализатора выхода фотосинтеза с импульсно-модулированным освещением флуориметра MINI-PAM фиксировались основные показатели интенсивности фотосинтетического процесса в листьях: квантовый выход фотосинтеза (Y), который характеризует эффективность работы ФСII, и квантовый выход флуоресценции хлорофилла (F), характеризующий количество не усвоенных от солнечной энергии фотонов и излученных в виде флуоресценции.

В течение вегетационного периода сои значения уровня эффективности квантового преобразования энергии фотосинтеза по всем сортам были почти одинаковыми, однако в фазу налива семян отмечено резкое снижение данного показателя у сортов сои Евгения, Персона, Китросса, что указывает на снижение поглощения солнечной энергии листовой поверхностью в данный период (рис. 1).

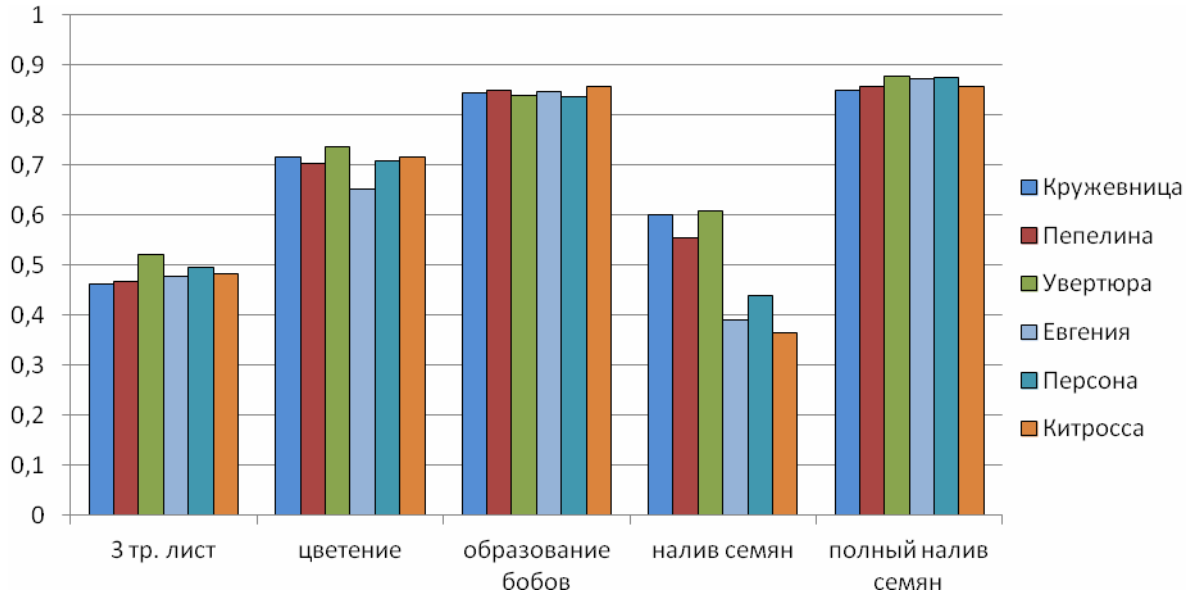


Рис. 1. Эффективность квантового преобразования энергии фотосинтеза в листьях сои (Y)

К фазе полного налива семян отмечено повышение показателя квантового выхода фотосинтеза в листьях всех сортов сои, что свидетельствует о высоком уровне работы фотосинтетического аппарата.

Анализ полученных данных квантового выхода флуоресценции хлорофилла показал, что в период третьего тройчатого листа значения показателя F у всех сортов были максимальными, что указывает на низкий уровень работы фотосинтетического аппарата (рис. 2). Затем идет резкое снижение данного показателя в фазу цветения и образования бобов, что свидетельствует о высокой эффективности работы листовой поверхности сои в указанные периоды. Однако в фазу налива семян наблюдается резкое увеличение данного показателя, особенно у сортов Евгения, Персона и Китросса. К фазе полного налива семян отмечено небольшое снижение показателя F в листьях сои сортов Увертюра, Персона и Китросса.

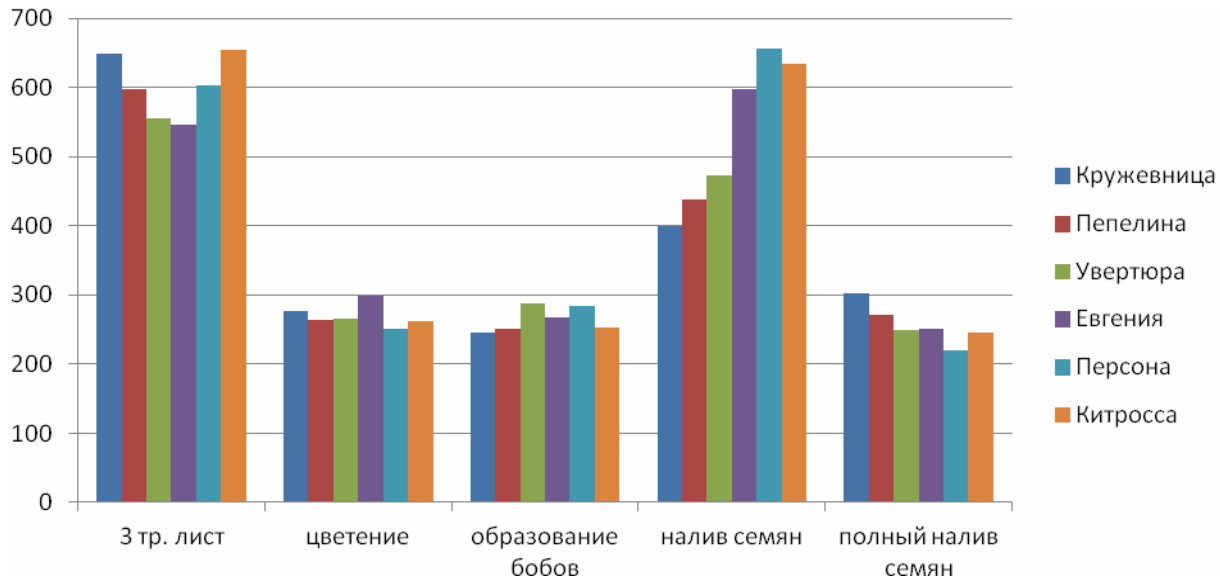


Рис. 2. Квантовый выход флуоресценции хлорофилла в листьях сои (F)

Необходимо отметить, что основные показатели интенсивности фотосинтетического процесса в фазу полного налива семян не являются существенными, поскольку работа листовой поверхности прекращается.

Таким образом, сорта сои Увертюра, Пепелина и Кружевница характеризуются высоким уровнем квантового выхода фотосинтеза, который может обеспечить максимально высокий коэффициент использования солнечной энергии на фотосинтез. Соответственно, в дальнейшем данные сорта можно будет использовать в селекционном процессе с целью создания сортов с высокой степенью фотосинтетической активности.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЦИНКА НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ПШЕНИЦЫ ПРИ ГИПОТЕРМИИ

Н. М. Казнина, Г. Ф. Лайдинен, Ю. В. Батова, А. Ф. Титов

ФГБУН Институт биологии Карельского научного центра РАН

(ИБ КарНЦ РАН)

В условиях лабораторного опыта изучалось влияние избытка цинка в корнеобитаемой среде (1000 мкМ) на фотосинтетический аппарат озимой пшеницы (с. Московская-39) при обычной (22ºС) и пониженной (4ºС) температурах. Установлено, что цинк в высоких концентрациях оказывает явно выраженное отрицательное воздействие на ФСА растений пшеницы как при обычной, так и при пониженной температурах. Однако в условиях гипотермии избыток цинка оказывал более сильный негативный эффект в отношении большинства изученных параметров, что приводило к значительному снижению скорости фотосинтеза.

EFFECT OF ZINC HIGH CONCENTRATIONS ON THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF WHEAT UNDER HYPOTHERMIA CONDITIONS

N. M. Kaznina, G. F. Laidinen, J. V. Batova, A. F. Titov

Institute of Biology Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences

The effect of excess zinc (1000 μM) on the photosynthetic apparatus (PSA) of winter wheat (v. Moscowskaya 39) at normal (22°C) and lower (4°C) temperatures has been studied. It was found, that zinc in high concentrations has a pronounced negative effect on the PSA of wheat plants both at normal and low temperatures. However, at low temperatures the effect of the metal on such parameters as leaf area, chlorophyll and carotinoids content, *Fv/Fm* and stomata aperture dimensions, was stronger than at normal temperature, which led to a significant decrease of the photosynthesis rate in plants.

Цинк является одним из микроэлементов, который в небольших количествах необходим для нормального роста и развития растений. В высоких концентрациях он, подобно другим тяжелым металлам, оказывает отрицательное воздействие на их жизнедеятельность, приводя в том числе к снижению продуктивности (Титов и др., 2007). Увеличение содержания цинка в почвах и в растениях в основном связано с выбросами предприятий цветной металлургии, химической, горнодобывающей и горнообрабатывающей промышленности, а также с использованием высоких доз минеральных удобрений и химических средств защиты растений, имеющих составе данный

металл (Ильин, 1991). В результате на некоторых территориях, в том числе занятых сельскохозяйственными культурами, содержание цинка в верхнем слое почв может доходить до 60 000 мг/кг почвы, а в растениях – до 600 мг/кг сухой массы при среднем его количестве 20–50 мг/кг сухой массы (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Поэтому в целом ряде стран активно изучается влияние высоких концентраций данного металла на культурные виды растений, включая представителей семейства *Poaceae*, многие из которых относятся к ведущим сельскохозяйственным культурам. В условиях Севера загрязнение окружающей среды цинком и его отрицательное влияние на растения часто усиливается периодическими понижениями температуры, вплоть до отрицательных значений даже в период активной вегетации.

Известно, что фотосинтетический аппарат (ФСА) растений характеризуется высокой чувствительностью как к тяжелым металлам, так и к низкой температуре. С другой стороны, от его эффективной работы во многом зависит рост и продуктивность растений. В связи с этим задача настоящего исследования заключалась в изучении влияния избытка цинка в корнеобитаемой среде на ФСА пшеницы как одной из наиболее важных сельскохозяйственных культур при обычной и пониженной температурах.

Объектом исследования служили растения озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с. Московская-39, которые выращивались в камере искусственного климата в рулонах фильтровальной бумаги при температуре 22°С на питательном растворе Хогланда-Аарона (контрольный вариант). В опытном варианте к питательному раствору добавлялся цинк в концентрации 1000 мкМ в форме сульфата (Zn^{2+}, 22°С). Спустя семь суток часть растений данного варианта переносилось в камеру с температурой 4°С (Zn^{2+}, 4°С), остальные растения оставались в прежних условиях. Влияние избытка цинка на ФСА при оптимальной (22ºС) и низкой положительной (4°С) температурах оценивалось через 7 суток эксперимента по изменению площади листьев, концентрации хлорофиллов и картиноидов, фотохимической активности фотосистемы II (ФС

II), количества устьиц, размера устьичной щели и интенсивности фотосинтеза в сравнении с контролем.

Площадь первого листа рассчитывалась по формуле $S = 0{,}66ld$, где l – длина листа; d – ширина листа. Содержание пигментов определялось спектрофо-тометрически, максимальный квантовый выход фотохимической активности ФС II (F_v/F_m) – с помощью флуориметра MINI-PAM на адаптированных к темноте листьях. Измерение числа устьиц и размеров устьичной щели проводились на нижнем эпидермисе листа методом отпечатков. Интенсивность фотосинтеза определялась по выделению CO_2 на установке для исследования CO_2-газообмена и концентрации водяных паров. Биологическая повторность в пределах каждого варианта опыта составляла для разных показателей от 3 до 10 растений, аналитическая повторность была 3–4-кратной. В целом опыт проводился в 2-кратной повторности. Достоверность различий оценивалась с помощью критерия Стьюдента при $P < 0{,}05$.

Результаты исследования показали, что цинк в концентрации 1000 мкМ оказывает негативное воздействие на ФСА растений пшеницы, причем в условиях пониженной температуры воздуха данная ситуация заметно усугублялась. Так, при действии цинка в условиях гипотермии у проростков в гораздо большей степени, чем при обычной температуре, уменьшались (по отношению к контролю) размеры листа, содержание хлорофиллов и каротиноидов, а также размеры устьичной щели (табл.).

Таблица. **Влияние избытка цинка (1000 мкМ) на фотосинтетический аппарат растений пшеницы с. Московская-39 при обычной (22°С) и пониженной (4°С) температурах**

Показатель	Контроль	Zn^{2+}, 22ºС	Zn^{2+}, 4ºС
Площадь листа, $см^2$	3,61±0,16	3,09±0.14	2,53±0,15
Содержание хлорофиллов (*a*+*b*), мг/г сырого веса	2,05±0,008	1,65±0.004	1,51±0,006
Содержание каротиноидов, мг/г сырого веса	0,40±0,003	0.32±0.005	0,26±0,002
Fv/*Fm*	0,78±0,002	0,77±0,003	0,77±0,001
Кол-во устьиц, шт./$мм^2$	100,00±2,00	81,80±1,60	77.90±1,20
Площадь устьичной щели, мкм	508,11±14,11	400,32±15,53	361,42±16,71
Интенсивность фотосинтеза, мкМ $CO_2/м^2$ с	4,40±0,10	2,83±0,03	2,06±0,06

Примечание: все различия между опытными вариантами и контролем достоверны при $P < 0{,}05$.

Выявленные изменения в ФСА проростков пшеницы под влиянием цинка отрицательно сказались на скорости фотосинтеза, которая замедлялась в обоих вариантах опыта. Но если при 22°С интенсивность данного процесса снижалась менее чем на 40%, то при 4°С – более чем в два раза.

Таким образом, проведенные исследования показали, что цинк в высоких концентрациях оказывает явно выраженное отрицательное воздействие на ФСА растений пшеницы как при обычной, так и при пониженной температурах. Однако во втором случае негативный эффект в отношении большинства изученных показателей оказался более сильным, что приводило к значительному снижению скорости фотосинтеза.

Исследования выполнены на научном оборудовании центра коллективного пользования ИБ КарНЦ РАН «Комплексные фундаментальные и прикладные исследования особенностей функционирования живых систем в условиях Севера».

Список литературы

1. Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск, КарНЦ РАН, 2007. 172 с.

2. Кабата Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., Мир, 1989. 200 с.

3. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск, Наука (Малое сибирское отд.), 1991. 149 с.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОРЕГУЛЯЦИИ МОРФОГЕНЕЗА ПРОРОСТКОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

М. Ю. Касаткин, С. А. Степанов

ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»

410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83

E-mail: kasatkinmy@info.sgu.ru

Исследовались особенности роста и развития эпикотиля и колеоптиля яровой пшеницы *Tr. aestivum* L. (сорт Саратовская-29). Выявлена специфичность данных структур по отношению к свету и механическим нагрузкам, проявляющаяся в этапности их роста и морфологических параметров развития. С момента прорастания зерновки при отсутствии света происходит торможение ростовых процессов в почке главного побега пшеницы, следствием чего становится механическое давление. Наблюдается различная восприимчивость фитомеров проростка в случае приложения механического давления на колеоптиль и освещения всего растения, опосредуемая возрастными различиями фитомеров. В условиях темноты тканям колеоптиля свойственно поглощение в синей области спектра, тогда как при освещении добавляется поглощение в красной области спектра, обусловленное синтезом хлорофиллов. В эпикотиле выявлено наличие пигментных систем, поглощающих свет только в синей области спектра.

Основные особенности прорастания зерновки как начального этапа онтогенеза пшеницы определяют стартовые условия, относительно которых выстраиваются все физиологические системы проростка. С указанной точки зрения, важными первичными процессами являются ориентация ростовой активности органов проростка относительно гравитации и светового потока (Vogelmann, 1993). Специфической структурой рецепции внешних факторов для проростка является колеоптиль, обеспечивающий направленный рост к источнику света и коррекцию спектральных характеристик света для эпикотиля и почки побега проростка пшеницы (Sun et al., 2005).

Целью данной работы является изучение реакции проростков пшеницы на механический стресс и направленный световой поток.

Материалы и методы

Исследования проводились на кафедре микробиологии и физиологии растений Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского. Объектом изучения являлась яровая мягкая пшеница

Tr. Aestivum L. сорта Саратовская-29. Для исследования влияния механического давления на проростки в условиях освещения опыты проводились в специальной установке. Механическое давление на колеоптиль 2-х суточных проростков создавалось прозрачными грузиками из органического стекла весом 2 и 4 г, после чего проростки помещались на поверхность почвы и накрывались перевёрнутыми пробирками для создания влажной ростовой камеры. Исследование спектральных характеристик проводили согласно методике цитофотометрических исследований (Агроскин, 1977). Источником света служила галогеновая лампа накаливания мощностью 75 Вт. Пучок света большой степени монохроматичности (±2 нм) подавался на микроскоп МББ–1А. Для получения света с узкой длиной волны использовался монохроматор спектрофотометра SPEKOL 11. Результаты исследований подвергались статистической обработке с помощью специализированного математического программного обеспечения Scilab 5.5.1 для операционной системы FreeBSD 10.3.

Результаты и обсуждение

С момента прорастания зерновки специализированным участком колеоптиля, поглощающим свет, является его верхняя часть. В экспериментах с этиолированными проростками установлено, что наиболее восприимчивой является зона протяжённостью 100 мкм, где и происходит поглощение света (Lange, 1927). Проведение света клетками колеоптиля, как показали настоящие исследования, осуществляется нижележащими тканями паренхимыи проводящих пучков, образующих два потока, направленных к основанию зачаточного побега. В условиях этиоляции по мере роста проростка при освещении колеоптиля наблюдается преимущественное проведение света его паренхимными клетками, тогда как при наличии достаточного количества света отмечено экранирование светового потока каротиноидами и хлорофиллами, следствием чего является изменение величины светопроведения. В итоге общее количество света, поступающего к апикальной меристеме главной почки освещённого этиолированного проростка, является постоянным и не зависит от линейных размеров колеоптиля (Касаткин и др., 2010). При росте в условиях

темноты колеоптиль, являющийся оптически активной системой, способен проводить свет преимущественно в продольном направлении.

Поиск источника света проходит одновременно с растяжением клеток в основании колеоптиля, что проявляется при отсутствии света в многократном увеличении длины колеоптиля (в 10–15 раз относительно контрольных растений, прорастающих на свету). Изменение интегральной интенсивности распространяющегося по тканям светового потока у колеоптилей, выращенных в темноте, не зависит от их линейных размеров, тогда как на свету детерминируется способностью тканей фильтровать и проводить свет.

Одновременно наличие механического давления почвы обуславливает изменение ростовой реакции всех органов проростка по мере роста и развития элементов фитомеров побега. Выявлена специфичность реакции примордиев листьев по отношению к свету и механическим нагрузкам, проявившаяся в этапности их роста. В условиях отсутствия света происходит торможение ростовых процессов в почке главного побега пшеницы, в результате чего основным информативным фактором внешней среды становятся механические нагрузки. При этом наблюдается различная восприимчивость отдельных фитомеров проростка к нагрузкам колеоптиля и освещению всего растения, что, возможно, связано с их возрастными различиями. В частности, при направленном сильном освещении проростков свет полностью снимает ингибирующее действие механического давления груза на развитие колеоптиля, тогда как при рассеянном свете малой интенсивности прослеживается небольшой ингибирующий эффект на рост данного органа. Особенности соотношения светового фактора различной интенсивности и механического давления груза разной массы позволяют выделить несколько отдельных типов ответных реакций элементов фитомера проростков пшеницы.

Рост и развитие эпикотиля в темноте и на свету, опосредованный преимущественно адаптацией клеток колеоптиля к свету, отличается по времени активации и динамике. В темноте продолжительность роста колеоптиля и эпикотиля продолжается неограниченно долго, что лимитируется запасами эндосперма. При этом наблюдается развитие дополнительного междоузлия ниже почки колеоптиля. На свету рост эпикотиля ускоряется с

момента дифференциации примордия первого листа на пластинку и влагалище, что соответствует в полевых условиях выходу верхушки колеоптиля на поверхность почвы и завершению его роста. Последующий рост эпикотиля происходит синхронно с ростом влагалища первого листа до момента завершения роста влагалища, что совпадает с выраженной дифференциацией клеток лигулы и отгибом пластинки листа.

Цитофотометрическим методом в колеоптиле и эпикотиле установлено наличие нескольких функционирующих пигментных систем, что определяет подобную характеристику их роста и развития. В условиях темноты тканям колеоптиля свойственно поглощение в синей области спектра, при освещении добавляется поглощение в красной области спектра. Эпикотиль поглощает свет только в синей области спектра как в условиях темноты, так и при освещении, что свидетельствует о существенном различии оптических свойств данных органов проростка пшеницы.

Выводы

1. Наблюдается специфичность колеоптиля и эпикотиля по отношению к свету и механическим нагрузкам, проявляющаяся в этапности их роста и морфологических параметрах развития.

2. Изменение интегральной интенсивности распространяющегося по тканям светового потока у колеоптилей, выращенных в темноте, не зависит от их линейных размеров, тогда как на свету детерминируется способностью тканей фильтровать и проводить свет.

Список литературы

1. Агроскин Л. С., Папаян Г. В. Цитофотометрия. Аппаратура и методы анализа клеток по светопоглощению. Л., Наука, 1977. 295 с.

2. Касаткин М. Ю., Степанов С. А., Прохорова Т.М. Фоторегуляция прорастания зерновок пшеницы // Известия Саратовского ун-та. Сер. Химия. Биология. Экология. 2010. Т. 10. № 2. С. 52–55.

3. Lange S. Die Verteilung der Lichtempfindligkeit in der Spitze der Haferkoleoptile //Jahrb. f. Wiss. Bot. 1927. V. 67. P. 1–51.

4. Qiang Sun, Kiyotsugu Yoda, Hitoshi Suzuki. Internal axial light conduction in the stems and roots of herbaceous plants // J. Exp. Bot. 2005. V. 56. № 409. P. 191–203.

5. Vogelmann T. C. Plant tissue optics // Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant Mol. Biol. 1993. V. 44. P. 231–251.

ОЦЕНКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА СКОРОСПЕЛЫХ СОРТОВ И СОРТООБРАЗЦОВ СОИ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. Б. Катышева, А. В. Поморцев, Н. В. Дорофеев, А. А. Пешкова

ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений

Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск

В условиях лесостепи Иркутской области сортообразцы сои № 15, 70, 0 имеют короткий вегетационный период (около 96 дней). Рекомендованные для возделывания в Восточно-Сибирском регионе сорта сои Сибирячка, Золотистая, Черемшанка, Эльдорадо отличались более продолжительным вегетационным периодом (108–113 дней). Потенциальная урожайность сои в условиях Иркутской области может достигать 3 т/га.

ESTIMATION OF THE VEGETATIVE PERIOD DURATION OF EARLY RIPENING SOYBEAN VARIETIES IN THE IRKUTSK REGION FOREST-STEPPE ZONECONDITIONS

N. B. Katysheva, A. V. Pomortsev, N. V. Dorofeev, A. A. Peshkova

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry (SIPPB SB RAS), Irkutsk

Благодаря богатому химическому составу семян и использованию для кормовых, пищевых и технических целей соя является уникальной и ценнейшей сельскохозяйственной культурой.

Соя относится к короткодневным растениям, она весьма чувствительна к интенсивности освещения и продолжительности дня. Поэтому сорта сои имеют ограниченный ареал возделывания. Тем не менее, в настоящее время создано множество сортов северного экотипа, слабо реагирующих на длину дня. Для Восточно-Сибирского региона рекомендованы такие сорта сои, как Эльдорадо, Золотистая, Черемшанка, Сибирячка и другие. На территории Иркутской области соя ранее не возделывалась, поэтому при интродукции новой культуры важен правильный выбор наиболее продуктивного и адаптивного для конкретных условий сорта.

На экспериментальном участке СИФИБР СО РАН г. Иркутск в 2016 г. были посеяны следующие сорта и сортообразцы сои: Сибирячка (СибНИИСХ, г. Омск), Эльдорадо (СибНИИСХ, г. Омск), Золотистая (СибНИИСХ, г. Омск), Черемшанка (СибНИИСХ, г. Омск), Сортообразец № 15 (СИФИБР, г. Иркутск, СибНИИСХ, г. Омск), Сортообразец № 70 (СИФИБР, г. Иркутск, СибНИИСХ,

г. Омск), Сортообразец № 0 (СИФИБР, г. Иркутск, СибНИИСХ, г. Омск). Площадь делянки составляла 0,7 м^2, учетная площадь – 0,7 м^2. Посев производился вручную. Норма высева – 900 тыс./га. Уборка осуществлялась вручную в фазк полной спелости при влажности семян не более 15–18% (посев 7 мая 2016 г.).

В течение вегетационного периода проводились фенологические наблюдения, результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Фенологические наблюдения за развитием различных сортов и сортообразцов сои в условиях экспериментального участка СИФИБР СО РАН в 2016 г.**

Название сорта, сортообразца	Всходы	Ветвление	Цветение	Плодообразование	Налив семян	Созревание
Сибирячка	26.05	10.06-2.07	6.07-12.07	12.07-22.07	27.07-30.08	30.08-15.09
Эльдорадо	26.05	10.06-2.07	6.07-12.07	12.07-22.07	27.07-30.08	30.08-15.09
Золотистая	31.05	15.06-2.07	6.07-12.07	12.07-22.07	27.07-30.08	30.08-15.09
Черемшанка	31.05	10.06-27.06	6.07-12.07	12.07-22.07	27.07-30.08	30.08-15.09
№ 15	26.05	15.06-2.07	6.07-8.07	8.07-22.07	27.07-15.08	15.08-5.09
№ 70	26.05	15.06-2.07	6.07-8.07	8.07-22.07	27.07-15.08	15.08-30.08
№ 0	26.05	15.06-2.07	6.07-8.07	8.07-22.07	27.07-15.08	15.08-30.08

В 2016 г. сорта сои селекции СибНИИСХ (г. Омск) Сибирячка, Черемшанка, Эльдорадо, Золотистая в условиях Иркутской области имели более продолжительный вегетационный период, чем перспективные для лесостепи Иркутской области сортообразцы № 15, 0, 70. Сорта Золотистая и Черемшанка созрели за 108 дней, а Эльдорадо и Сибирячка – за 113 дней от всходов. Самый короткий вегетационный период отмечен у сортообразцов № 70 и № 0 (96 дней). Наиболее продуктивный по результатам прошлых лет испытаний сортообразец № 15 имел продолжительность вегетационного периода 101 день. Сорта сои Сибирячка и Эльдорадо имели более дружные всходы и начали ветвиться в более ранние сроки (на 5 дней) по сравнению с сортами Золотистая, Черемшанка и сортообразцами № 15, 70, 0. В календарных сроках наступления фазы цветения между изучаемыми сортами и сортообразцами отличий не обнаружено. Начало цветения наступило 6 июля, через 60 дней от посева. Сортообразцы № 15, 70, 0 на 4 дня раньше других сортов перешли в фазу плодообразования, в фазу созревания семян данные

сортообразцы – на 15 дней раньше сортов Эльдорадо, Сибирячка, Золотистая и Черемшанка (и на 10–15 дней раньше прошли ее).

Анализ структуры урожая (табл. 2) показал, что наиболее высокая урожайность была характерна для сорта сои Черемшанка (549 г/м^2), при этом данный сорт отличался наибольшим количеством растений в снопе, а также весом снопа. В целом группа рекомендованных для Восточно-Сибирского региона сортов Сибирячка, Эльдорадо, Золотистая и Черемшанка характеризовалась высокой урожайностью, при этом вес снопа был больше, растения более высокорослые, а высота прикрепления нижнего боба в среднем составила 15,8 см.

Таблица 2. **Структура урожайности различных сортов и сортообразцов сои в 2016 г. (экспериментальный участок СИФИБР СО РАН)**

Название сорта, сортообразца	Вес снопа, кг	Кол-во растений в снопе, шт.	Высота снопа, см	Кол-во бобов, шт. с 10 растений		Высота прикрепления нижнего боба, см	Урожайность, г/м^2(без учета веса бобов до 12 см)
				до 12 см	после 12 см		
Сибирячка	0,68	80	85,1±10,9	0,3±0,7	19,8±9,1	14,4±5,0	389
Эльдорадо	0,78	74	79,6±7,6	0,7±0,9	12,0±3,7	12,7±4,8	380
Золотистая	0,97	75	105,3±3,7	0	15,3±2,9	20,9±2,8	480
Черемшанка	0,98	84	99,8±14,8	0,5±0,7	15,0±7,4	15,2±4,5	549
№ 15	0,61	75	56,2±17,6	1,3±1,3	9,9±5,5	9,3±6,0	341
№ 70	0,53	68	53,9±16,2	1,8±1,7	9,6±3,8	10,4±3,6	304
№ 0	0,60	72	50,7±8,7	0,5±0,8	7,3±2,4	15,7±5,9	328

У сортообразцов № 15, 70, 0 в 2016 г. также отмечена высокая урожайность (304–341 г м$^{-2}$), при этом средняя высота растений данной группы сортообразцов составила 53,6 см, высота прикрепления нижнего боба у сортообразца № 15 – 9,3 см, № 70 – 10,4 см, № 0 – 15,7 см. Наиболее продуктивным из скороспелых сортообразцов был № 15 (341 г м$^{-2}$).

Проведенные исследования показали, что на территории Иркутской области представляется возможным выращивание сои, при этом потенциальная урожайность может достигать 3 т/га. Наиболее скороспелыми из исследованных сортов и сортообразцов являются сортообразцы № 15, 70, 0, вегетационный период которых составляет около 96 дней.

ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ НОРМЫ РЕАКЦИИ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ *EX SITU* И *EX VIVO*

Е. С. Клушевская, Н. Ф. Кузнецова

ФГБУ «ВНИИЛГИСбиотех»

(Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии), Воронеж,

E-mail: ekogenlab@gmail.com

Проведено исследование физиолого-биохимических характеристик хвои сосны обыкновенной. Проанализированы параметры водного режима растений (дефицит влаги, общее количество влаги, количество коллоидно-связанной воды) и содержания свободного пролина. Определена норма реакции сосны в зависимости от генотипа и местообитания в естественных и стрессовых условиях *ex situ* и *ex vivo*.

Глобальное потепление климата относится к числу основных проблем современности и, по прогнозам ученых, имеет долгосрочный характер развития (Usoskin et al., 2014). Улучшению агроэкологической обстановки способствует сеть лесоаграрных комплексов, в которых ведущим звеном являются лесные защитные насаждения. В результате многолетних исследований лесных полос Каменной Степи установлено, что под их защитой на 30–50% снижается скорость ветра, в 4–8 раз повышается влажность воздуха, на 15–20% уменьшается испарение влаги, а также существенно повышается урожайность зерновых, подсолнечника и др. сельскохозяйственных культур (Турусов и др., 2012).

Цель работы заключалась в определении нормы реакции сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зависимости от генотипа и местообитания в естественных и стрессовых условиях *ex situ* и *ex vivo*, а также в оценке Острогожского селекционного объекта сосны как семенной базы для полезащитного лесоразведения в лесостепной и степной зоне европейской части России.

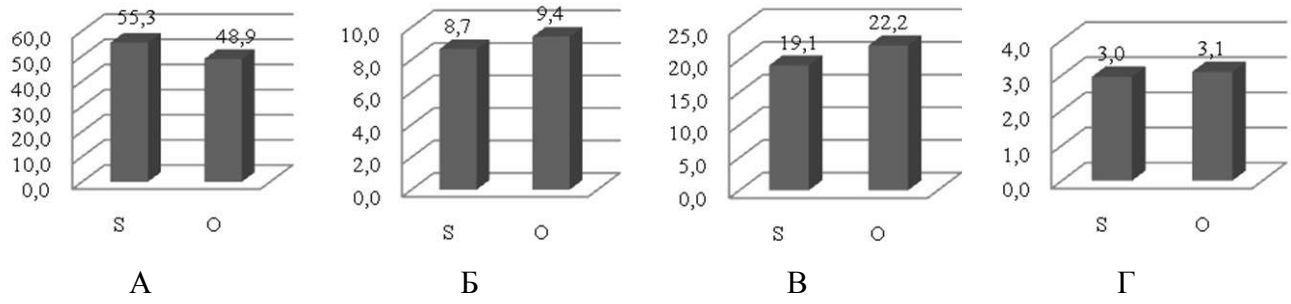
Объектом исследования являлись деревья засухоустойчивого насаждения «Острогожск» (Воронежская область, юг лесостепной зоны) и Ступинского

тест-объекта (контроль, центр лесостепной зоны, вблизи Воронежского биосферного заповедника рядом с водоемом, где уровень эмиссионной нагрузки вдвое ниже среднего показателя по области (Куролап и др., 2010)). Все деревья относятся к категории «нормальные» – хорошие и средние по росту, качеству и состоянию. Устойчивость модельных деревьев к засухе определялась по признакам семенной продуктивности (интенсивность семеношения, процент и число семян в шишках и т. д.) в период засухи в 2007 и 2010 гг.

В мае с модельных деревьев отбирались двухлетние побеги. Анализ хвои проводился в трех вариантах опыта: 1) свежесобранные пробы – «контроль»; 2) сильный стресс – «засуха + температура» (семь суток при 45°С); 3) умеренный стресс – «засуха» (десять суток при комнатной температуре). Для имитации засухи использовали 0,6М раствор маннита. Показатели водного режима растений в хвое нефиксированных образцов определялись по общепринятой методике Х. Н. Починка (1976), содержание свободного пролина – методом Bates (1973) в фиксированных образцах. Для статистической обработки использовался программный продукт Statistica 6.

Основными факторами, влияющими на рост и развитие растений, являются водный и температурный режимы, освещение, минеральный состав почв и др. Стрессоустойчивость приобретается в ходе индивидуального развития путем сопряженного действия множества экологических, физиологических и генетических факторов (Генкель, 1982). Благодаря данному свойству растения способны противостоять воздействию негативных факторов и выживать в условиях постоянно изменяющейся среды. Важной характеристикой устойчивости является способность растения удерживать влагу. Данный механизм направлен на поддержание внутреннего гомеостатического состояния за счет содержания связанной воды. Он позволяет растению легче переживать критические периоды и по возможности быстрее возвращаться в нормальное состояние (Слейчер, 1970).

При исследовании водного режима в нативном состоянии растений двух мест обитания обнаружены достоверные отличия только по признаку «общее содержание влаги», что является закономерным в силу их географического расположения. Содержание влаги в деревьях Острогожского объекта составляет 48,9%, Ступинского – 55,3%, что в целом соответствует данным, приведенным в литературе (Тарханов, 2011). Уровни других параметров сопоставимы: величина дефицита влаги 9,4 и 8,7%; содержание коллоидно-связанной воды – 22,2% и 19,1%; аминокислоты пролин – 3,1 и 3,0 ммМ/г (Острогожск и Ступино соответственно). Отсутствие достоверных различий свидетельствует в пользу наличия адаптивных механизмов у растений Острогожского селекционного объекта. Данные представлены на рис. 1.



А Б В Г

Рис. 1. Значение исследованных параметров сосны обыкновенной в двух местах обитания в норме. S – Ступинское контрольное насаждение. О – Острогожский селекционный объект. А – общее содержание влаги; Б – величина дефицита влаги; В – содержание коллоидно-связанной воды; Г – содержание аминокислоты пролин.

Особенностью лесных древесных видов является прикрепленный образ жизни и длительный онтогенез, а также, как следствие, более высокая зависимость от среды обитания. В связи с этим у них выработан целый комплекс механизмов, направленных на поддержание постоянства внутренней среды. Даже при незначительных колебаниях внешних условий происходит активный отклик растения, изменяются параметры водного режима, запускаются каскады защитных реакций (Чиркова, 2002).

При действии индуцированного стресса в лабораторных условиях наблюдаются значительные отклонения исследованных параметров от нормальных. В варианте «засуха + температура» границы изменения признаков анализируемых насаждений близки, что, по-видимому, указывает на сходные механизмы выживания растений при сильном стрессе. Уровень влаги

понижается в 1,8–1,9 раз, дефицит влаги возрастает в 1,2–1,5 раза, содержание коллоидно-связанной воды увеличивается в 2,5–2,8 раз, аминокислоты пролин – в 1,4–1,5 раза. Однако, несмотря на сходную общую направленность изменений, отмечаются существенные различия в реакции растений разных мест обитания. У деревьев Ступинского тест-объекта понижение уровня влаги равнозначно вне зависимости от силы и времени действия стресса. При «засухе» происходит значительное (в два раза) накопление связанной воды. Деревья Острогожского селекционного объекта в 1,6 раз больше теряют влагу при длительном воздействии, в то время как количество связанной воды остается практически на одном уровне, что, возможно, свидетельствует о приспособленности к гидротермическому воздействию (рис. 2).

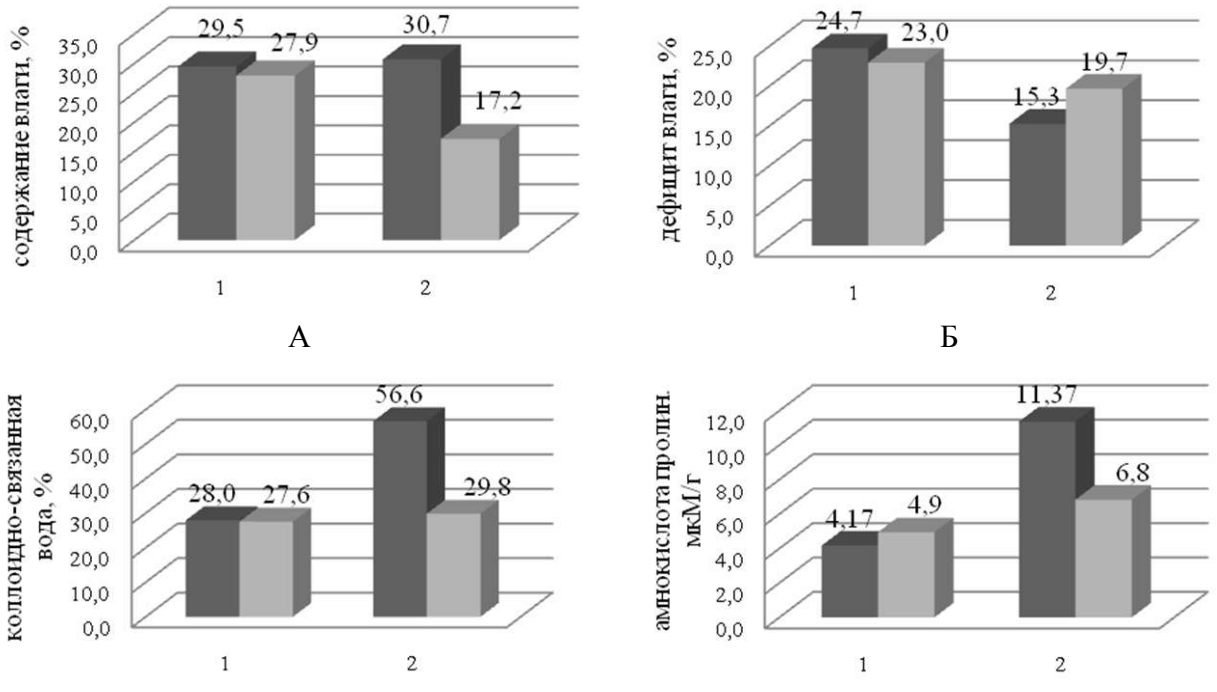


Рис. 2. Значение исследованных параметров сосны обыкновенной в двух местах обитания при действии индуцированного стресса. 1 – «засуха + температура», 2 – «засуха».
А – общее содержание влаги; Б – величина дефицита влаги;
В – содержание коллоидно-связанной воды; Г – содержание аминокислоты пролин.
Ступинское контрольное насаждение. Острогожский селекционный объект.

Необходимо отметить, что в целом механизм реакции на стресс у деревьев Ступинского тест-объекта и Осторогожского сопоставим и протекает по стандартному сценарию. Однако несмотря на однотипность сдвига нормы реакции, деревья контрольного насаждения (Ступино) острее реагируют на

действие умеренного стресса. При этом более существенные изменения выявлены у признаков, связанных с поддержанием гомеостатического состояния дерева. Содержание коллоидно-связанной воды возрастает до 29,9% у деревьев Острогожска и до 56,7% у деревьев в Ступино; аминокислоты пролин – до 6,8 и 11,4 мм М соответственно. Более сглаженная реакция деревьев Острогожского насаждения на индуцированный стресс вероятно связана с его повышенной засухоустойчивостью. В силу географического расположения на южной границе лесостепной зоны у деревьев уже выработана адаптация к условиям засушливого климата. Исходя из данных физиолого-биохимических и предыдущих генетико-селекционных исследований, можно сделать вывод, что Острогожский селекционный объект является перспективным для лесокультурного производства на юге европейской части России.

Список литературы

1. Usoskin I. G., Hulot G., Gallet Y., Roth R., Licht A., Joos F., Kovaltsov G. A., Thébault E., Khokhlov A. Evidence for distinct modes of solar activity // Astronomy & Astrophysics. 2014. V. 562. P. 243–246.
2. Турусов В. И., Новичихин А. М., Чеканышкин А.С., Павлов П. В. Направления и результаты исследований по защитному лесоразведению в Каменной Степи // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 5. С. 53–55.
3. Куролап С. А., Нестеров Ю. А., Епринцев С. А. Типизация территории Воронежской области по уровню техногенного воздействия на среду обитания // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2010. № 1. С. 5–11.
4. Починок Х. Н. Методы биохимического анализа растений // Методы исследования водного режима растений. Киев: Наукова думка, 1976. С. 318–324.
5. Bates L. S., Waldren R. P., Teare I. D. Rapid determination of free proline for water stress studies // Plant Soil. 1973. V. 39. № 1. P. 205–207.
6. Генкель П. А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений. М.: Наука. 1982. 280 с.
7. Слейчер Р. Водный режим растений / пер. с англ. Утехина В. Д.; под ред. А. И. Будаговского. М., Мир, 1970. 368 с.
8. Тарханов С. Н. Индивидуальная изменчивость биохимических признаков и состояние форм сосны обыкновенной в условиях аэротехногенного загрязнения // Лесоведение. 2011. № 2. С. 62–69.
9. Чиркова Т. В. Физиологические основы устойчивости растений: Учебное пособие студентов биологических факультетов вузов. СПб., СПбГУ, 2002. 244 с.

ВЛИЯНИЕ МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПЕРВИЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ МЕТАБОЛИЗМА СЕМЯН КЛЕЩЕВИНЫ (*RICINUS COMMUNIS* L.) В УСЛОВИЯХ КОНСЕРВАЦИИ EX SITU

Л. Б. Корлэтяну, С. Н. Маслоброд, А. И. Ганя

Институт генетики, физиологии и защиты растений Академии наук Молдовы

Установлено, что воздействие на семена клещевины при консервации ex situ миллиметрового излучения с длиной волны 5,6 мм, плотностью мощности 10,0 мВт/см^2 и экспозициями в течение 2 и 8 минут приводит к наибольшей стимуляции процессов прорастания. Данное заключение было сделано на основе изучения морфофизиологических, биохимических и генетических параметров семян и проростков.

INFLUENCE OF MILLIMETER RADIATION ON PRIMARY METABOLIC PROCESSES IN CASTOR-OIL PLANT SEEDS (*RICINUS COMMUNIS* L.) UNDER THE CONDITIONS OF *EX SITU* CONSERVATION

L. B. Corlateanu, S. N. Maslobrod, A. I. Ganea

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Academy of Sciences of Moldova

The article is dedicated to the problem of increase of viability of castor-oil plant seeds under the conditions of their *ex situ* conservation with the help of millimeter radiation (MMR). Various parameters of seeds and seedlings were determined: physiological (germinating power and germinability of seeds, rate of growth of seedlings), biochemical (enzymatic activity and protein synthesis in seedling rootlets) and genetic (number and range of chromosome aberrations). It was revealed that influence of millimeter radiation with the wavelength of 5.6 mm, power density10.0 mW/cm^2 and exposures of 2 and 8 min on dry and imbibed seeds of castor-oil plant results in the highest stimulation of germination processes. Selected mode of irradiation of castor-oil plant seeds with MMR after their long-term storage in plant gene bank contributed to the increase of seed viability that was manifested in the increase of germinating power and germinability of seeds, maximal growth of seedlings, decrease of content of IAA-oxidase enzyme and increase of content of freely soluble proteins in seedling rootlets. After the influence of electromagnetic field of the millimeter range on castor-oil plant seeds, the number and range of chromosome aberrations in embryo roots of seedlings significantly decreased with the exposures of 8 and 30 minutes, that is indicative of restoration of normal status of chromosomes with the help of MMR.

Основная функция генетических банков растений заключается в обеспечении селекционеров разнообразным коллекционным материалом, который используется для создания более урожайных и устойчивых сортов и гибридов.

При длительном хранении семян в них происходят сложные физиолого-биохимические процессы старения, приводящие к потере всхожести. В связи с этим необходимо применение методов экзогенного воздействия на старые семена с целью стимуляции прорастания. В настоящем исследовании изучалась возможность воздействия на семена миллиметрового излучения (ММИ).

Объектом исследований являлись семена клещевины (*Ricinus communis* L.) 6–7-летнего хранения, которые подвергались воздействию ММИ (длина волны 5,6 мм, плотность мощности 10,4 мВт $см^{-2}$, экспозиции 2, 8 и 30 минут) и проращивались при температуре 25°С. Энергию прорастания, всхожесть, длину корешков (ДК) семян определяли по Международным методикам ISTA (Intern. rules…,1984). Определялись активность фермента о-ИУК в корешках (Ермаков, Арасимович, Ярош и др., 1987), суммарное содержание легкорастворимых белков (СЛБ) в корешках (Ангелова, Холодова, 1993), а также частота и спектр хромосомных аберраций в апикальной меристеме зародышевых корешков (Паушева, 1974). Эксперименты проводили на сухих и набухших в воде (24 часа) семенах.

При облучении сухих семян стимуляция по энергии прорастания наблюдалась на всех экспозициях, наиболее результативными были 2-х и 30-ти минутные, уровень стимуляции составил 30,0 и 9,5% соответственно. Максимальный стимулирующий эффект по всхожести (11,4%) достигался при экспозиции 30 мин. Наибольшая длина корешков выявлена на экспозициях 2 и 8 мин. (табл. 1). При облучении набухших семян стимуляция по энергии прорастания и всхожести также наблюдалась на экспозициях 2 и 8 мин (табл. 1). Превышение энергии прорастания семян по сравнению с контролем составило соответственно 7,9 и 11,5%, а по всхожести – 5,7 и 8,6%. ДК была выше контроля на тех же экспозициях. Таким образом, в целом по всхожести облученных сухих и набухших семян были получены сходные результаты. С учётом проведенных опытов и опубликованных ранее данных (Корлэтяну, 2012) можно высказать предположение о наличии общего механизма действия ММИ на семена растений, где первичным рецептором ММИ является вода

(внутриклеточная и внеклеточная). Данное предположение согласуется с известной в литературе точкой зрения (Бецкий, Лебедева, Котровская, 2003).

Таблица 1. **Изменение физиолого-биохимических параметров семян и проростков клещевины при различных экспозициях ММИ**

Параметры	П	Сухие семена				Набухшие семена			
		К	2 мин.	8 мин.	30 мин.	К	2 мин.	8 мин.	30 мин.
Физиологические	ЭП, %	21,9± 8,1	59,9± 1,23***	27,2± 1,41	31,4± 2,05**	85,6± 1,28	93,5± 4,18	97,1± 1,20***	87,6± 4,67
	В, %	84,8± 4,8	83,8± 3,60	91,4± 2,11	96,2± 1,20*	89,5± 1,20	95,2± 3,30	98,1± 1,00	87,6± 4,67
	ДК, мм	6,9± 0,20	8,5± 0,45	10,0± 0,31*	6,4± 0,34	7,2± 0,38	11,0± 0,96*	11,7± 1,12*	7,1± 0,44
Биохимические	о-ИУК	0,0306	0,1163	0,0566	0,0305	0,1017	0,1328	0,0898	0,3080
	СЛБ	526	390	390	567	975	1050	885	795

ЭП – энергия прорастания; В – всхожесть; ДК – длина основного корешка, мм; СЛБ – сумма легкорастворимых белков, мкг/г сырого вещества; о-ИУК – содержание фермента ИУК-оксидазы в корешках, у.е.; *, **, *** – различия опытных вариантов по сравнению с контролем существенны при $p \leq 0,05$; 0,01; 0,001.

Анализ содержания фермента о-ИУК в проростках клещевины, выросших из облученных сухих семян, показал, что при экспозиции 30 мин содержание о-ИУК практически совпадает с контролем (0,0305 у.е. – опыт, 0,0306 у.е. – контроль). СЛБ в корнях проростков у данных вариантов составила соответственно 526,5 и 567,0 мкг на 1 г сырого вещества. В данном случае сохранение высокой ростовой активности семян клещевины сопровождалось высоким содержанием СЛБ. Наиболее благоприятной для стимуляции прорастания сухих семян оказалась экспозиция облучения 8 мин. При экспозиции 2 мин. активность фермента о-ИУК составила 0,1163 у.е., а при экспозиции 8 мин. – 0,0566 у.е., т. е. активность фермента была примерно в два раза меньше. Это свидетельствует о высокой ростовой активности проростков. При облучении ММИ набухших семян клещевины экспозиция 8 мин. оказалась стимулирующей, как и в эксперименте с сухими семенами. Спад активности о-ИУК до 0,0898 у.е. сопровождался повышением ростовой активности (ДК в опыте была выше более чем в 1,5 раза по сравнению с контролем: соответственно 11,7± 1,12 мм и 7,2±0,38 мм). В отличие от облученных сухих семян у набухших семян экспозиция 30 мин ингибировала ростовые процессы проростков, о чем свидетельствует максимальное содержание фермента о-ИУК (0,308 у.е.). В той же экспозиции выявлено минимальное содержание СЛБ в

корнях (795 мкг на 1 г сырого вещества) при высоком содержании его как в контроле, так и в опыте по сравнению с сухими семенами. Содержание СЛБ в набухших семенах значительно выше за счет увеличения их гидрофильности и лучшей экстракции 0,02М фосфатным буфером (pH = 6,1) (Ангелова, Холодова, 1993). Таким образом, при облучении ММИ набухших семян клещевины наблюдается наибольший стимуляционный эффект первичных процессов метаболизма по сравнению с сухими семенами.

Генетическое состояние проростков оценивалось в опыте с набухшими семенами. Предполагалось, что ММИ способно вызвать модификацию генетического эффекта в старых семенах. Цитологический анализ апикальной меристемы зародышевых корешков показал, что в контроле число клеток с хромосомными нарушениями (аберрациями) составило 6,6%. Обработка семян ММИ (экспозиция две мин.) привела к несущественному снижению данного показателя (до 5,2%), а при экспозициях 8 и 30 минут снижение было уже существенным (соответственно 3,2 и 2,4%). Спектр аберраций в изученных вариантах был менее широким и представлен в основном одиночными и двойными хромосомными мостами, а также отставанием хромосом (табл. 2).

Таблица 2. **Влияние экспозиций ММИ на частоту и спектр аберраций хромосом в меристеме зародышевых корешков клещевины**

№ п/п	Экспозиции ММИ, мин	Число анателофаз		Процент аберраций, M±m	t факт.	Типы аберраций		
		всего	из них с аберрациями			Хромосомные мосты, %		Отставание хр., %
						одиночные	двойные	
1	К	302	20	6,6±1,4	–	7	5	8
2	2 мин	270	14	5,2±1,4	0,7	2	–	4
3	8 мин	252	8	3,2±0,8	2,08*	4	–	4
4	30мин	338	8	2,4±0,54	2,8*	6	2	–

t крит. Стьюдента теорет. при P≤0,95 =1,96; * – различия достоверны при P ≤ 0,95.

Следовательно, обработка семян клещевины ММИ после длительного хранения способствует более быстрой элиминации клеток с хромосомными нарушениями. Таким образом, на генетическом уровне была установлена способность ММИ восстанавливать нормальное состояние семян после их длительного хранения. Воздействие на сухие и набухшие семена клещевины 6–7-ми летнего срока хранения ММИ с длиной волны 5,6 мм, плотностью мощности 10 мВт $см^{-2}$ и экспозициями 2, 8 и 30 мин приводит к стимуляции энергии прорастания и всхожести семян и роста проростков практически на

всех экспозициях (наибольшая стимуляции наблюдалась при экспозициях 2 и 8 мин). Изменение ростовой активности проростков в результате воздействия ММИ на семена сопровождается вариацией биохимических параметров: изменяются содержание в корешках фермента о-ИУК и суммарное содержание легкорастворимых белков. При воздействии ММИ на набухшие семена клещевины уменьшается число хромосомных нарушений в первичных корешках проростков на экспозициях 8 и 30 мин, что свидетельствует о восстановлении с помощью ММИ нормального состояния хромосом.

Список литературы

1. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. и др. Определение активности пероксидазы // Методы биохимического исследования растений. М., Колос, 1987. С. 42–43.
2. Ангелова В. С., Холодова В. П. Выделение растворимых белков из зародышей семян пшеницы разной жизнеспособности // Физиология растений. 1993. Т. 40. № 6. С. 889–892.
3. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. М. 1974. 288 с.
4. Бецкий О. В., Лебедева Н. Н., Котровская Т. И. Необычные свойства воды в слабых электромагнитных полях // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2003. № 1. С. 37-41.
5. Корлэтяну Л. Б. Жизнеспособность семян культурных растений в условиях консервации *ex situ* при действии миллиметрового излучения. Кишинев. 2012. 156 с.
6. International rules for seed testing. М., Колос, 1984. 310 с.

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ И БИОЛОГИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ У ОБРАЗЦОВ РЕПЫ (BRASSICA RAPA L. SUBSP. RAPA)

Д. Л. Корнюхин, А. М. Артемьева, А. Е. Соловьёва

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР)

Целью работы являлось изучение особенностей накопления аскорбиновой кислоты, каротиноидов и белка, а также содержания сухого вещества в корнеплодах репы столовой и турнепса 36-ти сортотипов из коллекции ВИР. Выявлены сортотипы культуры, в которых содержание изученных веществ является максимальным (репы Гробовская, Петровская и др., турнепсы Полудлинный зеленоголовый и Танкард желтый).

PECULIARITIES OF ACCUMULATION OF NUTRITIVE AND BIOLOGICALLY-ACTIVE SUBSTANCES IN THE SAMPLES OF TURNIP (BRASSICA RAPA L. SUBSP. RAPA).

D. L. Kornyukhin, A. M. Artemyeva, A. E. Solovyeva

Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)

Detailed biochemical characteristic of the different turnip types (in accordance with the M. A. Shebalina classification of table and stubble turnips) have not been published to date. The aim of the work was to study the specific features of the accumulation of ascorbic acid, carotenoids and protein by roots of table and stubble turnip samples. Also, the dry matter content was determined, which in turnip contains 40–67% of carbohydrates. For each feature studied, it was necessary to establish the range of variation, both for the culture as a whole and for individual types. 105 samples of table and stubble turnip samples from the collection of VIR were investigated. According to the results of the study, it was possible to establish the average of each feature. The dry matter content was 9.14±0.1%, the raw protein was 1.14±0.03%, carotenoids 0.54±0.04 mg/100g, ß-carotene 0.07±0.008 mg/100g, ascorbic acid 27.00±0.55 mg/100g.The content of dry matter was dominated by several table turnip types (May yellow, 11.46±1.26%, Grobovskaya, 10.91±0.71%). The group of table turnips with the highest protein content was made up of Russian table turnips (Karelian greenhead, 1.42±0.13%, Petrovskaya, 1.4±0.1% and Grobovskaya, 1.34±0.22%), as well as stubble turnips of Semi-long Violet type (1.58±0.19%) and the Cow Horn (1.39±0.11%) types. According to the content of carotenoids and ß-carotene, the yellow-flashed types of the table and stubble turnip (Grobovskaya, 1.01±0.47 mg/100g, Petrovskaya, 1.11±0.21 mg/100g, Tankard yellow, 1.05±0,25 mg/100g, Purple top Aberdeen, 1.76±1.15 mg/100g), as well as Karelian white-flashed table turnip types Karelian greenhead (1.08±0.48 mg/100g) and Grachevskaya (1.07±0, 43 mg/100g). Types with the highest content of ascorbic acid were Uygurskaya (table turnip, 35.22 ± 12.78mg/100g) and Green Tankard (turnip, 33.73±4.73 mg/100g).

Коллекция репы ВИР на сегодняшний день составляет 546 образцов из 32 стран мира. В коллекции представлены столовые и кормовые сорта данной культуры. Химический состав корнеплодов репы и турнепса, пищевые и кормовые качества корнеплодов рассматриваются в работе М. А. Шебалиной. [1]. В ней дана общая характеристика репы по содержанию сухого вещества, углеводов, белков и витаминов. Однако детальные характеристики сортотипов репы и турнепса по отдельности на сегодняшний день отсутствуют.

Целью работы являлось изучение особенностей накопления аскорбиновой кислоты, каротиноидов и белка корнеплодами образцов репы и турнепса. Также определялось содержание сухого вещества, которое у репы на 40–67% состоит из углеводов [1]. Для каждого изученного признака предстояло установить размах варьирования как в целом для культуры, так и по отдельным сортотипам.

Методика

В 2014 и 2015 гг. было высеяно 105 коллекционных образцов репы столовой и турнепса. Для работы отобрались образцы, отличающиеся по происхождению, внутривидовой, эколого-географической принадлежности, принадлежности к сортотипу по классификации М. А. Шебалиной [1], а также новый поступивший в коллекцию материал. Всего для исследования были отобраны представители 36-ти сортотипов. Посев проводился в два срока (22 мая и 1 июля), каждый образец высевался на однорядковой делянке длиной 1,5 м в трех повторностях в каждом сроке посева. Корнеплоды репы и турнепса отбирались для проведения биохимического анализа, по пять типичных корнеплодов на образец. Составление средних проб, подготовка к анализу, определение содержания сухого вещества, белка, каротиноидов, ß-каротина и аскорбиновой кислоты проводились в соответствии с [3]. Содержание белка в корнеплодах пересчитывалось в процентном соотношении к массе корнеплода («сырой белок»), поскольку в Методических указаниях по работе с коллекцией корнеплодов [2] используется именно данный показатель. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась общепринятыми методами [4].

Результаты

Исследование позволило установить средние показатели каждого признака (табл. 1). В таблице в скобках приведены минимальные и максимальные значения признака.

Таблица 1. **Содержание питательных и биологически-активных веществ в корнеплодах репы и турнепса**

	Сух. в-во, %	Белок, %	Каротиноиды, мг/100 г	ß-каротин, мг/100 г	Аскорбиновая кислота, г/100 г
В изученной выборке	9,14±0,1 (4,28–15,4)	1,14±0,03 (0,24–3,9)	0,54±0,04 (0,01–5,02)	0,07±0,008 (0,008–1,43)	27,00±0,55 (12,00–50,40)
По литературным данным	4,64–22,3	0,3–3,37	нет данных	до 0,13	19-63,3

В табл. 2 приведены средние значения результатов исследований состава корнеплодов репы и турнепса выделившихся сортотипов (13 из 36-ти). В распределении сортотипов по тому или иному показателю можно отметить некоторые закономерности. Так, по содержанию сухого вещества лидировали столовые репы (сортотипы Майская желтая, Гробовская), в то время как сортотипы турнепса отличались средним и низким содержанием. Наименьшее сдержание сухого вещества (7,41±0,43%) было установлено у восточноазиатских реп, представленных японскими «салатными» формами.

Группу столовых реп с самым высоким содержанием белка составили русские репы (Карельские, Петровская и Гробовская), а также турнепсы сортотипов Полудлинный фиолетовоголовый и Коровий Рог.

По содержанию каротиноидов и β-каротина закономерно лидировали желтомясые сортотипы репы столовой и турнепса (Гробовская, Петровская, Танкард желтый, Абердинский фиолетовоголовый), а также карельские беломясые репы сортотипов Карельская зеленоголовая и Грачевская. Сортотипами с самым высоким содержанием аскорбиновой кислоты оказались Уйгурская (столовая репа) и Танкард белый зеленоголовый (турнепс). Сортотипы турнепса Остерзундомский и Норфолькский фиолетовоголовый, представители которых (сорта Остерзундомский и Эсти Наэрис) находятся в Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к

использованию на территории Российской федерации, не выделялись ни по одному из изученных показателей.

Таблица 2. **Содержание питательных и биологически активных веществ в корнеплодах репы и турнепса (среднее по сортотипам)**

Сортотип	Сух. в-во, %	Белок, %	Каротиноиды, мг/100 г	β-каротин, мг/100 г	Аскорбиновая кислота, мг/100 г
Майская желтая	11,46±1,26	1,3±0,12	0,68±0,13	0,07±0,01	24,92±2,06
Гробовская	10,91±0,71	1,34±0,22	1,01±0,47	0,45±0,33	30,39±6,86
Карельская зеленоголовая	10,66±1,82	1,42±0,13	1,08±0,48	0,11±0,05	30,0±6,0
Карельская фиолетовоголовая	10,4±0,48	1,46±0,28	0,7±0,36	0,07±0,04	28,89±9,51
Грачевская	10,05±1,44	1,5±0,28	1,07±0,43	0,13±0,03	28,76±7,53
Уйгурская	9,8±0,32	1,23±0,07	0,23±0,05	0,02±0,01	35,22±12,78
Полудлинный фиолетовоголовый	9,71±0,4	1,58±0,19	0,3±0,05	0,03±0,01	26,05±3,42
Бортфельдский	9,58±0,89	0,89±0,11	0,58±0,16	0,06±0,02	32,7±4,91
Абердинский фиолетовоголовый	9,34±0,18	1,28±0,16	1,76±1,15	0,16±0,1	27,93±4,47
Танкард белый зеленоголовый	9,31±0,46	0,94±0,11	0,32±0,07	0,08±0,04	33,73±4,73
Петровская	9,24±0,29	1,4±0,1	1,11±0,21	0,11±0,02	28,85±1,82
Танкард желтый	8,9±0,31	1,3±0,08	1,05±0,25	0,11±0,03	27,37±2,14
Коровий рог	8,89±0,54	1,39±0,11	0,57±0,24	0,05±0,02	29,81±3,49

Выводы

1. В результате исследования удалось расширить представление о минимальном и максимальном содержании изученных веществ в корнеплодах репы и турнепса (см. табл. 1).

2. Высокое комплексное содержание питательных и биологически активных веществ характерно для сортотипов русских столовых реп Гробовская, Петровская и Карельская зеленоголовая.

3. Образцы сортотипов турнепса Полудлинный фиолетовоголовый, Танкард желтый и Абердинский фиолетовоголовый могут являться источниками ценного биохимического состава для селекции данной культуры.

Список литературы

1. Шебалина М. А. Репа, брюква, Турнепс. Л.: Колос, 1974. 352 с.
2. Методические указания по изучению и поддержанию коллекции корнеплодов (свекла, репа, турнепс, брюква) / Под ред. В. И. Буренина, Л., 1989. 88 с.
3. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. и др. Методы биохимического исследования растений. Л., 1987. 430 с.
4. Плохинский Н. А. Биометрия. 2-е изд. М.: МГУ, 1970. 367 с.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ К АБИОТИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ У КУКУРУЗЫ НА ГАПЛОИДНОМ УРОВНЕ

А. Н. Кравченко, О. А. Клименко

Институт Генетики, Физиологии и Защиты растений

Академии Наук Республики Молдова

На основе использования признаков мужского гаметофита разработаны новые подходы и методы анализа такого показателя, как адаптивность генотипов к условиям года. Показана возможность оценки степени устойчивости генотипа к засухе и разработан экспресс-метод отбора популяций в целом. Также разработан метод оценки водоудерживающей способности на осмотических фонах для определения засухоустойчивости и ее стабильности. Проведено изучение явления аттракции питательных веществ из тапетума в мужской гаметофит. Установлено, что регрессия величины размера пыльцы на показатель аттракции является количественной мерой оценки адаптивности, выраженной в процентах. Также была исследована изменчивость размера мужского гаметофита в зависимости от условий и сроков хранения при пониженной температуре и обнаружены линии с высокой устойчивостью к засухе, адаптивностью и хорошими системами аттракции.

GENETIC ANALYSIS OF ABIOTIC STRESS REZISTANCE OF MAIZE ON HAPLOID LEVEL

A. N. Kravchenko, O. A. Klimenko

Institute of Genetics, Physiology and Protection of Plants

Academy of Sciences, Republic of Moldova

New approaches and methods of genetic analysis on male gametophyte level have been developed. As a result of this study express method for the selection of populations was elaborated. The variability of pollen size in different conditions of storage at low temperature was also examined. The genotypes with high resistance to drought, adaptability and effective systems of attraction were found.

Введение

Современные подходы и методы гаметофитной селекции растений позволяют изучать, проводить оценку и отбор генотипов, устойчивых к абиотическим и биотическим стрессам (Жученко, 1980; Жученко, Кравченко, 1988). Показана возможность использования мужского гаметофита для отбора устойчивых генотипов к альтернариозу, гербицидам, тяжелым металлам (Кильчевский, Хотылева, 1997) и засолению. Установлена экспрессия в пыльце гена, контролирующего осморегуляцию, и разработан метод отбора устойчивых к засухе генотипов (Morgan, 2002; Monica David, 2012). Вместе с тем, существуют генетико-физиологические проблемы, связанные с поглощением,

передвижением и удержанием воды растением. Исследования в данной области, выполненные в основном на спорофитном уровне, являются весьма трудоёмкими и не могут быть использованы как экспресс-методы на всех этапах селекционного процесса. Поэтому альтернативным подходом может выступать анализ изменчивости признаков мужского гаметофита на различных стрессовых фонах.

Материал и методы исследования

В качестве исходного материала использовали 15 линий кукурузы. Данные генотипы выращивались в полевых условиях по общепринятой методике. В период цветения метелок у каждой линии отбиралась высыпающаяся пыльца. Свежесобранную пыльцу помещали на предметное стекло (контроль) и измеряли её диаметр с помощью окуляр микрометра. Часть пыльцы помещали в 20% и 60%-растворы сорбита (опыт) с осмотическим давлением 27,2 атм. и 81,7 атм. соответственно, затем измерялся её диаметр. Уменьшение диаметра пыльцы происходило за счёт поступления воды из пыльцы в осмотический раствор, а его увеличение – за счёт поступления воды в пыльцевое зерно из раствора. Коэффициент изменения вычислялся как соотношение опыта к контролю в процентах. По каждой линии оценивалось по 150–200 пыльцевых зёрен. Следует отметить, что чем меньше коэффициент изменения, тем лучше данный генотип удерживает воду в клетках.

Результаты и обсуждение

На фоне 27,2 атм генотипы P343, A239, N6 имели наименьшие значения коэффициента изменения (табл.). Вероятно, они будут обладать устойчивостью к почвенной засухе. Пыльца линий 346wx1wx1, P165, XL12, L459 характеризуется слабой потерей воды (коэффициент изменения в пределах от 2 до 2,6%).

Таблица. **Влияние осмотического давления раствора сорбита на размер пыльцы**

Генотипы	Коэффициент изменения на 20% сорбите	Коэффициент изменения на 60% сорбите
P 343	0,1	13,1
Л276	4,2	11,4
346wx1wx1	2,5	11,9
P165	2,6	11,4
092	9,3	11,2
A239	0,1	11,6
P101	9	12
XL12	2	10,2
L459	2,6	9,4
Mo17	6	18,9
N6	0,4	7,7
B73	17	2
MK390	7,8	17,2
A285	4	11,3
W47	8,1	12,5

У генотипов L276, Mo17, A 285 данный показатель изменяется от 4 до 6%. Самые высокие значения коэффициента изменения отмечены у линий MK390, P 101 и 092. Выявлено, что пыльца линии W47 и особенно линии B73 не только не теряет воду, но даже поглощает её из осмотического раствора в количестве 8,1% и 17%, соответственно. Пыльца линии B73 способна поглощать воду и из раствора с осмотическим давлением 81,7 атм. На данном осмотическом фоне выделились линии N6, Л459, XL12. У шести линий коэффициент изменения был на уровне 11,2–11,9%, а у трех линий он оказался в пределах 12–13,1%. Линии MK390 и Mo17 имели самые высокие значения данного показателя, что свидетельствует о слабой системе удержания воды в клетках на указанном осмотическом фоне. Использование двух концентраций сорбита показало, что при повышении осмотического давления в растворе у некоторых генотипов коэффициент изменения значительно уменьшался. Однако у линий N6, L459, XL12 данный показатель изменялся незначительно. Следует также отметить, что регрессионный анализ выявил зависимость

коэффициента изменения от генотипа (8%) и условий среды (92%). При этом изученные линии на 60% растворе сорбита на 68,2% сохраняют такой же коэффициент изменения, как и на 20% растворе сорбита.

Исследования изменчивости мужского гаметофита кукурузы по признаку «размер пыльцевого зерна» в зависимости от условий и сроков хранения при стрессовой (+1…+8°С) температуре показали, что факторы генотип, условия хранения, также их взаимодействие достоверно влияли на данный признак (сила влияния 7%, 17,34% и 8,22% соответственно). Размер пыльцы у линий P165, Rf7, W23 был примерно на одном уровне (132–134 единиц окуляр микрометра). Наименьший размер имела пыльца линии B73 (125 единиц окуляр микрометра). Пыльца тетраплоидной линии W23 оказалась самой крупной (170 единиц окуляр микрометра). Установлено, что хранение пыльцы при пониженной стрессовой температуре достоверно снижало показатели изучаемого признака, но линии P165 и B73 изменили свой размер несущественно. Вероятно, данные линии могут быть устойчивыми к пониженной температуре.

Таким образом, проведенный анализ показал, что использованные в настоящем исследовании подходы могут применяться при селекции кукурузы на устойчивость к засухе и пониженным температурам.

Список литературы

1. Жученко А. А Экологическая генетика культурных растений (адаптация, рекомбиногенез, агробиоценоз). Кишинев, 1980.

2. Жученко А. А., Кравченко А. Н. Эколого-генетические основы селекции томатов. Кишинев, 1988.

3. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Экологическая селекция растений. Минск, 1997.

4. Morgan J. M., Holland J. F., Read B. J. Evaluation in barley lines of a simple pollen method for breeding for drought tolerance in wheat. Cereal Research Communicaions. Vol. 30. № 3–4. 2002.

5. Monica David Pollen grain expretion of intrinsic and osmolyte induced osmotic adjustment in a set of wheat cultivars. Romanian agricultural research. № 29. 2012.

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕДИСА (*Raphanus sativus* L.) КОЛЛЕКЦИИ ВИР

А. Б. Курина, А. М. Артемьева

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР)»

В настоящей работе представлены результаты молекулярно-генетического RAPD анализа 36-ти образцов редиса стержневой коллекции ВИР, принадлежащих к 12-ти сортотипам. В исследовании использовали 10 RAPD праймеров серий OPA, OPD и OPE, которые позволили выявить высокий полиморфизм образцов коллекции. В результате анализа было получено 107 фрагментов, 100 из которых были полиморфными. Наиболее информативными были праймеры OPA7, OPA10 и OPE14, продуцирующие 10–15 полиморфных фрагментов. По результатам кластерного анализа с использованием метода попарного невзвешенного среднего генотипы редиса оказались сгруппированы в три больших и два малых кластера, один образец находился за пределами кластеров.

MOLECULAR GENETIC ANALYSIS OF VIR RADISH (*Raphanus sativus* L.) COLLECTION

A. B. Kurina, A. M. Artemyeva

Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic

This article presents the results of the DNA RAPD analysis of 36 accessions of small radish belonging to 12 cultivar types, which is part of the VIR core collection of the species.

In the study 10 RAPD primers of the OPA, OPD and OPE series were used, which showed high polymorphism among the accessions of a small radish. As a result, 107 fragments were obtained: 7 were common for all accessions, perhaps they are species-specific, and 100 fragments were polymorphic. The most informative were primers OPA7, OPA10 and OPE14, that produced 10–15 polymorphic fragments.

Based on the results of cluster analysis using UPGMA, small radish genotypes were grouped into three large and two small clusters, one was out-group. The first cluster included accessions of European group of cultivar types with round, round-oval and short-cylindrical form of root shape, the second cluster consisted of accessions of European and Chinese groups of cultivar types with a white and variegated root colour. The third cluster is formed by accessions with common origin from Azerbaijan, the fourth one – by 2 accessions of the cultivar type Pink-red with a white cylindrical tip, the fifth cluster – by accessions of Chinese group of cultivar types. Outside the groups was one accession –k-1879 Long Scarlet (India).

Введение

Редис является одной из популярных овощных культур и отличается существенным разнообразием биологических признаков. В мировой коллекции редиса и редьки *Raphanus sativus* L., хранящейся в ВИР, находится более 2300 образцов, поступивших из 75-ти стран мира. Образцы редиса предварительно

отнесены к 16-ти сортотипам, таксономия которых базируется на морфобиологических характеристиках. Использование RAPD-метода позволило сравнить ДНК исследуемых представителей вида *Raphanus sativus* L.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования были использованы 36 образцов редиса различного происхождения, принадлежащие к 6-ти разновидностям по классификациям Е. Н. Синской и Л. В. Сазоновой: *var. subalbus* Sinsk., *var. chloris* Alef., *var. rubescens* Sinsk., *var. striatus* Sinsk., *var. sinensis*, *var. roseus* Sazon. (1928, 1985).

ДНК была экстрагирована из семядольных листьев 5–8-ми проростков каждого образца по методике Д. Б. Дорохова и Э. Клоке (1997).

Для амплификации ДНК с использованием ПЦР анализа были протестированы 10 олигонуклеотидных праймеров серии OPA, OPD, OPE. ПЦР проводилась в объеме 20 µl, включая 2,5 µl 10×Taq buffer, 0,5 µM 50×dNTP, 2µl праймера, 0,4µl TaqDNA Polymerase и 2 µl геномной ДНК. Полимеразная цепная реакция была выполнена в амплификаторе, запрограммированном на 36 циклов, в следующих условиях: температура 94°C 3 мин., 1 цикл; 94°C 30 с, 36°C 50 с, 72°C 1:45 мин., 35 циклов; 72°C в течение 10 мин. Продукты амплификации разделялись электрофорезом в 2%-м агарозном геле в 0,5×TBE буфере, визуализировались окрашиванием в этидиум-бромиде и документировались.

Статистический анализ включал составление бинарных матриц по каждому из праймеров, в которых отмечалось «присутствие» (1) или «отсутствие» (0) фрагментов с одинаковой молекулярной массой на электрофореграмме. Каждый RAPD фрагмент рассматривался как отдельный генетический локус. Для построения дендрограммы, демонстрирующей филогенетические отношения между изучаемыми образцами вида, по результатам RAPD анализа применялся метод невзвешенного парно-группового кластерного анализа с арифметическим усреднением (UPGMA) при помощи программы Statistica 10.

Результаты и обсуждение

С целью изучения генетического разнообразия генотипов редиса на молекулярном уровне было использовано 10 случайно отобранных RAPD-праймеров. Все выбранные RAPD-праймеры показали высокий полиморфизм: было обнаружено 107 ампликонов, 100 из которых были полиморфными.

Таблица. **RAPD-праймеры, общее число ампликонов и число полиморфных фрагментов**

№	Праймер	Последовательность (5'–3')	Число ампликонов	Число полиморфных фрагментов	Размер фрагментов, п.н.
1	OPD6	GCA CCT GAC GCA TCC AGA A	9	9	160–600
2	OPD7	AGC AGT GCG GCT CTC ATA GG	9	9	200–1500
3	OPD12	GGT TGA AGC AGT TAA GGC CTC A	11	9	120–600
4	OPE14	ACC ATT CAT GTC CAT CGC CT	11	10	120–1000
5	OPE16	AAT CCC GTA CCG ACC GTT ATC	9	9	140–900
6	OPA2	TGC CGA GCT G	9	8	220–850
7	OPA3	AGT CAG CCA C	8	8	170–900
8	OPA7	GAA ACG GGT G	16	15	160–1300
9	OPA9	GGG TAA CGC C	11	9	250–820
10	OPA10	GTG ATC GCA G	14	14	120–970
	Сумма		107	100	

Наибольшее количество полиморфных фрагментов продуцировали праймеры OPA 7 и OPA 10 (14–15), наименьшее – праймеры OPA 2 и OPA 3 (8).

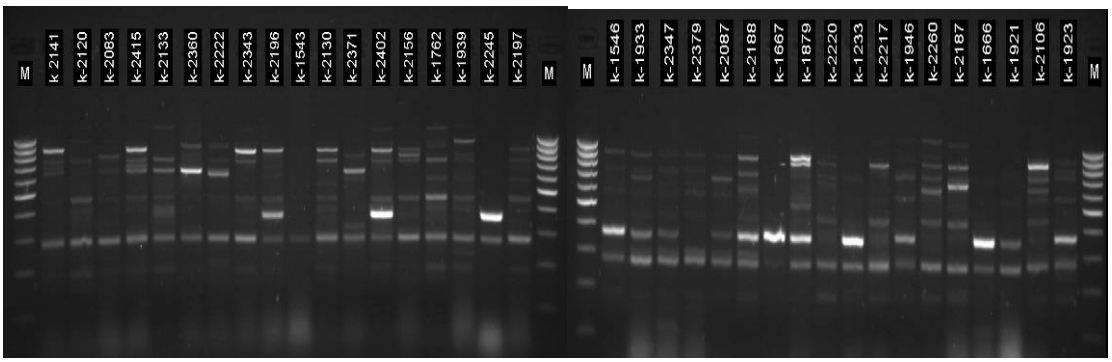


Рис. 1. Электрофоретические спектры RAPD фрагментов 36-ти образцов редиса (праймер OPA 7)

С помощью UPGMA метода был проведен кластерный анализ образцов редиса и построена дендрограмма (рис. 2).

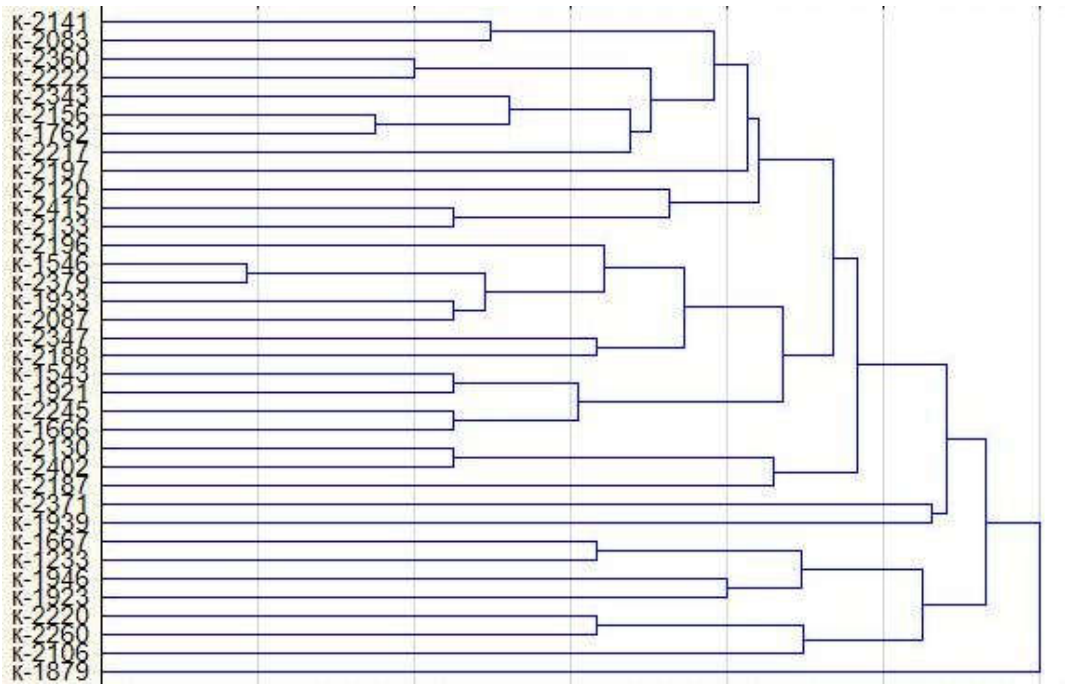


Рис. 2. Дендрограмма 36-ти генотипов редиса на основе RAPD анализа

По результатам кластерного анализа генотипы редиса оказались сгруппированы в три больших и два малых кластера, при этом один образец оказался за пределами кластеров. В первый кластер вошли образцы европейской группы разновидностей с округлой, округло-овальной и короткой цилиндрической формой корнеплода (сортотипы Красный овально-округлый, Темно-красный округлый, Круглый желтый, Полубелый-Полукрасный округлый, Розово-красный с белым кончиком цилиндрический). Второй кластер сформировали образцы европейской и китайской группы разновидностей с корнеплодом белого (сортотипы Белый длинный и Белый круглый цельнолистный) и пестрого цветов (сортотипы Розово-красный с белым кончиком цилиндрический, Розово-красный с белым кончиком овальный). Третий кластер (малый) был сформирован образцами сортотипов Красный длинный и Розово-красный с белым кончиком овальный, которые имеют общее происхождение (Азербайджан). Четвертый кластер сформировали 2 образца сортотипа Розово-красный с белым кончиком цилиндрический. Пятый кластер сформирован образцами китайской группы разновидностей

(сортотипы Красный длинноцилиндрический цельнолистный, Красно-розовый короткоцилиндрический цельнолистный, Красный округлый лировиднолистный и Белый круглый лировиднолистный). За пределами групп оказался один образец – к-1879 Long Scarlet (Индия, сортотип Красный длинный).

Очевидно, что первые два кластера и следующие три кластера близки друг к другу, что свидетельствует о возможном сведении разнообразия редиса к происхождению от двух или более родоначальных форм.

Список литературы

1. Артемьева А. М., Клоке Э., Чесноков Ю. В. Анализ филогенетических связей вида *Brassica olaraceae* L. (Капуста огородная) // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2009. Т. 13. № 4. С. 759–771.

2. Дорохов Д. Б., Клоке Э. Быстрая и экономичная технология RAPD анализа растительных геномов // Генетика. 1997. Т. 33. № 4. С. 358–365.

3. Шебалина М. А., Сазонова Л. В. Культурная флора СССР. Т.18. Корнеплодные растения. Л., Агропромиздат (Ленингр. отд.), 1985. С. 156–324.

4. Radish Genome Database // http://radish-genome.org/

РОЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ РАСТЕНИЕ-ПАТОГЕН И КОМПОНЕНТОВ СКРЕЩИВАНИЯ ПРИ НАСЛЕДОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ ПШЕНИЦЫ К КОРНЕВЫМ ГНИЛЯМ

Г. А. Лупашку, С. И. Гавзер, С. В. Григорча, В. И. Познякова

Институт генетики, физиологии и защиты растений Академии наук Молдовы

В статье приводятся данные по видовому составу грибов-возбудителей корневых гнилей пшеницы в условиях Республики Молдова, факторному анализу взаимоотношений *растение х патоген* и степени доминирования устойчивости к болезни у гибридов F_1 пшеницы.

THE ROLE OF THE INTERACTIONS PLANT-PATHOGEN AND THE CROSSING COMPONENTS IN THE INHERITANCE OF WHEAT RESISTANCE TO THE ROOT ROT

G. A. Lupashku, S. I. Gavzer, S. V. Grigorcea, V. I. Pozneacova

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of the Academy of Sciences of Moldova

The article presents the data about the species composition of fungi – causative agents of root wheat rot in the Republic of Moldova conditions, factor analysis of plant vs pathogen relationships, degree of resistance dominance to disease at F_1 wheat hybrids. It was established that the species composition of the causative agents of the root rot depends on the environmental conditions. The *Fusarium* species prevail in arid conditions. In the conditions with sufficient moisture for the plant growth and development is increasing up to 44...51%. the proportion of dark-colored fungi – *Alternaria* spp. and *Drechslera* spp./*Helminthosporium* spp. The factor analysis revealed that the reaction of wheat to fungi *Fusarium* spp. and *H. avenae* is determined mainly by the plant genotype. It was found that the degree of dominance of the reaction of the parental forms in F_1 hybrids varied from overdominization of resistance to overdominance of susceptibility. The manifestation of resistance or susceptibility to pathogens at hybrids depended to a larger extent to the combination.

Выявление особенностей наследования устойчивости растений к возбудителям болезни во многом ускоряет и повышает эффективность отбора резистентных форм. При этом следует отметить, что реакция растений на патогены, на основе которой определяется степень устойчивости, зависит от условий среды, генотипа растения-хозяина и их взаимодействий. Этиология, развитие и особенности проявления корневых гнилей у зерновых культур имеют многофакторную основу, детерминированную видовым составом возбудителей заболевания, агротехническими, погодными условиями и генетическими особенностями растения-хозяина (Чулкина, 2007).

Материалом для исследований послужили молдавские и зарубежные сорта, а также линии озимой мягкой пшеницы, созданные методами индивидуального отбора из расщеплящихся популяций F_2. Опыты проводились в полевых и лабораторных условиях (2013–2015 гг.). Следует отметить, что 2013 и 2014 гг. были благоприятными для роста и развития растений зерновых колосовых культур, а 2015 г. был весьма засушливым.

Возбудители корневых гнилей выделялись из растений с симптомами поражения прикорневой части стебля на этапе восковой технической спелости. Изоляты идентифицировались на базе морфолого-культуральных признаков классическими методами (Билай, 1977; Пидопличко, 1977; Barnett, Hunter, 1988). Факторный анализ взаимодействия *растение х патоген* был проведен в лабораторных условиях. Для этого зерна перспективных линий пшеницы были обработаны культуральными фильтратами (Методы экспериментальной микологии, 1982) четырёх видов грибов – *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. gibbosum*, *Helminthosporium avenae*, каждый по три изолята. Уровень поражения прикорневой части стебля определялся по 5-бальной шкале с нулем (0; 0,1; 1; 2; 3), а степень доминирования устойчивости (h_p) – по Брюбейкеру (1966).

Как следует из полученных данных, доля грибов *Fusarium* составила 50,0; 81,9; 44,9%, а грибов с темноокрашиваемым мицелием *Alternaria* и *Drechslera/ Helminthosporium*– 44,0; 5 и 51,0% соответственно в 2014, 2015 и 2016 гг. (табл. 1).

Таблица 1. **Видовой состав возбудителей корневых гнилей пшеницы, %**

Вид, разновидность	2014 г., n = 120	2015 г., n = 65	2016 г., n = 147
Fusarium avenaceum	1	0	0
F. gibbosum	10	10	0
F. heterosporum	2	0	0
F. lateritium	1	0	0
F. sporotrichiella	6	10	10,2
F. oxysporum	11	42	34,0
F. moniliforme	8	0	0
***F.** javanicum*	2	0	0
F. solani	9	19	0,7
Alternaria alternata	14	5	5,4
Drechslera spp./*Helminthosporium* spp.	30	0	45,6
Gliocladium spp.	2	0	0
Rhizoctonia aderholdii	2	0	0
Sclerotium rolfsii	2	13	4,1

При помощи двухфакторного анализа (ANOVA) взаимоотношений *растение пшеницы* x *F. oxysporum, F. solani, F. gibbosum, H.avenae* на ранней стадии онтогенеза в контролируемых условиях выявлено, что компоненты фитопатосистем, а также их взаимодействие вносят различный вклад в рост и развитие растений пшеницы, при этом наибольшее значение имеет генотип растения хозяина: 78,4…94,1% (табл. 2). Обращает на себя внимание тот факт, что фактор изолята гриба имел большее значение для роста зародышевого и латеральных корешков (14,0…17,8%), чем для роста стебелька (4,8%), что свидетельствует об органной специфичности реакции растения пшеницы на возбудители корневой гнили.

Установлено, что степень доминирования реакции родительских форм у гибридов F_1 варьировалась в пределах –6,67...+2,75 (табл. 3.), то есть от сверхдоминирования устойчивости (знак минус, означающий снижение поражаемости) до сверхдоминирования восприимчивости (знак «плюс»). Проявление устойчивости или чувствительности к возбудителям у гибридов в значительной степени зависело от комбинации.

Таблица 2. **Факторный анализ источника вариабельности количественных признаков растений пшеницы при обработке семян культуральными фильтратами грибов *Fusarium spp.* и *H. Avenae*.**

Источник вариабельности	Степень свободы	Сумма квадратов	Вклад в источник вариабельности, %
Длина корешка			
Генотип пшеницы	9	259573*	79,0
Изолят гриба	12	58389*	17,8
Взаимодействие *генотип х изолят*	108	10282*	3,1
Остаточный эффект	13039	425	0,1
Длина стебелька			
Генотип пшеницы	9	136605*	94,1
Изолят гриба	12	6938*	4,8
Взаимодействие *генотип х изолят*	108	1426*	1,0
Остаточный эффект	12956	158	0,1
Количество боковых корешков			
Генотип пшеницы	9	39,2*	78,4
Изолят гриба	12	7,0*	14,0
Взаимодействие *генотип х изолят*	108	3,1*	6,2
Остаточный эффект	13086	0,7	1,4

* разница достоверна относительно стандарта при $p \leq 0,05$.

Таблица 3. **Степень доминирования устойчивости к корневым гнилям у гибридов F_1 озимой мягкой пшеницы**

Nr.	Родительская форма, гибрид F_1	Балл поражения	σ	h_p
1	Л М 30/М 3	1,30±0,11*	0,99	
2	Л Мирг. 27/Од. 162	1,52±0,23	0,96	
3	F_1 ♀Л М 30/М 3 х ♂ Л Мирг. 27/Од. 162	1,47±0,15	0,94	+0,55
4	Л 101/Од.117	1,70±0,13	1,01	
5	Л Basarabeanca	1,82±0,11	0,96	
6	F_1 ♀ Л 101/Од.117 х ♂ Л Basarabeanca	1,74±0,15	0,85	–0,33
7	F_1 ♀ Л М 30/М 3 х ♂ Л Basarabeanca	1,91±0,17	0,94	+1,35
8	F_1 ♀ Л Basarabeanca х ♂ Л М 30/М 3	1,17±0,15*	0,88	–1,50
9	Moldova 11	1,63±0,16	1,05	
10	F_1 ♀ Л 101/Од.117 х ♂ Moldova 11	1,33±0,18*	1,04	–0,34
11	F_1 ♀ Л М 30/М 3 х ♂ Moldova 11	1,91±0,14	0,81	+2,75
12	Л Basarabeanca/М 30	1,94±0,15	0,84	
13	F_1 ♀ Л 101/Од.117 х ♂ Л Basarabeanca/М 30	1,02±0,15*	0,84	–6,67
14	F_1 ♀ Л Basarabeanca/М 30 х ♂ Л 101/Од.117	2,00±0,16	0,88	+1,50
	Одесская 267 (стандарт)	2,01±0,18	0,83	

* разница достоверна относительно стандарта при $p \leq 0,05$.

При этом одна и та же устойчивая линия, использованная в качестве родительской формы в различных комбинациях, проявляла различные донорские способности, что свидетельствует о значительной роли специфической комбинационной способности, основанной, как известно, на эпистатических взаимодействиях при наследовании резистентности пшеницы к заболеванию.

Выводы

1. В условиях Республики Молдова корневые гнили пшеницы вызваны многочисленными несовершенными грибами, среди которых наибольшее значение имеют виды *Fusarium* spp., *Drechslera* spp./*Helminthosporium* spp. и *Alternaria* spp.

2. При помощи факторного анализа установлено, что в наибольшей степени реакцию пшеницы на культуральные фильтраты грибов *Fusarium* spp. и *H.avenae* определяет генотипический фактор растения (78,4…94,1%).

3. Уровень и ориентация (+/–) доминирования реакции родительских форм пшеницы на возбудители корневой гнили у гибридов F_1 в значительной степени зависят от комбинации скрещивания и родительского фактора, что свидетельствует о существенной роли генных взаимодействий материнской и отцовской форм.

Список литературы

Билай В. И. Фузарии. Киев: Наукова думка, 1977. 422 с.

Брюбейкер Дж. Сельскохозяйственная генетика. М. 223 с.

Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982. 550 с.

Пидопличко Н. М. Грибы – паразиты культурных растений (определитель). Т. 2. Грибы несовершенные. Киев: Наукова думка, 1977. 299 с.

Чулкина В. Экологические основы интегрированной защиты растений. М.: Колос, 2007. 568 с.

Barnett H. L., Hunter B. B. Illustrated Genera of Imperfect Fungi, Fourth Edition. APS Press. 1998. 218 pp.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОЖЕСТВЕННОГО РЕГРЕСИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОДУКТИВНОСТИ ПШЕНИЦЫ

Г. А. Лупашку, С. И. Гавзер, С. В. Григорча, В. И. Познякова

Институт генетики, физиологии и защиты растений Академии наук Молдовы

На базе элементов продуктивности колоса четырёх групп пшеницы, индивидуальных отборов из сортов расщепляющихся популяций F_2, F_3–F_5 и линий F_6–F_9 при помощи множественного регрессионного анализа сделан вывод о том, что показатели «вес одного зерна» и особенно «количество зерен с одного колоса» вносят наиболее существенный вклад в формирование зерновой продуктивности колоса.

USING OF THE MULTIPLE REGRESSION ANALYSIS F3 OR DETECTING OF THE WHEAT PRODUCTIVITY ELEMENTS STABILITY

G. A. Lupashku, S. I. Gavzer, S. V. Grigorcea, V. I. Pozneacova

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of the Academy of Sciences of Moldova

In the studying of a rather large set of samples of winter soft wheat in the 2015–2016 years and by using of the multiple regression analysis, we found that one of the main components of wheat productivity – the grain mass of one ear (MZK) depends mainly on the number of grains in the ear (KPC) and the weight of one grain (WHO). In this case, according to the values of the coefficient ß, the decisive factor is the KPC. So, for example, in 2016 when analyzing several groups of wheat genotypes / populations – 1) individual sampling from varieties; 2) segregating F_2 populations; 3) the F_3, F_4 populations and 4) of the F_6-F_9 lines, we found that the mean value of the coefficient ß was 0.797*, respectively; 0.794*; 0,789*; 0,814* for KPC and 0,566*; 0.628*; 0,622*; 0.557* for WHO ($p \leq 0.05$). Thus, the most pronounced difference between the values of the coefficient ß for the KPC (0.814) and WHO (0.557) was observed in the stable high-yield lines F_6–F_9. Apparently, the formation of a sign of the productivity of the ear of wheat in the creation of these lines is based on the improvement of its component – the number of grains. When it was studying such groups of wheat in the 2015 arid conditions, we found that the productivity of the ear was also based most on the KPC. Consequently, in the conditions of the Republic of Moldova, when creating long-term highly productive wheat varieties, along with other important components of crop productivity (the number of productive stems, the number of ears per 1 m^2, the number of spikelets in the ear, etc.), attention should be paid to the ability of the genotype to form a large number of grains in the spike, both under optimum and under arid conditions.

Количественные признаки имеют сложную эколого-генетическую организацию (Чесноков и др., 2008). Известно, что продуктивность пшеницы, как и многих других культур, является комплексным признаком, зависящим как от генетических средовых факторов, так и от их взаимодействий (Васильев, 2007). По мнению Драгавцева и др. (2012), для улучшения сложных количественных свойств продуктивности следует изучать не признак как

таковой, а вклад в данный признак генетико-физиологических систем. Разработка эффективных генетико-селекционных технологий для создания генотипов пшеницы со стабильной продуктивностью предполагает изучение чувствительности ее компонентов к условиям среды с целью улучшения посредством селекции наиболее «уязвимого» элемента (Dhungana et al., 2007).

В настоящих исследованиях материалом послужили индивидуальные отборы (ИО) растений озимой мягкой пшеницы молдавских и зарубежных сортов, отборы из популяций F_2–F_5 и линии F_6–F_9, проводимые на протяжении 2015–2016 гг. Анализ элементов продуктивности колоса проводился на 40–60 колосьях, отобранных из ИО сортов, популяций F_3, F_5–F_9, и на 120 колосьях из расщепляющихся популяций F_2.

Множественный регрессионный анализ проводился с использованием пакета программ STATISTICA 7.

Как следует из полученных данных (табл.), в засушливом 2015 г. наибольшая продуктивность колоса отмечена у линий F_7–F_8 (2,94* г). В 2016 г. при оптимальных условиях для роста и развития пшеницы значительные показатели изученного признака отмечены у отборов из популяций F_2 (2,89 г) и линий F_6–F_9 (2,75 г), между которыми нет достоверной разницы.

Таблица. **Вклад некоторых элементов продуктивности в вес зерна с одного колоса в зависимости от условий года**

Генотип, популяция	Кол-во	Вес зерен одного колоса, г	σ	Средний коэффициент β		Отношение β КЗ к β МОЗ
				кол-во зерен	вес одного зерна	
2015 год						
ИО из сорта	19	2,40±0,05	0,21	0,812*	0,707*	1,15
Популяция F_2	15	2,01±0,10 v w	0,39	0,654*	0,541*	1,21
Популяция F_3–F_5	24	2,50±0,05	0,23	0,760*	0,572*	1,33
Линия F_7–F_8	18	2,94±0,05 v w	0,23	0,876*	0,700*	1,25
Moldova-11 (стандарт)		2,46±0,08	0,61	0,658*	0,475*	1,39
Одесская-267 (стандарт)		2,38±0,04	0,43	0,902*	0,897*	1,01
2016 год						
И.о. из сорта	18	2,41±0,08 v	0,32	0,797*	0,566*	1,41
Популяция F_2	12	2,89±0,12 w	0,42	0,794*	0,628*	1,26
Популяция F_3–F_5	9	2,45±0,18	0,55	0,789*	0,622*	1,27
Линия F_6–F_9	23	2,75±0,06 w	0,26	0,814*	0,557*	1,46
Moldova-11 (стандарт)		2,76±0,04 w	0,08	0,755*	0,422*	1,79
Одесская-267 (стандарт)		2,37±0,04	0,06	0,672*	0,624*	1,08

v – достоверное отличие от стандартного сорта Moldova-11 при $p \leq 0,05$;

w – достоверное отличие от стандартного сорта Одесская-267 при $p \leq 0,05$;

* – достоверная значимость коэффициента β при $p \leq 0,05$.

В результате множественного регрессионного анализа (МРА) элементов продуктивности (длины, количества колосков, количества зерен (КЗ), веса одного зерна (ВОЗ) и массы зерна одного колоса) установлено, что значения коэффициента β МРА в основном статистически незначимы в отношении первых двух признаков колоса, в то время как β для КЗ и ВОЗ довольно высоки и статистически достоверны, что свидетельствует об их значительном вкладе в формирование продуктивности колоса. При этом у всех изученных групп растений и у стандартных образцов значения β для КЗ выше, чем для ВОЗ в обоих годах. Следует отметить, что в 2016 г. отношение значений β КЗ к значениям β ВОЗ почти всегда (за исключением популяций F_3–F_5) было выше по сравнению с 2015 г.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что при создании линий озимой мягкой пшеницы с высокой и стабильной продуктивностью колоса следует обратить основное внимание на способность генотипа образовывать большое количество зерен как при оптимальных, так и при засушливых условиях.

Список литературы

Васильев А. В. Оценка хозяйственно ценных признаков озимой пшеницы с учетом взаимодействия *генотип х среда*: автореф. дисс. канд. с.-х. наук. Краснодар, 2007. 20 с.

Драгавцев В. А. и др. Новые подходы к экспрессной оценке генотипической и генетической (аддитивной) дисперсий свойств продуктивности растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16. № 2. С. 427–436.

Чесноков Ю. В., Почепня Н. Б., Бернер А. и др. Эколого-генетическая организация количественных признаков растений и картирование локусов, определяющих агрономически важные признаки у мягкой пшеницы // Доклады РАН. 2008. Т. 418. № 5. С. 693–696.

Dhungana P. et al. Analysis of genotype-by-environment interaction in wheat using a structural equation model and chromosome substitution lines // Crop Science. 2007. № 47. P. 477–484.

ВОДНЫЕ ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ С НАНОЧАСТИЦАМИ И СЛАБЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ КАК СТИМУЛЯТОРЫ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ СЕМЯН ТОМАТА И ПШЕНИЦЫ

С. Н. Маслоброд[1], Ю. А. Миргород[2], Г. А. Лупашку[1], А. С. Сидоренко[3], С. И. Гавзер[1], А. И. Шибаев[3], И. В. Шибаева[3], А. И. Горе[1]

[1]*Институт генетики, физиологии и защиты растений АН Молдовы;*

[2]*ФГБНУ Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ), Курск, Россия;*

[3]*Институт инженерной электроники и нанотехнологий АН Молдовы*

Получены стимуляционный, фунгицидный и терморезистетный эффекты при воздействии на семена томата, тритикале и пшеницы водных дисперсий с наночастицами NPAg, NPCu, NPBi и NPZnO, миллиметрового излучения (5,6 мм) и магнитного поля (10 Гц). Установлено влияние родительских форм на параметры гибридов. Выявлено, что обработка семян физическими факторами оказывает стимулирующий эффект на продуктивность пшеницы и тритикале (порядка 30%).

WATER DISPERSE SYSTEMS WITH NANOPARTICLES AND WEAK ELECTROMAGNETIC FIELDS AS STIMULATORS OF THE VITALITY OF TOMATOES AND WHEAT SEEDS

S. N. Maslobrod[1], Yu. A. Mirgorod[2], G. A. Lupashku[1], A. S. Sidorenko[3], S. I. Gavzer[1], A. I. Shibaev[3], I. V. Shibaeva[3], A. I. Gore[1]

[1]*Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of ASM, Kishinev, Moldova;*

[2]*Southwest State University, Kursk, Russia;*

[3]*Ghitu Institute of Electronic Engineering and Nanotechnologies, Kishinev, Moldova*

The stimulatory, fungicidal and thermoresistive effects were obtained when exposed to tomato, triticale and wheat seeds of water dispersions with nanoparticles NPAg, NPCu, NPBi and NPZnO, millimeter radiation (5.6 mm) and magnetic field (10 Hz). Influence of parental forms on parameters of hybrids has been revealed. It was found that seed treatment by physical factors has a stimulating effect on the productivity of wheat and triticale (about 30%).

В статье представлены основные результаты исследований, проводимых в 2014–2017 гг. (Маслоброд, Миргород и др., 2014; Maslobrod, Mirgorod et al., 2015). Продукты нанотехнологии – нанопорошки металлов – оказывают стимуляционное, фунгицидное и бактерицидное действие на растительный

объект (Паничкин, Райкова, 2009). Они создают неблагоприятные условия для патогенных микроорганизмов и, кроме того, функционируют как микроэлементы пролонгированного действия, что в целом обеспечивает повышение адаптивного потенциала растительного организма. Авторами настоящей статьи были исследованы некоторые малоизученные аспекты указанной проблемы.

Основные элементы методики. Объектами исследования являлись семена родительских форм томата и озимой пшеницы и их реципрокных гибридов поколения F_2. Модельные объекты – семена томата, яровой пшеницы (сорт Арнаутка) и озимого тритикале (сорт Инген-93). Факторы воздействия на семена: 1) водные дисперсии (ВД) наночастиц (NP) Ag с концентрацией $10^{-4}…10^{-6}$ моль/л и Cu, Bi, ZnO с концентрацией $10^{-1}…10^{-19}$ мг/л (получение и характеризация наночастиц проводились в Курске); 2) магнитное поле (МП) с частотой 1–10 Гц и магнитной индукцией 40–50 мкТс в течение 1 ч.; 3) миллиметровое излучение (ММИ) с длиной волны 5,6 мм, плотностью мощности 6 мВт/см^2 и экспозицией 8 мин.; 4) пониженная температура (ПТ) +4°С в течение 12–24 ч.; 5) патогенные грибы (Г) *Alternaria alternate (*для семян томата) и *Helminthosporium avenae* (для семян злаковых), вызывающие корневую гниль у проростков [1–3] – экспозиция 18 ч.; 6) 1% раствор перманганата калия ($КМпО_4$) – экспозиция 1 ч. Параметры оценки эффектов – энергия прорастания семян (ЭПС), всхожесть семян (ВС), число правых проростков (ЧПП). Семена после обработки факторами проращивались в чашках Петри на водопроводной воде при температуре 20–22°С (50 семян в чашке, 4–10 чашек в варианте). Среднеквадратичная ошибка параметра – порядка 10%.

Результаты и обсуждение. Вначале были исследованы стимуляционные и фунгицидные эффекты в зависимости от концентраций NP в ВД и экспозиций данных ВД. Получена нелинейная зависимость эффектов как от концентраций, так и экспозиций ВД. Так, обнаружена существенная стимуляция всхожести семян пшеницы Арнаутка (на 12,3%) в варианте с ультранизкой концентрацией

NPCu (10^{-17} мг/л) в ВД (контроль 57,7±4,12; опыт 70,0±1,90). Кроме того, стимуляционный эффект от нанофактора наблюдался при экспозиции от 30 мин. и выше и зависел от концентрации NP в ВД. Так, при действии ВД с NPAg на семена томата (сорт Микаэла) стимуляция была получена при экспозициях и концентрациях: 1) 30 мин. и $2 \cdot 10^{-4}$ моль/л; 2) 60 мин. и $16 \cdot 10^{-7}$ моль/л; 3) 180 мин. и $4 \cdot 10^{-5}$ моль/л (длина корешка проростка составила (в мм): 1) 49,7±0,80; 2) 49,9±0,82; 3)48,7±0,82 (при контроле 45,3±0,85)). Наиболее информативным параметром оказалась ЭПС. Существенные различия по ЭНС были получены на второй день прорастания семян, на третий и четвёртый дни они сглаживались (рис. 1). Стимуляция ЭНС наблюдалась при воздействии ВД NPAg (до 25%), гриб резко снижал ЭПС, действие нанофактора перед грибом привело к увеличению ЭПС вдвое по сравнению с вариантом «гриб» (т. е. проявился фунгицидный эффект). Аналогичный опыт на семенах тритикале был проведён с ВД NPCu. Также были получены стимуляционный и фунгицидный эффекты от нанофактора при всех концентрациях NPCu (рис. 2). Перманганат калия, обычно используемый для дезинфекции семян, оказался менее эффективным по сравнению с нанофактором.

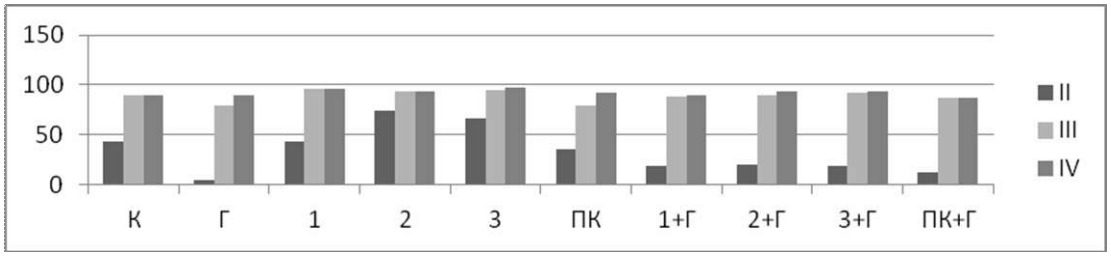


Рис. 1. ЭПС тритикале при действии ВД NPAg, гриба и $KMnO_4$ (%). К – контроль; Г – гриб; 1, 2, 3 – концентрации NPAg 8×10^{-6}моль/л, 16×10^{-7}моль/л, 32×10^{-8}моль/л; ПК – перманганат калия; II, III, IV – дни после обработки семян факторами

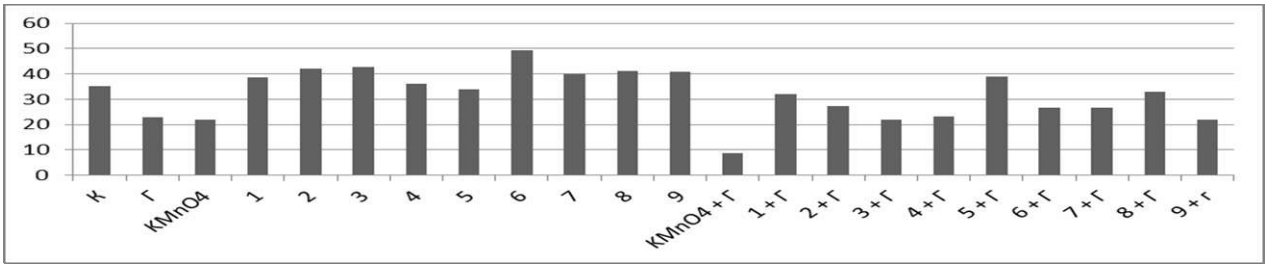


Рис. 2. ЭПС тритикале при действии на семена ВД NPCu, гриба и $KMnO_4$ (%).
К – контроль; Г – гриб; 1–9 – NPAg, в мг/л:
1) 1×10^{-3}; 2) 2×10^{-4}; 3) 4×10^{-5}; 4) 8×10^{-6}; 5) 16×10^{-7}; 6) 32×10^{-8}; 7) 64×10^{-9}; 8) 128×10^{-10}; 9) 256×10^{-11}.

В последующем для обработки семян родительских форм и гибридов использовались ВД с концентрацией NP 10^{-7} мг/л и 10^{-7} моль/л и экспозицией не менее 1 ч. При воздействии внешних факторов (ВД, ММИ и МП) на семена двух типов (нормальных и подвергнутых последующей обработке грибом и ПТ) наблюдалась стимуляция либо обоих типов семян, либо только одного из типов. Например, наблюдалась стимуляция роста корешка проростка при воздействии на семена томата: 1) ВД NPAg (контроль; опыт: у сорта Глория 19,7±1,19; 21,8±1,68; у гибрида Застава × Глория 17,5±1,31; 21,2±1,20*; у гибрида Глория х Застава 13,5±1,80; 20,9±2,28; 2) ВД NPCu (контроль; опыт: у сорта Застава 15,6±2,16; 22,4±2,41; у гибрида Застава × Глория 13,5±1,80; 18,0±1,93). Фунгицидный эффект не был обнаружен. Аналогично при воздействии ВД NPZnO существенная стимуляция ЭПС была получена для родительских форм и гибридов пшеницы: Одесская-267 (на 75%), Никония (на 53%), Одесская-267 × Никония (на 35%), Никония × Одесская-267 (на 69%), при этом термоустойчивым оказался только сорт Одесская-267. У других сортов и их гибридов наблюдался только фунгицидный эффект от ВД NPBi и от ММИ, причем он был лучше выражен при действии ММИ (табл.).

Примерно в 60% случаев в норме и при действии стресса величина параметра у гибрида определялась величиной параметра у материнской формы, что следует учитывать при создании перспективных гибридов.

Таблица. **Фунгицидный эффект по ЭПС у сортов пшеницы и их гибридов (%)**

Вариант	Кобра	Апачи	Кобра × Апачи	Апачи × Кобра
Г	14,7±0,23	12,7±1,86	12,7±1,45	09,0±0,58
ВД NPBi + Г	13,3±0,33	18,0±0,58*	15,7±1,67	09,3±0,67
ММИ + Г	17,0±0,00*	21,3±1,86**	13,7±0,33	15,3±0,68***

Для того чтобы дать чёткую оценку эффективности того или иного фактора воздействия на семена, необходимо провести дополнительные эксперименты.

После предпосевной обработки семян определенными факторами были получены не только положительные, но и отрицательные результаты по продуктивности растений (среднее по трем делянкам 5 м^2). Так, наблюдалась

зависимость стимуляционого эффекта от генотипа (рис. 3). Урожайность сорта пшеницы Кобра повышалась при действии на семена всех трёх факторов – ВД NPBi, МП и ММИ (на 12–25%). У тритикале в среднем за два года наибольшая прибавка урожайности была получена при воздействии ВД NPAg (43%).

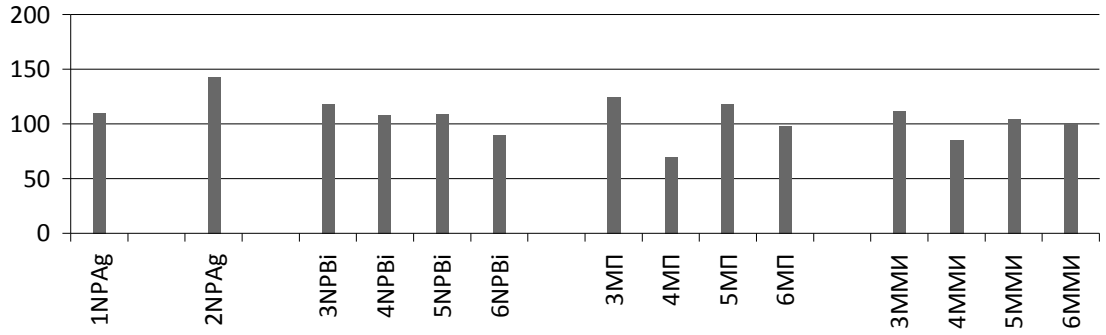


Рис. 3. Продуктивность растений на полевом участке при обработке семян ВД с NPAg, NPBi, ММИ и МП (в % по отношению к контролю).
1 – пшеница Арнаутка; 2 – тритикале; 3, 4, 5, 6 – сорта и гибриды пшеницы Кобра, Апачи, Кобра × Апачи, Апачи × Кобра соответственно.

Список литературы

1. Маслоброд С. Н., Миргород Ю. А., Бородина В. Г., Борщ Н. А. Влияние водных дисперсных систем с наночастицами серебра и меди на прорастание семян // Электронная обработка материалов. 2014. Т. 50. № 4. С. 103–112.

2. Maslobrod S. N., Mirgorod Yu. A. et al. Effect of Aqueous Dispersions with NPAg, NPCu, NPBi, and ZnNO, Millimeter-Wave Radiation, and Weak Magnetic Fields on the Germination of Triticale and Wheat Seeds under the Action of a Pathogenic Fungus and Low Temperatures. The 3rd Intern. Conf. on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, Moldova. 2015. pp. 275–279.

3. Паничкин Л. А., Райкова А. П. Использование нанопорошков металлов для предпосевной обработки семян с.-х. культур // Известия ТСХА. 2009. № 1. С. 59–65.

К ИСТОРИИ ФИТОМОНИТОРИНГА: НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ИЗУЧЕНИЯ АДАПТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СЪЕМА НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА БИОТРОНЕ АН МОЛДОВЫ

С. Н. Маслоброд

Институт генетики, физиологии и защиты растений АН Молдовы

На Биотроне Института экологической генетики (ИЭГ) АН Молдовы в 1983–1995 гг. проводилось изучение адаптивных признаков сельскохозяйственных растений (продуктивности и экологической устойчивости) с помощью системы автоматизированного съема научной информации на основе концепции фитомониторинга, разработанной в Агрофизическом институте (Санкт-Петербург) и усовершенствованной в ИЭГ.

STUDIES OF ADAPTIVE TRAITS OF AGRICULTURAL CROUPS BY MEANS OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS AND CROP-SPECIFIC APPLICATION TECHNIQUES AT THE BIOTRON OF EXPERIMENTAL CLIMATE CHANGE RESEARCH CENTRE OF AS MOLDOVA

S. N. Maslobrod

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of ASM, Kishinev, Moldova

Phytomonitoring, the direct monitoring of growing plants, aimed at improvement of the controllable crop factors, was carried out at the Biotron of Experimental Climate Change Research Centre in Moldova in 1983–1995. It was a unique, purpose built facility housing specialized environmental chambers, laboratories and equipment dedicated to research in the fields of environmental sciences. The purpose of its application was to derive new crop-related information for supporting decision-making processes for climate and irrigation control. It was a fully equipped centre with a range of instruments developed at the Laboratory of Cybernetics of the Agrophysical Research Institute in Leningrad such as, apparatus for measuring the flow rate of water in intact plant stems, temperature and leaves transpiration sensors and many others. In highly active testing laboratories at the Biotron Centre, a lot of research work on plant growing was carried out during this period. The Biophysics Laboratory staff, supervised by the author, had conducted a specific study of adaptive traits of cultivated crops -- the crop physiological response to any environmental changes. Because of its wide applicability, the phytomonitoring technique has been expanding at a very rapid rate during recent years; a major factor in this growth is the development of modern electronics, data acquisition and communication systems. Though the Biotron Research Centre was forced to halt its activities, phytomonitoring technique continues to develop successfully with new engineering and manufacturing company, Phyto-Sensor Group, located in Moldova that is focused on engineering and production of sensors and measuring systems for plant science and crop growing.

Фитомониторинг – непрерывный неповреждающий контроль за жизнедеятельностью растений – проводился на Биотроне Института экологической генетики АН Молдовы в 1983–1995 гг. с помощью системы автоматизированного съёма научной информации (АСНИ) (Жакотэ, Полесская, Круглицкий, 1989; Маслоброд, 2016). Информация о растениях, находящихся в климатических камерах, снималась посредством оригинальных датчиков, благодаря чему осуществлялся одновременный контроль электрического, ростового, температурного, водного и газового режимов растения в условиях регулирования факторов среды с использованием систем оперативной обработки данных по пакетам специализированных программ. Исходную элементную базу автоматического съема информации с неповреждаемых растений составили датчики водного потока в стебле, диаметра стебля, температуры и транспирации листьев и другие, впервые в мире разработанные в лаборатории биокибернетики Агрофизического института (АФИ), который стал родоначальником концепции фитомониторинга (Лялин, 1990). Специфика преемственности между АФИ и ИЭГ заключается в том, что при постановке задачи Президент АН Молдовы академик А. А. Жученко, исполняющий одновременно обязанности директора ИЭГ, с самого начала настаивал на жесткой привязке измерительных средств к вычислительным комплексам. Это был неординарный шаг, позволивший обеспечить высокий уровень технического сопровождения биологического эксперимента и привлечь на свою сторону интеллектуальную элиту – кибернетиков. Разработка, внедрение и опытная эксплуатация Биотрона велась коллективами учёных и инженеров ИЭГ, Отдела биологического приборостроения СКТБ Института прикладной физики и Центра автоматизации научных исследований и метрологии, обязанных созданием Президенту АН Молдовы (рис. 1).

Рис. 1. Ряд климокамер Биотрона ИЭГ АН Молдовы

Методы АСНИ дополнялись традиционными аналитическими методами. Впервые в стране в АН отдельной союзной республики был создан самый современный и высокорезультативный тип организации и реализации научных исследований в области сельского хозяйства.

По инициативе А. А. Жученко на Биотроне были созданы творческие группы (со статусом лабораторий), в которых выполнялись оригинальные исследования, связанные с основными научными и прикладными проблемами растениеводства – изучение механизмов явлений, экология и адаптация, селекция, генетика (получение мутаций и рекомбинаций), оптимизация агрофитоценозов. В других группах изучались биогенность почв и экология гидробиоты (обитателей водоемов). В биофизической лаборатории Биотрона, руководимой автором настоящей публикации, с помощью контактных и бесконтактных датчиков (электродов, тепловизора и др.) проводилась оценка адаптивных признаков сельскохозяйственных растений – их продуктивности и устойчивости к неблагоприятным факторам среды: жаре, засухе, холоду, загущению (Маслоброд, 1998). В лаборатории были идентифицированы генотипы растений, контрастные по признакам фенотипа (маркерные формы томатов), общей комбинационной способности (линии кукурузы), термоустойчивости (линии и гибриды кукурузы), неспецифической экологической устойчивости (дикие, предковые и культурные формы кукурузы

и томатов), конкурентоспособности (линии и гибриды кукурузы). На основе полученных данных были разработаны биофизические экспресс-методы оценки хозяйственно важных признаков растений. Была исследована пространственно-временная организация поверхностных биоэлектрических потенциалов («электрическая карта») растения. На основе данной «карты» были разработаны методы управления ростом, развитием и продуктивностью растений (Маслоброд, 1998). Они осуществлялись: 1) путем пропускания через растения слабого электрического тока (в несколько микроампер) в соответствии с нативной или оптимизированной электрофизиологической полярностью растения (опыты с томатами, картофелем и кукурузой в теплице и на полевом участке); 2) путем воздействия на растения внешним периодическим фактором на резонансной частоте эндогенных колебаний биоэлектрических потенциалов (светостимуляция прорастания семян, роста и укореняемости сеянцев). Лаборатория также выполняла хоздоговор с НПО «Космос» (при АН Азербайджана) по программе дистанционного зондирования почв и посевов для оценки их состояния, выдачи рекомендаций и прогнозирования будущего урожая. Существенный вклад в успешную работу лаборатории внёс ученик автора С. Н. Шабала – в будущем профессор Тасманийского университета (Австралия). Биотрон как уникальный научно-производственный комплекс получил широкую известность в научных и общественных кругах. Он стал международным Центром использования АСНИ в биологии и растениеводстве.

После распада СССР Биотрон перестал функционировать, однако сохранилось его научно-техническое ядро – международная группа (Phyto-Sensor Group – http://phytosensor.com/products.ru), возглавляемая одним из разработчиков концепции фитомониторинга Ю. Д. Тоном. Группа представляет собой стабильную бизнес-корпорацию, занимающуюся разработкой и производством датчиков и измерительных систем фитомониторинга для научных и прикладных задач в сельском хозяйстве (Тон, Клейман, 2009). Среди аналогичных групп в мире, занимающихся проблемой фитомониторинга, молдавские учёные продолжают удерживать лидирующее положение (рис. 2).

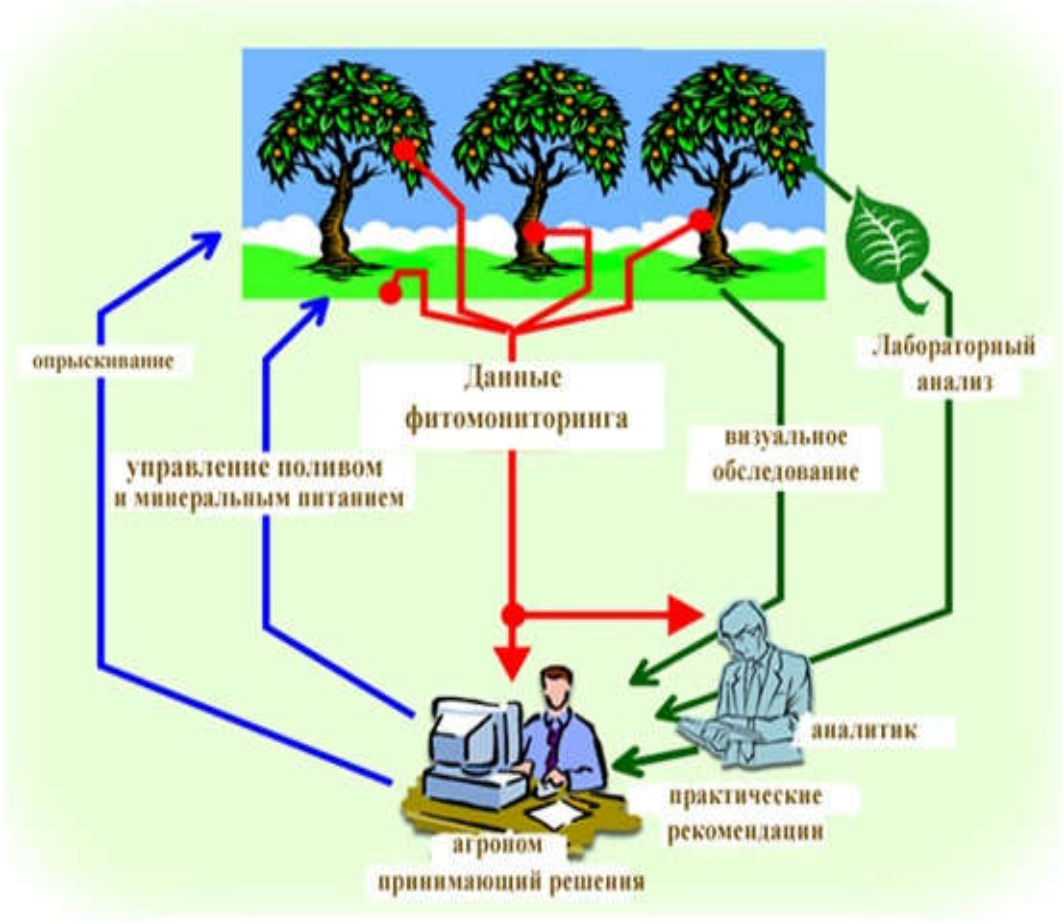


Рис. 2. Место и роль современного фитомониторинга
в практическом растениеводстве (Тон, Клейман, 2009).

Список литературы

1. Жакотэ А. Г., Полесская Л. М., Круглицкий Л. В. Исследование адаптивных реакций растений в системе АСНИ БИОТРОН. Кишинёв, Штиинца, 1989. 72 с.

2. Маслоброд С. Н. К 80-летию академика А. А. Жученко // Электронная обработка материалов. 2016. Т. 52. С. 92–99.

3. Лялин О. О. Биофизика растений и фитомониторинг. СПб.: АФИ, 1990. 242 с.

4. Маслоброд С. Н. Пространственно-временная организация поверхностных биоэлектрических потенциалов растительного организма. Кишинёв, Штиинца, 1998. 60 с.

5. Sensor Group – http://phytosensor.com/products.ru.

6. Тон Ю. Д., Клейман Э. И. Фитомониторинг как информационная технология в растениеводстве // Трансфер инноваций в сельском хозяйстве. Кишинев, 2009. С. 278–283.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛОКУСОВ ХРОМОСОМ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПРОЯВЛЕНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ У ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (*Triticum aestivum* L.) В УСЛОВИЯХ АГРОЭКОБИОПОЛИГОНА

Г. В. Мирская[1], Е. В. Канаш[1], Н. В. Кочерина[2], У. Ловассер[3], А. Бернер[3], Ю. В. Чесноков[1]

[1]ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ), 195220, Россия, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д.14;

[2]ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова», 190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 44;

[3]Лейбниц-Институт генетики растений и исследования возделываемых культур, 06466, Германия, Гатерслебен, Корренсштрассе, д.3

Впервые набор из 114-ти рекомбинантных инбредных линий картирующей популяции яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) был оценен в контролируемых условиях регулируемой агроэкосистемы биополигона. В двух экспериментах, отличающихся друг от друга режимами температуры и освещенности, в общей сложности было идентифицировано 99 QTL, определяющих 30 различных хозяйственно ценных признаков.

IDENTIFICATION OF CHROMOSOME LOCUSES DETERMINED AGRONOMICALLY VALUABLE TRAITS OF BREAD WHEAT (*Triticum aestivum* L.) IN THE CONDITIONS OF THE AGROECOBIOPOLYGON

G. V. Mirskaya[1], E. V. Kanash[1], N. V. Kocherina[2], U. Lohwasser[3], A. Börner[3], Yu. V. Chesnokov[1]

[1]Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia;

[2]Vavilov Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia;

[3]Leibniz Institut fur Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK), Gatersleben, Germany

To determine the effects of physiological and genetic interaction between the genotype and environment, QTL (quantitative trait loci) mapping of valuable traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) manifesting under controlled conditions of an agroecobiological testing ground has been first carried out. In the course of two experiments, differing

from each other only by temperature and illumination regimes and providing the strict control and invariability of other growing parameters, 99 QTLs determining 30 different agronomically important traits have been identified. According to the results of the QTL mapping changes in the temperature and illumination regimes did not influence 21 of 30 studied traits, which remained stable in their manifestation; only nine traits varied under these conditions, which indicates that their manifestation is dependent on changes in these environmental factors. The significance of a correlation between the identified QTLs and the polymorphism of individual traits studied was assessed using the threshold value of LOD (logarithm of odds) score. In addition, QTL analysis allowed a block structure of the *T. aestivum* genome to be revealed, the percentage of a phenotypic variability determined by each of the identified QTLs to be calculated, and the determination of which of the parents donated individual QTL alleles. The obtained results can be used for the further study of the physiological and genetic mechanisms of realization of traits evaluated within the framework of the «genotype – environment" interaction and also for the marker-assisted breeding of wheat.

Одним из основных подходов, позволяющих идентифицировать и осуществлять контролируемый перенос локусов хромосом, определяющих проявление хозяйственно ценных признаков, является молекулярно-генетическое картирование QTL (Tanksley, 1993). Многие количественные признаки продуктивности пшеницы, включая урожай зерна, сроки наступления стадии колошения и устойчивость к различным стрессовым факторам среды, демонстрируют достоверную изменчивость своего проявления во взаимодействии «генотип-среда» (Börner et al., 2002). Исследования по идентификации и молекулярно-генетическому картированию локусов QTL, определяющих морфологические и хозяйственно ценные признаки у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), с использованием картирующей популяции ITMI осуществлены в различных эколого-географических точках Российской Федерации (Чесноков и др., 2012). В рамках настоящего исследования впервые для установления эффектов физиолого-генетического взаимодействия «генотип – среда» проведено картирование QTL хозяйственно ценных признаков у картирующей популяции ITMI яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), проявляющих себя в контролируемых условиях регулируемой агроэкосистемы биополигона (Чесноков и др., 2017). Отличительной чертой условий регулируемой агроэкосистемы является то, что она позволяет вычленить отдельные компоненты внешней среды при неизменности остальных факторов воздействия на вегетирующие растения. Картирующая популяция рекомбинантных инбредных линий ITMI, созданная путем опыления яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Opata-85

пыльцой синтетического гексаплоида W7984, представляющего собой амфидиплоид, полученный скрещиванием *Aegilops tauschii* Coss. образец CIGM86.940 (*DD*) и тетраплоидной пшеницы *T. turgidum* var. *durum* сорта Altar-84 (*AABB*), насыщена молекулярными маркерами RFLP, SSR и SNP (Ganal, Röder, 2007). Знания о местоположении молекулярных маркеров позволяют проводить молекулярно-генетическое картирование локусов количественных признаков QTL, т.е. разделять генетические компоненты количественных признаков на небольшое число хромосомных локусов и оценивать вклад каждого их таких локусов в определение генетической изменчивости у изучаемого генотипа. В двух экспериментах, отличающихся друг от друга по режимам температуры (24–25°C – день/19–20°C – ночь и 28–29°C – день/23–24°C ночь в первом и втором экспериментах соответственно) и освещенности (40±0,5 Вт/м^2 ФАР и 50±0,5 Вт/м^2 ФАР в первом и втором экспериментах соответственно), при строгом контроле и неизменности остальных параметров выращивания в общей сложности было идентифицировано 99 QTL, определяющих 30 различных агрономически значимых признаков. При уровне $p < 0,01$ результаты рассматривались как статистически значимые, а при уровне $p < 0,001$ – как высоко значимые. Достоверность взаимосвязи между идентифицированными QTL и полиморфизмом по тому или иному признаку оценивалась по пороговому значению отношения правдоподобия логарифма шансов LOD-score (logarithm of odds) (Чесноков и др., 2012; 2017). Выполненное картирование QTL позволило установить распределение идентифицированных локусов по следующим группам сцепления: 1A, 1B, 1D, 2A, 2B, 2D, 3A, 3D, 4A, 4D, 5A, 5D, 6A, 6B, 6D, 7A и 7D. Так, например, основные QTL признаков продуктивности зерна формировали кластеры на 2B, 2D, 3D, 6D, 7D и 5A группах сцепления в первом эксперименте и на 1D, 2D, 4D, 7D, 4A и 5A – во втором эксперименте. Проявление признака «продолжительность периода всходы – колошение» выявило различия по вовлеченности локусов хромосом. В условиях эксперимента 1 были установлены два QTL на 5A и 6A хромосомах, в то время как в условиях эксперимента 2 оба выявленных QTL располагались на хромосоме 5A (рис.).

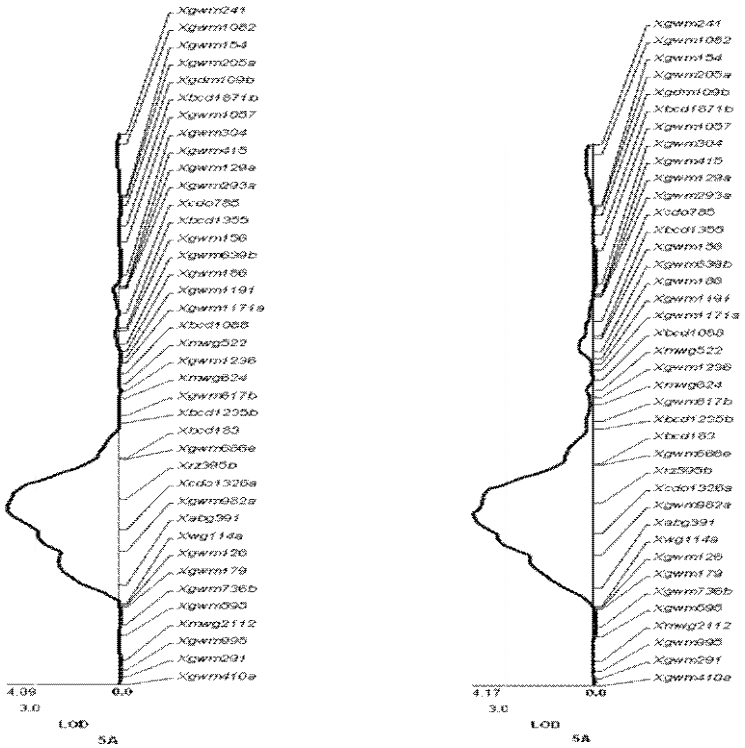


Рис. Интервальное картирование для VSH (срок колошения) на хромосоме 5A (1-й и 2-й эксперимент соответственно)

Классические исследования по картированию QTL во взаимодействии «генотип – среда», как правило, оценивают действие всего генома, не учитывают вклад индивидуальных QTL в данное взаимодействие и, кроме того, не ориентируются на варьирующиеся условия окружающей среды (Börner et al., 2002; Чесноков и др., 2012). Полученные в рамках настоящего исследования результаты явно демонстрируют, что в фиксированных условиях окружающей среды локализация QTL, определяющих проявление изучаемых признаков, остается стабильной, но изменение определенных условий окружающей среды приводит к изменению локализации QTL, вовлеченных в реализацию некоторых признаков. В настоящем исследовании по результатам QTL и однофакторного дисперсионного анализов было установлено, что при изменении температурного режима и режима освещенности из 30-ти оцененных признаков 21 (70%) оставались стабильными в своем проявлении, и только 9 признаков (30%) варьировались, указывая на то, что их проявление зависит от изменения режимов освещенности и температуры. Следует отметить, что из 9-ти варьирующихся признаков 4 («число колосков в колосе»,

«масса зерна с колоса», «масса 1000 зерен» и «число колосьев») напрямую связаны с продуктивностью зерна, что определяет не только хозяйственную ценность данных признаков, но и их значение для выживания, сохранения и распространения вида. Еще 4 признака выполняют защитно-адаптивную функцию в жизнеобеспечении растений в процессе их вегетации, а признак «продолжительности периода всходы – выход в трубку» реализуется в фазе начального роста и развития растений, играя инициаторную роль в осуществлении всего каскада физиолого-генетических механизмов, определяющих максимально возможную в данных условиях среды продуктивность растений. Кроме того, с помощью QTL-анализа выявлены блочная структура строения генома *T. aestivum*, процент фенотипической изменчивости, определяемой каждым из идентифицированных QTL, а также то, каким из родителей привнесен тот или иной аллель QTL.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ 16-04-00311-а.

Список литературы

1. Tanksley S. D. Mapping polygenes // Annu. Rev. Genet. 1993. V. 27. pp. 205–233.

2. Börner A., Schumann E., Fürste A., Göster H., Leithold B., Röder M. S., Weber W. E. Mapping of quantitative trait loci determining agronomic important characters in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) // Theor. Appl. Genet. 2002. V. 105. pp. 921–936.

3. Чесноков Ю. В., Почепня Н. В., Козленко Л. В., Ситников М. Н., Митрофанова О. П., Сюков В. В., Кочетков Д. В., Ловассер У., Бёрнер А. Картирование QTL, определяющих проявление агрономически и хозяйственно ценных признаков у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в различных экологических регионах России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16. № 4/2. С. 970–986.

4. Чесноков Ю. В., Мирская Г. В., Канаш Е. В., Кочерина Н. В., Ловассер У., Бёрнер А. Картирование QTL у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в контролируемых условиях агроэкобиополигона // Физиология растений. 2017. Т. 64. № 1. С. 55–68.

5. Ganal M. W., Röder M. S. Microsattelite and SNP markers in wheat breeding // Genomics Assisted Crop Improvement: Genomics Applications in Crops / Eds. R. K. Varshney, R. Tuberosa. Springer. 2007. V. 2. pp. 1–24.

УЧАСТИЕ ПРИРОДНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА В ЗАЩИТЕ СОИ ОТ ГЕРБИЦИДНОГО СТРЕССА

М. П. Михайлова[1], Л. А. Каманина[1], В. С. Остронков[2], В. А. Кузнецова[2]

[1]*ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сои» (ВНИИ сои);*

[2]*Акционерное общество «Аметис»*

Проращивание семян сои в растворе, содержащем гербицид Фронтьер, вызывает окислительный стресс. Природные препараты из лиственницы даурской ЭкоЛарикс, БиоЛарикс и ЭкстраКор при добавлении в среду для проращивания, содержащую почвенный гербицид Фронтьер, стимулируют биохимические процессы в семенах и защищают сою от гербицидного стресса.

Sprouting of soybean seeds in a solution containing the Frontier herbicide causes oxidative stress. Natural preparations made of larch Dahurian EcoLarix, BioLarix and ExtraCor, when added to a germination medium containing the soil Frontier herbicide, stimulate biochemical processes in seeds and protect soybeans from herbicidal stress.

Введение. Актуальность проблемы эффективной защиты сельскохозяйственных культур от сорной растительности связана с их высокой чувствительностью к химическим средствам. Существенным недостатком химической прополки является фитотоксичность гербицидов по отношению к культурным растениям (Баев и др., 2014).

К числу пестицидов, широко применяемых в Амурской области, относится почвенный гербицид избирательного действия Фронтьер. Ранее установлено, что данный препарат негативно воздействует на сою, вызывая стресс у растения (Михайлова и др., 2015). Одним из приемов нивелирования неблагоприятных воздействий гербицидов на рост и развитие растений сои является применение биологически активных веществ нового поколения. Многие ростактивирующие препараты с широким спектром антистрессового действия при обработке семян усиливают иммунитет растений к стрессовым факторам среды и оказывают комплексное положительное воздействие на рост и развитие растений, способствуя повышению их продуктивности.

ЭкстраКор – экологически безопасный регулятор роста природного происхождения, содержащий экстракт лиственничной коры и полученный путем переработки лиственницы даурской (Гмелины). Действующими веществами препарата являются проантоцианидины и параоксибензойная кислота. Данный препарат обладает широким спектром физиологической активности, является высокоэффективным антидотом, повышает устойчивость растений к токсическому воздействию гербицидов.

Действующим веществом регулятора роста растений ЭкоЛарикс является дигидрокверцетин. Под его воздействием у растения повышается активность генов стрессоустойчивости, что стимулирует синтез специальных соединений. Данный регулятор роста способствует увеличению содержания хлорофилла в растениях и, соответственно, усилению фотосинтеза, что повышает продуктивность культур (Остронков, Лашин, 2014).

Природный стимулятор роста растений БиоЛарикс представляет собой водорастворимый концентрат лиственничной смолы с высокой фунгицидной активностью. Действующие вещества препарата (дигидрокверцетин, дитерпеновые спирты и углеводороды) проникают через листовую поверхность в корневую систему и активируют процессы, позволяющие растениям усваивать ранее недоступные минеральные вещества.

Цель исследований заключалась в изучении участия регуляторов роста, получаемых из лиственниц даурской, в защите сои от гербицидного стресса.

Условия, материалы и методы. Материалом для исследований послужили семена сои среднеспелого сорта МК-100 Амурской селекции. Лабораторные опыты закладывались в трех повторностях. Обработанные биологически активными препаратами (из расчета 20 г/т семян) семена сои проращивались по 50 семян в чашках Петри в течение пяти суток в растворе почвенного гербицида Фронтьер в рекомендуемой дозе (0,001%). В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Удельная активность пероксидаз определялась по методу А. Н. Бояркина в модификации А. Т. Мокроносова и выражалась в единицах активности на 1 мг белка, содержание белка – методом Лоури.

Результаты и обсуждение. Установлено, что при прорастании семян биологически активные препараты БиоЛарикс, ЭкоЛарикс и ЭкстраКор оказали воздействие на их ферментативные системы и стимуляцию биохимических процессов, что способствовало увеличению адаптивного потенциала. При обработке семян препаратами отмечено повышение удельной активности фермента пероксидаза в проростках. Почвенный гербицид Фронтьер вызвал снижение удельной активности фермента в проростках сои (рис.).

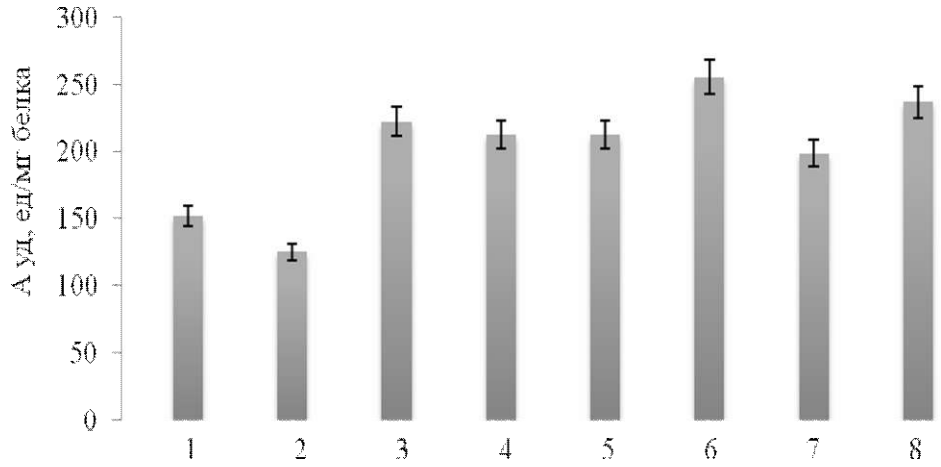


Рис. Активность пероксидаз проростков сои:
1 – контроль (семена, обработанные дистиллированной водой); 2 – Фронтьер;
3 – БиоЛарикс; 4 – БиоЛарикс + Фронтьер; 5 – ЭкоЛарикс; 6 − ЭкоЛарикс + Фронтьер;
7 – ЭкстраКор; 8 – ЭкстраКор + Фронтьер.

При совместном применении гербицида Фронтьер и биологически активных препаратов удельная активность пероксидаз повышалась по сравнению с контролем и вариантом с добавлением гербицида. При применении природных препаратов активизировались обменные процессы в проростках сои сорта МК-100, что способствовало повышению устойчивости растений к воздействию гербицида в период их прорастания.

Выводы. Таким образом, применение почвенного гербицида Фронтьер привело к увеличению удельной активности пероксидаз, что является показателем возникновения окислительного стресса и понижения адаптивного потенциала у проростков сои. Снижению неблагоприятных воздействий гербицида способствует применение природных препаратов из лиственницы даурской, которые мобилизуют защитные механизмы, противостоящие отрицательному воздействию, в результате чего уменьшается токсическая нагрузка на ранней стадии онтогенеза.

Список литературы

1. Баев Н. А., Шелманова Д. Э., Максимюк Н. Н. Загрязнение объектов экосистемы пестицидами: пути и последствия // Молодой ученый. 2014. № 8. С. 370–373.

2. Михайлова М. П., Синеговская В. Т., Кузнецова В. А., Иваченко Л. Е. Пероксидазная активность проростков сои при воздействии гербицида Фронтьер различных концентраций // Итоги координации научно-исследовательских работ по сое за 2011–2014 годы: сборник научных статей по материалам координационного совещания по сое зоны Дальнего Востока и Сибири. 2015. С. 106–110.

3. Патент № 2533231 РФ. Супрамолекулярный комплекс, обладающий противовоспалительной и ангиопротекторной активностью и способ его получения / Остронков В. С., Лашин С. А. // Б.И. 2014.

ГЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ПРОЯВЛЕНИИ НЕКОТОРЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ У ТОМАТА

Н. И. Михня, Г. А. Лупашку, С. В. Григорча

Институт генетики, физиологии и защиты растений Академии наук Молдовы

В статье представлены результаты изучения генных эффектов, участвующих в проявлении некоторых количественных признаков у томата. Выявленный широкий спектр генных эффектов, участвующих в формировании фенотипа целого ряда морфологических и хозяйственно ценных признаков томата, является генетическим базисом, во многом способствующим целенаправленной селекции культуры.

GENE EFFECTS PARTICIPATING IN THE MANIFESTATION OF SOME QUANTITATIVE TRAITS IN TOMATO

N. I. Mihnea, G. A. Lupascu, S. V. Grigorcea

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection

of the Academy of Sciences of Moldova

The article presents the results of studying the gene effects involved in the manifestation of certain quantitative traits in tomato. It has been established that various actions (additive-*a*, dominant-*d*) and epistatic interactions (*aa*, *ad*, *dd*) of genes that vary in strength and direction (+/– depending on the combination and the studying characteristic) participate in the inheritance of morphologic, anatomical and economically valuable traits of tomato. The duplicate epistasis takes place during the formation of phenotype of quantitative and morphological characters in the most tomato combinations. The revealing large spectrum of gene effects involved in the formation of the phenotype of a number of morphological and economically valuable traits gives the genetic basis, which considerably contributes to the targeted breeding of tomato.

При создании высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных культур, в том числе томата, необходимо использовать исходный материал с высокой наследственностью ценных признаков и адаптивностью к местным условиям. Действия и взаимодействия генов контролируют в значительной степени фенотип и наследуемость количественных признаков у растений [4, 5]. Если эпистатические взаимодействия подвержены фактору отбора и влиянию условий окружающей среды, можно предсказать и степень их проявления [1, 2].

Материалом для исследований послужили родительские сорта томата Маэстро, Dwarf Moneymaker, Михаела, Иришка, гибриды F_1 и F_2 и беккроссные гибриды первого поколения. Опыты проводились в лабораторных и полевых условиях. Генные эффекты – действия (аддитивные – *a*, доминантные – *d*) и

взаимодействия (аддитивно-адитивные – *aa*, аддитивно-доминантные – *ad* и доминантно-доминантные – *dd*) – определялись по методу Гамбле [3].

Полученные результаты показывают, что генные эффекты, участвующие в наследовании морфо-анатомических и хозяйственно ценных признаков томата, были довольно дифференцированными по уровню и ориентации (+/–) и в значительной степени зависели от комбинации скрещивания.

Длина и диаметр плода. Статистически достоверные генные эффекты установлены с частотой в 100 и 90% для длины и диаметра плода. Для всех типов эффектов установлено их существенное влияние на повышение или снижение значений признаков в популяции F_2, за исключением эпистазисов *ad*, которые всегда были положительными, но с более низкой дисперсией,

Толщина перикарпия. Генные эффекты со статистической достоверностью установлены в 17-ти из 20-ти вариантов, т. е. в 85% случаев. Значительные аддитивные эффекты были отмечены в комбинациях Маэстро × Dwarf Moneymaker (D.M.M.), Михаела × Irishca, Михаела × D.M.M.

Доминантные эффекты, в отличие от аддитивных, были более выраженными как по уровню, так и по значению вариансы: 23,6…24,71 от общей генетической вариансы (ОГВ). Высокое положительное доминирование выявлено у комбинаций Маэстро × D.M.M. (3,17*), Maestro × Иришка (2,12*) и Михаела × Иришка (2,05*). Взаимодействия *aa* были статистически достоверными при уровне значимости $p \leq 0,05$ у трёх из четырёх комбинаций. Эпистазисы *ad* всегда были положительными, но низкий уровень их вариансы свидетельствует об их незначительной роли в генетическом контроле признака. Судя по высоким значениям вариансы (46,6…48,5%), эпистатические взаимодействия *dd* оказали наибольшее влияние на толщину перикарпия и сыграли главную роль в генетическом контроле признака.

Количество семенных камер. Статистически достоверные генные эффекты установлены в 90,0% случаев. У большинства комбинаций были выявлены эффекты *d* и *aa*, ориентированные на снижение признака, т. е. на уменьшение количества камер.

Масса плода. Установлено, что генные эффекты отличались по силе и направленности (+/–) действия, что свидетельствует о комплексном контроле признака. Аддитивные действия, имеющие наибольшую селекционную ценность, способствовали увеличению признака *масса плода* у всех гибридных комбинаций. Доминантные эффекты были существенными как по направленности (–29,47…6,67), так и по амплитуде вариансы, которая составила 23,52…27,05% от ОГВ. Самые сильные доминантные эффекты, направленные на увеличение признака, проявились в комбинациях Маэстро × Dwarf Moneymaker (6,67*) и Михаела × Иришка (4,32*), а эффекты, направленные на уменьшение признака, – в комбинации Михаела × D.M.M. (–29,47*).

Положительные взаимодействия *ad* отмечены у всех комбинаций. Сильный эпистазис *aa,* влияющий на уменьшение признака, обнаружен у комбинации Михаела × D.M.M. (–25,34*).

Эпистазисы *dd*, влияющие на увеличение массы плода, выявлены у всех комбинаций. Следует отметить, что взаимодействия *dd* имеют самую высокую вариансу, которая составила 42,71…49,18% от ОГВ. У комбинации Михаела × D.M.M. проявился дубликатный эпистазиз. Это свидетельствует о том, что действия доминантных генов и *доминантно* × *доминантные* взаимодействия, контролирующие фенотип признака, разнонаправлены, что затрудняет процесс отбора генотипов с крупными плодами в короткие сроки.

Реальные возможности для создания генотипов с крупными плодами представляют комбинации Маэстро × D.M.M. и Михаела × Иришка, у которых выявлены положительные эффекты *d* и *aa* 45,91 и 47,32% из ОГВ.

Количество плодоносящих ветвей. Действия (*a, d*) и взаимодействия (*aa, ad, dd*) генов играли различную роль в формировании признака. Генные эффекты способствовали увеличению (+) или уменьшению (–) изучаемого признака. Полученные данные отражают незначительные аддитивные и доминантные действия у всех гибридных комбинаций.

Анализ взаимодействия аллельных эпистазов выявил незначительные гомозиготные положительные *aa* взаимодействия только у комбинации Михаела × D.M.M., гетерозиготные взаимодействия *ad* – у всех комбинаций и *dd* – у комбинаций Маэстро × Иришка и Михаела × Иришка.

Незначительные положительные *aa* взаимодействия выявлены только у комбинации Михаела × D.M.M., гетерозиготные взаимодействия *dd* – у комбинаций Маэстро × Irishca и Mihaela × Иришка, а *ad* – у всех комбинаций.

Количество плодов на растение. Генные эффекты со статистической достоверностью установлены в 95% случаев. Аддитивные действия, направленные на увеличение признака, не были отмечены, однако представляет интерес комбинация Михаела × D.M.M., у которой, благодаря положительному действию и взаимодействию генов (*d, aa* и *dd*), имеющих высокую вариансу, появляется возможность получения генотипов с большим количеством плодов на растение, но в более длительные сроки и при повторных отборах.

Масса плодов одного растения. Существенные аддитивные действия установлены у комбинаций Маэстро × Иришка и Михаела × Иришка. Сильные эпистазизы, уменьшающие признак, отмечены у комбинаций Maestro × Иришка и Михаела × Иришка, а эффекты *d*, *dd*, направленные на увеличение признака, – у комбинаций Маэстро × Иришка и Михаела × Иришка.

Согласно полученным данным, у комбинаций Maestro × Иришка, Маэстро × D.M.M., Mihaela × Иришка и Mihaela × D.M.M. большинство изученных признаков контролируется дупликатным эпистазизом (разнонаправленные действия эффектов *d* и *dd*), что представляет серьезное препятствие для селекции с целью улучшении определённого признака, так как во многом увеличивает длительность отбора.

Такие эпистазисы отмечены у комбинаций Маэстро × Иришка, Маэстро × D.M.M. и Mihaela × Иришка в отношении массы плода, а у комбинации Маэстро × D.M.M. – в отношении массы плодов с растения, диаметра плода и толщины перикарпия. Положительные значения

доминантных генов и *доминантно* × *доминантных* взаимодействий дают возможность ускорить процесс получения генотипов с желаемыми признаками.

В результате проведенных исследований установлено, что при формировании фенотипа количественных и морфологических признаков у большинства комбинаций томата проявляется дупликатный эпистазиз. Положительные *ad* взаимодействия у изученных комбинаций выявлены для всех признаков. Аддитивные действия, имеющие наибольшую селекционную ценность, способствовали увеличению признаков *количество семенных камер* и *масса плода* в комбинациях Маэстро × Иришка, Маэстро × D.M.M. и Михаела × Иришка.

Список литературы

1. Blows M. W., Hoffmann A. A. Evidence for an Association between Nonadditive Genetic Variation and Extreme Expression of a Trait // *The Amer. Nat*. 1996. № 148. pp. 576–587.

2. Carlborg Ö., Haley C. S. Epistasis: Too often neglected in complex trait studies? // Nat. Rev. Genet. 2004. № 5. pp. 618–625.

3. Gamble E. E. Gene effects in corn (*Zea mays* L.). I. Separation and relative importance of gene effects for yield // Canad. J. of Plant Sci. 1962. № 42. pp. 339–348.

4. Liberman U., Puniyani A., Feldman M. W. On the evolution of epistasis II: a generalized Wright-Kimura framework // Theor. Popul. Biol. 2007. Vol. 71, № 2. pp. 230–238.

5. Lupaşcu G. The role of interactions in the formation of valuable quantitative trait phenotypes in farm plants // Buletinul AŞM. 2010. № 2 (311). pp. 122–125.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И АНАТОМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛИСТЬЕВ *MALUS DOMESTIKA* BORKH В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕННОЙ АТМОСФЕРЫ

С. М. Мотылева

ФГБНУ «Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства» (ФГБНУ ВСТИСП)

MORPHOLOGICAL AND ANATOMICAL CHANGES OF THE *MALUS DOMESTIKA* BORKH LEAVES IN CONDITIONS OF THE POLLUTED ATMOSPHERE

S. M. Motyleva

FSBSI «All-Russian Horticultural Institute for Breeding, Agrotechnology and Nursery» (FSBSI ARNIBAN)

Unfavorable natural conditions (fluctuations in temperature, changes in the water regime, ecological situation and others) provoke adaptation of plants, which manifests itself at the tissue, cellular and molecular levels. Morphological and anatomical signs of vegetative organs of plants can vary from a complex of factors, first from technogenic factors. The article presents the results obtained in the survey of garden plantations in the Mtsensk area of the Orel region in a radius of 100–1000 m from the sludge dump and at a distance of 50 km. from the source of pollution (in the background). The objects of research were 2 apple varieties (Malus domestica Bork.) Antonovka common and Osennee polosatoe. The age of apple plants was 15 years. Using the method of scanning electron microscopy, the features of the microsculpture of the apple leaves surface have been studied and changes have been detected on the outer tissues of the leaf and the conducting petiole system. On the abaxial and adaxial sides of the apple tree leaves, under environmental stress conditions, a large amount of wax is extracted, in which particles of dust are deposited. Using the method of local energy-dispersive analysis, it is shown that zinc and copper are found in the particles immersed in the wax lead. Ransverse sections of the conductive tissues of the petiole multiple tillae have been identified. Toxic elements are likely to be localized in them. However, the formation of tilla makes it difficult for nutrients to enter the leaves, and plants experience additional stress. The differences in the mineral composition of the apple tree leaves of the contaminated area, compared with the background territory, are revealed.

Большинство исследований влияния техногенных факторов на изменение морфологических и анатомических параметров различных органов растений проводилось на хвойных и лиственных породах (Полевой, Саламатова,1991; Kolb, Hart, 1997; Bussotti et al., 2000; Garcia-Plazaola, Becerril, 2000; Кавеленова, 2007). Однако данные о структурно-функциональных изменениях листьев культурных плодовых растений и особенностях микроскульптуры их

поверхности (в частности, листьев яблони) в зоне действия шламоотвала металлургических предприятий (в условиях антропогенного воздействия) практически отсутствуют.

Цель исследований заключалась в сравнительном изучении морфологических и анатомических различий листьев и черешков яблонь, растущих вблизи отвала и на фоновой территории (удаление 50 км от источника загрязнения).

Методика исследований

В статье использованы результаты, полученные при обследовании садовых насаждений (2009–2012 гг.) в Мценском районе Орловской области в радиусе 100–500 м от шламоотвала и на удалении 50 км от источника загрязнения (фоновая территория). Объектами исследований являлись яблони (*Malus domestica* Bork.) двух сортов – Антоновка обыкновенная и Осеннее полосатое. Возраст растений яблони – 15 лет. Суммарная проба листовой массы (со средней части побега) отбиралась по периметру кроны на высоте 1,5 м не менее чем с пяти деревьев одного сорта в период роста побегов и полного формирования листовой пластинки (первая половина июля). Из средней трети листовой пластинки слева и справа от центральной жилки листа вырезались сегменты (3×5 мм) и производился поперечный срез черешка, затем образцы помещались на предметный столик микроскопа. Особенности микроскульптуры поверхности эпидермиса адаксиальной и абаксиальной сторон листовых пластинок и срезы черешка изучались методом РЭМ на аналитическом микроскопе JEOL JSM-6010 LA в условиях низкого вакуума (P = 60 Па). При исследовании поверхности листа образцы рассматривались на увеличениях 150–500 (микрорельеф первого порядка) и 1000–2700 (микрорельеф второго порядка). Для описания были выбраны количественные (число устьиц на единицу площади листовой пластинки, длина устьиц) и качественные (особенности рельефа поверхности, наличие (отсутствие) образований в тканях кутикуле, проводящей системе) характеристики.

Результаты

Морфологические особенности листьев*. Адаксиальная сторона листа.* Для листьев яблони сорта Антоновка характерна слегка удлиненная форма

клеток в виде неправильного четырехугольника. Форма клеток листьев сорта Осеннее полосатое неправильная, амебовидная. Листья обоих сортов покрыты сплошным, почти гладким слоем кутина (рис. 1–1, 2). На листьях яблони, растущей вблизи шламоотвала, восковой слой наиболее развит и содержит множество электронно-плотных включений – частичек пыли, составляющих отвал (рис. 1–3). *Абаксиальная сторона листа.* У яблони сорта Антоновка обыкновенная в стороны от устьиц листьев отходят тяжи – складки (рис. 1–4), отсутствующие у устьиц листьев яблони сорта Осеннее полосатое (рис. 1–5). На абаксиальной стороне листа яблони Осеннее полосатое, растущей вблизи шлакоотвала, в слое кутикулы, как и на адаксиальной стороне листа, формируется толстый восковой слой с электронно-плотными включениями (рис. 1–5). Работа устьиц в листьях загрязненной зоны часто блокируется застрявшими в них частичками пыли.

Анатомические особенности черешка. Сравнительное исследование поперечных срезов черешков показало, что стенки проводящей системы листьев яблони, растущей на загрязненной территории, в непосредственной близости от шламоотвала, утолщенные, рыхлые, с множеством тилл, которые частично или полностью закупоривают сосуды и мешают свободному продвижению питательных веществ (рис. 1–7, 8, 9). Тиллы представляют собой разрастания паренхимы клеток сосудов, выпячиваются внутрь сосудов, когда ткань оказывается поврежденной (Эзау, 1969). Диаметр тилл от 5 до 15 мкм. На поперечном срезе черешков листа яблони, растущей на фоновой территории, тиллы отсутствуют, проводящая система имеет здоровый вид, стенки плотные, неутолщенные (рис. 1–6).

Морфометрические признаки листьев яблони. Выявлены достоверные различия в количестве и длине устьиц в зависимости от сорта и условий произрастания (табл.). На листьях яблони сорта Антоновка обыкновенная количество устьиц в 1,2–1,4 раза больше, чем на листьях яблони сорта Осеннее полосатое. Отмечено, что количество устьиц на 1 мм^2 на листьях яблонь обоих сортов, произрастающих на фоновой территории, меньше по сравнению с яблонями, произрастающими на загрязненной территории: у сорта Антоновка обыкновенная меньше на 45–50 шт., у сорта Осеннее полосатое – на 75–80 шт.

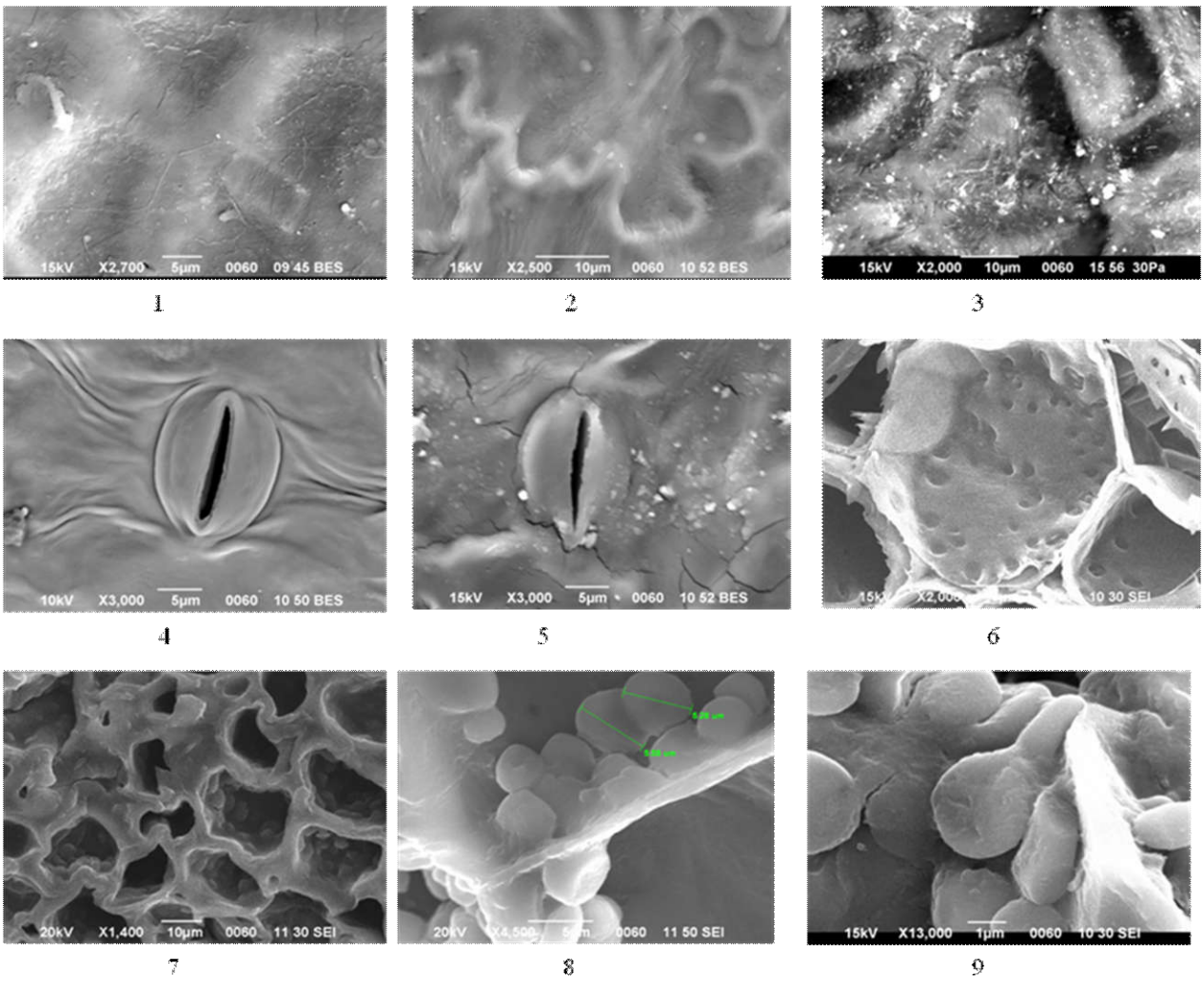


Рис. 1. Морфолого-анатомические особенности листа яблони и проводящей системы (черешок). Адаксиальная сторона: сорт Антоновка обыкновенная – 1 – фоновая территория, 3 – вблизи шламоотвала; сорт Осеннее полосатое – 2 – фоновая территория. Абаксиальная сторона, устьица: 4 – Антоновка обыкновенная, фоновая территория; 5 – Осеннее полосатое, вблизи шламоотвала. Поперечный срез черешка: 6 – фоновая территория, 7 – вблизи шламоотвала. 8, 9 – тиллы на стенках сосудов.

Для яблонь сорта Антоновка обыкновенная характерны более крупные устьица, устьичная щель в среднем на 3,6 мкм больше, чем у яблонь сорта Осеннее полосатое. В зависимости от условий произрастания (вблизи шламоотвала) размер устьиц уменьшается на 0,45 мкм у яблонь сорта Антоновка обыкновенная и на 1,12 мкм у яблонь сорта Осеннее полосатое. Размах варьирования длины устьица составляет 6–8 мкм вблизи шламоотвала и 3–6 мкм на фоновой территории (в зависимости от сорта). Морфологические изменения листа у яблонь сорта Осеннее полосатое выражены больше, чем у яблонь сорта Антоновка обыкновенная.

Таблица. **Морфометрическая характеристика листьев яблони**

Сорт/место произрастания	Количество устьиц, шт./мм^2	Длина устьичной щели, мкм
Антоновка обыкновенная (ФТ)	529.1±39.1	21.55±2.46 18.84 – 24.02*
Антоновка обыкновенная (ЗТ)	574.1±62.1	21.12±2.87 14.41–22.44*
Осеннее полосатое (ФТ)	473.8±80.2	17.96±2.01 16.54–19,47*
Осеннее полосатое (ЗТ)	398.5±46.2	16.84±2.01 12.60–18.73*

Примечание: ФТ – фоновая территория, ЗТ – загрязненная территория, * – размах варьирования.

Методом локального энергодисперсионного микроанализа (ЭДС) установлено, что в химический состав частичек, депонированных в толще воскового слоя, входят тяжелые металлы – свинец, цинк, медь (рис. 2).

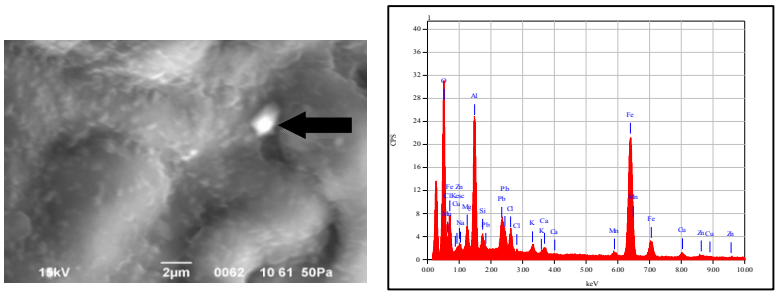


Рис. 2. Элементный состав частицы, депонированной в восковой слой листа яблони

Таким образом, установлено, что постоянное аэротехногенное воздействие оказывает влияние на изменение морфометрических и анатомических признаков листа и черешка яблони. Степень изменения генотипически обусловлена. Микрочастицы шламоотвала, содержащие тяжелые металлы, депонируются в кутикуле листа и блокируют работу устьиц.

Список литературы

1. Кавеленова Л. М., Розно С. А., Киреева Ю. В., Смирнов Ю. В. К структурно-функциональным особенностям листьев древесных растений в насаждениях лесостепи // Бюл. «Самарская Лука». 2007. Т. 16. № 3 (21). С. 568–574.

2. Полевой В. В., Саламатова Т. С. Физиология роста и развития растений. Л., ЛГУ, 1991. 240 с.

3. Эзау К. Анатомия растений. М., Мир, 1965. С. 170–218.

4. Bussotti F., Borhgini F., Celesti C., Leonzio C., Bruschi P. Leaf morphology and macronutrients in broadleaved trees in central Italy // Trees. 2000. V. 14, № 7. pp. 361–368.

5. Garcia-Plazaola J. I., Becerril J. M. Photoprotection mechanisms in European beech (*Fagus silvatica L.*) seedlings from diverse chimatic origins // Trees. 2000. V. 14, № 6. pp. 339–343.

6. Kolb T. E., Hart S. C. Boxelder water sources and physiology at perennial and ephemeral stream sites in Arizona // Tree Physiology. 1997. V. 17. pp. 151–160.

МЕТОД МИКРОФОКУСНОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Ф. Б. Мусаев[1], М. В. Архипов[2], Н. С. Прияткин[2], Н. Е. Староверов[3], Н. Н. Потрахов[3]

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур» (ВНИИССОК);

[2]ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);

[3]ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

Представлены основные результаты применения метода микрофокусной рентгенографии при исследовании качества семян овощных культур. Приведены примеры и описание основных скрытых структурных дефектов и недостатков, специфичных для семян различных овощных культур. Продемонстрирована возможность их выявления и идентификации с использованием метода микрофокусной рентгенографии.

MICROFOCUS X-RAY RADIOGRAPHY TECHNIQUE FOR VEGETABLE SEEDS QUALITY EVALUATION

F. B. Musaev[1], M. V. Arkhipov[2], N. S. Priyatkin[2], N. E. Staroverov[3], N. N. Potrakhov[3]

[1] All-Russian Research Institute of Vegetable Breeding and Seed Production

[2]Agrophysical Research Institute

[3]Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

The article presents the basic results of microfocus x-ray radiography application for vegetable seeds quality evaluation.

Digital x-ray images of vegetable seeds have been obtained using the multi-purpose mobile X-ray diagnostic device PRDU-02 and visualization system DIGORA PCT at the Electron Devices and Systems Dept., Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI». Individual seed sprouting, standard germination test according GOST 12038-84 and digital photography of seeds, seedlings and plants have been performed at All-Russian Research Institute of Vegetable Breeding and Seed Production.

Examples and description of main hidden structural defects and abnormalities, special for vegetable seeds are given, and ability of its revealing and identification using microfocus x-ray radiography is showed. In particular, digital x-ray images of normal (damaged free) seeds are characterized by regular brightness and sharply defined patterns. Various empty vegetable seeds are perfectly identified and characterized by lower brightness with the sharp (pepper, eggplant, cabbage) or smooth (beet) contours. Mechanical damages and microcracks of seeds caused by harvesting, handling and thrashing are revealed on digital x-ray images in the form of contrast dark lines. Internal

seeds damages and pest colonization are revealed on digital x-ray images in the form of dark or semi-dark ellipse or circle with the sharp or smooth contours. Microfocus x-ray radiography technique also allows identify hidden germination of seeds.
Obtained experimental data provide an opportunity to create database of radiographic signs of vegetables seeds. Revealing of the most informative quantitative indicators of hidden defects of vegetable seeds will make it possible to develop hardware for automatic high-speed seed sorting.

Введение

Развитие отечественного растениеводства сдерживается не столько нехваткой семян для посева, сколько их низким качеством. Современные интенсивные технологии рассчитаны на применение высококачественных однородных семян для получения равномерных выровненных всходов.

В настоящее время для оценки качества семенного материала с точки зрения его хозяйственной пригодности требуется пересмотр существующих и разработка новых методов, соответствующих мировым стандартам качества семян. Стандартные методы анализа не в полной мере соответствуют сегодняшним требованиям определения качества высеваемых семян. Тесты на определение энергии прорастания и всхожести семян в лабораторных условиях не всегда объективно отражают посевные качества семян, особенно их способность давать полноценные всходы в нерегулируемых полевых условиях. Это связано с тем, что стандартные методы оценки посевных качеств семян не учитывают особенности и недостатки их внутренней структуры (скрытая травмированность, скрытая заселенность и поврежденность насекомыми, внутреннее прорастание, биологическая выполненность и др.), влияющие на их жизнеспособность.

Таким образом, на современном уровне развития научных знаний и технологий необходимо применение современных инструментальных методов оценки качества семян, отличающихся большей информативностью, а также быстротой и легкостью выполнения.

Метод микрофокусной рентгенографии отличается от других инструментальных методов простотой применения, высокой оперативностью и неразрушающим характером, что позволяет использовать его в сочетании со стандартными методами оценки посевных качеств семян.

Начиная с 2006 г. во ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур совместно с Агрофизическим НИИ и Санкт-Петербургским государственным электротехническим университетом «ЛЭТИ» проводятся масштабные исследования по рентгенографии семян овощных культур. К настоящему времени проанализированы семена 25-ти овощных культур, принадлежащих к десяти ботаническим семействам. Результаты исследований опубликованы (Musaev, 2014; Мусаев и др., 2015; Мусаев, Потрохов, Архипов, 2016).

Материал и методы исследований

Получение цифровых рентгеновских изображений семян выполнено на кафедре электронных приборов и устройств СПбГЭТУ «ЛЭТИ» с использованием передвижной рентгенодиагностической установки ПРДУ-02 и системы визуализации Digora PCT согласно методике (Архипов и др., 2001; Потрахов, 2007).

Индивидуальное проращивание семян и оценка всхожести партии семян проводились по ГОСТ 12038-84, цифровое фотографирование семян, проростков и растений выполнено во ВНИИССОК. Цифровое фотографирование осуществлялось в фотолаборатории с использованием цифрового фотоаппарата CANON-5D, оснащенного макрообъективом CANON-100, с разрешением 12-24 мегапикселей.

Результаты и обсуждение

Анализ большого количества рентгенограмм различных сортообразцов 18-ти овощных культур позволил выделить и классифицировать рентгеновские признаки, отражающие внутреннее устройство, дефекты и аномалии семян, имеющие хозяйственное значение.

Примеры цифровых рентгеновских изображений семян различных видов овощных культур приведены на рис. 1.

Цифровые рентгеновские изображения нормальных (без дефектов) семян равномерны по яркости, детали на рисунке просматриваются четко (рис. 1.1).

Невыполненные семена различных овощных культур хорошо идентифицируются на рентгенограммах, их изображения в основном характеризуются пониженной яркостью, четкими (перец, баклажан, капуста) (рис. 1.2 а, б, в) или размытыми (свекла) контурами (рис. 1.2 г).

Механические повреждения и микротравмы семян, полученные во время уборки, транспортировки или обмолота, отображаются на рентгенограммах в виде четких темных линий семядолей (в случае семян фасоли, рис. 1.3. б) или эндосперма (в случае семян моркови, рис. 1.3. в), а также в виде темного обрыва при обломе корешка зародыша (в случае семян лука, рис. 1.3. а). С помощью метода можно обнаружить дефекты и травмы семядолей даже у мельчайших семян майорана (рис. 1.3. г).

Поврежденность и заселенность семян насекомыми-вредителями на рентгенограммах отображены темным или полутемным овалом, окружностью с четкими очертаниями (в случае семян гороха и фасоли, рис. 1.4. а, б), а также размытыми темными пятнами разного размера (в случае семян моркови и салата, рис. 1.4. в, г). Метод микрофокусной рентгенографии позволяет безошибочно идентифицировать скрытое прорастание семян (рис. 1.5. а, б).

Возможности метода микрофокусной рентгенографии семян не ограничивается вышеприведенными примерами.

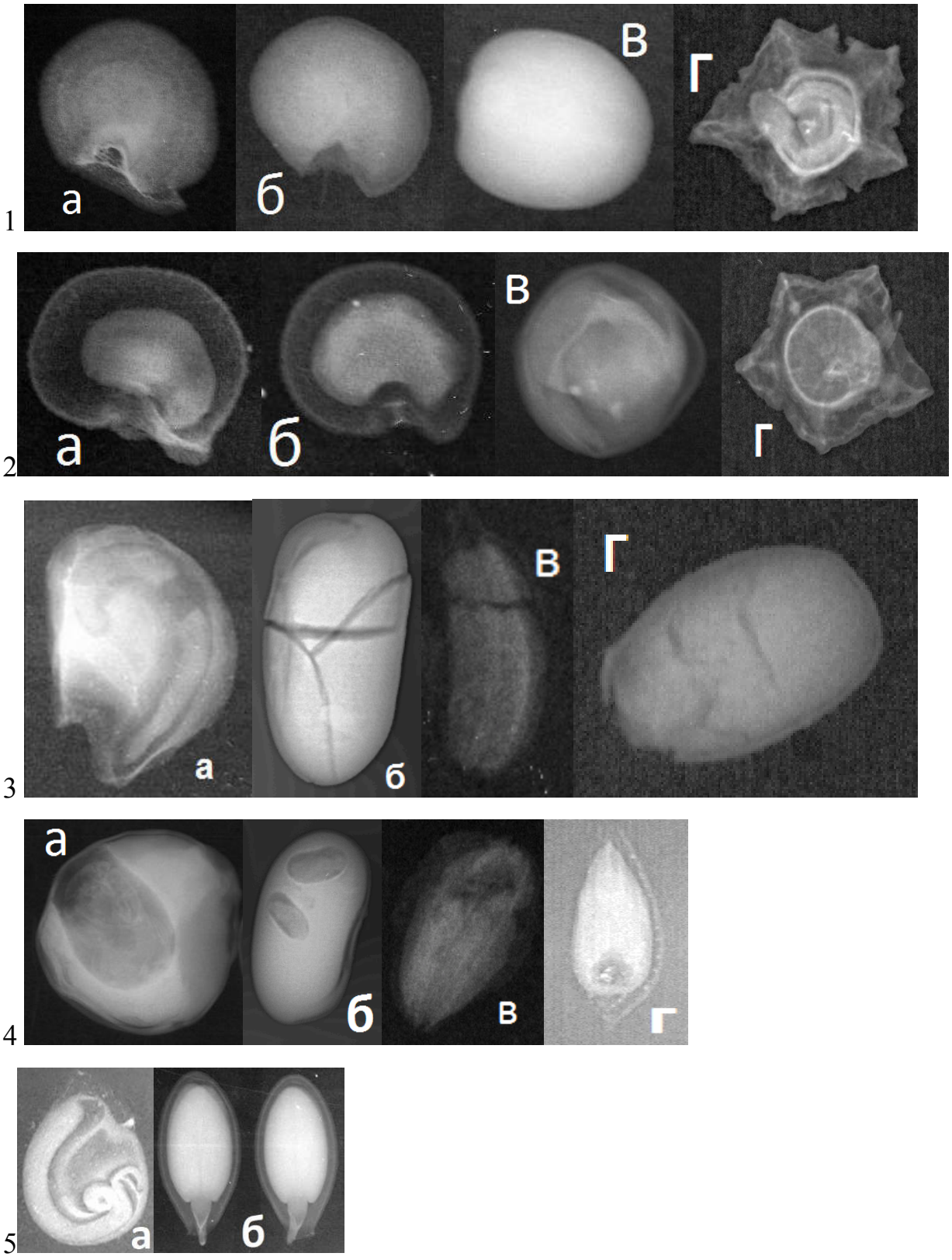


Рис. 1. Рентгенографические признаки семян различных овощных культур:
1) нормальные семена: а) перец, б) баклажан, в) капуста, г) свёкла;
2) невыполненные семена: а) перец, б) баклажан, в) капуста, г) свёкла;
3) травмированные семена: а) перец, б) баклажан, в) капуста, г) майоран;
4) поврежденные вредителями семена: а) перец, б) баклажан, в) капуста, г) салат;
5) внутреннее (скрытое) прорастание: а) томат, б) кабачок.

Дальнейшее усовершенствование метода позволит также успешно определить ряд значимых дефектов внутренней структуры семян: отслоение оболочки, отделенность семядолей, пересушку семян, характер внутренних повреждений с определением вида насекомых, их присутствие внутри семени, а также другие хозяйственно значимые признаки, влияющие на качество семян.

Заключение

Таким образом, метод микрофокусной рентгенографии позволяет идентифицировать и зафиксировать дефекты и аномалии внутренней структуры семян овощных культур по ряду хозяйственно значимых признаков, установить степень жизнеспособности анализируемых семян, а также выявить причины её снижения.

Полученные экспериментальные данные в перспективе позволят сформировать банк данных по рентгенпризнакам семян овощных культур.

Выявление наиболее информативных количественных признаков скрытой дефектности семян овощных культур предоставит возможность в дальнейшем разработать аппаратные средства для их автоматической скоростной сепарации.

Список литературы

1. Musaev F. B. Assessment of seed heterogeneity in vegetable plants by x-ray diffraction. Genetics and Plant Physiology. 2014. V. 4 (1–2). pp. 101–109.

2. Мусаев Ф. Б, Потрахов Н. Н., Потрахов Е. Н., Бессонов В. Б., Жамова К. К., Архипов М. В., Великанов Л. П. Применение микрофокусной рентгенографии для анализа качества семян овощных растений // Биотехносфера. 2015. № 2. С. 25–27.

3. Мусаев Ф. Б., Потрахов Н. Н., Архипов М. В. Рентгенография семян овощных культур. СПб., Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. 206 с.

4. Архипов М. В., Алексеева Д. И., Батыгин Н. Ф., Великанов Л. П., Гусакова Л. П., Дерунов И. В., Желудков А. Г., Николенко В. Ф., Никитина Л. И., Савин В. Н., Пономоренко Е. Н., Якушев В. П. Методика рентгенографии в земледелии и растениеводстве. М., РАСХН, 2001. 93 с.

5. Потрахов Н. Н. Метод и особенности формирования теневого рентгеновского изображения микрофокусными источниками излучения // Вестник новых мед. технологий. 2007. Т. XIV, № 3. С. 167–169.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АГРОЦЕНОЗОВ

О. Ф. Панфилова, А. И. Беленков, Н. В. Пильщикова

ФГБОУ «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева»

В полевых опытах Центра точного земледелия изучалась динамика изменения физиологических параметров формирования продуктивности растений. Пробы растений отбирались в соответствии со значениями NDVI. Установлено, что ведущим фактором в фотосинтетической продуктивности растений является не содержание пигментов, а фотосинтезирующая поверхность, в том числе площадь флагового листа.

PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF REMOTE SENSING OF AGROCENOSIS

O. F. Panfilova, A. I. Belenkov, N. V. Pilshchikova

Federal State Budgetary Educational Institution «Russian state agrarian University-MTAA named after K. A. Timiryazev»

In the field experiments of Precision Agriculture Centre, the dynamics of physiological parameters of the plant productivity formation has been studied. Samples of plants were taken in accordance with the NDVI values. We used the sowing with autopilot and differentiated top dressing of winter wheat with application of ammonium nitrate in the phase of spring tillering and grain filling by scanning GreenSeeker RT 200 и N-Sensor. Precision technology has been provided more effective application of fertilizers. Studied methods of tillage: dump and zero. According to the productivity of winter wheat, the dump tillage of the soil had a significant advantage over the zero. It is shown that the leading factor in photosynthetic productivity of plants is not the content of pigments, but photosynthetic surface, including the area of the flag leaf.

В современных условиях прецизионное растениеводство должно вносить существенный вклад в обеспечение продовольственной безопасности России. Машины и оборудование, способные осуществлять дифференцированное в пределах поля управление технологическими операциями, производятся множеством компаний. Однако информационно-технологическая база зарубежных разработок не подходит для почвенно-климатических условий России, и их результаты в большинстве случаев не могут быть использованы в практике российского земледелия (Якушев, 2016). Кроме того, на этапе проектирования дифференцированных по степени интенсификации технологий возделывания сельскохозяйственных культур и при оперативном управлении их продукционным процессом требуется обширная информация на уровне конкретного хозяйства. Решение данной проблемы возможно осуществить путем сопряженного анализа данных дистанционного зондирования и наземной регистрации хода продукционного процесса в фиксированных точках поля под определенной сельскохозяйственной культурой в сложившихся метеорологических условиях. Создание такого рода банка данных должно способствовать повышению эффективности дифференцированного внесения

удобрений, а также средств защиты растений от сорняков, вредителей и болезней.

В 2007 г. в рамках инновационного образовательного проекта в РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева был создан Центр точного земледелия (ЦТЗ), основными задачами которого являются отработка технологий, обучение студентов, комплексные научные исследования и внедрение их результатов в практику. Центр создан на базе «колыбели» отечественной агрономии – Полевой опытной станции, которая является старейшим научно-исследовательским учреждением России. Проведение научно-методической и производственной практики студентов на базе Центра точного земледелия позволяет будущим агрономам осваивать полевые методы исследований, применять методы комплексной оценки состояния посева, а также принимать решения по коррекции агротехнических технологий (Белошапкина, Панфилова, 2015).

Полевая опытная станция Университета находится в типичных для центрального региона России почвенно-климатических условиях Нечерноземной зоны. Основу ЦТЗ составляет полевой опыт по сравнительному изучению технологий точного и традиционного земледелия в рамках четырехпольного севооборота: викоовсяная смесь на корм – озимая пшеница с пожнивным посевом горчицы на сидерат – картофель – ячмень. На зерновых культурах изучаются два фактора – технология возделывания и приемы основной обработки почвы. Традиционная технология основана на использовании современной техники с соблюдением рекомендуемых параметров, сроков и нормативных показателей сплошного способа выполнения. Из технологий точного земледелия используются посев по навигатору и дифференцированная подкормка озимой пшеницы аммиачной селитрой в фазу весеннего кущения и налива зерна путем сканирования посева датчиками GreenSeeker RT 200 и N-Sensor. Изучаемые приемы обработки различаются между собой по интенсивности и характеру воздействия на почву (отвальная и нулевая).

В ЦТЗ на основе спутниковых снимков были составлены и проанализированы карты распределения биомассы на оцифрованных полях (NDVI-карты), выявлены участки с низкой вегетативной массой и определены их координаты. В результате были установлены координаты отбора проб для изучения физиологических параметров растений. Схема отбора проб состояла из 32-х точек с фиксированными координатами. Значения NDVI для озимой пшеницы различались по годам исследования, что может быть обусловлено изреживанием посевов при перезимовке. Чистая продуктивность фотосинтеза, содержание фотосинтетических пигментов в зеленых частях растения, а также показатели водного обмена и стабильности мембран определялись общепринятыми методами (Панфилова, Пильщикова, Фаттахова, 2010). Выделение однородных зон для дифференцированного применения азотных удобрений проводилось по методике, разработанной в Агрофизическом институте (Якушев, 2016).

В 2013–2015 гг. вне зависимости от технологии возделывания наибольшее количество растений было в варианте с отвальной обработкой. Разница между вариантами обработки почвы в пользу отвальной с использованием точной технологии составила 48 шт./м^2, традиционной – 56 шт./м^2. Оценка выхода электролитов из тканей листа показала, что период перезимовки прошел достаточно благополучно для растений. Выход электролитов из тканей листа не превышал 15%.

В фазе выхода в трубку в варианте с использованием точной технологии при отвальной обработке почвы NDVI варьировался от 0,72 до 0,91, при нулевой обработке – от 0,55 до 0,82; в варианте с применением традиционной технологии – от 0,45 до 0,87 и от 0,43 до 0,80 соответственно. На основании распределения биомассы по полю согласно NDVI-карты для физиологических исследований достаточно отобрать по три пробы с поля в тех местах, где наблюдаются отклонения цвета. Определение физиологических параметров растений дало возможность контролировать темпы формирования биологической массы и хозяйственно полезного урожая. Определение чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) проводилось по мере развития растений в три срока. Наиболее высокая ЧПФ была установлена в фазу выхода в трубку. На участках с значениями NDVI 0,8–0,9 она составляла 10–12 г/м^2 в сутки, при NDVI 0,4–0,5 – 6–7 г/м^2 в сутки вне зависимости от варианта опыта.

Детальное изучение содержания пигментов в динамике по фазам развития озимой пшеницы (Панфилова, Пильщикова, 2015) показало, что фотосинтетический аппарат во всех вариантах опыта был достаточно хорошо сформирован и не лимитировал процесс фотосинтеза. Наиболее высоким содержанием фотосинтетических пигментов растения характеризовались во время кущения, к началу фазы колошения содержание пигментов несколько снижалось. Соотношение хлорофиллов *a* и *b* составляло 2–3, что свидетельствует о формировании светолюбивого фотосинтетического аппарата. К началу фазы колошения возрастала доля хлорофилла *b*. Это, возможно, связано с затенением листьев. Тесной корреляции между показателями NDVI и содержанием хлорофилла в листьях не наблюдалось. Более заметной была разница между вариантами опыта. При использовании точной технологии с отвальной обработкой почвы в варианте с азотной подкормкой суммарное содержание хлорофиллов составляло 0,18%, без подкормки – 0,14%. Определение содержания каротиноидов в листьях не выявило различий между вариантами опыта.

Многолетние исследования показали, что ведущим фактором в фотосинтетической продуктивности растений является не содержание пигментов, а фотосинтезирующая поверхность, в том числе площадь флагового листа. Варианты опыта и неоднородность участков поля оказывают существенное влияние на данный параметр посева, который изменяется от 2,8 до 7,0 см^2, т. е. в 2,5 раза. Урожайность на отдельных участках поля также существенно варьируется (от 3,4 до 5,2 т/га). Водный обмен растений играет важную роль в формировании продуктивности посева, влияя на эффективность энергетического обмена и донорно-акцепторные отношения в целостном

растении. Оводненность тканей также оказывает существенное влияние на отражательную способность листа в инфракрасном диапазоне длин волн и, таким образом, на размеры NDVI. Это необходимо учитывать при интерпретации данных дистанционного зондирования.

Таким образом, несмотря на определенные успехи в области применения дистанционных методов при оценке состояния посевов, сдерживающим фактором их развития является сложная зависимость отражательной способности листьев от их площади и ориентации в пространстве, содержания пигментов, эффективности процессов запасания световой энергии в продуктах фотосинтеза и водного обмена растений (Massinon et al., 2014). Комплексное изучение связи между спектральными характеристиками, а также физиологическими и биометрическими параметрами сельскохозяйственных культур по конкретным полям в течение вегетации позволит повысить эффективность точного земледелия.

Список литературы

1. Белошапкина О. О., Панфилова О. Ф. Освоение современных технологий – основа качественного агрономического образования // Профессиональное образование: исторические традиции и современность. Пенза, Приволжский дом знаний, 2015. С. 13–17.

2. Панфилова О. Ф., Пильщикова Н. В. Фотосинтетическая продуктивность и водообмен озимой пшеницы в условиях точного земледелия // Материалы Международной научно-практической конференции «Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве». Киров, НИИСХ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, 2015. С. 414–418.

3. Панфилова О. Ф., Пильщикова Н. В., Фаттахова Н. К. Практикум по физиологии растений. М., РГАУ-МСХА, 2010. 110 с.

4. Якушев В. В. Точное земледелие: теория и практика. СПб., ФГБНУ АФИ, 2016. 364 с.

5. Massinon M. et al. The effect of surface orientation on spray retention // Precision Agriculture. 2014. V. 15, Issue 3. pp. 241–254.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ВЫСОКОГО СОДЕРЖАНИЯ КАРОТИНА В ОБРАЗЦАХ ТЫКВЫ И МОРКОВИ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ВИР ИМ. Н. И. ВАВИЛОВА

Т. М. Пискунова, Т. В. Хмелинская, А. Е. Соловьева

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова» (ВИР)

В отделе биохимии ВИР был проведен анализ накопления каротина в образцах тыквы и моркови. Установлено, что содержание каротина у сортов крупноплодной тыквы выше, чем у твердокорой и мускатной. Изучена закономерность в динамике содержания каротина у моркови в зависимости от сроков хранения. Выделены образцы моркови и тыквы в качестве исходного материала для селекции на повышенное содержание каротина.

GENETIC SOURCES WITH HIGH CONTENT OF CAROTENE IN THE ACCESSIONS OF SQUASH AND CARROT FROM THE VIR COLLECTION

T. M. Piskunova, T. V. Khmelinskaya, A. E. Solovyova

Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)

Carrots and pumpkin are a valuable food product due to the high content of carotene and biologically active substances with antioxidant properties. The content of these substances in accessions of *Cucurbita ssp*. and carrot from the collection of VIR has been determined. A higher amount of carotenoids was contained in accessions of *Cucurbita maxima* Duch.: average content of carotenoids – 6,7 mg/100 g, a maximum – 20.2 mg/100 g. Carotenes are the main components in the carotenoid composition of C. maxima, the average is 53.5%. The high content of carotenoids and carotene was largely typical of early-maturing varieties with small fruits weighing from 1 to 3.5 kg. The average content of carotenoids in samples of *C. pepo* L. amounted to 4.59 mg/100 g, carotene – 2.54 мг/100 g, β-carotene –1.43 mg/100 g. The content of carotenoids in fruits of *C. moschata* Duch. ex Poir varied from 0,87 to 19.2 mg/100 g, carotene – from 0,22 to 14.49 mg/100 g, β-carotene – from 0.03 to 2.19 mg/100 g. Sources of the high content of carotene are Slastena (k-4935, Russia), Local (k-2787, Russia), Muskatnaya-51–27 (k-3362, Bulgaria), Local (k-4585, Bangladesh), Red small (t.k-2079, China). We studied the variability of the carotene content in different carrot types depending on the storage time. The increase in the content of carotene was typical of all carrot types. The content of carotene slightly decreased in autumn and winter. A group of varieties contained in the roots from 9,57 to 16,68 mg/100 g of carotene by the end of the storage period is relieved. Varieties Selbstung (k-2327, Germany), Losinoostrovskaya-13 (k-2017, Russia) and № 476 (k-2715, Denmark) are recommended as initial material for breeding to increase carotene content during prolonged storage.

Тыква и морковь играют чрезвычайно важную роль в питании человека. Они являются источником биологически активных веществ – каротиноидов, которые благодаря своим антиоксидантным свойствам способствуют укреплению иммунитета, снижают риск инфекционных заболеваний и повышают адаптационные возможности организма (Fiedor, Burda, 2014).

Установлено, что плоды тыквы содержат преимущественно β-каротин, лютеин и виолаксантин (Nakkanong, Zhang, 2012; Zhang et al., 2014). При определении каротиноидного состава обнаружено 19 каротиноидов у сортов мускатной тыквы и 11 каротиноидов у сортов крупноплодной тыквы. β-каротин был основным каротиноидом у мускатной тыквы и составлял примерно 70% от среднего общего содержания каротиноидов, у крупноплодной данный показатель составлял от 20 до 60% (Arima, Rodríguez-Amaya, 1990). Содержание каротиноидов повышается по мере созревания плодов, во время хранения также происходит непрерывное накопление каротиноидов (Masayo, Ryanosuke, 1988; Zhang et al., 2014).

В 2011–2014 гг. был проведен анализ содержания каротиноидов, каротина и β-каротина в плодах тыквы, выращенных в условиях Пушкинских лабораторий ВИР.

Плоды тыквы разных образцов неоднородно накапливали каротиноиды, отмечено их значительное колебание от 0,27 до 20,2 мг/100 г при среднем содержании по всей коллекции 6,1 мг/100 г. Более высоким накоплением каротиноидов характеризовались образцы крупноплодной тыквы (*Cucurbita maxima* Duch.). Среднее содержание каротиноидов у образцов данного вида составило 6,7 мг/100 г, максимальное – 20,2 мг/100 г. В общем составе каротиноидов у большинства образцов крупноплодной тыквы каротины занимают ведущее положение, в среднем составляют 53,5%, а у 24-х образцов (27% от об общего числа) – более 70%. Содержание β-каротина колебалось от 0,025 до 10,46 мг/100 г и составило от 4,5 до 96,5% от общего содержания каротина. Наиболее высоким содержанием β-каротина характеризовались образцы Сластена (к-4935, ВИР), Местная (к-4919, Казахстан) и Ждана (к-5017, Украина). Высоким содержанием каротиноидов и каротина отличались образцы

крупноплодной тыквы Ждана (к-5017, Украина), Местная (к-4919, Казахстан), Салля-каду (к-3788, Узбекистан), Юстинка (Польша), Marina di Chiodggia (к-3468, Италия), Сластена, Марсианка, Дюймовочка и Волшебная карета (сорта селекции ВИР), Красная новинка (вр. к-2077), Зеленая столовая (вр.к-2080), Красная (вр.к-2072), Черная ценная (вр. к-2075), Красная маленькая (вр.к-2079), Золотое сердце (вр. к-2073), Зеленая звезда (вр. к-2074), Красный чемпион (вр. к-2078) и Красная драгоценность (вр. к-2076) из Китая. Выявленные образцы крупноплодной тыквы имеют разное географическое происхождение, однако следует отметить, что 50% из них происходят из Китая. По-видимому, указанный признак является одним их приоритетных в селекции китайских столовых сортов. Сорта селекции ВИР также характеризуются высоким содержанием каротиноидов, так как при создании данных сортов основное внимание уделялось качеству продукции. Характерно, что высокое содержание каротиноидов и каротина в большей степени было свойственно раннеспелым сортам с некрупными плодами массой от 1 до 3,5 кг. Образцы с крупными плодами (так называемого кормового направления) отличались низким содержанием данных веществ (2,4–4,6 мг/100 г, в отдельных случаях до 8 мг/100 г).

Значительно меньшее количество каротиноидов накапливают образцы твердокорой тыквы. Среднее содержание каротиноидов у образцов данного вида составило 4,59 мг/100 г, каротинов – 2,54 мг/100 г, β-каротина – 1,43 мг/100 г. Среди них выделились четыре образца с повышенным содержанием каротиноидов: Местная (к-4916, Чили) – 11,75 мг/100 г; Мозолеевская 49–9,49 мг/100 г; к-4961 (США) – 9,44 мг/100 г; Местная из Мордовии (к-4962) – 9,30 мг/100 г. Наиболее примечательным является местный образец из Чили, в каротиноидном составе которого преобладает *β*-каротин (61,3%).

Образцы мускатной тыквы занимают промежуточное положение. Содержание каротиноидов у них варьировалось от 0,87 до 19,2 мг/100 г (среднее – 4,65), каротина – от 0,22 до 14,49 мг/100 г (среднее – 2,43),

β-каротина – от 0,03 до 2,19 мг/100 г (среднее 2,19). Содержание *β*-каротина у мускатной тыквы составило в среднем 0,52 мг/10 г (максимальное – 2,19 мг/100 г) и было значительно ниже, чем у образцов двух других видов, что, по-видимому, объясняется позднеспелостью, присущей сортам мускатной тыквы. Среди изученных образцов мускатной тыквы по содержанию каротиноидов выделяются два образца: Мускатная 51–27 (к-3362, Болгария) – 18,1 мг/100 г и Местная (к-4585, Бангладеш) – 19,2 мг/100 г.

Повышенная концентрация каротина в корнеплодах является одним из основных показателей качества моркови. Преобладающими каротиноидами в оранжевой моркови являются *α*- и *β*-каротины (Surles, 2004). Установлено, то накопление каротиноидов в корнях существенно зависит от генотипа моркови. Поздние и среднепоздние сорта характеризуются более высоким накоплением каротиноидов по сравнению с ранними (Matějková, Petříková, 2010). Содержание каротина в корнеплодах моркови увеличивается по мере их созревания, медленно возрастает в течение 100-дневного хранения, но впоследствии снижается (Lee, 1990; Kidmose et al., 2004).

В настоящем исследовании содержание каротиноидов у образцов моркови колебалось от 5,65 до 28,72 мг/100 г, среднее содержание составило 14,48 мг/100 г. Доля каротина в общем содержании каротиноидов составляла 79,7–99,3%. Основным изомером каротина у моркови является *β*-каротин, он же обладает наибольшей биологической активностью как провитамин А. Содержание β-каротина в общем каротине в настоящем исследовании составило от 10,7 до 87,5%.

Наилучшими показателями по количественному и качественному составу каротиноидов характеризовались следующие образцы: Шантене (к-1285, Россия) – 16,74 мг/100 г, Грибовская (к-1307, Россия) – 21,37 мг/100 г, Арамильская (к-1605, Россия) – 28,72 мг/100 г, Naga (к-845, Япония) – 16,33 мг/100 г, Tip Top (к-2332, Нидерланды) – 17,35 мг/100 г, Принцесса (к-2893, Россия, ВИР) – 19,05 мг/100 г, Император № 1 (к-2900, Россия) – 16,19 мг/100 г.

Для выявления особенностей варьирования содержания каротина в процессе хранения был проведен биохимический анализ корнеплодов моркови в сентябре-октябре (1-й срок), декабре-январе (2-й срок) и мае-июне (3-й срок).

В зависимости от сорта и срока анализа содержание каротина изменялось от 7 до 18 мг/100 г. Сразу после уборки корнеплодов содержание каротина у большинства сортов не превышало 10 мг/100 г. В процессе хранения в течение трех-четырёх месяцев у всех сортов проходил активный биосинтез каротина, и качество корнеплодов улучшалось. К концу периода хранения у 75% проанализированных сортов содержание каротина снова снижалось до 10 мг/100 г и менее. Выявлено 10 сортов, у которых к концу периода хранения в корнеплодах содержалось от 9,57 до 16,68 мг/100 г каротина: Selbstung (к-2327, Германия), Местная (к-2456, Йемен), Camillo R.S. F1 (к-2471, Нидерланды), Suko (к-2561, Великобритания), Feonia Banta (к-2562, Дания), Asmer Super Sprite (к-2712, Великобритания), № 476 (к-2715, Дания), Chantenay Supreme Long Type 86 (к-2730, США), Narbonne F1 (к-2731, Нидерланды), Fontana F1 (к-2732, Нидерланды).

Образцы тыквы и моркови из коллекции ВИР, характеризующиеся высокими показателями содержания ценных биологически активных веществ, рекомендуются в качестве исходного материала для селекции.

Список литературы

1. Arima H. K., Rodríguez-Amaya D. B. Carotenoid composition and vitamin A value of a squash and a pumpkin from northeastern Brazil // Arch Latinoam Nutr. 1990. № 40 (2). pp. 284–92.

2. Fiedor J., Burda K. Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease // Nutrients. 2014. № 26. pp. 466–488.

3. Kidmose U., Hansen S. L., Christensen L. P., Edelenbos M., Larsen E., Norbek R. Effects of genotype, root size, storage, and processing on bioactive compounds in organically grown carrots (Daucus carota L.) // J. Food Sci. 2004. № 69 (9). pp. 388–394.

4. Lee C. Changes in carotenoid content of carrots during growth and post-harvest storage // Food Chem. 1990. № 20 (4). pp. 285–293.

5. Matějková J., Petříková K. Variation in content of carotenoids and vitamin C in carrots // Notulae Scientia (Biologicae). 2010. № 2 (4). pp. 88–91.

6. Masayo K., Ryanosuke S. Accumulation of Carotenoids in Squash // Journal of Home Economics of Japan. 1988. V. 39, № 10. pp. 1059–1064.

7. Nakkanong K., Yang J.H., Zhang M.F. Carotenoid accumulation and carotenogenic gene expression during fruit development in novel interspecific inbred squash lines and their parents // J. Agric. Food Chem. 2012. № 60. pp. 5936–5944.

8. Surles,R. et al. Carotenoid profiles and consumer sensory evaluation of specialty carrots (Daucus carota L.) of various colors // J. Agric. Food Chem. 2004. V. 52 (11). pp. 3417–3421.

9. Zhang M. K., Zhang M. P., Marzourek M., Tadmor Y., Li L. Regulatory control of carotenoid accumulation in winter squash during storage // Planta. 2014. № 240. pp. 1063–1074.

ВЛИЯНИЕ УРОВНЕЙ УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВЫ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В УЗЛАХ КУЩЕНИЯ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР ПРИ ВЫХОДЕ ИЗ ЗИМОВКИ

А. В. Поморцев, Н. В. Дорофеев, Л. Г. Соколова, С. Ю. Зорина

ФГБНУ «Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук», 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132, а/я 317

В период весеннего отрастания при недостатке почвенной влаги у пшеницы отмечены снижение оводненности тканей, незначительный рост содержания свободного пролина и наибольший процент гибели растений по сравнению с рожью и тритикале. На этом этапе вегетации снижение содержания сахаров у всех изученных озимых культур позволяют предположить, что сахара не определяют различия в устойчивости к недостатку почвенного увлажнения.

EFFECT OF SOIL MOISTURE LEVELS ON PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PROCESSES IN TILLERING NODES OF WINTER CROPS AT THE END OF WINTERING

A. V. Pomortsev, N. V. Dorofeev, L. G. Sokolova, S. Yu. Zorina

Federal State Budgetary Institution of Science Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132, PO Box 317, Lermontov St., Irkutsk, 664033

The influence of moistening levels of gray forest medium loamy soil (30, 60, 90% of field moisture capacity) on the initial growth processes and physiological and biochemical changes in the tillering nodes of winter wheat, rye and triticale has been studied under the controlled conditions of the vegetative experience in the climate chamber «CLF Plant Climatics». The simulation of the period of winter crops spring regrowth showed that in the absence of soil moisture in wheat, in contrast to rye and triticale, the greatest percentage of plant death has been registered. This process was accompanied by a decrease in the water content of tissues and a slight increase in the free proline content. Under the conditions of optimal and excessive soil moisture, the survival of wheat increased in comparison with other crops, and there was no difference in proline content. The obtained results indicate the protective role of this amino acid in winter crops at the stage of the end of wintering with a lack of moisture in the soil. The slight differences between the variants of the experiment on the content of water-soluble carbohydrates in the tillering nodes during the winter crops growth let us suggest that sugars are not a key factor determining the plants resistance to a lack of soil moistening at this stage of vegetation.

В течение зимовки в условиях Восточной Сибири у озимых культур наблюдаются значительные повреждения надземной части и корней растений. Так, у озимой пшеницы надземная часть растений отмирает полностью. Повреждение корней и листьев не приводит к гибели растений, поскольку основным органом регенерации утратившихся частей является узел кущения (Дорофеев и др., 2004). Процесс отрастания озимых культур начинается при среднесуточных температурах выше 0…5°С. Данный период обычно сопряжён с быстрым иссушением верхнего слоя почвы и характеризуется недостатком влаги для нормальной регенерации корневой системы растений. Недостаточное и избыточное увлажнение почвы вызывает различные биохимические, молекулярные, физиологические и морфологические изменения у взрослых растений, влияние которых зависит от стадии и степени стресса (Nezhadahmadi et al., 2013). Тем не менее, в литературе отсутствуют данные о роли влажности почвы в возобновлении ростовых процессов озимых культур в весенний период. Таким образом, целью настоящего исследования является изучение влияния уровней увлажненности почвы на физиолого-биохимические изменения узлов кущения озимых зерновых культур при выходе из зимовки.

В эксперименте изучались узлы кущения следующих озимых культур: пшеница (сорт Иркутская), тритикале (сортообразец № 430-6002) и рожь (сортообразец № 6). Исследования проводились в условиях контролируемого температурного режима (камера CLF Plant Climatic). В первую декаду опыта дневная температура составляла 10°С, а ночная – 6°С, во вторую и третью декады – соответственно 15 и 10°С. Для исследований использовали серую лесную среднесуглинистую почву: $C_{общ.} = 1.86\%$, $N_{общ.} = 0.18\%$, $pH_{сол} = 5.8$, сумма обменных оснований – 23.2 мг экв/100 г. Уровни увлажнения воздушно-сухой почвы моделировались в трёх градациях (30, 60 и 90% от предельной полевой влагоёмкости – ППВ). Узлы кущения высаживались в сосуды с почвой из расчета 500 штук на $м^2$. Содержание свободного пролина определялось по методу Бейтса (Bates, 1973). Для анализа водорастворимых углеводов

применялся антроновый метод (Дише, 1967). Все экспериментальные данные были подвергнуты статистической обработке (Sigma Plot 12.5).

Гибель растений увеличивалась при почвенной влажности 30% ППВ и достигала минимальных значений к концу эксперимента вне зависимости от видовой принадлежности (по сравнению с 60% и 90% ППВ) (табл.). Также при недостатке почвенной влаги снижалось содержание воды в тканях узлов кущения, в то время как в остальных вариантах этого не происходило. При 30% от ППВ были отмечены снижение оводненности тканей и наибольший процент гибели всех видов озимых. У пшеницы при недостаточном увлажнении почвы данные показатели были достоверно ниже, чем у ржи и тритикале.

Таблица. **Выживаемость растений и оводненность тканей узлов кущения в зависимости от уровня увлажнения почвы.**

Сроки отбора	Пшеница			Рожь			Тритикале		
	% от ППВ								
	30	60	90	30	60	90	30	60	90
Выживаемость, %									
10 дней	100	93	93	87	93	90	93	100bc	97
20 дней	47f	43s	63	47df	63	73	73bc	73	70
30 дней	10df	30s	60	27adf	47a	50	40cbdf	70cb	77cb
Оводненность, %									
10 дней	76	75	81	73df	79	80	76	77	81
20 дней	68df	78	81	74adf	79s	84	76c	81	82
30 дней	61df	80	81	69adf	78s	82	69cdf	82	84

Здесь и на рисунке значения представлены в виде медианы. Для выявления статистически значимых различий использован метод критерий Краскела-Уоллиса с последующей процедурой множественного сравнения Стьюдента-Ньюмана-Кейлса ($n = 5$). Буквами обозначены статистические значимые различия при $p < 0,05$: a – рожь отличается от пшеницы; b – рожь отличается от тритикале; c – тритикале отличается от пшеницы; d – 30% отличается от 60%; f – 30% отличается от 90%; s – 60% отличается от 90%.

Осмотическое регулирование является основным компонентом физиологических механизмов, с помощью которых растения реагируют на дефицит воды в почве (Marijuan, Bosch, 2013). Данный механизм основан на накоплении различных веществ (пролин, полиамины и др.), которые

способствуют поддержанию внутриклеточного водного баланса и сохранению целостности белков, ферментов и клеточных мембран (Yoshiba et al., 1997). В течение первых 10-ти дней эксперимента при 30% от ППВ содержание пролина увеличивалось у всех культур, однако у ржи и тритикале его рост был более выражен (рис.). На протяжении последующих 20 дней концентрация пролина у пшеницы и тритикале оставалась на одном уровне, а у ржи его содержание достоверно снижалось. К концу эксперимента содержание данной аминокислоты уменьшалось у пшеницы и тритикале, а у ржи, напротив, увеличивалось. Повышение содержания пролина при 60 и 90% от ППВ в первые 10 дней было отмечено только у пшеницы и тритикале. В период последующих двух декад содержание пролина снижалось, и к концу эксперимента его показатель достигал минимальных значений.

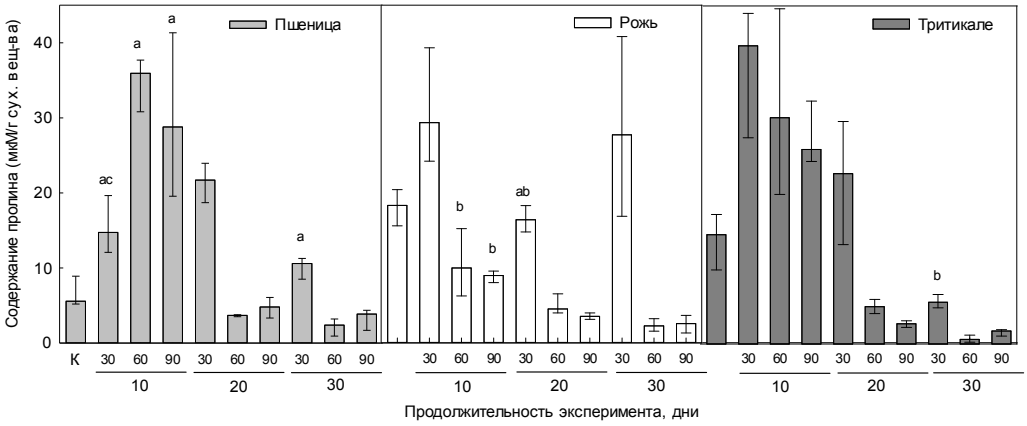


Рис. Изменение содержания свободного пролина в зависимости от уровней увлажнения почвы в узлах кущения в период отрастания, мкМ/г сухого вещества. Барами представлены 75 и 25 процентили. К – исходная точка; 30, 60 и 90 – % от ППВ.

Полученные данные дают основание предположить, что у ржи и тритикале высокое (по сравнению с пшеницей) содержание пролина в узлах кущения в первые десять дней весенней вегетации обуславливает различия озимых по степени устойчивости к дефициту почвенной влаги. Известно, что пролин, участвующий в осмотической регулировке, помогает поддерживать тургор в клетке (Yoshiba et al., 1997), защищает ферменты и клеточные

структуры и действует как поглотитель свободных радикалов (Kaur, Asthir, 2015).

Углеводы используются не только как питательные вещества, но также участвуют в защитной реакции при абиотических стрессах (Vijn, Smeekens, 1999; Pérezetal, 2001). Так, перед началом эксперимента содержание водорастворимых углеводов в узлах кущения пшеницы составляло 16.8%, у ржи – 26.1%, у тритикале – 15.4%. Вне зависимости от видовой принадлежности и уровней увлажнения почвы количество сахаров снижалось и достигало минимального значения к концу эксперимента. У пшеницы концентрация сахаров при 30, 60 и 90% от ППВ составляла 3.6, 2.6, 2.8%, у ржи – 4.3, 5.9, 4.1%, у тритикале – 4.6, 4.0 и 4.1%. Можно полагать, что в настоящем эксперименте водорастворимые углеводы обеспечивали необходимую энергию и углеродный пул для ростовых процессов.

Таким образом, полученные данные показывают, что накопление пролина в узлах кущения озимых злаков играет важную роль в защите растительных клеток от вододефицита при выходе растений из зимовки.

Список литературы

Дорофеев Н. В., Пешкова А. А., Войников В. К. Озимая пшеница в Иркутской области. Иркутск, Арт-Пресс, 2003. 151 с.

Дише З. Общие цветные реакции. Метод химии углеводов. М.: Мир, 1967. С. 21–24.

Kaur G., Asthir B. Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance // Biolog. Plant. 2015. V. 59. pp. 609–619.

Bates L. S., Waldren S. P., Teare I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies // Plant Soil. 1973. V. 39. pp. 205–207.

Yoshiba Y., Kiyosue T., Nakashima K., Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozakj K. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress // Plant Cell Physiol. 1997. V. 38. pp. 1095–1102.

Vijn I., Smeekens S. Fructan: More than a reserve carbohydrate? // Plant Physiol. 1999. V. 120. pp. 351–360.

Pérez P., Morcuende R., Martín del Molino I., Sánchez de la Puente L., Martínez-Carrasco R. Contrasting responses of photosynthesis and carbon metabolism to low temperatures in tall fescue and clovers // Physiol. Plant. 2001. V. 112. pp. 478–486.

Marijuan M. P., Bosch S. M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants // Trends Plant Sci. 2013.V. 18. pp. 660–666.

УДК: 631. 52: 635. 21 (571. 61)

ИТОГИ ПРАКТИЧЕСКОЙ СЕЛЕКЦИИ КАРТОФЕЛЯ В ПРИАМУРЬЕ

О. М. Рафальская, С. В. Рафальский

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»,

675027, Россия, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 19

E-mail: amursoja@gmail.com

В статье представлены результаты экспериментальной работы по созданию селекционного материала картофеля и его оценки по хозяйственно ценным признакам, в частности, оценка сортимента культуры (коллекции). Приведён селекционный материал, изучаемый в питомниках по схеме селекционного процесса. Отмечены гибридные комбинации, превышающие стандарты по комплексу позитивных признаков. Два сорта картофеля столового назначения созданы и приняты к Госсортоиспытанию.

RESULTS OF PRACTICAL POTATO SELECTION IN AMUR REGION

O. M. Rafalskaya, S. V. Rafalskyi

All-Russian Scientific Research Institute of Soybean

The article presents the results of experimental work on the creation of a selection potato material and its evaluation on economically valuable traits, in particular, evaluation of the assortment of culture (collections). The selection material studied in nurseries according to the selection process scheme is given. Hybrid combinations exceeding the standards for a set of positive have been identified. Two varieties of table potatoes have been created and approved for the State Sourcing Test.

Картофель – сельскохозяйственная культура универсального использования. Прежде всего, он является одним из основных продуктов питания человека. В Приамурье в настоящее время площадь, занятая под картофелем, составляет около 21,5 тысячи га со средней урожайностью 19,8 т/га. Стабильно высокие урожаи клубней картофеля высокого качества могут быть достигнуты не только за счет повышения плодородия почв и улучшения культуры земледелия, но и посредством создания и внедрения в производство новых высокоурожайных сортов. За последние 50 лет сорт стал одним из определяющих факторов эффективности современного растениеводства (Симаков, Яшина, Склярова, 2007).

При внедрении в производство новых улучшенных сортов увеличивается урожайность, повышаются адаптивность растений к неблагоприятным условиям среды, устойчивость к вредителям и болезням, выход и качество

продукции. В связи с этим возникает необходимость в том, чтобы один сорт одновременно характеризовался продуктивностью, устойчивостью к неблагоприятным условиям среды и вредным организмам и высокими показателями качества клубней (Жученко, 2001).

Селекционная работа по картофелю впервые на российском Дальнем Востоке была начата в середине прошлого столетия в ДальНИИСХ, затем – на Дальневосточной опытной станции ВИР, Приморской и Биробиджанской опытных станциях и в 1973–1975 гг. – на Камчатке и Сахалине. Существенный вклад в разработку приемов и методов проведения селекционных работ по созданию сортов и гибридов картофеля, приспособленных к сложным почвенно-климатическим условиям региона, внесли Е. С. Сущинская, Е. П. Киселев, Б. Г. Анненков, А. К. Новоселов, С. А. Клевцова и другие дальневосточные селекционеры. В настоящее время в Дальневосточном федеральном округе наряду с сортами инорайонной селекции культивируются местные продуктивные сорта, созданные с применением как традиционных, так и современных методов селекции.

В результате исследований, проведенных во ВНИИ сои при творческом участии сотрудников ВНИИКХ им. А. Г. Лорха, а также Дальневосточного, Приморского и Камчатского научно-исследовательских институтов сельского хозяйства, в текущем десятилетии впервые в Приамурье осуществлена научно-исследовательская работа по практической селекции картофеля, изучен исходный материал и на основе комплексной оценки эколого-морфологических и хозяйственно ценных признаков подобраны и включены в гибридизацию при различном комбинационном скрещивании родительские формы, отработана техника скрещивания растений с учетом местных условий. усовершенствована технология селекционного процесса, развернута его поэтапная схема и получен перспективный селекционный материал.

Селекция картофеля проводится методом педигри с вовлечением в гибридизацию сложных межвидовых гибридов и скрещиванием определенных

родительских форм с последующим индивидуальным отбором и испытанием потомства по схеме селекционного процесса.

Подбор родительских пар для скрещивания и анализ их комбинационной ценности осуществляются по принципу эколого-географической отдаленности на основании комплексной оценки морфологических и хозяйственно ценных признаков сортов и гибридов, а также изучения их родословной (Кулаков, 2004).

Изучение сортов имеющегося генофонда отечественной и зарубежной селекции позволило выделить перспективные по хозяйственно ценным и эколого-морфологическим признакам селекционные сорта и отселектированные гибриды для использования их в качестве исходных родительских форм.

Установлены наиболее продуктивные сорта различных групп спелости, характеризующиеся повышенной крахмалистостью и высокими качественными показателями клубней: Скороплодный, Ривьера, Огниво, Каратоп, Очарование, Талисман, Рябинушка, Мустанг, Журавинка, Зольский, Вдохновение и другие, урожайность которых составляла от 32,0 до 39,5 т/га.

При оценке изучаемого генофонда картофеля на скороспелость определены сорта, обладающие наряду со способностью формирования ранней товарной продукции (хозяйственной скороспелостью) другими хозяйственно полезными признаками (стабильно высокой урожайностью, повышенной крахмалистостью, лучшими вкусовыми качествами): Алёна, Каратоп, Любава, Одиссей, Крепыш, Импала, Скороплодный, Ривьера и другие.

В результате оценки пораженности испытываемого сортимента картофеля вредоносными болезнями (фитофторозом, резоктониозом, альтернариозом) установлены сорта, отличающиеся повышенной устойчивостью к фитопатогенам: Сапрыкинский, Холмогорский, Роко, Кетский, Родрига, Луговской, Любава, Вулкан и другие.

Проведена гибридизация картофельных растений по 130-ти комбинациям родительских пар, подобранных по комплексу позитивных биолого-

хозяйственных признаков и морфологических свойств (продуктивности, крахмалистости, устойчивости к фитопатогенам, форме куста, компактности гнезда и др.), и получено семенное гибридное потомство.

При отработке техники скрещивания растений экспериментально установлено, что наиболее обильное ягодообразование происходило при проведении скрещивания в утренние часы при пасмурной погоде с температурой воздуха 18–22°С и относительной влажностью 70–80% (оно составляло 12,5–17,0%). Результативность гибридизации в других условиях скрещивания снижалась до 3,8–11,2%.

В питомнике одноклубневок по результатам изучения в 2010–2013 гг. гибридов первого года в количестве 590 номеров для дальнейшего изучения по комплексу позитивных признаков гнезда и клубней было отобрано 139 гибридных комбинаций. В результате изучения в питомнике гибридов второго года 450-ти гибридных комбинаций были отобраны перспективные по совокупности хозяйственно полезных признаков формы: 205 гибридов, превышающих по продуктивности стандарты; 124 гибрида, идентифицированных по признакам скороспелости; 110 гибридов, обладающих повышенной полевой устойчивостью к основным болезням. Предварительное испытание отобранных гибридных популяций позволило выявить 28 гибридов с повышенной урожайностью и наибольшей устойчивостью к основным фитопатогенам. У отмеченных номеров гибридных комбинаций сформировался урожай клубней на уровне 29,8–50,6 т/га при товарности 96,0–99,8%. Установлено 16 гибридов, превосходящих стандарты по вкусовым качествам и пищевым достоинствам, а также 24 гибридные комбинации, отличающиеся способностью к формированию раннего товарного урожая. Наиболее высокая продуктивность отмечена у гибридов Raia × Солнышко (42,0 т/га), Никулинский × Yohanna (46 т/га), Рождественский × Синева (48,7 т/га), Крокус × Чародей (49,6 т/га) и Никулинский × 1976–36 (49,8 т/га). Максимальной товарностью отличались гибридные комбинации: Юбилей Жукова × Петербургский, Эффект × Адретта, Крокус × Чародей,

Синева × Пушкинец и другие. Повышенным содержанием крахмала и сухого вещества в клубнях характеризовались гибриды: Чародей × Валовецкий (16,8%; 22,4%), Runna × Резерв (17,6%; 23,2%) и Producent × Шурминский (20,5%; 23,9%). В 2017 г. приняты к Госсортоиспытанию по Дальневосточному региону два среднеспелых сорта картофеля столового назначения Валесинка и Алим с потенциальной урожайностью 48,0–59,0 т/га, крахмалистостью клубней 17,0–18,9% и массой товарного клубня 120–150 г.

В результате проведения работ по практической селекции картофеля в условиях Приамурья накоплен селекционный материал, определяющий реальные перспективы создания местных сортов с повышенной адаптационной способностью, комплексом полезных хозяйственных признаков и высокими потребительскими качествами.

Список литературы

1. Симаков Е. А., Яшина И. М., Склярова Н. П. Селекция картофеля в России: общие тенденции и достижения // Достижения науки и техники АПК. 2007. № 7.

2. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). М., 2001. Т. I. С. 779–100.

3. Кулаков И. П. О методах селекции картофеля // Селекция и семеноводство. 2004. № 2. С. 35–36.

УДК 635.21:631.521 (571.61)

ОЦЕНКА СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПРИАМУРЬЯ

С. В. Рафальский, Т. В. Мельникова

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»,

675027, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 19

E-mail: amursoja@gmail.com

В статье представлены результаты оценки изучаемых сортов картофеля по фотосинтетической активности растений, выраженной квантовым выходом фотосинтеза. Установлена определенная зависимость формирования урожая клубней от фотосинтетической деятельности растений картофеля.

ASSESSMENT OF POTATO VARIETIES BY INDICATORS OF PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF PLANTS UNDER THE CONDITIONS OF AMUR RIVER REGION

S. V. Rafalskyi, T. V. Melnikova

All-Russian Scientific Research Institute of Soybean

The article presents the results of the assessment of potato varieties under study on the photosynthetic activity of plants, expressed by the quantum yield of photosynthesis. As a result of the studies, a definite dependence of the formation of the tuber yield on the photosynthetic activity of potato plants has been detected.

Агроэкологическая оценка сортов и гибридов картофеля с целью выбора источников в качестве лучших родительских форм в значительной степени определяет результативность практической селекции культуры [1].

Изучение исходного материала, как правило, осуществляется по целому комплексу позитивных хозяйственных и морфологических признаков [2].

Изучение изменчивости основных признаков в специфических условиях Приамурского региона позволяет установить приоритеты при создании местных сортов. Основными направлениями селекционной работы по картофелю являются селекция на повышенную клубневую продуктивность, устойчивость к патогенам, скороспелость и крахмалистость.

В результате исследований, провидимых с 2005 г., установлены сорта различных групп спелости, обладающие повышенной клубневой продуктивностью, хорошими качественными показателями клубней и

достаточно высокой полевой устойчивостью к основным болезням в условиях Приамурья: При-12, Удача, Большой Хинган, Лина, Сибирячка, Снегирь, Цветок Хэйхэ, Жуковский ранний, Елизавета, Лыбидь, Алмаз, Ветеран и другие с урожайностью в пределах 25,0…36,1 т/га.

В рамках программы по селекции картофеля с 2010 г. проводятся исследования по оценке фотосинтетической продуктивности растений изучаемого сортимента культуры с целью отбора сортов, обладающих высокой активностью фотосинтетического аппарата растений и способных к формированию высокого урожая клубней, для вовлечения наиболее перспективных из них в селекционный процесс.

Для этого наряду с учетом площади ассимиляционной поверхности растений изучаемых сортов, расчетами фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности фотосинтеза определялся квантовый выход фотосинтеза (Fv/Fm), показатели которого позволяют установить эффективность первичных процессов фотосинтеза. Для определения квантового выхода использовался анализатор Mini-PAM, Walz, Germany. Определения проводились на 10-ти растениях каждого изучаемого сорта в четырехкратной повторности в период формирования максимальной площади листовой поверхности.

В результате определений установлено, что значения показателей квантового выхода фотосинтеза варьировались от 0,6144 до 0, 7640 единиц в зависимости от сорта. При этом квантовая эффективность фотосинтеза ряда сортов в среднем за 2014–2016 гг. была достаточно высокой (0,7180…0,7640 ед.) и приближалась к оптимальной величине (0,83 ед.).

Максимальные значения квантового выхода фотосинтеза отмечены у сортов Жуковский ранний (0,7456 ед.), При-12 (0,7560 ед.), Снегирь (0,7576 ед.), Фреско (0,7565 ед.), Кэй Синь-4 (0,7571 ед.), Большой Хинган (0,7576 ед.), Ветеран (0,7640 ед.) и Луговской (0,7640 ед.). У стандартного сорта Невский данный показатель составил 0,6758 ед.

Клубневая продуктивность отмеченных сортов находилась на уровне 27,6…34,8 т/га.

Максимальной урожайностью, которая составляла 30,5…34,8 т/га, отличались сорта Фреско, Большой Хинган, Ветеран и Луговской. У раннеспелого сорта Удача и среднераннего сорта Невский данный показатель составлял соответственно 29,8 т/га и 28,4 т/га.

Таким образом, фотосинтетическая активность растений изучаемых сортов, выраженная показателями квантового выхода фотосинтеза, оказывала прямое влияние на величину сформированного ими урожая клубней.

Использование результатов исследования деятельности фотосинтезирующих систем растений различных сортов имеет важное значение при подборе исходного селекционного материала, изучении созданных гибридных популяций и комплексной оценке сортообразцов. Данное исследование направлено на повышение эффективности и результативности практической селекции культуры картофеля.

Список литературы

1. Симаков Е. А., Яшина И. М., Склярова Н. П. Селекция картофеля в России: общие тенденции и достижения // Достижения науки и техники АПК. 2007. № 7.

2. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). М., 2001. Т. I. С. 779–100.

РЕАКЦИЯ ГИБРИДНЫХ ФОРМ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА МЕТАБОЛИТЫ НЕКОТОРЫХ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ КОРНЕВЫХ ГНИЛЕЙ

Е. Ф. Сашко

Институт генетики, физиологии и защиты растений АН Молдовы

Оценка селекционного материала при воздействии биотических и абиотических факторов среды *in vitro* успешно используется для изучения генетических механизмов и эффективного создания устойчивых сортов *Triticum aestivum* L. В статье представлены результаты исследования интенсивности каллусогенеза апикальной меристемы зрелого зародыша у родительских форм и реципрокных гибридов F_3 озимой мягкой пшеницы при действии культурального фильтрата *Drechslera avenae* Eidam и *Fusarium oxysporum* var. *orthoceras*.

REACTION OF HYBRID FORMS OF SOFT WHEAT ON METABOLITIS OF SOME ROOT ROT AGENTS

E. F. Sahsco

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of the Academy of Sciences of Moldova

The evaluation of the selection material under the influence of biotic and abiotic environmental factors in vitro has been successfully used to study genetic mechanisms and the effective creation of resistant varieties of Triticum aestivum L. The article presents the results of the research of the intensity of callusogenesis of the mature embryo apical meristem in parental forms and reciprocal F3 hybrids of winter soft wheat under the influence of the culture filtrate *Drechslera avenae* Eidam and *Fusarium oxysporum* var. *orthoceras*.

Комплексные заболевания злаковых культур, вызванные патогенами *Fusarium* spp. и *Drechslera* spp./*Helminthosporium* spp., проявляются в виде корневой гнили, увядания или пятнистости листьев, а также почернения зародышевого конца семени. Сорта, хорошо адаптированные к местным условиям, проявляют устойчивость к возбудителям корневой гнили. В Молдове на посевах пшеницы видовой состав возбудителей варьируется и в значительной степени зависит от абиотических факторов среды. Частота встречаемости грибов *Fusarium* spp. достигает 31,9–63,4%, а грибов *Drechslera* spp. – 11,5–16,6%. Выявлена роль цитоплазмы и температурных факторов среды в формировании генетического контроля устойчивости (Лупашку и др., 2016). Культура каллусных тканей с применением селективных агентов широко используется в тестировании, а также при отборе генотипов с комплексной устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам среды в различных селекционных программах (Lupascu, 2004; Зобова, 2009). Иммунологическая

оценка и отбор сортообразцов с утилизацией культурального фильтрата или споровой суспензии основана на использовании патогенных и широко распространенных в данном регионе штаммов возбудителя (Овсянкина, 2011; Лупашку и др., 2011).

Цель настоящей работы заключалась в том, чтобы выявить степень генетических различий между родителями и их реципрокными гибридами в реакции зрелых зародышей озимой мягкой пшеницы на метаболиты агентов корневой гнили.

Исследованы процессы каллусогенеза апикальной меристемы зрелого зародыша у родительских форм ВТ-16-04, Л-101, Одесская-267 и гибридов F_3, полученных при реципрокном скрещивании озимой мягкой пшеницы. В качестве селективного фактора был использован 21-дневный культуральный фильтрат (КФ) изолятов *Drechslera avenae* Eidam и *Fusarium oxysporum* var. *orthoceras*. Культуральный фильтрат был получен по общепринятой в лаборатории методике и добавлен в питательную среду Мурасиге-Скуга (МС) в концентрации 30% от объема. Калиброванные семена стерилизовались в течение 1 мин. в 96%-м этаноле, затем в течение 20–30 мин. – в 9%-ном растворе хлорной извести. Далее семена пятикратно промывались стерильной дистиллированной водой и отставлялись для проклевывания на 2-3 часа при температуре 30°С. Вырезанная апикальная меристема зародыша переносилась в чашки Петри на питательную среду МС, содержащую полный набор макро- и микроэлементов, витамины (Murashige, 1962), 2,4-Дихлорфеноксиуксусную кислоту (4 мг/л), инозит (100 мг/л), сахарозу (30 г/л) и агар (7 г/л). Для индукции каллусообразования культуры выращивались в темноте при температуре 25°С. Реакция на метаболиты патогенов определялась на основе показателей угнетения частоты индукции каллусогенеза (%), площади поверхности ($мм^2$) и биомассы каллуса (мг) на 14-е сутки культивирования. Статистический анализ данных был проведен с использованием пакета программ STATISTICA-7.

В контрольном варианте частота каллусогенеза, площадь поверхности каллуса и биомасса каллуса варьировались в пределах 87,2±3,8…99,8±0,1%, 19,50±0,93…27,75±1,18 $мм^2$ и 35,3±2,9…51,1±3,12 мг с преобладанием наиболее

высоких показателей площади поверхности и биомассы каллуса у гетерозиготных форм. Гибридные популяции по сравнению с родительскими формами характеризовались промежуточными значениями индукции частоты каллусогенеза, промежуточными и наивысшими значениями площади поверхности каллуса и только наивысшими значениями биомассы каллуса.

В варианте с КФ *D. avenae* у признаков частоты индукции каллусогенеза и площади поверхности каллуса проявилось ингибирование, их значения оставались на уровне контроля (52,9…97,4% и 68,2…103,9%). При действии КФ *F. oxysporum* var. *orthoceras* наблюдалось только ингибирование данных признаков (22,5…95,3% и 62,3…83,6%). Достоверное токсическое действие метаболитов на рост биомассы каллуса было установлено лишь на некоторых гетерозиготных формах пшеницы. Наибольшую устойчивость к токсическим веществам КФ проявили каллусы родительской формы ВТ-16-04, а наименьшую – Одесской-267.

Согласно данным кластерного распределения родительских генотипов и гибридных популяций пшеницы на основе средних значений признаков каллусогенеза выявлена значительная степень сходства или различия между родительскими сортами и гибридными популяциями F_3. Устойчивый генотип ВТ-16-04 отдалился от других родительских форм на ощутимые эвклидовы расстояния (35,9 и 48,2) на фоне с КФ *D. avenae*. Эвклидовы расстояния на фоне с КФ *F. oxysporum* var. *orthoceras* составили 29,6 и 25,7. Реципрокные гибриды комбинации ВТ-16-04 × Л-101(-) разделились по разным кластерам. Их эвклидовы расстояния увеличились от 4,3 до 26,2 при действии КФ *D. avenae* и до 11,7 при действии КФ *F. oxysporum* var. *orthoceras* (рис. 1).

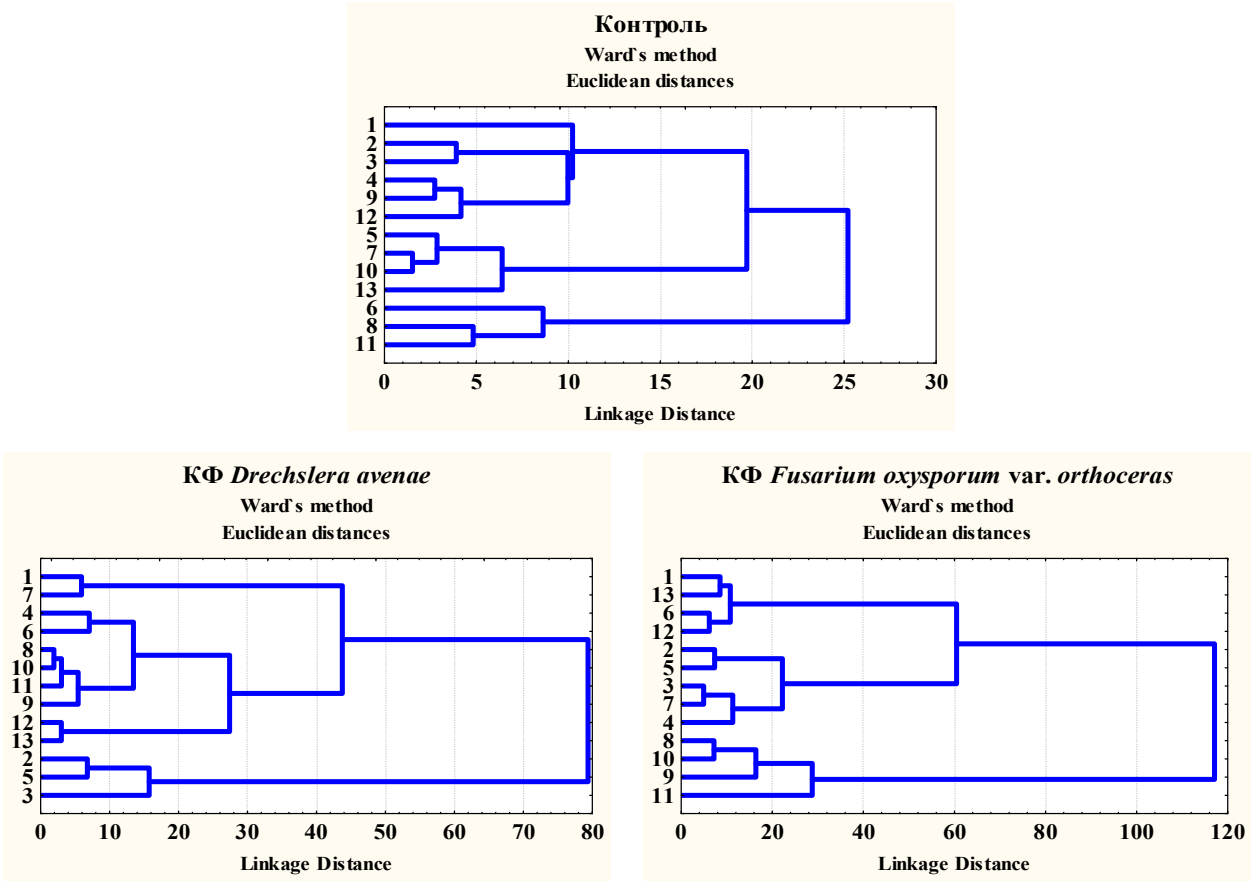


Рис. 1. Дендрограмма распределения популяций пшеницы по признакам каллусогенеза:
1 – ВТ-16-04; 2 – Л-101(-); 3 – Одесская-267; 4 – ВТ-16-04 × Л-101(-); 5 – Л-101 × ВТ-16-04(-);
6 – ВТ-16-04 × Л-101; 7 – Л-101 × ВТ-16-04; 8 – ВТ-16-04 × Одесская-267;
9 – Одесская-267 × ВТ-16-04; 10 – Л-101 × Одесская-267(-); 11 – Одесская-267 х Л-101(-);
12 – Л-101 × Одесская-267; 13 – Одесская-267 × Л-101; (-) – безостая форма пшеницы.

Анализ гистограммы распределения каллусов на фенотипические классы по признаку площади каллуса у реципрокных гибридов комбинации ВТ-16-04 × Л-101 выявил существенные отличия. При формировании данного признака в контрольном варианте наблюдалось доминирование и сверхдоминирование материнской формы ВТ-16-04, имеющей наибольшую площадь каллуса. При действии КФ *D. avenae* устойчивая материнская форма проявила сверхдоминирование в популяции F_3 ВТ-16-04 × Л-101. Кроме того, в расщепляющейся популяции под действием селективного фактора кривая распределения площади каллуса стала бимодальной, что свидетельствует об образовании нового фенотипа площади каллуса (30–40 мм^2) с участием материнского эффекта генотипа ВТ-16-04 (рис. 2).

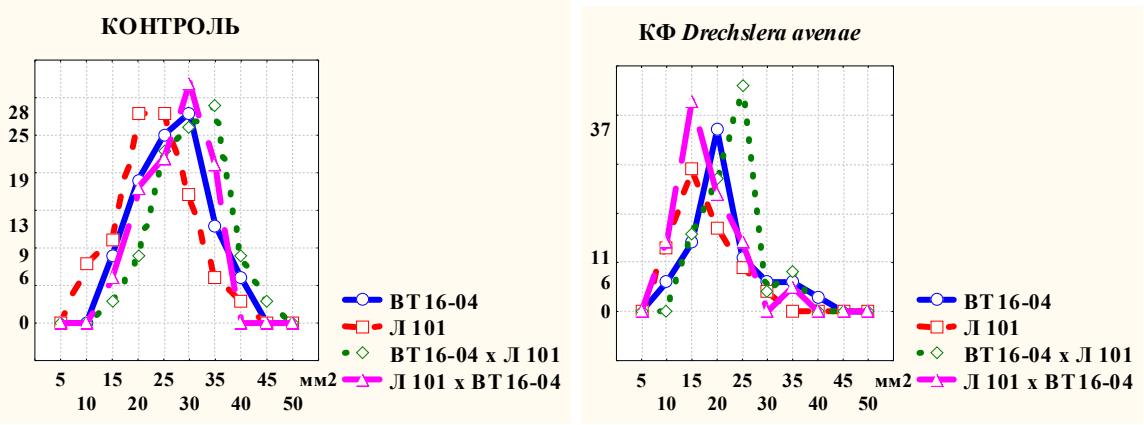


Рис. 2. Распределение каллусов у реципрокных гибридов по фенотипу площади поверхности.

Полученные результаты подтверждают возможность отбора родительских и расщепляющихся форм в витрокультуре апикальной меристемы пшеницы, устойчивых к селектирующим токсическим метаболитам возбудителей корневой гнили. При тестировании могут быть использованы количественные признаки каллусогенеза – частота индукции и площадь поверхности каллуса.

Список литературы

1. Лупашку Г. А., Гавзер С. И., Сашко Е. Ф. Эколого-генетические основы создания доноров устойчивости пшеницы к корневым гнилям // Фундаментальные и прикладные исследования в биоорганическом сельском хозяйстве России, СНГ и ЕС. Материалы докладов, сообщений. М., 2016. Т. 2. С. 223–233.

2. Зобова Н. В. Повышение устойчивости ячменя к стрессовым биотическим и абиотическим факторам в Сибири (генетико-биотехнологические аспекты): автореф. … докт. с.-х. наук. Красноярск, 2009. 32 с.

3. Овсянкина А. В. Сортоизучение и подбор сортов зерновых культур, обладающих устойчивостью к корневой гнили // Культурные растения для устойчивого сельского хозяйства в XXI веке (иммунитет, селекция, интродукция). Сб. науч. тр. М., 2011. Т. IV. Ч. I. С. 96–100.

4. Лупашку Г. А., Сашко Е. Ф., Гавзер С. И. Взаимодействие растений пшеницы с возбудителями корневой гнили // Культурные растения для устойчивого сельского хозяйства в XXI веке (иммунитет, селекция, интродукция). Сб. науч. тр. М., 2011. Т. IV. Ч. I. С. 101–106.

ЗАВИСИМОСТЬ РЕГЕНЕРАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ТОМАТА *IN VITRO* ОТ ГЕНОТИПА И ТИПА ЭКСПЛАНТА В СОСТОЯНИИ ВИРУСНОГО ПАТОГЕНЕЗА

С. В. Смеря

Институт Генетики, Физиологии и Защиты Растений

Академии Наук Молдовы

Исследована регенерационная способность *in vitro* шести генотипов томата в зависимости от вирусной инфекции и типа экспланта. Установлено, что с одного каллуса можно получить в среднем 6,47±0,92 растений. С помощью дисперсионного анализа определены доли влияния генотипа, типа экспланта и вирусной инфекции, а также их взаимодействие.

DEPENDENCE OF TOMATO REGENERATIVE ABILITY *IN VITRO* ON THE GENOTYPE AND THE TYPE OF THE EXPLANT IN THE STATE OF VIRAL PATHOGENESIS

S. Smerya

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection

of the Academy of Sciences of Moldova

The regeneration capacity of six genotypes of tomato *in vitro* depending on the viral infection and the type of explant has been studied. It is established that from one callus it is possible to obtain an average of 6.47 ± 0.92 plants. The shares of the influence of the genotype, explant type and virus infection, as well as their interaction have been determined using the dispersion analysis

Успешное применение биотехнологических методов предполагает создание эффективной системы культуры, состоящей из компетентного генотипа и источника эксплантов, а также оптимальных условий культивирования. В литературе описываются разные протоколы регенерации томата через каллус (Plana et al., 2005; Sheeja et al., 2004) и на питательных средах с различными комбинациями и дозами регуляторов роста (Le et al., 1991; Gubis et al., 2004). Самыми эффективными типами эксплантов для индукции каллуса и получения растений являются фрагменты листьев (Capote et al., 2000), пыльники (Gulshan et al., 1981), гипокотиль и семядоли (Mohamed et al., 1999).

Использование культуры *in vitro* в комплексе с экспериментальным мутагенезом с применением физических, химических и биологических факторов ведет к повышению генетического разнообразия растений. Вирусные

фитопатогены являются важным источником индуцирования генетической изменчивости у томатов, пшеницы, кукурузы и ячменя за счет генетических эффектов, которые они вызывают у растений (Bujoreanu, Chiriac, 1994; Chiriac et al., 2006; Бурдун и др., 1982). По мнению А. А. Жученко (2001), совместное использование вирусов с другими факторами обеспечивает вовлечение в селекцию растений новых источников устойчивости к абиотическим и биотическим факторам среды. Установлено, что сомаклоны, полученные *in vitro* от инфицированных доноров, обладают резистентностью к вирусу табачной мозаики (Жук, Кравченко, 2002).

Целью проведенных исследований являлось изучение зависимости регенерационной способности томата *in vitro* от генотипа и типа экспланта в состоянии вирусного патогенеза.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись шесть генотипов томата, принадлежащих к видам *Solanum pimpinellifolium, Solanum cheesmaniae, Solanum licopersicum* (сорта с разным уровнем устойчивости к вирусу табачной мозаики Rufina (Tm-1+Tm-2a), Craigella (Tm-2a/Tm-2a), Craigella (Tm-1/Tm-1) и молдавский сорт Elvira). Материалом для исследований послужил каллус второго пассажа чашелистиков и листовых эксплантов, отобранных от растений, инфицированных вирусом табачной мозаики (ВТМ) или аспермии томата (ВАТ). В качестве контроля служили здоровые растения. Культивирование проводилось на протяжении 5-15-ти пассажей на питательных средах Мурасиге и Скуга (1962), дополненных ауксинами и цитокининами. Регенерационная способность определялась как количество растений, полученных от одного морфогенного каллуса.

Результаты исследований

Проведенные опыты позволили определить различные направления и неоднородную интенсивность морфогенетических процессов. При визуальной оценке отличались неморфогенные и морфогенные каллусы – рыхлые и компактные, с зеленой, желтоватой или коричневой окраской и с

многочисленными меристематическими очагами или зачатками соматических эмбриоидов. Отмечено, что из каллусной ткани, где индуцировался ризогенез, в дальнейшем не удалось получить микропобеги. В результате исследований установлено, что в зависимости от генотипа и типа экспланта воспроизводство растений через каллус идет путем соматического эмбриогенеза и органогенеза с последующей индукцией корневой системы (факт, в дальнейшем влияющий на число регенерирующих растений). Как следует из результатов, регенерационная способность зависит от генотипа и составляет в среднем 6,47±0,92 (рис. 1). Максимальное количество растений (71), полученных от одного каллуса, отмечено в варианте *S.pimpinellifolium – BTM – листья.*

Растения субкультивировали (рис. 2) на безгормональной среде Мурасиге и Скуга (1962) до пересадки в почву. Однако в вариантах Craigella Tm-1 – *контроль – листья*, S.cheesmaniae – *контроль – листья* и Elvira – *BAT – чашелистики* не удалось получить растения, хотя морфогенный каллус индуцировался.

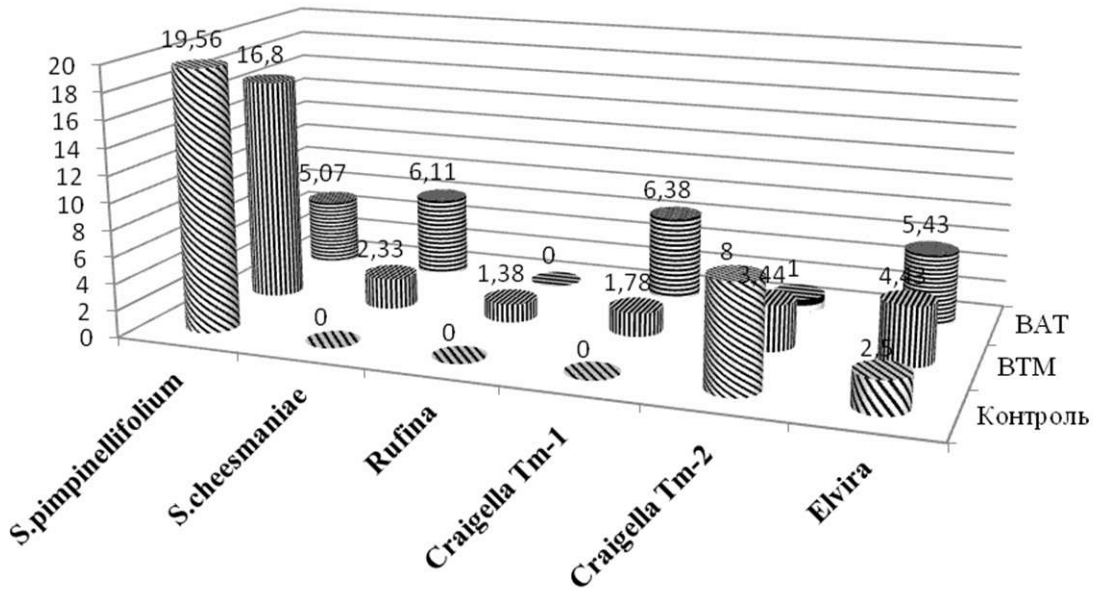


Рис. 1. Зависимость средних значений регенерационной способности томата *in vitro* от генотипа и вирусной инфекции.

На основании дисперсионного трехфакторного анализа определены доля влияния генотипа, типа экспланта и вирусной инфекции, а также взаимодействие данных факторов (табл.). Доля влияния генотипа составляет 8,36% (значение достоверно на уровне $P \leq 0,05$). При сравнительном анализе результатов не выявлено существенного влияния факторов «тип экспланта» и «вирусная инфекция», а взаимодействие «генотип-вирусная инфекция» было в 3,4 раза выше и составляло 28,56% (значение достоверно на уровне $P \leq 0,001$). Как свидетельствуют полученные результаты, влияние взаимодействий «тип экспланта – вирусная инфекция» и «генотип – тип экспланта» составляет 9,13% и 8,10% (значения достоверны на уровне $P \leq 0,05$ и $P \leq 0,01$).

Таблица. **Дисперсионный анализ регенерационной способности томата.**

№	Фактор	Сумма квадратов	Степень свободы	Дисперсия	F-крит	Доля влияния
1	Тип экспланта (Э)	93,95	1	93,95	1,15	–
2	Вирусная инфекция (В)	321,88	2	169,94	1,97	–
3	Генотип (Г)	904,37	3	301,46	3,69*	8,36
4	Взаимодействие Э-В	876,37	2	438,19	5,36**	8,10
5	Взаимодействие Э-Г	986,79	3	328,93	4,03*	9,13
6	Взаимодействие В-Г	3088,25	6	514,71	6,30***	28,56
7	Остаточная	6290,92	77	81,70		
8	Общая	10813,6	94			

Примечание: *, **, *** – статистическая значимость при $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$, $P \leq 0,001$.

Рис. 2. Регенерация *in vitro* растений томата.

Список литературы

1. Bujoreanu V., Chiriac Gh. Plant viruses as possible inducers of genotypic variability in plants. Probleme actuale ale geneticii, bitehnologiei şi ameliorării. Chişinău. 1994. pp. 8–10.

2. Capote R. A., Fundora M. Z., Perez D. O. Effect of different factors on the *in vitro* plant regeneration from leaflets on five genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) // Revista-del-Jardin_Botanico_Nacional. 2000. № 21. pp. 71–76.

3. Chiriac Gh. I., Andronic L., Bujoreanu V. V., Marii L. I. Features of crossing-over in virus-infected tomato // Central European Journal of Biology. 2006. № 1 (3). pp. 386–398.

4. Gubis J., Lajchová Z., Faragó J., Jureková Z. Effect of growth regulators on shoot induction and plant regeneration in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) // Biologia Bratislava. 2004. № 59 (3). pp. 405–408.

5. Gulshan T. M., Varghese T. M., Sharma D. R. Studies on anther cultures of tomato *Lycopersicon esculentum Mill.* // Biologia Plantarum. Prague, 1981. № 23 (6). pp. 414–420.

6. Le J. H., Read P. E., Yang G. C. The effect of BA and hormones on morphogenesis in callus of tomato cultured *in vitro* // Acta Horticulturae Sinica. 1991. № 18. pp. 44–48.

7. Mohamed A. N., Ismail M. R., Rahman M. H. In Vitro Response from Cotyledon and Hypocotyls Explants in Tomato by Inducing 6-Benzylaminopurine // African Journal of Biotechnology. 2010. № 9 (30). pp. 4802–4807.

8. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cuktures // Physiol Plantarum. 1962. № 15. pp. 473–497.

9. Plana D., Marta A., Regla M. L., Marilyn F., Alvarez F., Moya C. A new *in vitro* regeneration protocol in tomato (*Lycopersicon esculentum*) // Cultivos Tropicales. 2005. № 26 (2). pp. 17-20.

10. Sheeja T. E., Mondal A. B., Rathore R. K. S. Efficient Plantlet regeneration in Tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) // Plant Tissue Cult. 2004. № 14 (1). pp. 45-53.

11. Бурдун А. М., Панарин И. В., Забавина Е. С. Способ получения рекомбинации у пшеницы. Авторское свидетельство. 1982. -933052.

12. Жук И. П., Кравченко Р. В. Регенерация in vitro сомаклонов томата и отбор резистентных к вирусу табачной мозаики // Доклады Российской академии с.-х. наук. 2002. № 5. С. 18–20.

13. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). 2001. М., Агрорус, 2001. Т. 1. 780 с.

УДК 633.833.52:631.521:541.144.7(571.61)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СОРТОВ СОИ АМУРСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

В. Т. Синеговская

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»

(ВНИИ сои)

В результате многолетнего изучения работы фотосинтетического аппарата сои разработан и запатентован способ определения продуктивности фотосинтетического потенциала (ПФП), который позволяет определять темпы накопления органического вещества, синтезированного в процессе фотосинтеза в вегетативных и репродуктивных органах, а также величину накопления органической массы в хозяйственно полезной части урожая на каждую единицу фотосинтетического потенциала. Приведены данные ПФП, подтверждающие особенности сортов сои по показателям фотосинтетической продуктивности и в зависимости от условий выращивания.

UDC 633.833.52:631.521:541.144.7(571.61)

DETERMINATION OF PHOTOSYNTHETIC PRODUCTIVITY POTENTIAL OF SOYBEAN CULTIVARS OF AMUR BREEDING

V. T. Sinegovskaya

All-Russian Scientific Research Institute of Soybean

(All-Russian SRI of Soybean)

As a result of long-term study of the photosynthetic apparatus of soya, a method for determining the productivity of photosynthetic potential (PFP) has been developed and patented. The method allows to determine the rate of accumulation of organic matter synthesized in the process of photosynthesis in vegetative and reproductive organs, as well as the amount of organic mass accumulation in the economically useful part of the crop each unit of photosynthetic potential. The article presents the data of the PPC confirming the characteristics of soybean varieties according to the indicators of photosynthetic productivity and depending on the growing conditions.

Для оценки работы фотосинтетического аппарата растений широко используется методика А. А. Ничипоровича (1961), которая позволяет не только определить величину и продолжительность работы фотосинтезирующей поверхности растений, но и сопоставить их с величиной полученной урожайности культур. Посредством данной методики можно определять удельную производительность ассимиляционного аппарата (ЧПФ), однако она не коррелирует с урожайностью и, соответственно, не позволяет охарактеризовать работу фотосинтетического аппарата как органа,

продуцирующего органическое вещество и накапливающего его в хозяйственно полезной части урожая в процессе фотосинтеза. Чистая продуктивность фотосинтеза определяет только скорость формирования сухого вещества всего растения на единицу листовой поверхности в единицу времени. Поэтому предлагается определять показатели, отражающие темпы и величину накопления органического вещества в вегетативных и репродуктивных органах через фотосинтетический потенциал растений как в целом за вегетационный период, так и за отдельные периоды. Новый показатель получил название *Продуктивность фотосинтетического потенциала (ПФП)*. В 2015 г. на него был получен патент на изобретение (Синеговская, Толмачев, 2015). Определение ПФП включает следующие этапы: отбор проб, определение площади листьев, фотосинтетического потенциала и биометрических показателей структуры растений и урожая. Расчет продуктивности фотосинтетического потенциала проводится через определение массы органического вещества, формируемого всем растением и накапливаемого в репродуктивных органах на одну единицу фотосинтетического потенциала, что демонстрирует продуктивность работы фотосинтетического аппарата растений и отражает вклад фотосинтетического потенциала в общую и хозяйственно полезную часть урожая. Продуктивность фотосинтетического потенциала рассчитывается по формуле:

$$\text{ПФП} = \frac{\text{БП}}{\text{ФП}},$$

где БП – биометрический показатель (масса (г или кг), количество (шт.) репродуктивных органов, масса всего растения); ФП – фотосинтетический потенциал за вегетацию или отдельный период в м^2×дн./га.

Исследования сортов сои амурской селекции показали, что чем выше ПФП, тем больше урожайность семян сои (табл.).

Таблица. **Продуктивность фотосинтетического потенциала сортов сои.**

Название сорта	ПФП за вегетацию, кг (шт.) на 1 тыс. ед. ФП			
	масса семян, кг	масса сухого вещества растения, кг	кол-во семян, шт.	кол-во бобов, шт.
Лидия	2,6	5,4	21	10
Гармония	2,2	3,9	19	8
Лазурная	2,0	4,8	12	6

Сорта сои с более продолжительным периодом вегетации имели меньшую величину ПФП, чем скороспелый сорт Лидия. Следовательно, у скороспелого сорта Лидия активность образования органического вещества в процессе фотосинтеза выше, чем у среднеспелых сортов Лазурная и Гармония. Следовательно, данный сорт можно использовать в селекционном процессе как источник высокой активности и скорости образования органического вещества в процессе фотосинтеза.

Показатели работы фотосинтетического аппарата зависят не только от биологических особенностей сорта, но и от агротехнических приемов возделывания (рис.).

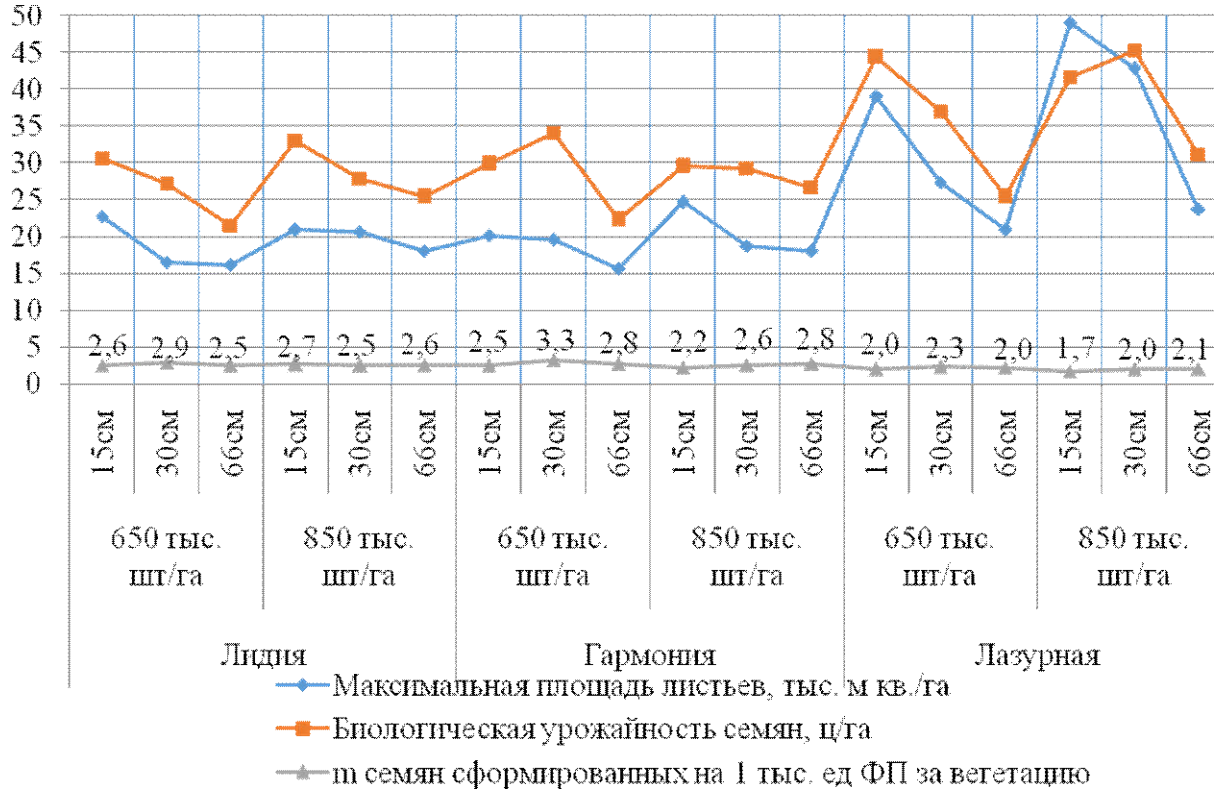


Рис. Показатели продуктивности растений сои в зависимости от условий возделывания

Высокая продуктивность фотосинтеза обусловлена активацией цепи функций фотосинтетического аппарата, впоследствии определяющих урожайность растений в посеве, поэтому весьма важно создать условия, обеспечивающие максимальную продуктивность фотосинтетического потенциала. Для реализации потенциальной продуктивности сорта требуется оптимизация технологии возделывания. Сорта сои отличаются не только

размерами ассимилирующего аппарата, но также активностью фотосинтетического потенциала и аттрагирующей способностью бобов. Оптимальное совмещение структурных и функциональных признаков фотосинтеза для различных сортов сои возможно только при создании технологии возделывания, учитывающей все особенности роста и развития сорта.

Таким образом, показатель ПФП отражает вклад фотосинтетического потенциала в общую и хозяйственно полезную часть урожая, а также позволяет определить условия, необходимые для максимальной реализации потенциальной урожайности сорта.

Список литературы

1. Ничипорович А. А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах (методы и задачи учета в связи с формированием урожаев). М., АН СССР, 1961. 135 с.

2. Патент на изобретение №2539634 РФ. Способ определения продуктивности фотосинтетического потенциала сортов сои / В. Т. Синеговская, М. В. Толмачев. № 2013129655, заявлено 27.06.2013., зарегистрирован в Госреестре изобретений 05.12.2014. опубл. 20.03.2015. Бюл. № 2. 2 с.

УДК 631.1; 631.074; 635.34.

ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ И БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ БЫСТРОРАСТУЩИХ КАПУСТНЫХ КУЛЬТУР ВИДОВ *BRASSICA RAPA* L. И *B. OLERACEA* L. В РЕГУЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ

Н. Г. Синявина[1], О. Р. Удалова[1], А. М. Артемьева[2], А. Е. Соловьева[2], А. А. Кочетов[1], Г. В. Мирская[1], Г. Г. Панова[1]

[1]*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ), 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14;*

[2]*ФГБНУ ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова» (ВИР), 190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 42-44*

В регулируемых условиях проведена оценка 13-ти образцов быстрорастущих листовых капустных культур видов *Brassica rapa* L. и *B. oleracea* L. из коллекции ФГБНУ ВИР по темпам роста, продуктивности и биохимическому составу. Выявлены образцы, формирующие за 28 суток вегетации урожай 4,5–9 кг/м^2 с ценным в пищевом отношении биохимическим составом. Данные образцы могут быть рекомендованы для промышленного выращивания в условиях светокультуры.

EVALUATION OF THE PRODUCTIVITY AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF FAST-GROWING *BRASSICAS* CROPS (*BRASSICA RAPA* L. AND *B. OLERACEA* L.) UNDER CONTROLLED CONDITIONS

N. G. Sinyavina[1], O. R. Udalova[1], A. M. Artemyeva[2], A. E. Solovyeva[2], A. A. Kochetov[1], G. V. Mirskaya[1], G. G. Panova[1]

[1]*Agrophysical Research Institute, 14, Grazhdanskiy pr., St. Petersburg, 195220;*

[2]*N. I. Vavilov Research Institute of Plant Genetic Resources, 42-44, B. Morskaya St., St. Petersburg, 190000*

Under controlled conditions, the 13 fast-growing *brassicas* cultivars of *Brassica rapa* L. and *B. oleracea* L. were evaluated for a complex of economically valuable properties and biochemical composition. A significant difference between crops and cultivars in productivity and biochemical characters was revealed, which made it possible to select the best brassicas accessions for cultivation under conditions of light culture. The cultivars of Chinese cabbage were the most productive and formed a yield of up to 9.5 kg/m^2 for 28 days of vegetation. Furthermore, varieties of Chinese cabbage have been characterized by a high content of ascorbic acid, sugars and organic acids but a lower content of chlorophylls and carotenoids compared to other crops. Quite the contrary, the accessions of tatsoi had the maximum amount of chlorophylls, carotenoids and protein. The best *brassicas* accessions for cultivation in conditions of intensive light culture, according to the studies, were Voronezhskaya and Mestnaya of Chinese cabbage, Nikanme Seppaku Taisai of pak-choi, N94-5 of tatsoi (all of them belong to *B. rapa* L.) and Malinovka of *B. oleracea* L.

Введение

Среди овощных растений, выращиваемых в защищенном грунте с целью получения зеленной продукции, в России относительно широко возделывается пекинская капуста *Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*. Остальные капустные культуры в защищенном грунте практически не выращиваются. Среди листовых капустных культур имеются высокопродуктивные сорта и гибриды с коротким периодом вегетации, которые характеризуются ценным биохимическим составом. Оценку коллекции и подбор образцов, обладающих хозяйственно ценными свойствами и перспективных для возделывания в защищенном грунте, целесообразно проводить в регулируемых условиях. Регулируемая агроэкосистема (РАЭС) позволяет осуществлять круглогодичное выращивание различных видов и сортов растений при заданных параметрах среды (Ермаков, 2002). Применение современного высокотехнологичного вегетационного оборудования способствует значительному ускорению продукционного процесса культур за счет создания особых режимов выращивания (Панова, 2015). В условиях РАЭС возможно проведение 12-ти вегетаций культур типа салата или листовой капусты в течение одного календарного года, что создает оптимальные условия как для разработки технологии выращивания с учетом видовых и сортовых особенностей растений, так и для экспресс-оценки коллекции с целью отбора наиболее продуктивных сортов и доноров хозяйственно ценных признаков (Синявина и др., 2016, 2017).

Цель исследования состояла в изучении комплекса хозяйственно-ценных свойств и биохимического состава различных образцов капустных культур из коллекции ФГБНУ ВИР в условиях РАЭС. Важной задачей являлся подбор сортообразцов, максимально реализующих свой продукционный потенциал при выращивании в условиях интенсивной светокультуры.

Материалы и методы

Растения 13-ти сортов капусты пекинской, китайской (пак-чой), розеточной вида *Brassica rapa* L. и листовой вида *B. oleracea* L. высаживали наклюнувшимися семенами в вегетационно-облучательную

автоматизированную светоустановку (ВСУ) (Патент, 2014), оборудованную лампами ДРИКЗ 380 (ООО «Рефлакс»). Облученность растений в опытах составляла 15–20 клк, продолжительность светового периода – 12 ч. в сутки. В качестве субстрата использовался торфяной питательный субстрат (производитель ООО «Пельгорское-М», Ленинградская область) при толщине корнеобитаемого слоя 5 см и площади питания растений 12,5×10 см (рис. 1).

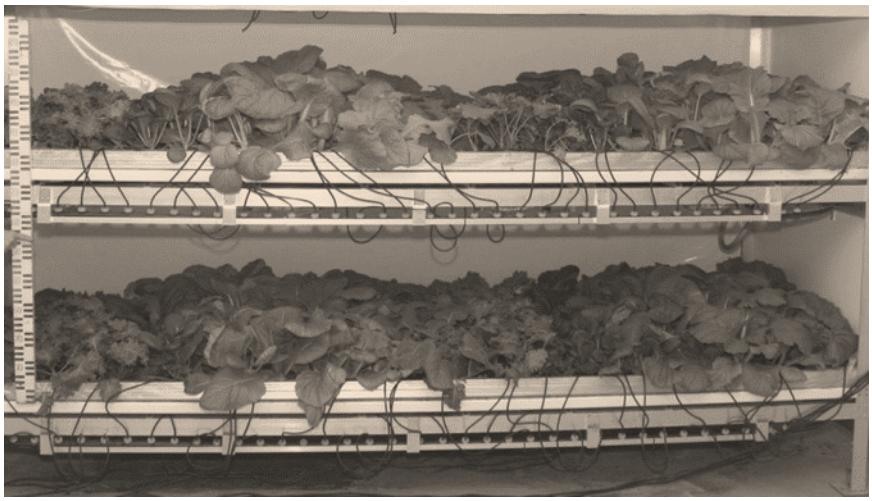


Рис. 1. Общий вид ВСУ с растениями капусты

Полив водой осуществлялся ежедневно, подкормка – раствором Кнопа два раза в неделю. Температура поддерживалась на уровне 22±2°. Уборка растений проводилась на 28-е сутки от высадки. При уборке измеряли сырую массу и высоту растений, диаметр листовой розетки, число листьев, длину и ширину максимально развитого листа. Биохимический состав растений определяли на базе ФГБНУ ВИР по стандартным методикам. Статистическая обработка данных проводилась с помощью программного обеспечения Excel 2010.

Результаты и обсуждение

Анализ биометрических показателей и продуктивности различных групп капустных культур позволил установить, что все четыре сорта пекинской капусты оказались более продуктивными по сравнению с растениями других капустных культур. Они сформировали наиболее крупные листья и развили за 28 дней вегетации надземную массу до 200 г/растение (урожайность образцов составила 7,4–9,6 кг/м^2), существенно превышавшую (в два–шесть раз) массу

растений других сортов. Сорт пекинской капусты отечественной селекции Ворожея и местный дальневосточный сорт Местная имели сходные показатели продуктивности со староместными сортами японского происхождения (Hiroshima-Na и Chirimen). Следует отметить, что все изученные образцы пекинской капусты характеризовались довольно высоким содержанием аскорбиновой кислоты (24–31,2 мг/100 г сырой массы), сахаров (0,23–1,04 г/100 г сырой массы) и органических кислот (0,47–1,03 г/кг сырой массы) при относительно низком содержании суммы хлорофиллов (63,0–93,2 мг/100 г сырой массы) и каротиноидов (12,8–22,4 мг/100 г сырой массы). Сорта китайской капусты Nikanme Seppaku Taisai и Зеленая-96 имели меньшую продуктивность (3,2–4,6 кг/м^2) по сравнению с сортами пекинской капусты. Наименьшие в опыте значения показателей продуктивности отмечены у сортов листовой капусты Dwarf Green Curled, Dwarf Scotch, Листовая зеленая и Малиновка (1,2–2,5 кг/м^2), а также у большинства сортов розеточной капусты (1,7–3,0 кг/м^2), за исключением образца N 94-5 (3,5–4,7 кг/м^2). У изученных сортов листовой капусты выявлено максимальное содержание сухого вещества (8,6–10,2%) по сравнению с прочими образцами (4,9–6,7%). Образцы розеточной капусты характеризовались более высоким содержанием суммы хлорофиллов (142,8–165,3 мг/100 г сырой массы), каротиноидов (26,9–34,1 мг/100 г сырой массы) и белка (2,6–3,1%) по сравнению с сортами других культур.

Заключение

Установлена перспективность выращивания листовых капустных культур в условиях интенсивной светокультуры. За 28 суток вегетации растения сформировали урожай зеленой массы от 1,2 до 9,6 кг/м^2 в зависимости от культуры и сорта, что сопоставимо с урожайностью традиционной овощной листовой культуры – салата – в условиях защищенного грунта (в среднем 2–6 кг/м^2 за аналогичный период времени). Отобраны высокоурожайные сорта капусты пекинской (Ворожея и Местная с высоким содержанием аскорбиновой кислоты, органических кислот и сахаров), китайской (Nikanme Seppaku Taisai) и

розеточной (сорт N 94-5 с высоким содержанием суммы хлорофиллов и каротиноидов), которые могут быть рекомендованы для промышленного выращивания в условиях светокультуры.

Список литературы

1. Ермаков Е. И. Регулируемая агроэкосистема в агрофизике и растениеводстве // Агрофизика от А.Ф. Иоффе до наших дней. СПб., 2002. С. 122–140.
2. Панова Г. Г., Черноусов И. Н., Удалова О. Р., Александров А. В., Карманов И. В., Аникина Л. М., Судаков В. Л. Научно-технические основы круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции при искусственном освещении // Доклады РАСХН. 2015. № 4. С. 17–21.
3. Патент на полезную модель РФ № 142236 «Многоярусное устройство для выращивания растений» // Черноусов И. Н., Александров А. В., Панова Г. Г. 2014. Бюл. № 17.
4. Синявина Н. Г., Артемьева А. М., Кочетов А. А., Мирская Г. В., Удалова О. Р., Рушина Н. А., Панова Г. Г. Использование интенсивной светокультуры для оценки хозяйственно-ценных свойств растений (на примере редиса Raphanus sativus L.) // Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления. Материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием). СПб., 2016. С. 126–130.
5. Синявина Н. Г., Кочетов А. А., Мирская Г. В., Удалова О. Р., Рушина Н. А., Панова Г. Г., Артемьева А. М. Создание высокопродуктивных гибридов редиса для интенсивной светокультуры // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. Материалы III международной научно-практической конференции. Киров, 2017. С. 152–156.

ИЗМЕНЕНИЕ МЕЖКЛЕТОЧНОЙ ВОДНОЙ ПРОВОДИМОСТИ В КОРНЯХ КУКУРУЗЫ В ОТВЕТ НА ПОВЫШЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ CO_2 В АТМОСФЕРЕ

М. А. Суслов

ФГБУН «Казанский институт биохимии и биофизики Казанского научного центра РАН» (КИББ КазНЦ РАН)

При помощи метода спин-эхо ЯМР исследован межклеточный транспорт воды в интактных корнях кукурузы при повышении концентрации CO_2 в окружающем воздухе. Повышение CO_2 в листовой зоне приводит к быстрому уменьшению межклеточной водной проводимости корней. В результате ингибиторного анализа установлено, что аквапорины вовлечены в процесс изменения водной проводимости корней в ответ на повышение уровня CO_2.

THE CHANGE OF INTERCELLULAR WATER CONDUCTION IN MAIZE ROOTS IN RESPONSE TO ATMOSPHERIC CO_2 ENRICHMENT

M. A. Suslov

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences

Using a non-invasive NMR spin-echo method, the intercellular transport of water in intact corn roots was studied with an increase in the concentration of CO2 in the ambient air. The increase in CO2 in the leaf zone leads to a rapid decrease in the intercellular water conductivity of the roots. As a result of the inhibitory analysis, it was found that aquaporins are involved in the process of changing the aqueous conductivity of the roots in response to an increase in the level of CO2.

Введение

Концентрация углекислого газа в атмосфере Земли с момента начала индустриализации увеличилась приблизительно в два раза и имеет тенденцию к дальнейшему росту (Prior et al., 2011). Вполне ожидаемо, что растения, в том числе и сельскохозяйственные культуры, должны адаптироваться к климатическим изменениям, в связи с чем чрезвычайно важно заблаговременно исследовать механизмы их адаптации с целью рационализировать в будущем использование водных ресурсов и контролировать процессы, влияющие на продуктивность и устойчивость растений. Водопоглощение и проводимость корневой системы являются важнейшими параметрами, определяющими использование водных ресурсов растениями. В настоящее время известно, что повышенная концентрация CO_2 может приводить к увеличению эффективности

водопоглощения некоторых растений (Huang et al., 2015), однако объем информации относительно воздействия повышенной концентрации CO_2 на водный режим весьма ограничен. В связи с этим цель данной работы заключается в исследовании процесса транспорта воды в корнях растений при действии повышенной концентрации CO_2.

Материалы и методы

В качестве образцов использовались 6–7-дневные интактные растения кукурузы, выращенные на гидропонике. В работе был применён оригинальный методический и технический подход, заключающийся в непрерывной регистрации параметров водного переноса в корне растений при повышенном уровне внешнего CO_2. Растения в количестве от 15 до 20 штук помещались в оригинальную камеру, оснащённую датчиками концентрации кислорода и углекислого газа, сопряжённую с ЯМР спектрометром Spin Track 19 MHz (Resonance Systems) и газовой системой, описанной в работе (Анисимов и др., 2012). Корни интактных растений при этом находились непосредственно в датчике ЯМР. Повышенную концентрацию CO_2 до 10% создавали в листовой зоне. Для контроля межклеточного транспорта воды в корнях растений была использована техника спинового эха с импульсным градиентом магнитного поля (ЯМР ИГМП) на частоте протонного резонанса 19 МГц. В измерениях использовали трёхимпульсную последовательность стимулированного эха. Относительную амплитуду сигнала спин-эха (фактор R) регистрировали в зависимости от длительности δ и амплитуды g импульсов градиента при изменении интервала t_d между ними как параметра

$$R = \exp(-\gamma^2 \delta^2 g^2 t_d D_{eff}).$$

Для количественной оценки диффузионного переноса воды использовали формализм эффективных коэффициентов диффузии (Анисимов и др., 1992). Средний эффективный коэффициент диффузии D_{eff} определяли по декременту диффузионного затухания при $g \to 0$, т. е. по наклону начального участка затухания, экстраполируемого экспонентой (Valiullin et al., 2001). Вычисление проницаемости p клеток образца для воды производили с использованием

уравнения Крика (Crick, 1970). Вклад аквапоринов в межклеточный перенос воды определялся с помощью ингибиторного анализа путём изменения водно-транспортной активности аквапоринов под действием ингибитора (хлорид ртути) (Ehlert et al., 2009).

Результаты и обсуждение

Как видно из рис. 1, при повышении концентрации CO_2 в листовой зоне растений до 10% с сохранением абсолютного давления на уровне 1 атмосферы (нормобария) происходит снижение скорости диффузионного затухания по сравнению с контролем, что свидетельствует об уменьшении коэффициента диффузии воды в клетках корней (рис. 1, а).

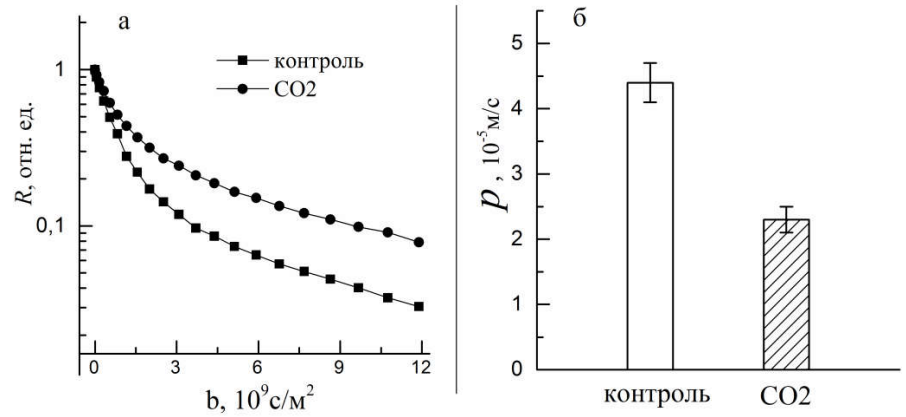


Рис. 1. Диффузионные затухания намагниченности воды клеток корней кукурузы (а) и суммарная диффузионная проницаемость для воды в радиальном направлении всасывающей зоны интактных корней кукурузы (б) в контроле и при повышении концентрации CO_2 до 10% в условиях нормобарии во внешней воздушной среде.

При этом суммарная диффузионная проницаемость клеток для воды в радиальном направлении корней в течение 30 минут с момента повышения уровня CO_2 уменьшается с $(4.4\pm0.3)\times10^{-5}$ м/с до $(2.3\pm0.2)\times10^{-5}$м/с (рис. 1, б). Так как увеличение концентрации CO_2 в экспериментах достигалось за счёт уменьшения концентрации других газов, в том числе кислорода, то для исключения влияния гипоксии на снижение водопоглощения корней были проведены эксперименты с увеличением концентрации азота в камере до 100%. В данном случае снижение коэффициента диффузии наблюдалось только через 2,5–3 часа и было выражено в меньшей степени по сравнению с опытами с

увеличением уровня CO_2. Наблюдаемый эффект уменьшения диффузионной водной проводимости в корне может быть объяснен реакцией устьиц на изменение концентрации внешнего CO_2 (Young et al., 2006; Lake et al., 2002). Известно, что повышение уровня CO_2 может приводить к закрытию устьиц, в результате чего транспирационный ток воды в растении уменьшается и, соответственно, снижается интенсивность межклеточного транспорта воды в корне. Установлено, что водные каналы аквапорины вносят основной вклад в модуляцию гидравлической проводимости корней (Li et al., 2014). После предварительной обработки корней ингибитором аквапоринов хлоридом ртути увеличение концентрации CO_2 не приводило к изменениям в диффузионном транспорте воды в корнях растений (рис. 2), что свидетельствует об участии аквапоринов в изменении водной проводимости корней в ответ на повышение концентрации CO_2.

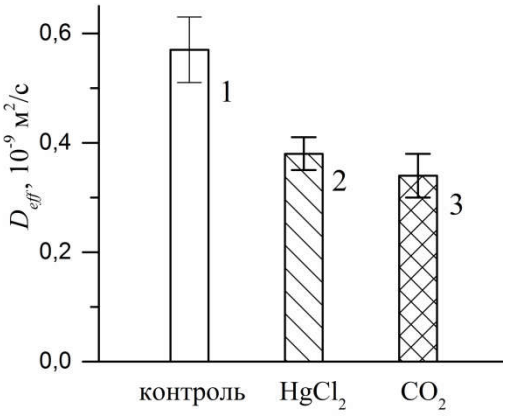


Рис. 2. Средний эффективный коэффициент диффузии воды в клетках корней интакных растений кукурузы:
1 – контроль; 2 – после обработки корней раствором $HgCl_2$ 200 мкМ; 3 – при последующем повышении концентрации CO_2 в листовой зоне.

Таким образом, результаты, полученные с использованием оригинального методического подхода, позволили установить особенности реакции водотранспортной системы корней растений на повышение концентрации CO_2 в атмосфере.

Работа поддержана грантом РФФИ № 16-34-00823.

Список литературы

1. Prior S. A., Runion G. B., Marble S. Ch., Rogers H. H., Gilliam Ch. H., Torbert H. A. A Review of Elevated Atmospheric CO_2 Effects on Plant Growth and Water Relations: Implications for Horticulture // Hort Science. 2011. № 46 (2). pp. 158-162.

2. Huang B., Xu Y. Cellular and Molecular Mechanisms for Elevated CO2– Regulation of Plant Growth and Stress Adaptation // Crop Science. 2015. № 55. pp. 1-20.

3. Анисимов А. В., Суслов М. А., Зуйков В. А. Оснастка к исследованиям массопереноса под влиянием статического и динамического давления непосредственно в датчике градиентного ЯМР // Датчики и системы. 2012. Т. 7. С. 64-67.

4. Анисимов А. В., Раткович С. Транспорт воды в растениях. Исследование импульсным методом ЯМР. М., Наука, 1992. 144 с.

5. Valiullin R., Skirda V. Time dependent self-diffusion coefficient of molecules in porous media // Journal of chemycal physics. 2001. № 114 (1). pp. 452-458.

6. Crick F. Diffusion in embryogenesis // Nature. 1970. № 225. pp. 420-422.

7. Ehlert Ch., Maurel Ch., Tardieu F., Simonneau Th. Aquaporin-mediated reduction in maize root hydraulic conductivity impacts cell turgor and leaf elongation even without changing transpiration // Plant Physiol. 2009. № 150. pp. 1093-1104.

8. Young J. J., Mehta S., Israelsson M., Godoski J., Grill E., Schroeder J. I. CO_2 signaling in guard cells: Calcium sensitivity response modulation, a Ca2+ -independent phase, and CO_2 insensitivity of the gca2 mutant // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2006. № 103. pp. 7506-7511.

9. Lake J. A., Woodward F. I., Quick W. P. Long-distance CO_2 signaling in plants // J. Exp. Bot. 2002. № 53. pp. 183-193.

10. Li G., Santoni V., Maurel Ch. Plant aquaporins: roles in plant physology // Biochimica et biophysica acta. 2014. № 1840. pp. 1574-1582.

11. Anisimov A. V. Spin-echo NMR study of the translational water diffusion selectively along the apoplast and the cytoplasmic and vacuolar symplasts of plants // Biophysics. 2004. № 49. pp. 816-821.

ПИГМЕНТНЫЙ ФОНД ЛИСТЬЕВ РАЗНЫХ СОРТОВ ГРУШИ, ОБРАБОТАННЫХ ВЕРБАСКОЗИДОМ

Н. В. Титова, Н. С. Бужоряну, Н. Е. Мащенко

Институт Генетики, Физиологии и Защиты растений АН Молдовы

г. Кишинев, ул. Пэдурий, 20

В сообщении рассмотрены особенности сезонной динамики хлорофиллов и каротиноидов в листьях поздних сортов груши Ноябрьская, Выставочная и Сокровище разного возраста, произрастающих в условиях промышленного сада и в вегетационном опыте в лизиметрах. В результате проведенных исследований было установлено стимулирующее влияние натурального биорегулятора гликозидной природы фенольного типа вербаскозид на пигментный фонд листьев исследуемых сортов груши, способствующее реализации их потенциальной продуктивности.

PIGMENT FUND IN LEAVES OF THE DIFFERENT PEAR VARIETIES TREATED WITH VERBASCOSIDE

N. V. Titova, N. S. Bujoreanu, N. E. Mashcenco

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of the Academy of Sciences of Moldova

20, Peduryi St., Kishinev, Moldova

The report presents the features of the seasonal dynamics of chlorophylls and carotenoids in leaves of the late pear varieties Noyabriskaya, Vystavocinaia and Socrovishce of different ages, growing in an industrial garden and in a vegetation experiment in lysimeters. As a result of the conducted studies, the stimulating effect of the natural bioregulator of the glycosidic nature of the phenolic type of verbascoside on the pigmentary fund of the leaves of the investigated pear varieties was established.

Введение

Реализация фотосинтетической функции в значительной степени определяется содержанием ассимиляционных пигментов – хлорофиллов *а* и *б* и каротиноидов (Горышина,1988; Ничипорович и др., 1961). В исследованиях роста, фотосинтеза и продуктивности растений существенное внимание уделяется экзогенной регуляции данных процессов для оптимизации и реализации потенциальных возможностей растительного организма. Одним из важнейших факторов такой регуляции является использование биологически активных соединений (Шевелуха, 1997). Подобные исследования проводились в основном на однолетних культурах. В литературе имеется информация о том, что растения яблони, абрикоса и персика отзывчивы на экзогенное воздействие

биологически активных соединений (Babuc, 2012; Титова и др., 2014). Подобные научные данные о растениях груши практически отсутствуют. В предыдущих исследованиях влияния нового биологически активного соединения стероидного типа вербаскозид, выделенного из растений *Verbascum densiflorum Bertol*., на фотосинтетическую деятельность растения груши установлена наиболее эффективная стимулирующая доза исследуемого биопрепарата (0,01%) и выявлена необходимость более всестороннего исследования данного влияния на составляющие продукционного процесса (Титова и др., 2016). Цель работы заключалась в исследовании особенностей пигментного фонда как важнейшего физиологического механизма, определяющего продуктивность растений, у разных сортов груши в зависимости от возраста, условий произрастания и срока созревания плодов и влияния на него вербаскозида.

Материалы и методы

Изучение физиолого-биохимических особенностей разных сортов груши проводилось в 2015–2016 гг. в производственных условиях в промышленном саду (четырехлетние деревья поздних сортов Ноябрьская и Выставочная) и в контролируемых условиях лизиметров Института (однолетние растения сортов Ноябрьская и Сокровище). Растения груши после цветения в саду и в начале июня в лизиметрах были обработаны 0,01% водным раствором вербаскозида. Контролем служили растения, опрыснутые водой. Содержание пигментов в листьях в течение вегетации изучалось в ацетоновой вытяжке спектрофотометрическим методом. Достоверность различий между вариантами оценивалась по критерию Стьюдента при 0,05% уровне значимости.

Результаты и обсуждение

У 4-летних растений груши в саду уже через две недели после обработки и далее в течение двух месяцев было выявлено значительное преимущество над контролем варианта с новым рост активирующим соединением вербаскозид по содержанию пигментов в листьях, в особенности хлорофиллов (рис. 1).

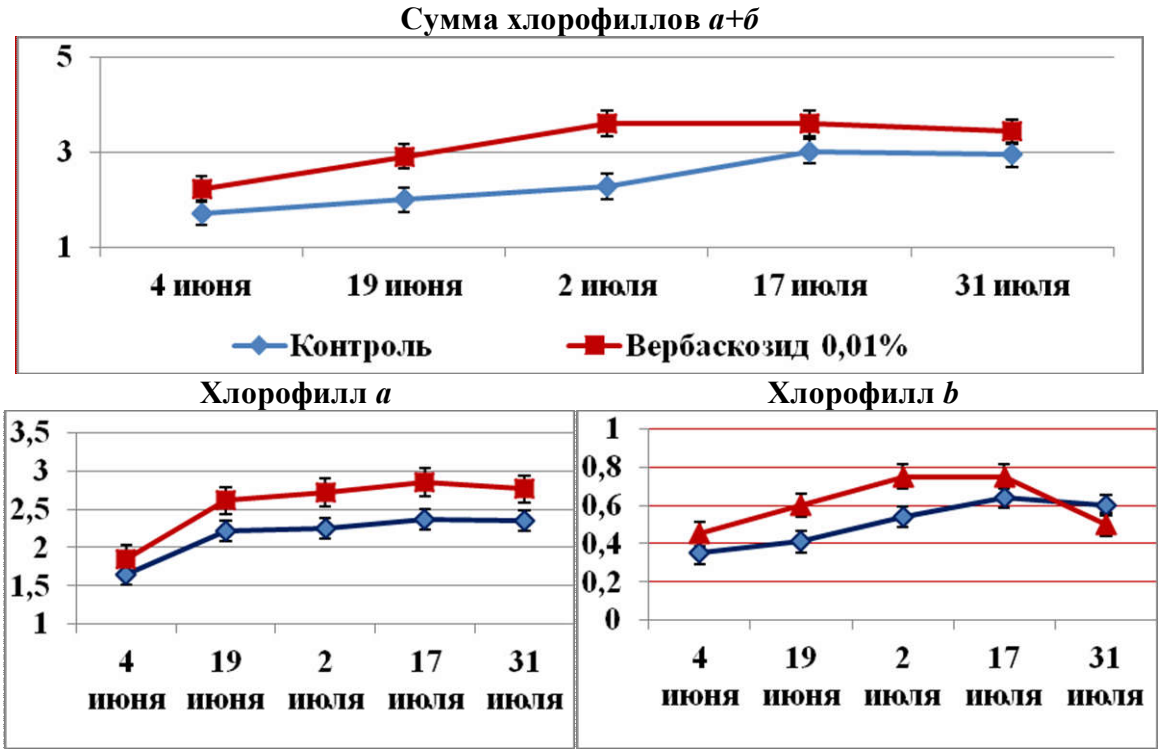


Рис. 1. Влияние вербаскозида на содержание пигментов у растений груши сорта Ноябрьская (мг·дм$^{-2}$). 2015 г.

Действие вербаскозида на отдельные компоненты зеленых пигментов, как видно из рис. 1, было аналогичным. Отношение хлорофиллов *а* и *б* в течение вегетационного сезона изменялось, но не во всех изучаемых вариантах было близким. Исследование содержания каротиноидов представляется особенно важным в связи с их важной ролью биопротекторов в фотосинтетической функции хлоропластов (Стржалка и др., 2009). Сезонная динамика каротиноидов, как и хлорофиллов, у двух сортов груши была однотипной во всех вариантах, что подтверждает наличие единого типа стратегии накопления пигментов в листьях исследуемых растений. В содержании пигментов четко проявляются генотипические особенности изучаемых сортов груши: значения составляющих пигментного фонда листьев груши сорта Выставочная превосходят данные показатели у сорта Ноябрьская.

Как и в предыдущем году, в 2016 г. у 5-летних растений в содержании пигментов также проявляются особенности генотипа: значения составляющих пигментного фонда листьев груши сорта Выставочная, как правило, превосходят данные показатели у сорта Ноябрьская (рис. 2).

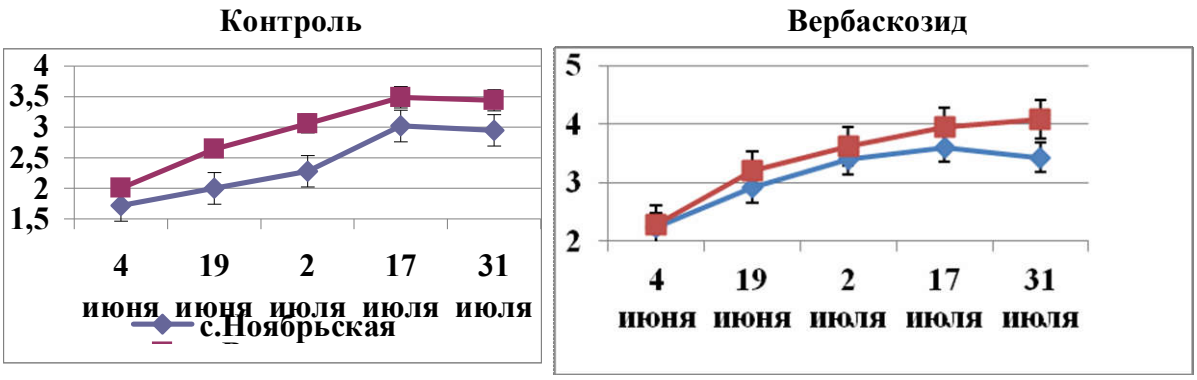


Рис. 2. Динамика содержания хлорофиллов *а+б* в листьях разных сортов груши в контроле и при обработке вербаскозидом (мг·дм$^{-2}$). 2016 г.

В контролируемых условиях лизиметров однолетние растения груши сортов Ноябрьская и Сокровище также оказались отзывчивыми на некорневую обработку вербаскозидом. На рис. 3 приведена динамика суммы зеленых пигментов в листьях груши. Очевидно преимущество опытных растений над контролем, что коррелирует с показателями листовой поверхности и фотосинтетической активностью.

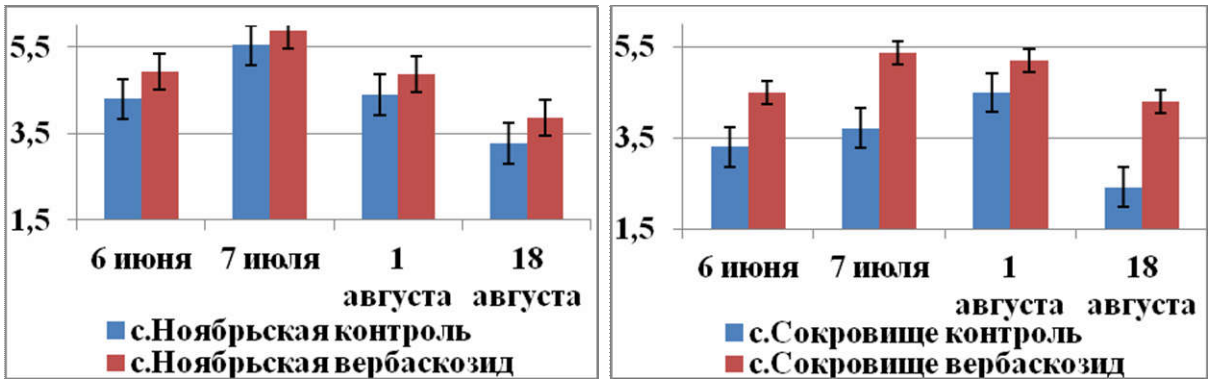


Рис. 3. Изменение содержания хлорофиллов *а + б* в листьях растений груши под влиянием вербаскозида, мг·дм$^{-2}$. Лизиметры, 2016 г.

Генотипические особенности исследуемых сортов наглядно прослеживаются в пигментном фонде листьев однолетних растений груши: у сорта Ноябрьская содержание хлорофиллов в 1,2–1,5 раза превышает их содержание у сорта Сокровище. В то же время у последнего сорта действие вербаскозида выражено более отчетливо.

Заключение

Выявлены функциональные особенности пигментного фонда листьев у плодоносящих поздних сортов груши Ноябрьская и Выставочная, произрастающих в промышленном саду, и у однолетних растений сортов

Ноябрьская и Сокровище в вегетационном опыте в лизиметрах. Проведенные исследования показали, что параметры пигментного комплекса могут служить важными показателями воздействия биологически активных соединений. Под влиянием нового биологически активного соединения стероидного типа вербаскозид у всех изучаемых сортов груши увеличивается концентрация хлорофиллов *а* и *б*, их соотношение и количество каротиноидов в листьях, что может способствовать улучшению их фотосинтетической способности и продуктивности.

Список литературы

1. Горышина Т. К. Об основных линиях адаптивных структурных изменений фотосинтетического аппарата листа у растений в природных местообитаниях // Экология. 1988. № 6. С. 8–15.

2. Ничипорович А. А., Строгонова Л. Е. Чмора С. Н., Власова М. Л. Фотосинтетическая деятельность в посевах. М., АН СССР, 1961. 133 с.

3. Шевелуха В. Г.Современные проблемы гормональной регуляции живых систем и организмов // Регуляция роста и развития растений. Тез. докл. IV межд. конфер. М., 1997. С. 3–4.

4. Babuc Vasile. Pomicultura. Chişinău: T. Centrală. 2012. 664 p.

5. Титова Н. В, Шишкану Г. В. Исследование влияния натуральных стероидных гликозидов на продуктивность растений абрикоса // Матер. Годичного собрания ОФР. Калининград, 2014. Ч. 1. С. 357–360.

6. Титова Н. В., Бужоряну Н. С., Скурту Г. И., Мащенко Н. Е. Особенности фотосинтеза растений груши при действии натуральных биологически активных соединений // Mater. confer.şt. «Biodiversitatea în contextul schimbărilor climatice», Chişinău. 2016. С. 359–364.

7 Стржалка К., Костецкая-Гугала А., Латовски Д. Каротиноиды и стрессовые воздействия окружающей среды: роль модуляции физических свойств мембран каротиноидами // Физиология растени. 2009. Т. 50, № 2. С. 78–193.

РЕДИПЛОИДИЗАЦИЯ ТЕТРАПЛОИДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ КУКУРУЗЫ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД РАСШИРЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОЛИМОРФИЗМА СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Э. Б. Хатефов

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова»

Кукуруза является одной из основных культур современного мирового земледелия. В последние десятилетия возникла угроза генетической эрозии культуры кукурузы вследствие резкого сужения ее генетического полиморфизма. Все современные коммерческие линии и их гибриды кукурузы происходят по родословной от 3–5 сортов из кукурузного пояса США. Поиск новых методов создания исходного селекционного материала кукурузы с широкой изменчивостью признаков в настоящее время является весьма актуальным. Одним из них является создание редиплоидных линий, прошедших через «геномный шок» тетраплоидных популяций. Авторами создан новый исходный селекционный материал с широким генетическим полиморфизмом для гетерозисной селекции кукурузы.

Введение

Кукуруза является основной зернофуражной культурой в мире. Согласно данным отчета Международного Совета по Зерну (IGC), мировое производство кукурузы в 2016–17 гг. составляет 1,017 млрд. тонн. Несмотря на рост производства кукурузы в мире, уже к концу XX века наблюдается значительное сужение генетического разнообразия кукурузы вследствие перехода от популяционного метода селекции к гибридной. В результате такого резкого сокращения генетического полиморфизма наблюдается возрастание генетической уязвимости вида, представленного в современном производстве ограниченным набором генеалогически родственных линий и их гибридов. Исторически сложилось так, что подавляющее большинство линий первого цикла селекции фактически было заложено на трех-пяти сортах кукурузного пояса США, что не может вызывать озабоченности относительно возможной генетической эрозии культуры кукурузы. Аналогичная ситуация сложилась и в Европе. Здесь так же, как и в США, прослеживается сужение полиморфизма вида, что продолжает усугубляться постоянной интродукцией новых линий и гибридов из США (Sprague, 1971; Şuteu et al., 2013). Совершенствование методов ведения селекционного процесса, создание и изучение нового

исходного материала и вовлечение его в селекционный процесс являются весьма актуальными задачами. Одним из эффективных методов получения нового исходного селекционного материала кукурузы является создание полиплоидного генома для повышенного обмена гомологичными участками хромосом в результате «геномного шока». В процессе мейоза тетраплоидного генома в квадривалентах происходит больше обменов гомологичными участками хромосом, чем в бивалентах в диплоидном геноме кукурузы, и, соответственно, полиморфизм восстановленных линий шире, чем при обычных гибридных комбинациях диплоидных генотипов.

Материалы и методы

Материалом для исследований послужили 44 редиплоидные линии кукурузы ФАО 100–600. Метод восстановления редиплоидных линий основан на получении триплоидных зерновок путем скрещивания среднепоздних тетраплоидных популяций кукурузы с раннеспелыми диплоидными линиями. В следующем году проводили инцухт триплоидных растений с последующим разложением полученных гетероплоидных зерновок на предполагаемые тетраплоидные, диплоидные, триплоидные и анеуплоидные генотипы. Семена предполагаемых диплоидных зерновок высевали на следующий год и проводили инцухт. Параллельно каждое растение тестировали методом топкроссов на початки тетраплоидных и диплоидных растений. Осенью по результатам топкроссов отбраковывали тетраплоидные, триплоидные и анеуплоидные растения и отбирали диплоидные, которые далее вовлекались в исследования с I_5.

Для определения комбинационной способности, реакции на ЦМС и склонности к многопочатковости в топкроссах в качестве тестеров использовались стерильные линии Кр 703М, Кр 714М, Гк 26М и фертильная линия ВИР 44N. Стандартом при испытании топкроссов служил гибрид Родник 292 МВ.

Испытание линий проводилось в двукратной, а тесткроссов – в трехкратной повторности. Делянки опыта двухрядковые площадью 4,9 м², ширина междурядий – 0,7 м, густота стояния – 50–60 тыс. растений на 1 га. Исследования проводились согласно методическим указаниям, изложенным в

работах «Методические указания по селекции кукурузы ВНИИК» (1982) и «Изучение и поддержание образцов коллекции кукурузы» (1985), биометрические измерения и их описания – согласно «Широкому унифицированному классификатору СЭВ и международному классификатору СЭВ вида Zea mays L.» (1977). Статическая обработка данных проводилась по методике Доспехова (1985). Экологическую пластичность и стабильность определяли по Пакудину и Лопатиной (1985).

Результаты и обсуждение

Тетраплоидная кукуруза (2n = 40*x*) отличается от диплоидной (2n = 20*x*) не только удвоенным набором хромосом в геноме, но рядом селекционно ценных признаков (Хатефов, 2009). Растения тетраплоидной кукурузы в период цветения способны свободно скрещиваться с диплоидной, образуя щуплые триплоидные зерновки без полноценного эндосперма (рис. 1). Проведение реципрокных скрещиваний между диплоидной и тетраплоидной кукурузой показало, что гибридные триплоидные зерновки при оптимальных условиях развития вполне жизнеспособны и проходят все соответствующие диплоидным растениям фенологические фазы.

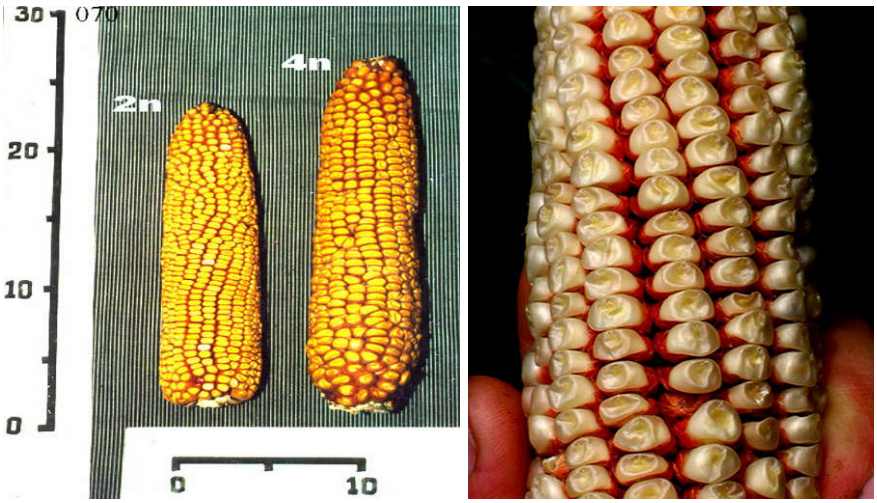


Рис. 1. Диплоидный и тетраплоидный початки кукурузы (слева) и триплоидные зерновки на початке кукурузы (справа).

Такие триплоидные растения частично фертильны и при инцухте на початке завязывают разноплоидные зерновки. Триплоидные гибридные растения на начальных этапах развития дают слабые ростки с узкими удлиненными листочками, которые на последующих этапах морфогенеза могут

развивать мощные растения, превышающие по высоте тетраплоидные и диплоидные родительские растения, поэтому триплоидные зерновки предпочтительно проращивать в пластиковых стаканчиках и затем пересаживать в грунт (рис. 2).

Рис. 2. Растения 3n кукурузы, пророщенные в стаканчиках и готовые к высадке в грунт.

В период цветения триплоидные растения образуют пыльцу с нарушенным (несбалансированным) числом хромосом в гаметах. Пыльца тетраплоидной кукурузы состоит из смеси гаплоидных, диплоидных и анеуплоидных гамет. При инцухте растений триплоидной кукурузы на початке завязываются зерна с разной плоидностью (рис. 3, 4).

Рис. 3. Самоопыленный початок триплоидной кукурузы.

Рис. 4. Распределение зерновок самоопыленного триплоидного початка на предполагаемые 4n, 2n, 3n и анеуплоидные (n±1) зерновки.

Такие зерна внешне трудно отличить от диплоидных или тетраплоидных. Анеуплоидные зерновки при пересеве дают растения с еще более разбалансированным хромосомным числом в гаметах. Пыльцевые зерна таких растений, попадая на рыльца початков диплоидной и тетраплоидной кукурузы, завязывают зерновки с нарушенным числом хромосом. При засорении посевов диплоидной и тетраплоидной кукурузы триплоидными зерновками с последующим их переопылением происходит резкое снижение семенной продуктивности початка, что приводит к недобору урожая зерна как диплоидной, так и тетраплоидной кукурузы.

Проведенные исследования гомоплоидных (♀2n×♂2n; ♀4n×♂4n) и гетероплоидных (♀2n×♂4n; ♀4n×♂2n) скрещиваний и анализ гибридного потомства показали, что нарушения формирования полноценного эндосперма наблюдаются в случае отклонения от нормы соотношения плоидности основных компонентов зерновки – зародыша и эндосперма (табл. 1).

Таблица 1. **Выполненость компонентов зерновки при моноплоидных и гетероплоидных скрещиваниях между 2n и 4n кукурузой.**

Гибрид	Плоидность, n		Соотношение плоидности генома зародыш : эндосперм	Состояние	
	зародыш	эндосперм		зародыш	эндосперм
♀2n × ♂2n	2	3	2:3	развит	развит
♀4n × ♂4n	4	6	2:3	развит	развит
♀2n × ♂4n	3	4	3:4	развит	не развит
♀4n × ♂2n	3	5	3:5	развит	не развит

Так, при гомоплоидном скрещивании у диплоидов и тетраплоидов соотношения геномов в клетках зародыша и эндосперма составляют 2:3, а у триплоидов наблюдается два варианта – 3:4 и 3:5 для гибридов ♀2n×♂4n и ♀4n×♂2n соответственно (Хатефов, 2012). При этом во всех комбинациях развиваются вполне жизнеспособные и достаточно фертильные триплоидные растения. У триплоидных растений фертильность метелки снижена, но початки способны воспринимать как гаплоидную, так и диплоидную пыльцу, поэтому завязавшиеся на триплоидном початке зерновки бывает трудно отличить по плоидности среди остальных (рис. 4). Если растение было анеуплоидным, то на тестерном початке завязывались разные по плоидности зерновки. Процесс восстановления диплоидных линий из тетраплоидных популяций происходил в течение 2007–2015 гг., а изучение топкроссов проводилось в течение 2014–2015 гг. (табл. 2).

Рис. 4. Развитие зерновок на триплоидных (3n) початках, опыленных гаплоидной (слева) и диплоидной (справа) пыльцой.

Метод восстановления диплоидных линий из тетраплоидных с использованием гаплоидуктора ранее был предложен Э. Б. Хатефовым и О. А. Шацкой (2008). Однако ввиду сложности работы с гаплоиндуктором на тетраплоидных генотипах был предложен новый метод разложения триплоидного потомства гетероплоидного гибрида с выделением диплоидных генотипов кукурузы.

Таблица 2. **Схема получения восстановленных диплоидных линий кукурузы из тетраплоидных популяций методом гибридизации**

Годы	Потомство				
2007	2n × 4n				
2008	3n				
2009	4n инцухт	2n инцухт	3n брак	Xn – 1 брак	Xn + 1 брак
2010	инцухт	инцухт			
2011	архив	инцухт			
2012		инцухт			
2013		инцухт			
2014		гибридизация			
2015		тестирование			

В результате проведенных исследований было идентифицировано и изучено 44 восстановленных диплоидных и 14 тетраплоидных линий. Генотипы с тетраплоидным, триплоидным и анеуплоидным геномами были отбракованы и заложены в архив, а 44 восстановленные диплоидных линии были доведены до I_5 и изучены в топкроссах. Исследования показали, что выщепления 4n и 2n зерновок из потомства инцухта триплоидного растения происходит в соотношении 1:1 с небольшими отклонениями в сторону диплоидных геномов. Исходные тетраплоидные и диплоидные линии ранних инцухтов характеризовались невысоким ростом и эректоидным расположением листьев с преимущественно выраженной склонностью к двухпочатковости (рис. 5). Все выделенные в опыте восстановленные диплоидные линии заложены в коллекцию ВИР в 2016 г.

Рис. 5. Габитус и расположение листьев на стебле у редиплоидных линий кукурузы в поле

По группам спелости восстановленные диплоидные линии были представлены показателями от 100 до 600 по классификации ФАО (табл. 3). Основное число линий представлено среднеранними и среднеспелыми группами ФАО. Раннеспелая и среднепоздняя группы представлены 7-ю и 5-ю линиями соответственно, а ультрараннеспелая и позднеспелая группы ФАО – всего по одной линии каждая.

Таблица *3*. **Характеристика линий по группам спелости (ФАО)**

Группа	ФАО	Линии
Ультрараннеспелая	–100	клф-5
Раннеспелая	100–200	1/15; 1/66; 1/66-3; 1/67-1; 1/70; 1/78; 1/101р
Среднеранняя	201-300	1/14х; 1/99-1-3; 1/130; 1/135; 1/75; 1/130-1; 1/101-1; 1/35-1; 1/35-2; 1/72; 1/60; 1/101-2; 1/73; 1/73х; 1/99-2-3; 1/99-3-3; 1/122
Среднеспелая	301–400	1/67: 1/66-2; 1/130х; 1/130-3; 1/130-1х; 1/64-2; 1/130-2; 1/130-4; вр; wx143; мп4а; мп4в; puno-04
Среднепоздняя	401–500	1/40; 1/58; мп4; wx25-1; wx25-2
Позднеспелая	501–600	1/129R

Результаты исследований показали, что происходит варьирование (CV%) в широких пределах таких признаков, как группа спелости, высота растений, высота прикрепления нижнего початка, число листьев на растении, число веточек первого порядка на растении, масса 1000 зерен, общее число зерен на початке, выход зерна с початка, число рядов зерен на початке, число зерен в ряду на початке, длина початка, масса початка, урожай зерна с растения, число початков на стебле и характер его наследования в потомстве, экологическая пластичность и устойчивость к основным болезням и вредителям кукурузы для КБР, к абиотическим воздействиям окружающей среды и полеганию, консистенция и химический состав зерновки, реакция ЦМС в топкроссах, общая и специфическая комбинационная способность.

Метод редиплоидизации тетраплоидных популяций позволяет селекционерам получать достаточно разнообразный исходный материал. На основе новых редиплоидных линий возможно создание новых сортов и гибридов кукурузы, характеризующихся высоким урожаем зерна, повышенной питательной ценностью и устойчивостью к био- и абиотическим факторам среды. Из выделенных в опыте редиплоидных линий кукурузы представляется

перспективным использовать в селекции на гетерозис линии, характеризующиеся следующими признаками (табл. 4).

Таблица 4. **Рекомендуемые для включения в селекционные программы редиплоидные линии кукурузы**

№ п/п	Селекционно ценный признак	Линия
1	ФАО 100-200	1/99-1-3, 1/70, 1/15x, 1/66-3, 1/101p, 1/35-1, 1/67-1, 1/99 -2-3, 1/99-3-3, 1/73x, мп4, клф-5
2	ФАО 201-300	1/130, 1/135, 1/75, 1/130-3, 1/130-1, 1/72, 1/60, 1/35-2, 1/64-2, 1/130-4, 1/14x, 1/101-2x, 1/73, 1/122, 1/122, puno-04, вр, мп4а, wx25- 2
3	ФАО 301-400	1/67, 1/66-2, 1/130x, 1/101-1x, 1/130-1x, 1/130-2x, 1/58, w143, МП4в, wx25-1
4	ФАО 401-500	1/40x, 1/129R, 1/78, 1/66
5	Многопочатковость	мп4а, 1/130-4, мп4в, wx25-1, 1/58, 1/66-2, 1/101p, 1/101-1, 1/130, wx25-2
6	Высокая комбинационная способность	1/99, 1/73, 1/99-3-3, 1/130, 1/130-4, 1/73, 1/60, x1/72, 1/67, 1/99-2-3, 1/135, 1/130-3, 1/64-2, мп4а, мп4в, 1/67, 1/58; мп4; wx25-1
7	Закрепители ЦМС «М» типа	1/58; 1/66-2; 1/67-1; 1/99; 1/130-2; 1/135; мп4а; мп4в; wx25-1
8	Восстановители ЦМС «М» типа	1/60; 1/64-2; 1/70; 1/72; 1/75; 1/99-1-3; 1/99-2-3; 1/101p; 1/101-1; 1/122; 1/130; 1/130-1; 1/130-3; 1/130-4; 1/135-1; ВР; клф-5; wx25-2; wx143
9	Устойчивость к биотическим и абиотическим факторам среды	1/99 -1 -3; 1/66 -2; 1/130; 1/70; 1/130 X; 1/60; 1/35-2; 1/64 -2; 1/130-2X; клф-5; 1/101-1X; 1/66-3; 1/130-1; 1/78; 1/99 -1 -3; мп4а; мп4в; мп4; wx25-1

Выводы

Результаты исследований линий диплоидной кукурузы показали перспективность испытанного метода редиплоидизации тетраплоидной кукурузы и их последующего выделения в инбредные линии, а также селекционную ценность для создания высокоурожайных гибридов кукурузы. Восстановленные диплоидные линии кукурузы обладают достаточным полиморфизмом всех селекционно ценных признаков для отбора линий. Выделенные в процессе изучения генотипы характеризуются различными селекционно ценными количественными и качественными признаками. На основе выделенных линий возможно создание новых сортов и гибридов кукурузы, отличающихся высоким урожаем зерна, повышенной питательной ценностью и устойчивостью к био- и абиотическим факторам среды. Выделены генетические доноры многопочатковости, устойчиво передающие данный

признак гибридам в комбинациях с линией Гк 26М. Их целесообразно включать в программы по селекции многопочатковой кукурузы. Внедрение в производство новых гибридов и сортов, созданных на основе восстановленных диплоидных линий кукурузы, позволит обогатить генофонд и снизить риски генетической эрозии кукурузы, а также увеличить ее урожайность за счет вовлечения в селекционный процесс генотипов кукурузы с высокой общей и специфической комбинационной способностью.

Список литературы

1. Хатефов Э. Б. Изменчивость плоидности зерновок при гетероплоидных скрещиваниях между диплоидной и тетраплоидной кукурузой // Вестник КБ НЦ РАН. 2012. № 3(47). С. 86–90.
2. Хатефов Э. Б. Исследования тетраплоидной кукурузы для ее селекционного улучшения. Нальчик, ЧП «Полиграфия», 2009. С. 110.
3. Хатефов Э. Б., Шацкая О. А. Применение гаплоиндукторов в гетероплоидных скрещиваниях для расширения разнообразия генетической основы кукурузы // Материалы II Вавиловской международной конференции «Генетические ресурсы культурных растений в XXI веке». 25–28 ноября 2008 г. СПб. С. 367–369.
4. Sprague G. F. Genetic vulnerability in corn and sorghum. Proc. 26th Ann. Corn and Sorghum Res. Conf. pp. 96–104.
5. Şuteu D., Băcilă I., Haş V., Haş I., Miclăuş M. Romanian Maize (Zea mays) Inbred Lines as a Source of Genetic Diversity in SE Europe, and Their Potential in Future Breeding Efforts // PLoS One. 2013. № 8 (12): e85501. doi:10.1371/journal.pone.0085501 PMCID: PMC3877385.
6. http://agro2b.ru/ru/analytics/33879-The-international-grains-Council-IGC-has.html.

ПОГЛОЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ КУЛЬТУРНЫМИ И ДИКОРАСТУЩИМИ ВИДАМИ ЗЛАКОВ

В. Е. Чернов[1], А. Т. Черкасова[2], А. И. Аксенов[3]

[1]ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова» (ВИР);

[2]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет);

[3]ООО «Аквафор»

В работе представлены результаты сравнительной оценки интенсивности поглощения элементов минерального питания культурными видами злаков пшеницы и ячменя и их дикорастущими сородичами. Приведены сравнительные характеристики корневой системы культурных растений и их дикорастущих сородичей и молекулярные аспекты систем поглощения некоторых элементов минерального питания.

ABSORPTION OF MINERAL ELEMENTS BY CULTIVATED AND WILD SPECIES OF CEREALS

V. E. Chernov[1], A. T. Cherkasova[2], A. I. Aksionov[3]

[1]The Federal Research Center N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR);

[2]Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University);

[3]Aquaphor Corp.

The paper presents the results of the comparative evaluation of the intensity of the absorption of mineral elements in the cultural species of wheat and barley and their wild relatives. The comparative characteristics of the root system of cultivated plants and their wild relatives has been investigated and described. The molecular aspects of some mineral nutrients uptake observed by HKT1 primers amplification on cereal DNA of cultural and wild species.

Дикорастущие виды – сородичи культурных растений – являются источником целого ряда признаков устойчивости к биогенным и абиотическим стрессовым воздействиям (Крупнов, Сибикеев, 2005; Тырышкин, Манаенко 2011). Новые формы, полученные с участием дикорастущих видов, могут служить альтернативной заменой ГМО. Известно, что гибридному растению передается ряд признаков родителей – как ценных для гибрида, так и консервативных, переданных от дикорастущего родителя, что часто сопровождается снижением интенсивности действия функций, определяющих

продуктивность культурных сортов (Мережко, 1994). Одной из таких функций является интенсивность поглощения минеральных элементов. Для создания эффективных сортов и изучения генетической локализации нуклеотидных последовательностей, кодирующих признаки интенсивности поглощения минеральных элементов, необходим подбор форм, контрастных по признаку интенсивности поглощения изучаемого минерального элемента. Для различных видов одного рода признак интенсивности поглощения одного и того же минерального элемента может быть аналогичным по интенсивности в соответствии с законом гомологических рядов Вавилова (Вавилов, 1987). Исследования интенсивности поглощения минеральных элементов у дикорастущих видов позволяют установить образцы с показателями минерального питания, контрастными по данному признаку. В последнее время активно изучаются молекулярные механизмы внутриклеточного мембранного транспорта основных элементов минерального питания растений. Для *Arabidopsis thaliana* установлена локализация, механизмы работы и молекулярная структура нуклеотидных последовательностей транспортеров, регулирующих интенсивность поглощения калия HKT1 (Szczerla, Britto et al., 2009). Для модельных объектов, таких как арабидопсис, и для культурных растений (ячмень, пшеница) обнаружены гены транспортеров ионов аммония и нитрат-ионов (Glass, Britto et al., 2002.). В отношении дикорастущих сородичей культурных растений таких исследований не проводилось в связи с их систематическим положением. В настоящей работе проведена оценка интенсивности поглощения основных элементов минерального питания дикорастущими пшеницами (донорами генома A) и эгилопсами (донорами B и D геномов). Проведена сравнительная оценка данного показателя у культурного и дикорастущего ячменей.

В исследовании были применены метод ионометрии с ионселективными электродами и определение TDS как показателя общей минерализации питательного раствора. Основным показателем, по которому оценивалась интенсивность поглощения минеральных элементов растением, являлось

уменьшение концентрации минерального элемента в единицу времени в контролируемом объеме питательного раствора. С использованием праймеров, идентифицирующих НКТ-транспортер арабидопсиса, изучалось наличие гомологичной последовательности у исследуемых видов.

В процессе исследования интенсивности поглощения минеральных элементов различными видами злаков получены следующие результаты. Установлено, что для культурных злаков и их дикорастущих сородичей характерны различные типы корневой системы даже в том случае, когда дикорастущие сородичи являются компонентами гибридного генома культурной формы. Для культурных злаков характерна мочковатая корневая система. Дикорастущие виды образуют корневую систему линейного типа с глубинным образованием придаточных корней. Наблюдаемая интенсивность поглощения минеральных элементов у дикорастущих видов эффективнее, чем у культурных видов. Данная эффективность складывается из видимой интенсивности поглощения и площади поглощающей поверхности корня. В связи с тем, что площадь корня дикорастущих видов значительно меньше, чем у культурных видов, эффективность поглощения значительно возрастает. Интенсивность поглощения ионов K^+ у нескольких видов пшениц приведена ниже на рисунке.

В ходе исследований интенсивности поглощения ионов из питательного раствора наблюдался значительный межвидовой и популяционный полиморфизм по данному признаку у ряда образцов, например у образцов *Ae.speltoides*, поглощающих ионы калия с различной интенсивностью, по сравнению с мягкой пшеницей. Так, *Ae.speltoides* K-2282 поглощает калий интенсивнее, чем мягкая пшеница, а *Ae.speltoides* K-1596 – значительно менее интенсивно в сравнении с мягкой пшеницей. Тем не менее, рассчетная эффективность поглощения либо выше, чем у мягкой пшеницы, либо на уровне интенсивности поглощения культурного вида.

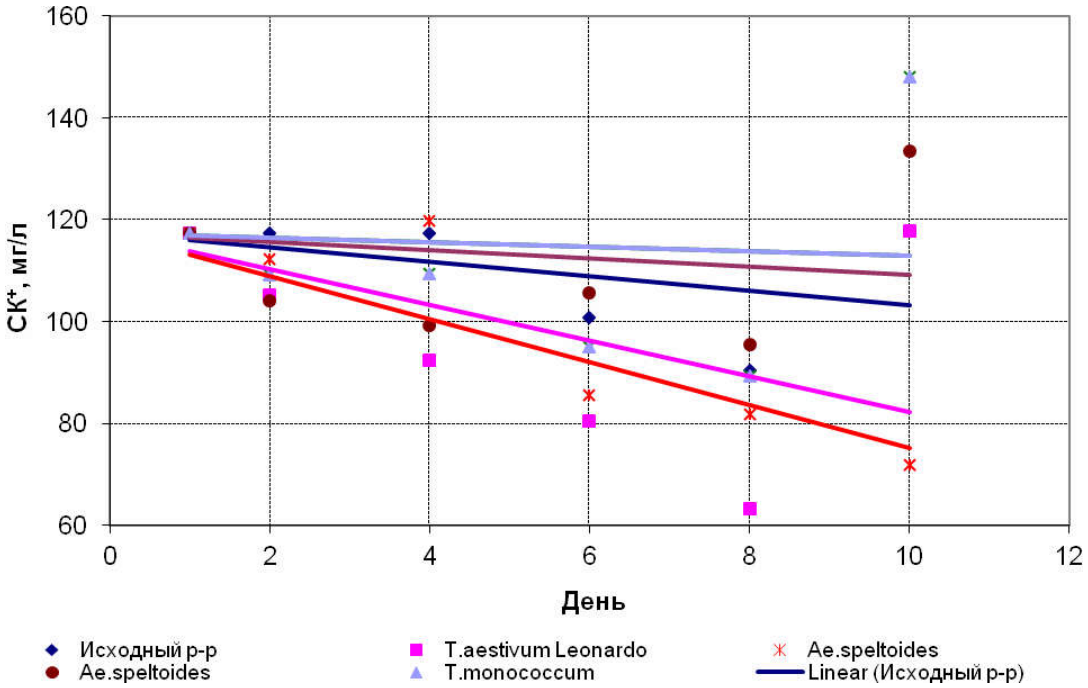


Рис. Интенсивность снижения концентрации ионов калия в растворе Кнопа у разных видов пшеницы

Такие же тенденции выявлены при сравнительном анализе культурного и дикорастущих ячменей. При помощи молекулярных методов также были выявлены существенные различия как между культурными видами, так и между культурными и дикорастущими злаками по длине амплифицированных фрагментов ДНК, полученных в результате ПЦР с праймерами НКТ1, фланкирующих последовательности, кодирующие структуры транспортеров, регулирующих активный транспорт калия у данных видов. При амплификации мягкой пшеницы наблюдались одинаковые для всех сортов фрагменты 1000 п.н. вне зависимости от интенсивности поглощения ионов калия. Основные различия наблюдались по длине минорных компонентов в области 300, 400 и 500 пар нуклеотидов. Для диких видов пшеницы и эгилопсов также было установлено наличие данных компонентов в продуктах амплификации.

Таким образом, в результате исследований определены различия в интенсивности поглощения компонентов минерального питания у культурных злаков и их дикорастущих сородичей, а также установлены отличия по длине и количеству амплифицированных фрагментов ДНК при ПЦР с праймерами НКТ1.

Список литературы

1. Крупнов В. А., Сибикеев С. Н. Чужеродные гены для улучшения мягкой пшеницы. Идентифицированный генофонд растений и селекция. СПб., 2005. С. 740–758.

2. Тырышкин Л. Г., Манаенко Н. С., Чернов В. Е. Образцы диких видов рода *Hordeum* L. как потенциальные источники устойчивости к грибным болезням // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2011. № 23. С. 114–119.

3. Мережко А. Ф. Проблема доноров в селекции растений. СПб., 1994. 127 с.

4. Вавилов Н. И. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. Л., Наука. 1987. 256 с.

5. Szczerla M. W., Britto D. T., Kronzucker H. J. K^+ transport in plants: Physiology and molecular biology // Journal of Plant Physiology. 2009. V. 166. pp. 447–466.

6. Glass A. D. M., Britto D. T., Kaiser B. N., Kinghorn J. R., Kronzucker H. J. The regulation of nitrate and ammonium transport systems in plants// Journal of Experimental Botany. 2002. V. 53, № 370. pp. 855–864.

ПОТЕНЦИАЛ СИНТЕТИЧЕСКОЙ ПШЕНИЦЫ С ГЕНОМОМ *AE. TAUSCHII* ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ НА АДАПТИВНОСТЬ К БИОТИЧЕСКИМ И АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССАМ

В. П. Шаманин[1], И. В. Потоцкая[1], С. С. Шепелев[1], В. Е. Пожерукова[1], А. С. Чурсин[1], А. И. Моргунов[2]

[1]*ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина» (Омский ГАУ);*

[2]*Представительство CIMMYT в Турции*

Представлены результаты фенотипической оценки линий гексаплоидной синтетической пшеницы с геномом *Aegilops tauschii* селекции CIMMYT и Киотского университета (Япония) в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Продемонстрирована перспективность линий синтетической пшеницы и отдельных форм эгилопса Тауша для селекции на устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам.

POTENTIAL OF SYNTHETIC WHEAT WITH GENOM *AE. TAUSCHII* FOR ADAPTIVE BREEDING TO BIOTIC AND ABIOTHIC STRESSES

V. P. Shamanin[1], I. V. Pototskaya[1], S. S. Shepelev[1], V. E. Pozherukova[1], A. S. Chursin[1], A. I. Morgunov[2]

[1]*Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin (Omsk SAU);*

[2]*CIMMYT-Turkey, Ankara*

The article presentes the results of the phenotypic evaluation of synthetic hexaploid wheat lines of CIMMYT breeding, that has been created by crossbreeding of wheat varieties by Plant Breeding and Genetics Institute (Odessa, Ukraine), and variety Pandur, Romania (*T. durum* Desf., genome AB) with *Ae. tauschii* Coss. (genome D), and also of 15 lines of synthetic wheat of the Kyoto University (Japan) under conditions of southern forest-steppe of Western Siberia in 2016. The prospects of the synthetic wheat lines and individual forms of Taush's euglope for wheat breeding for resistance to biotic and abiotic stresses have been demonstrated.

Общая тенденция к потеплению климата, высокая степень изменчивости и миграционной способности патогенов и, как следствие, участившиеся в последние годы эпифитотии болезней представляют серьезную угрозу для дальнейшего увеличения валового производства зерна пшеницы и повышения стабильности урожая по годам (Шаманин, Потоцкая, Клевакина, 2016; Shamanin et al., 2016).

Расширение генетического разнообразия пшеницы является основой повышения устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессам и

увеличения урожайности сортов, которое может быть достигнуто за счет привлечения к гибридизации всего разнообразия генетических ресурсов близкородственных видов и родов. Линии синтетической гексаплоидной пшеницы, полученные в CIMMYT путем скрещивания озимых сортов твердой пшеницы (*Triticum durum;* 2n = 28, AABB) из Украины и Румынии с сортообразцами *Ae. tauschii* Coss. (2n = 14, DD, syn. *Ae. squarrosa*) из района Каспийского бассейна (Шаманин и др., 2017; Kuresbek et al., 2017), и линии синтетической пшеницы селекции Киотского университета (Япония), полученные скрещиванием сорта твердой пшеницы Langdon (США) с формами эгилопса различного экологического происхождения (Matsuoka, Takumi, Kawahara, 2007), представляют собой значительный генетический резерв для создания ценного исходного материала для селекции пшеницы. Синтетики пшеницы используются в самых разных направлениях селекции, таких как увеличение показателей элементов урожайности, повышение устойчивости к биотическим и абиотическим (засухе, высоким температурам, засоленности) стрессам, а также улучшение качества зерна (Becker et al., 2016; Jighly et al., 2016).

Цель исследований заключалась в изучении линий гексаплоидной синтетической пшеницы с геномом *Aegilops tauschii* и выделении перспективных форм, устойчивых к биотическим и абиотическим стрессам.

На опытном поле Омского ГАУ в 2016 г. проведено изучение 126-ти линий гексаплоидной синтетической пшеницы. Каждая линия высевалась по одному погонному метру, через каждые пять номеров поочередно размещались стандарт № 1 (среднеранний сорт Памяти Азиева) и стандарт № 2 (среднепоздний сорт Серебристая). В течение вегетации растений проводились фенологические наблюдения и иммунологическая оценка (в динамике, не менее 4–5 учетов) поражения растений мучнистой росой, бурой стеблевой ржавчиной и септориозом по международной шкале CIMMYT (Койшибаев, Шаманин, Моргунов, 2014). Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине была проведена Е. И. Гультяевой в ФГБНУ «Всероссийский научно-

исследовательский институт защиты растений». Температуру растительного покрова определяли с помощью инфракрасного термометра LT300 по методике, рекомендованной CIMMYT (Physiological Breeding …, 2013). В период от выхода в трубку до молочной спелости было проведено четыре измерения. Достоверность отличий от стандартного сорта и коэффициенты корреляции рассчитывались по методике, изложенной Б. А. Доспеховым, с использованием программы Microsoft Excel. Растения синтетиков выкапывались, затем отмывали их корневую систему и сканировали с помощью Epson Perfection V700 («Epson America, Inc.», США), используя для обработки данных программу WinRHIZO («Regent Instruments, Inc.», Канада).

Из представленной коллекции синтетической пшеницы 30% линий относятся к группе высокоустойчивых к мучнистой росе, 15% линий имели высокую устойчивость к бурой ржавчине, 35% линий – к стеблевой ржавчине и 6 линий проявили высокую устойчивость к поражению септориозом. С помощью ПЦР-маркеров была проведена идентификация 10 *Lr*-генов. Синтетические линии № 69 и 75 (Ukr-Od 1530.94/Ae.sq.(629), несущие высокоэффективный ген *Lr24*, могут быть рекомендованы для включения в селекционные программы региона.

В настоящем исследовании использовались косвенные оценки засухоустойчивости, проведенные в соответствии с методикой CIMMYT при помощи инфракрасного ручного термометра LT 300. Температура растительного покрова ниже у сортов, эффективно использующих влагу из более глубоких слоев почвы, что является косвенным показателем хорошей засухоустойчивости сорта. Между температурой растительного покрова в фазу выхода в трубку и продуктивностью растений отмечена отрицательная корреляция (r = –0,27). У 13-ти линий ярового типа развития, среди которых № 715 Ukr-Od 1530.94/*Ae.sq.*(392), № 20 Aisberg/*Ae.sq.*(369), № 33 Ukr-Od 1530.94/*Ae.sq.*(1027), № 50 Langdon/Ku-20-9, № 52 Langdon/Ig 48042, № 60 Leuc. 84693/*Ae.sq.*(409), № 146 Langdon/Ku-2088, средняя температура растительного покрова по фазам развития растений варьировалась от 23,9 до 24,9°C.

Указанные линии можно выделить как генотипы с хорошим водным балансом и засухоустойчивостью в условиях южной лесостепи Западной Сибири.

Различные формы эгилопсов, использованные для создания синтетиков, характеризуются существенным полиморфизмом по признакам корневой системы, что имеет практическую значимость как неиспользованный потенциал для селекции на засухоустойчивость (табл. 1).

Таблица 1. **Параметры корневой системы у лучших по продуктивности колоса синтетических линий пшеницы**

№ линии	Сорт, линия	Масса зерна главного колоса, г	Число зародышевых корней	Суммарная длина корней, см	Площадь корней, $см^2$	Число кончиков корней	Число разветвлений корней	Биомасса корней, г
48	Ukr-Od 530.94/*Ae.sq.*(1027)	1,00	4	$146,9^{ab}$	$27,2^{ab}$	262^{ab}	549^{ab}	$0,99^{ab}$
56	Ukr-Od 530.94/*Ae.sq.*(458)	1,02	4	$75,9^{ab}$	$18,3^{ab}$	67^{b}	189^{ab}	0,58
58	Pandur/*Ae.sq.*(223)	1,17	5^{a}	$128,4^{ab}$	$25,6^{ab}$	217^{ab}	398^{ab}	$1,41^{ab}$
62	Aisberg/*Ae.sq.*(369)	1,09	3	$69,6^{ab}$	$16,0^{ab}$	111^{ab}	191^{ab}	$0,93^{ab}$
68	Aisberg/*Ae.sq.* (369)	0,99	3	$96,4^{ab}$	$21,6^{ab}$	165^{ab}	456^{ab}	$0,68^{ab}$
76	Aisberg/*Ae.sq.*(369)//Demir	$1,25^{a}$	6^{a}	$128,2^{ab}$	$28,4^{ab}$	151^{ab}	329^{ab}	$1,06^{ab}$
77	Ukr-Od 1530.94/*Ae.sq.*(310)	1,13	6^{a}	$99,7^{ab}$	$18,0^{ab}$	167^{ab}	258^{ab}	$0,82^{ab}$
95	Ukr-Od 52.92/*Ae.sq.*(1031)	0,92	5^{a}	$81,8^{ab}$	$16,9^{ab}$	78^{ab}	182^{ab}	$1,39^{ab}$
128	Ukr-Od 30.94/ *Ae.sq.* (1027)	$1,35^{a}$	4	$75,5^{ab}$	$17,5^{ab}$	79^{ab}	226^{ab}	$0,69^{ab}$
135	Ukr-Od 530.94/*Ae.sq.*(1027)	1,00	5^{a}	$75,5^{ab}$	$15,9^{ab}$	119^{ab}	245^{ab}	$0,61^{b}$
Памяти Азиева (стандарт среднераннего типа)		1,15	4	50,9	13,9	73	155	0,63
Серебристая (стандарт среднепозднего типа)		1,30	6	54,6	14,5	53	133	0,57
$НСР_{0,05}$		0,06	0,22	2,56	0,58	3,78	10,1	0,04

Примечание: латинскими буквами отмечены достоверные различия между вариантами для каждого параметра (тест НСР, $P < 0,05$).

Масса корней отдельных синтетиков больше массы корней стандартов на 0,4–0,8 г, а по суммарной длине корней превышение составляет 20–92 см. Наиболее продуктивная линия синтетиков № 128 Ukr-Od 1530.94/*Ae.sq.*(1027) (1,35 г.) имела средние показатели параметров корней, которые, впрочем, превосходили данные показатели у стандартных сортов. Однако в условиях засухи синтетические формы могут иметь большое преимущество над сортами

традиционной селекции за счет формирования мощной корневой системы, проникающей в более глубокие слои почвы (линии № 48 Ukr-Od 1530.94/*Ae.sq.*(1027), № 58 Pandur/*Ae.sq.*(223), большего числа корней, ветвлений и биомассы корней (линии № 68 Aisberg/*Ae.sq.*(369), № 77 Ukr-Od 1530.94/*Ae.sq.*(310), № 95 Ukr-Od 952.92/*Ae.sq.*(1031)). Рассчитаны коэффициенты корреляции между продуктивностью главного колоса и основными параметрами корней растения. Продуктивность растения имеет положительную среднюю связь с биомассой корней (r = 0,43), числом зародышевых корешков (r = 0,36) и общим числом корней (r = 0,41), а слабую связь – с площадью (r = 0,30) и объемом корней (r = 0,26). Критическое значение коэффициента корреляции при P = 95 равно 0,21.

Фенотипическая оценка линий гексаплоидной синтетической пшеницы установила значительное разнообразие по хозяйственно ценным признакам у синтетиков пшеницы, полученных от различных форм *Ae. tauschii*. Выделены линии с комплексным иммунитетом к грибным болезням: № 69 Ukr-Od 1530.94/*Ae.sq.*(629), № 74 Langdon/Ku-2097, № 75 Ukr-Od 1530.94/ *Ae.sq.*(629), № 104 Ukr-Od 1530.94/*Ae.sq.*(1027), № 108 Langdon /Ku-2100. Формы эгилопсов *Ae.sq.*(223), *Ae.sq.*(369), *Ae.sq.*(1027) можно рекомендовать в качестве источников для повышения основных параметров корневой системы в селекции на засухоустойчивость.

Благодарности

Данное исследование проведено при финансовой поддержке РНФ (проект № 16-16-10005).

Список литературы

1. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (С основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М., Колос, 1985. 321 с.

2. Койшыбаев М., Шаманин В. П., Моргунов А. И. Скрининг пшеницы на устойчивость к основным болезням: методические указания. Анкара, ФАО-СЕК, 2014. 58 с.

3. Оценка линий синтетической пшеницы (*Triticum durum*/*Aegilops tauschii*) по вегетационному периоду и устойчивости к болезням / В. П. Шаманин, И. В. Потоцкая, С. С. Шепелев и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 21 (3). С. 347–353.

4. Шаманин В. П., Потоцкая И. В., Клевакина М. В. Оценка сибирской коллекции яровой мягкой пшеницы на устойчивость к стеблевой ржавчине в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (11). С. 55–59.

5. Becker S. R., Byrne P. F., Reid S. D., Bauerle W. L., McKay J. K., Haley S. D. Root traits contributing to drought tolerance of synthetic hexaploid wheat in a greenhouse study // Euphytica. 2016. № 307. pp. 213–224.

6. Jighly A., Alagu M., Makdis F., Singh M., Singh S., Emebiri L.C., Ogbonnaya F. C. Genomic regions conferring resistance to multiple fungal pathogens in synthetic hexaploid wheat // Molecular Breeding. 2016. № 36. 127 p. DOI 10.1007/s11032-016-0541-4.

7. Kuresbek A., Sarbaev A., Chidirov K., Shamanin V., Dutbayev Y. Identification of hexaploid synthetic wheat resistant to diseases // Eco. Env. & Cons. 2017. № 23. pp. 509–512.

8. Matsuoka Y., Takumi S., Kawahara T. Natural variation for fertile triploid F1 hybrid formation in allohexaploid wheat speciation // Theor. Appl. Genet. 2007. № 115. pp. 509–518.

9. Physiological Breeding II: A field guide to plant Phenotyping. 2013. 132 p.

10. Shamanin V., Salina E., Wanyera R., Zelenskiy Yu., Morgounov A. Genetic diversity of spring wheat from Kazakhstan and Russia for resistance to stem rust Ug99 // Euphytica. 2016. № 12. pp. 287–296. DOI 10.1007/s10681-016-1769-0.

СТРАТЕГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ КАРТЫ, УЧИТЫВАЮЩАЯ ЗНАЧИМЫЕ РАЗЛИЧИЯ МУЖСКОЙ И ЖЕНСКОЙ РЕКОМБИНАЦИИ ПРИ ЗНАЧИТЕЛЬНОМ ЧИСЛЕ МАРКЕРОВ ТИПА F2

Е. И. Ронин

Институт эволюции, Университет г. Хайфа, Израиль

Игнорирование различий мужской и женской рекомбинации может привести к ошибкам при построении генетической карты. Наличие гетерозиготных родителей и различие аллельных составов их одноимённых маркеров позволяет восстановить материнскую и отцовскую гаметы для каждой особи, а такой информации достаточно для того, чтобы получить две матрицы парных расстояний между маркерами – женскую и мужскую. На основании таких матриц с помощью известных критериев можно независимо построить мужскую и женскую генетические карты, согласование которых позволит установить истинный порядок маркеров в генетической карте. Для однозначного восстановления отцовской и материнской гамет необходимо, как минимум, три различных аллеля в каждом маркере. В случае, когда один из пары маркеров имеет всего два аллеля, восстановление гамет родителей невозможно, но возможна оценка мужской и женской рекомбинации с помощью метода максимального правдоподобия. Когда же оба маркера двуаллельные, например, кодоминантные типа F_2, то также на основе метода максимального правдоподобия можно получить два различных рекомбинационных значения, однако невозможно установить, какой гамете (мужской или женской) принадлежит каждое из них. Получить соответствующую информацию можно при помощи соседних маркеров типа F1xF1 или маркеров типа BC – женских или мужских, а также с помощью соседних маркеров типа F2, для которых уже известен «пол» расстояний. В основе метода лежит анализ согласования расстояний между тремя маркерами. Минимум погрешностей, полученных при разных вариантах расположения маркеров и при разных предположениях о том, какое из двух расстояний мужское, а какое женское, берется за основу принятия решения. Присутствие достаточного числа маркеров типа BC и F1×F1, плотно распределённых на хромосоме, позволяет сравнительно легко решить задачу. Если же их немного, то задача решается в несколько этапов. На первом этапе определяются женские и мужские расстояния для пар маркеров F2, близких к маркерам типа BC и F1×F1, а затем по известным парам маркеров F2 определяются расстояния для следующих близких к ним пар маркеров типа F2.

ROLE OF LEGUMAINS IN SEED MATURATION AND IN SEED GERMINATION

Vitalyi Senyuk

University of Illinois at Chicago, USA

Legumain known also as endoprotease B, vacuolar processing enzyme or asparaginyl endopeptidase belongs to the sub-family of cysteine proteinases with a narrow endopeptidase activity. The term 'legumain' was introduced by Barrett and co-workers in 1993. Legumain was classified as a member of clan CD and family C13 of cysteine proteases (EC 3.4.22.34). Cysteine, Histidine and Asparagine (Asn) amino acid residues form active site in legumain. Legumains cleave peptide bonds involving the carboxyl group of Asn, i.e. Asn is in P1 position. Asn-flanked peptide bonds are also cleaved, but much less efficiently. Legumains were found in plants, mammals, blastocystis, trematodes and ticks, but not in bacteria. In contrast to mammals, which have only one functional legumain, plants contain varying number of functional legumain isoforms, for example, barley has 7 or 8 isoforms. Plant legumains are localized to vacuoles, nucellar cell walls, pericarp and outside the cells in the peritrophic matrix, while mammalian legumain is localized mainly to the endo-lysosomal system. After biosynthesis, inactive plant pro-legumains enter the secretory pathway and travel from the Endoplasmic Reticulum through the Golgi apparatus to arrive at the cell surface or at vacuoles. Pro-legumains are auto-activated by detachment of the N- and C-terminal pro-peptides under acidic environment after the molecules arrive to the final destination. Plant legumains are involved in a variety of physiological processes during different stages of plant development. Precursors of many plant proteins (lectins, proteolytic enzymes, proteinase inhibitors, 2S albumins and 11S globulins) have sites for limited (regulatory) proteolysis with Asn in the P1 position. Shutov and co-workers purified and characterised the first plant legumain (proteinse B) from cotyledons of vetch seedlings in 1982.

During storage-protein deposition in maturing seeds, legumains catalyze the final steps in the proteolytic processing of several seed storage proteins. 11S globulins are the major storage proteins of dicotyledonous seeds and oat. Pro-

globulin trimers are finally processed by a single proteolytic cleavage at the C-terminal end generating α- and β-chains for each subunit. This cleavage is essential for the final assembly of 11S globulins into hexamers and for the deposition of storage globulins in protein bodies of developing storage tissue cells. Mutations of Asn at the specific processing site in 11S precursor result in globulin maturation block at trimeric state.

Small amount of seed legumain and its mRNA are present in mature dry vetch seeds that potentially accelerates seeds germination and legumain mobilization during the earliest seedling growth. During seed germination, extensive proteolysis of the storage globulins occurs to supply the growing seedling with amino acids necessary for initial growth and development. Legumain does not act on 11S proteins from ungerminated seeds but hydrolyzes the proteins after an initial modification by another proteolytic enzyme. Due to this initial modification, storage proteins are opened and Asn residues become accessible to the unlimited cleavage by legumains. It has been shown that major enzymes involved in storage protein mobilization belong to the class of cysteine proteinases. Combination of several types of papain-like cysteine proteinases, legumains and peptidases provide complete digestion of storage proteins to short peptides and amino acids.

The double function of legumains in seed maturation and germination leads Muentz and Shutov to hypothesis that legumains' function «as pro-polypeptide-processing or protein-degrading enzymes is naturally controlled by the conformational state of their substrates, which undergo development- or environment-dependent changes».

PHENOTYPIC EXPRESSION AND VARIANCE OF QUANTITATIVE TRAITS IN TOMATO PROGENIES OBTAINED FROM TOMATO PLANTS INFECTED WITH VIRUSES

L. I. Andronic, S. I. Smerea, M. Voinu

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of the ASM

Interaction between phytoviruses and tomato varieties with different defensive response (susceptibility, tolerance, resistance) has been assessed on the basis of five genotypes of tomato: cultivar Elvira, spontaneous form *S.pimpinellifolium*, the varieties Rufina (Tm-1/Tm-2a), Craigella (Tm-2a/Tm-2a) and Craigella (Tm-1/Tm-1), infected with Tomato Aspermy Virus (TAV) or Tobacco Mosaic Virus (TMV). Based on morphological and biometric traits were evaluated the progenies of VMT and VAT variants compared to control (mock infected plantas). In the progenies derived from virus infected plants, at different ontogenetic stages of some genotypes (c. Elvira infected with TMV and TAV, c. Craigella (Tm-1/Tm-1) and *S. pimpinellifolium* infected with TAV) were certified plant with modifications of stem, leaf distribution, shoot branching, components of flowers and of the fruit shape or size. Plants from infected parents established differences in the expression of quantitative characters (length and width of leaves / leaflets, number of leaflets, number of inflorescences, number of flowers / fruit on I, II inflorescences, fruit parameters), confirmed statistically for some host-pathogen combinations.

Based on complexity and specificity of the pathological process, phytoviruses are one of the most damaging group of pathogens. According to the more recent data, over 1500 viruses are known to infect plants (http://www.q-bank.eu/Virus/). The negative economic impact caused by phytoviruses varies between 10–80% and sometimes up to 100%. For some cultures, the damage can be so great that the variety, line or even species can be endangered. It is known that only viral particle penetration presents signals that induce responses based on a series of processes (Pallas and Garcıa, 2011). The virus infections dramatically affect plant physiology, inducing photosynthesis, respiration and carbohydrate levels. Has been established that viral infection can contribute to genome instability (Madlung, Comai, 2009), paramutations (Bond, Finnegan, 2007), disturbances of the frequency of recombination between homologous chromosomes (Kovalchuk et al., 2003, Molinier et al., 2006, Kathiria et al., 2010), changes in gene expression (Kogovsek et al., 2010). Recent studies indicate that interactions between plants and pathogens are based on epigenetic mechanisms (Díaz et al., 2012; Kasuga, Gijzen, 2013; Qutob, Chapman, Gijzen, 2013). According to Boyko, Kovalchuk (2011), infection in a susceptible host with a compatible virus results in the activation of various signals,

such as the induction of small RNAs. These signals extend systemically from the site of infection to non-infected tissues, including the tissues of the generative organs. Infection is accompanied by the hypo- or hypermethylation of specific locus, epigenetic changes that can be transmitted to the offspring. At the basis of these changes there are genetic effects (point mutations and gene recombination) leading to the formation of new allelic combinations, which can later be inherited. As results are formed gametes and the resulting individuals may have new allelic combinations

A lot of researches regarding plant viruses reveal that the character of systemic symptoms of virus infection in plants is determined by the expression of both host and virus genes. The consequences of viral infection are highly variable, thereby leading to a continued lack of understanding of these effects.

In view of the above, the objective of this study was the evaluation of expression of valuable characters in progeny of tomatoes derived from virus-infected plants of host with different defensive response (susceptibility, tolerance, resistance) to pathogen compared to its mock-inoculated control.

The biological materials were five genotypes of tomato (local cultivars Elvira, spontaneous form *S.pimpinellifolium*, the varieties Rufina (Tm-1/Tm-2a), Craigella (Tm-2a/Tm-2a) and Craigella (Tm-1/Tm-1). For inducing pathogenesis, the plants were infected mechanically at the stage of 3–4 leaves with Tomato Aspermy Virus (TAV, isometric virions, RNA genomic nucleic acid component) or Tobacco Mosaic Virus (TMV, rod-shaped particle, RNA genomic nucleic acid component). The first diseases symptoms had been developed on cultivars Elvira after 10–15 days, while the spontaneous form and varieties with gene of resistance to TMV showed no external changes. Using negative staining, the viral particles were identified in all genotypes, regardless of the symptoms manifestation. By ultrastructural study was confirmed the presence of TAV and TMV in cytoplasm of leaf cells.

For the following investigation were used the seed formed under viral pathogenesis. In the obtained progenies virions have not been established.

The statistical processing of data was carried out using the software package Statgraphics Plus for Windows (version 2.1; Microsoft Corp., Redmond, WA, USA) and Microsoft Excel. The contribution of variation sources was computed following the ANOVA test results (Clewer and Scarisbrick, 2001).

In the healthy plants derived from infected, at different ontogenetic stages of some genotypes (c. Elvira infected with TMV and TAV, c. Craigella (Tm-1/Tm-1) and *S. pimpinellifolium* infected with TAV) were certified plant with modifications of stem, leaf distribution, shoot branching, components of flowers and of the fruit shape or size (fig. 1). It is known that the phenotypic variation of quantitative traits results from segregation at multiple quantitative trait loci the effects of which are modified by the internal and external conditions, that can be assumed and in case of viral infection.

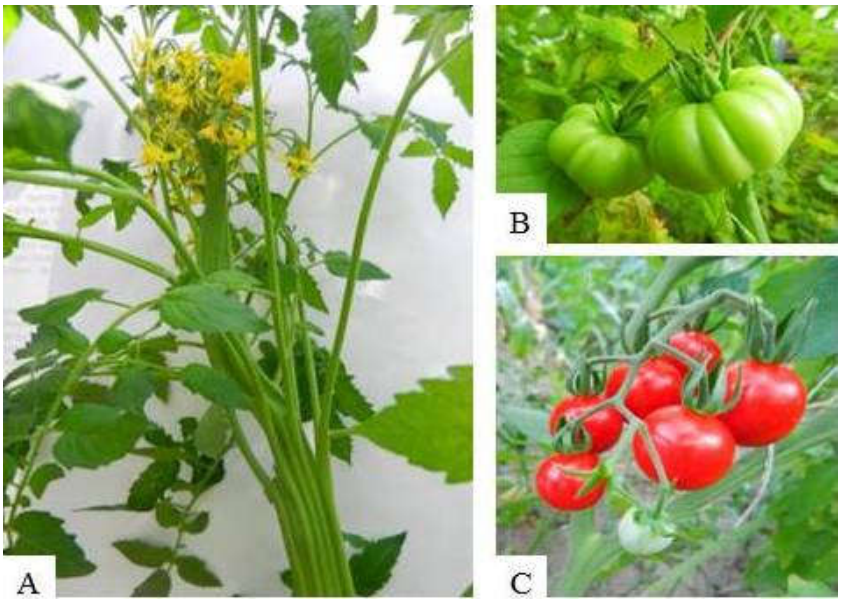


Fig. 1. Morphological modification of stem, leaf distribution, shoot branching, components of flowers (A) and of the fruit shape and size (B) in *S. pimpinellifolium* infected with TAV. C – a raceme in control variant

Based on morphological and biometric traits the progenies of TMV and TAV variants have been evaluated compared to control. The expression of quantitative characters (stem length of internode (between 1st and 4th inflorescence), number of shoots on principal stem, number and size of leaf/leaflets, number and length of inflorescences on principal stem, number of flowers on I/II inflorescence, fruit parameters) have been established for all treatments. Some data are presented in the table 1.

According to the obtained results, such characters as number of shoots on principal stem, leaf length presented stability. At the same time, for all evaluated host-pathogen system, the deviation of average values wasn't confirmed statistically.

Table 1. **Biometric evaluation of some quantitative characters in tomato progenies derived from viruses infected plants**

Treatment	Stem length of internode (cm)	Number of brunch on principal stem	Leaf length (cm)	Number of inflorescences on principal stem	Inflorescence length (cm)	Number of flowers on II inflorescence
	Elvira					
Control	42.08±4.39	3.08±0.79	35.58±5.61	2.75±0.75	5.30±2.87	4.75±1.06
TAV	34.33±4.27*	3.75±1.06	33.41±2.39	2.25±0.75	2.96±1.42**	5.75±1.05*
TMV	39.00±4.71	3.69±1.35	34.50±5.18	3.31±1.30	7.31±3.34	5.43±1.09
	Craigella (Tm-1/Tm-1)					
Control	39.40±6.230	2.87±0.64	18.60±2.82	4.27±0.70	9.37±1.65	3.87±1.30
TAV	25.12±4.84**	4.33±1.43	16.08±2.84	5.16±1.03	8.00±1.86	5.66±1.83
TMV	38.67±8.51	3.26±0.70	16.87±5.07	4.27±0.59	9.40±2.06	4.67±1.45
	Craigella (Tm-2a/Tm-2a)					
Control	42.60±8.37	4.20±0.94	24.87±2.72	4.70±0.82	9.38±1.72	5.47±1.73
TAV	39.87±5.11	4.00±0.84	25.13±2.33	8.00±2.24**	5.13±1.55**	6.07±2.66
TMV	33.92±5.99	4.50±1.09	24.42±2.64	3.58±0.79	8.58±1.44	4.75±1.71
	Rufina					
Control	18.33±6.28	3.20±0.66	25.66±1.37	3.67±0.52	7.50±2.61	3.93±1.10
TMV	16.99±3.89	3.46±1.12	27.10±2.68	3.06±0.26	6.47±2.05	4.83±1.03
	S. pimpinellifolium					
Control	38.00±7.04	4.53±1.30	22.20±4.28	6.00±0.76	10.93±3.51	7.33±1.72
TAV	37.40±4.15	4.20±0.67	25.00±4.85	3.93±0.96**	9.73±2.40	5.66±1.29
TMV	40.33±3.75	4.40±0.98	21.53±3.48	4.93±0.80	9.23±1.94	5.00±1.73*

*; ** significant difference from the control at $P \leq 0.05$; 0.01.

In the same time, for all pathosystems, it was found the tendency of reducing the distance between 1st and 4th inflorescence, following of the general aspect of plant habitus, data statistically confirmed for progeny of Elvira and Craigella (Tm-1/Tm-1) infected with TAV. Similar tendency was certified for inflorescences parameters (length, number per principal stem, number of flowers per inflorescences).

According the variance analyses, the magnitude of variation depends on genotype and viral infection (table 2). Moderate variance was found for *'Number of flowers on II inflorescence*' in dependence of virus (TAV or TMV).

Table 2. **Analysis of variance of the different characters in progenies of tomato obtained from virus-infected parental forms**

Trait	Source of variation	Degree of freedom	SS	MSS	F	P
Stem length	Genotype	3	623.3	207.8	6.160	0.000542
	Virus	2	1184.3	592.1	17.557	0.000000
Length of inflorescences	Genotype	3	521.04	173.68	33.991	0.000000
	Virus	2	190.73	95.36	18.664	0.000000
Number of inflorescences	Genotype	3	167.010	55.670	50.253	0.000000
	Virus	2	18.035	9.017	8.140	0.000427
Number of flowers on II inflorescence	Genotype	3	34.961	11.654	4.443	0.004968
	Virus	2	23.477	11.739	4.476	0.012814
Genotype-Virus		6	559.9	93.3	8.77	0.000000
Genotype-Trait		9	898.6	99.8	9.38	0.000000
Virus-Trait		6	974.0	162.3	15.25	0.000000
Genotype-Virus-Trait		18	1781.5	99.0	9.30	0.000000
Error		652	6938.3	10.6		

The quantification of relative fitness in virus progeny proved the influence of all factors *'Genotype-Virus'*, *'Genotype-Trait'*, *'Virus-Trait'* and *'Genotype-Virus-Trait'* at $P<0.001$ level. Our results suggest that variation of quantitative parameters in virus progeny is modulated by wide spectrum of changes induced by pathogen in parental forms.

Bibliography

1. Bond D. M, Finnegan E. J. Passing the message on: inheritance of epigenetic traits. Trends Plant Sci. 2007. № 12. pp. 211–216.
2. Boyko A., Kovalchuk I. Genetic and epigenetic effects of plant–pathogen interactions: An Evolutionary Perspective // Molecular Plant. 2011. pp. 1–10.
3. Clewer A. G., Scarisbrick D. H. Practical statistics and experimental design for plant and crop science. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester. 2001.
4. Díaz E., Jordà M., Peinado M., Rivero A. Epigenetics of host–pathogen interactions: The Road Ahead and the Road Behind // PLoS Pathog. 2012. № 11 – e1003007.
5. Kasuga T., Gijzen M. Epigenetics and the evolution of virulence // Trends in Microbiology. 2013. № 21. pp. 575–582.
6. Kathiria P., Sidler C., Golubov A., Kalischuk M., Kawchuk L., Kovalchuk I. Tobacco Mosaic Virus infection results in an increase in recombination frequency and resistance to viral, bacterial, and fungal pathogens in the progeny of infected tobacco plants // Plant Physiology. 2010. № 153. pp. 1859–1870.
7. Kogovsek P., Pompe-Novak M., Baebler S., Rotter A., Gow L., Gruden K., Foster G. D., Boonham N., Ravnikar M. Aggressive and mild Potato virus Y isolates trigger different specific responses in susceptible potato plants // Plant Pathology. 2010. № 59. pp. 1121–1132.
8. Madlung A., Comai L. The effect of stress on genome regulation and structure // Annals of Botany. 2004. № 94. pp. 481-495.
9. Molinier J., Ries G., Zipfel C., Hohn B. Transgenerational memory of stress in plants // Nature. 2006. № 442. pp. 1046–1049.
10. Pallas V., Garcıa J. A. How do plant viruses induce disease? Interactions and interference with host components // Journal of General Virology. 2011. № 92. pp. 2691–2705.
11. Qutob D., Chapman B. P., Gijzen M. Transgenerational gene silencing causes gain of virulence in a plant pathogen // Nat. Commun. 2013. № 4. pp. 1349–1354.
12. http://www.q-bank.eu/Virus/ (visited 27.01.2017).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ГАМЕТОФИТНОГО ОТБОРА ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ГЕНОТИПОВ ТОМАТА

Т. И. Салтанович, Л. П. Анточ, Е. П. Санду

Институт генетики, физиологии и защиты растений АН Молдовы

Изучено влияния повышенной температуры и культурального фильтрата *A.alternta* на реакцию мужского гаметофита гибридов F_1 томата. На основе выявленной вариабельности идентифицированы и отселектированы генотипы с различным уровнем устойчивости для вовлечения в селекционный процесс. Определены источники изменчивости и особенности наследуемости признаков мужского гаметофита в стрессовых условиях.

USING THE METHODS OF GAMETOPHYTIC SELECTION FOR PICKING OF THE TOMATO RESISTANT GENOTYPES

T. I. Saltanovici, L. P. Antoci, E. P. Sandu

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection,

Academy of Sciences of Moldova

The effect of elevated temperature and A.alternta culture filtrate on the response of the male gametophyte of F1 tomato hybrids has been studied. Based on the revealed variability, genotypes with different levels of resistance were identified and selected for inclusion in the breeding process. The sources of variability and peculiarities of heritability of the signs of the male gametophyte under stress conditions are determined.

Известно, что в неблагоприятных климатических условиях реакция растений в значительной степени зависит от уровня их устойчивости, при этом генотипы генетически не способные реагировать на широкий спектр почвенно-климатических изменений и не могут противостоять действию биотических и абиотических стрессов [1]. Действие высоких температур и патогенов существенно лимитирует рост и развитие большинства культур на различных этапах онтогенеза, в том числе и репродуктивных. Даже одного жаркого дня или холодной ночи достаточно для фатального исхода репродуктивных процессов [2–4]. Стрессовые воздействия могут влиять дифференцированно и приводить в ряде случаев к задержке цветения, нарушениям в развитии мужских и женских половых клеток, ухудшать качество мужского гаметофита, снижать осемененность плодов и др. На основе неравноценности по устойчивости пыльцевых зерен к температуре и культуральным фильтратам (КФ) *Fusarium и Alternaria spp.* отселектированы устойчивые генотипы

различных культур [5–7]. В то же время вопрос о вкладе факторов, детерминирующих изменчивость и наследуемость признаков мужского гаметофита в стрессовых условиях, изучен недостаточно. Цель проведенных исследований заключалась в анализе изменчивости и наследуемости признаков мужского гаметофита гибридов F_1 томата при воздействии повышенной температуры и КФ *A.alternata* и идентификации устойчивых генотипов.

Для проведения экспериментов использовали набор внутривидовых гибридных комбинаций F_1 томата. С целью изучения реакции мужского гаметофита были приготовлены питательные среды, содержащие КФ патогена *A.alternata*. Культивирование пыльцы осуществлялось в термостате при температуре 26–28°С в течение трёх часов. Для характеристики термоустойивости часть собранной пыльцы перед проращиванием прогревали в термостате при температуре 40°С. Препараты анализировались под микроскопом, изучалось не менее 500 пыльцевых зерен (ПЗ) в 10–15 полях зрения. Определяли жизнеспособность и устойчивость пыльцы, а также длину и устойчивость пыльцевых трубок (ПТ). Статистическая обработка полученных результатов проводилась с помощью программ Statgraphics v. 5.1, Exel 2010.

В результате проведенных исследований установлено, что действие температурного фактора снижало жизнеспособноть пыльцы изученных комбинаций в среднем на 19,0%, тогда как КФ имел значительно больший лимитирующий эффект и уменьшал значения показателя на 47,1%. Наиболее сильную реакцию на стресс проявили гибриды Милениум х Эльвира и Юбиляр х Милениум, у которых жизнеспособность пыльцы уменьшалась на 37,3 и 43,0% (рис. 1). На средах с КФ патогена наиболее стабильными значениями данного показателя характеризовались гибриды Эльвира × Милениум, Эльвира × Престиж и Юбиляр × Томиш, тогда как самым чувствительным оказался мужской гаметофит комбинаций Эльвира × Томиш, Михаела × Милениум и Милениум × Эльвира (рис. 1).

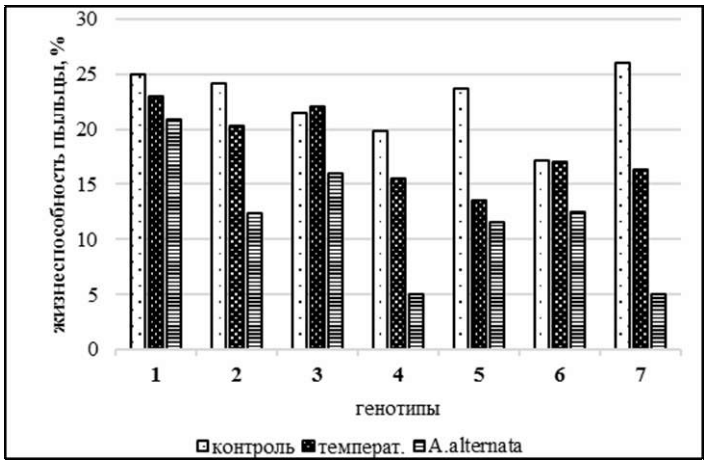


Рис. 1. Влияние температуры и КФ *A.alternata* на жизнеспособность пыльцы томатов (1–7 – Гибриды F_1 Эльвира×Милениум, Эльвира×Томиш, Эльвира×Престиж, Михаела×Милениум, Юбиляр×Милениум, Юбиляр×Томиш, Милениум×Эльвира).

В зависимости от генотипа и фона оценки варьировались значения длины пыльцевых трубок. У четырех гибридов после температурной обработки формировались ПТ, размер которых был на уровне или несколько выше контрольных значений. В то же время у трех комбинаций реакция была довольно сильной, и в опыте образовавшиеся трубки были гораздо короче (рис. 2).

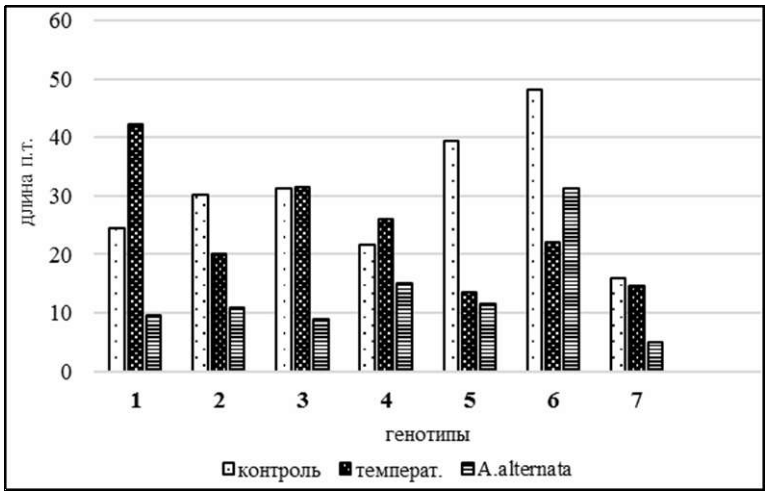


Рис. 2.Влияние температуры и КФ *A.alternata* на длину ПТ томатов (1–7 – Гибриды F_1 Эльвира×Милениум, Эльвира×Томиш, Эльвира×Престиж, Михаела×Милениум, Юбиляр×Милениум, Юбиляр×Томиш, Милениум×Эльвира).

Обработка полученных результатов с использованием теста ANOVA показала, что повышенная температура и КФ патогена являются рещающими факторами изменчивости мужского гаметофита. В то же время вариабельность жизнеспособности пыльцы и длины ПТ достоверно детерминированы вкладом генотипа на 12,8...17,7%.

Известно, что условия среды влияют также на наследуемость признаков. У изученных гибридов значения степени доминантности показателей гаметофита варьировались от отрицательного супердоминирования до положительного супердоминирования. Кроме того, выявлено, что наследуемость устойчивости мужского гаметофита определяется доминированием родительских форм с высокими значениями признака в 62,5% случаев (табл.).

Таблица. **Степень доминантности признаков мужского гаметофита томата**

Гибриды F_1	Устойчивость пыльцы к		Устойчивость ПТ к	
	температуре	КФ *A.alternata*	температуре	КФ *A.alternata*
	Hp	Hp	Hp	Hp
Эльвира×Милениум	+3,26	–1,17	+16,1	+1,85
Эльвира×Томиш	–0,51	+1,23	+0,23	+0,99
Эльвира×Престиж	+5,03	+3,4	+12,3	+0,01
Михаела×Милениум	+5,06	–2,45	–12,8	+57,0
Юбиляр×Милениум	+0,23	–32,3	1,86	–0,69
Юбиляр×Томиш	–1,71	–0,09	+3,37	1,14
Милениум×Эльвира	0,58	–2,97	+28,6	–0,31

В целом все изученные комбинации характеризовались довольно высокими значениями термоустойчивости, превышающими 50%. Так, у гибрида Эльвира х Престиж термоустойчивость пыльцы несколько превышала контрольные показатели, у трех комбинаций устойчивость варьировалась от 98,8 до 83,9% (рис. 3). У гибрида Эльвира х Милениум обнаружены максимальные значения показателя (90,8%) устойстойчивости пыльцы к действию КФ патогена. Необходимо отметить, что пыльца данного генотипа отличалась также высокой термоустойчивостью, т. е. выявлено сочетание устойчивости к двум факторам. У трех гибридов также отмечены довольно высокие показатели устойчивости 74,4…51,2%, тогда как наиболее чувствительными оказались две комбинации – Михаела×Милениум и

Милениум×Эльвира (25,1 и 19,3% соответственно), что свидетельсивует о сильной реакции их мужского гаметофита на действие патогена (рис.3).

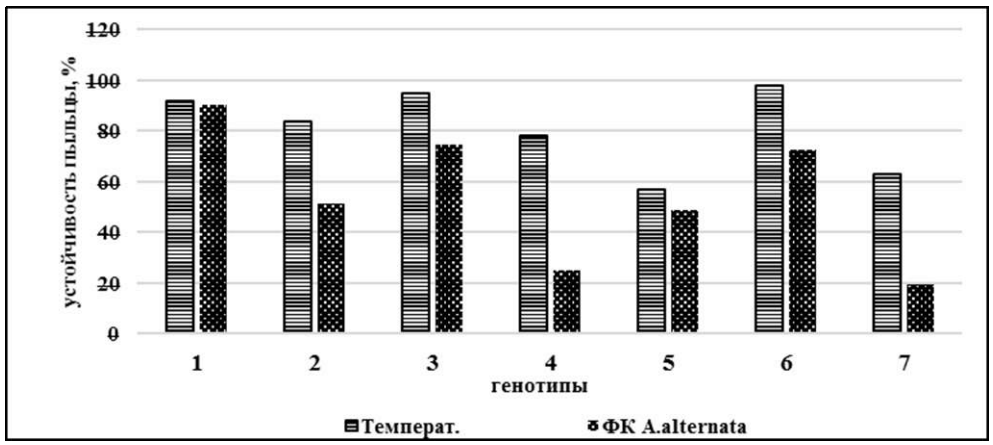


Рис. 3. Устойчивость мужского гаметофита к температурые и к КФ *A.alternata* (1–7 – Гибриды F_1 Эльвира×Милениум, Эльвира×Томиш, Эльвира×Престиж, Михаела×Милениум, Юбиляр×Милениум, Юбиляр×Томиш, Милениум×Эльвира).

Таким образом, изученные комбинации различаются по реакции мужского гаметофита на действие повышенной температуры и КФ *A.alternata*, а также по степени устойчивости к данным фактрам. Это позволяет идентифицировать и отбирать перспективные генотипы для дальнейшего вовлечения в селекционный процесс.

Список литературы

1. Гончаренко А. Сравнительная оценка адаптивного потенциала сортов зерновых культур и задачи селекции селекция растений: прошлое, настоящее и будущее // Сб. материалов конф., посв. 140-летию НИУ «БелГУ». Белгород, 2016. С. 41-45.

2. Kelly E. Zinn, Meral Tunc-Ozdemir, Jeffrey F. Harper. Temperature stress and plant sexual reproduction: uncovering the weakest links // J. Exp Bot. 2010. № 61 (7). pp. 1959-1968.

3. Kakani V., Reddy K., Koti S, Wallace T. P, Prasad P. V. V., Reddy V.R., Zhao D. Differences in in vitro pollen germination and pollen tube growth of cotton cultivars in response to high temperature // Annals of Botany. 2005. Vol. 96. pp. 59-67.

4. Salem M.A., Kakani V.G., Koti S., Reddy K.R. Pollen-based screening of soybean genotypes for high temperatures // Crop Science. 2007. Vol. 47. pp. 219-231.

5. Babu D. Ratna, Ravikumar R. L. Parallel response between gametophyte and sporophyte for Fusarium wilt resistance in the recombinant inbred lines of chickpea (Cicer arietinum L.) // Current Science. 2010. Vol. 99, Issue 4. pp. 513-518.

6. Ravikumar R., Chaitra G. et al. Gametophytic selection for wilt resistance and its impact on the segregation of wilt resistance alleles in Cicer arietinum L. Euphytica. 2013. 189:173–181.

7. Брыль Е. А, Анохина В. С. Оценка образцов люпина желтого и узколистного по устойчивости к антракнозу // Сборник тезисов докладов Международной научной конференции «От классических методов генетики и селекции к ДНК-технологиям», 2-5 октября 2007 г., Гомель. С. 8.

ПЕРСПЕКТИВЫ СНИЖЕНИЯ АЛЛЕРГЕННОСТИ ЗАПАСНЫХ ГЛОБУЛИНОВ СЕМЯН ПРОТЕОЛИЗОМ

А. М. Кердиварэ

Государственный университет Молдовы, Кишинев

Запасные глобулины в семенах многих культурных растений являются аллергенами. Значительная часть IgE эпитопов, идентифицированных в запасных глобулинах арахиса и сои, принадлежит участкам аминокислотных последовательностей, разрушающихся при ограниченном протеолизе. Это свидетельствует о перспективности использования протеолиза для снижения аллергенности запасных глобулинов арахиса, сои и, возможно, других растений.

PROSPECTS OF REDUCING THE ALLERGENICITY OF SEED STORAGE GLOBULINS BY PROTEOLYSIS

A. M. Cherdivară

State University of Moldova, Kishinev

Seed 7S and 11S globulins of many crop plants used in food ration are allergens. Antigen determinants (IgE epitopes) responsible for IgE binding have been identified in sequences of peanut and soybean storage globulins. An essential part of the epitopes belongs to storage globulin sequence regions of an enhanced susceptibility to proteolytic attack. This indicates the potential for partial lowering of the allergenicity of storage globulins by limited proteolysis. So, papain proteolysis of peanut 7S globulin Ara h1 starts from destruction of the extended disordered N-terminal region were six IgE epitopes have been identified. Further proteolysis leads to destruction of an additional IgE epitope present in the α-helical region of the N-terminal domain. In this way, papain limited proteolysis reduces Ara h1 allergenicity due to destruction more than one third of the IgE epitopes identified. The prospects of the allergenicity lowering of the 11S globulins from peanut Ara h3 and from soybeans Gly m G1 are favorable as well. During papain attack, the C-terminal region of the N-terminal domain of peanut 11S globulin Ara h3, which contains three of the four IgE epitopes identified, is destroyed. Similarly, papain destroys the C-terminal region of the N-terminal domain of all the five subunits of soybean 11S globulin (including Gly m G1 containing both the IgE epitopes identified). It is characteristic that the IgE epitopes of Gly m G1 as well as two of the four IgE epitopes of Ara h3 belong to a highly conserved region of the N-terminal domain, were the presence of IgE epitopes is expectable in sequences of other 11S globulins. It was demonstrated that this region is destroyed during papain proteolysis of all 11S globulins studied.

В субъединицах олигомерных молекул запасных 7S и 11S глобулинов семян присутствуют два домена, каждый из которых образован структурным модулем β-баррель-α-спирали (рис. 1). В аминокислотных последовательностях запасных глобулинов, в целом консервативных, присутствуют протяженные гидрофильные области, вынесенные на поверхность их олигомерных структур. Данные вставки определяют чувствительность нативных молекул запасных глобулинов к ограниченному протеолизу (Shutov, Wilson, 2014).

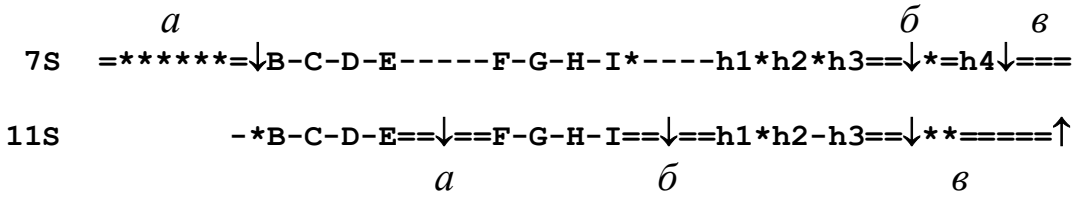


Рис. 1. Структура N-концевых доменов 7S и 11S глобулинов образована β-баррелем (β-стренды *BCDEFGHI*), соединенным с группой α-спиралей *h1-h3/h4*. Показаны гидрофильные области *а*, *б* и *в*, чувствительные к ограниченному протеолизу (=), и пептидные связи, расщепляемые папаином (↓), а также при процессинге 11S глобулинов (↑). Звездочками обозначено положение IgE эпитопов, идентифицированных в аминокислотных последовательностях 7S (Shin et al., 1998) и 11S (Rabjohn et al., 1999) глобулинов арахиса.

В семенах многих культурных растений, используемых в питании, 7S и 11S глобулины являются аллергенами. В последовательностях запасных глобулинов арахиса (Shin et al., 1998; Rabjohn et al., 1999) и сои (Beardslee et al., 2000) идентифицированы антигенные детерминанты (IgE эпитопы), ответственные за IgE связывание. Часть данных IgE эпитопов принадлежит областям последовательностей запасных глобулинов с повышенной чувствительностью к протеолитической атаке (рис. 1). Это свидетельствует о возможности частичного снижения аллергенности запасных глобулинов путем их ограниченного протеолиза.

Ограниченный протеолиз папаином 7S глобулина арахиса Ara h1 начинается с разрушения удлиненной бесструктурной N-концевой области субъединиц (Cherdivarǎ et al., 2016), где идентифицированы шесть IgE эпитопов (рис. 2).

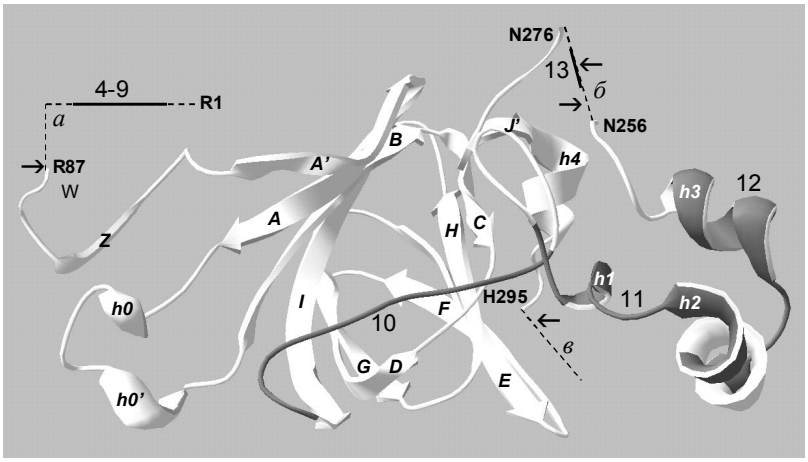


Рис. 2. Ленточная диаграмма третичной структуры N-концевого домена 7S глобулина арахиса Ara h1 (pdb|3smh). Бесструктурные области *а*, *б* и *в* показаны штриховыми линиями. Темные участки диаграммы и жирные линии соответствуют последовательностям IgE эпитопов 4-13, идентифицированным в зрелой молекуле Ara h1 (Shin et al., 1998). Стрелками показаны пептидные связи, расщепляемые папаином (Cherdivarǎ et al., 2016).

Последующий протеолиз приводит к разрушению еще одного из IgE эпитопов Ara h1, присутствующего в области α-спиралей N-концевого домена (рис. 2). Таким образом, ограниченный протеолиз папаином частично снижает аллергенность Ara h1 в связи с разрушением более чем третьей части IgE эпитопов, идентифицированных в данном белке.

Перспективы снижения аллергенности протеолизом субъединиц 11S глобулинов арахиса Ara h3 и сои Gly m G1 также весьма значительны. Действие папаина и трипсина (Cherdivară et al., 2017) приводит к разрушению С-концевой области N-концевого домена Ara h3 (рис. 3), где присутствуют три из четырех IgE эпитопов, идентифицированных в данном белке (Rabjohn et al., 1999).

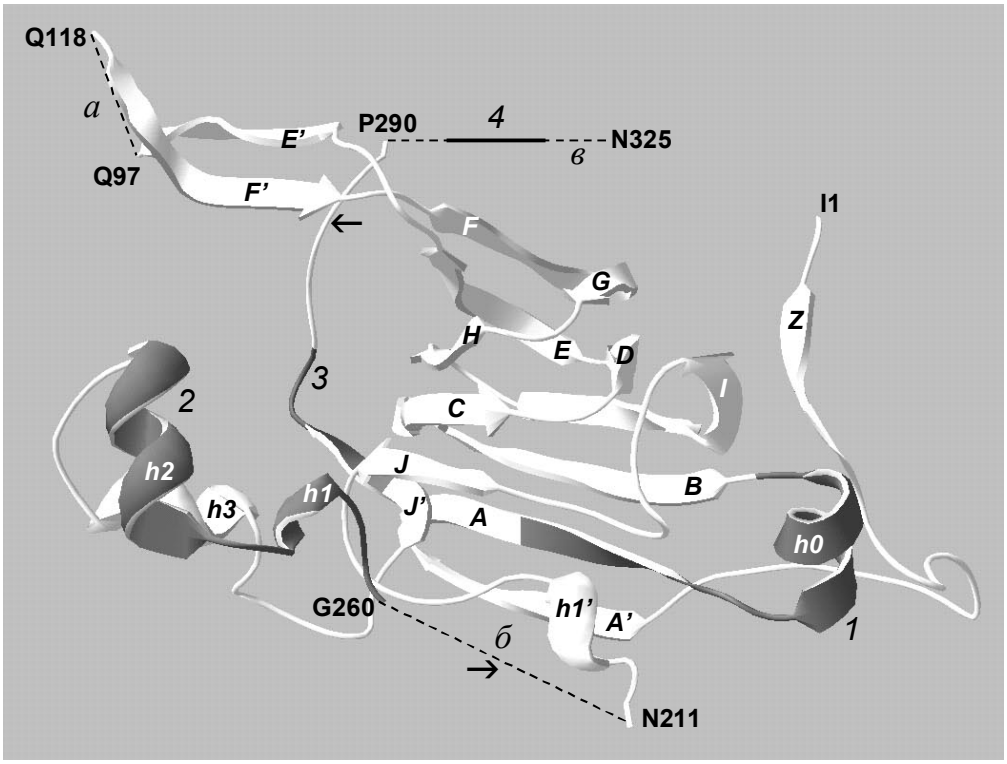


Рис. 3. Ленточная диаграмма третичной структуры N-концевого домена 11S глобулина арахиса Ara h1 (pdb|3c3v). Бесструктурные области *а*, *б* и *в* показаны штриховыми линиями. Темные участки диаграммы и жирная линия соответствуют последовательностям IgE эпитопов 1–4, идентифицированным в молекуле Ara h3 (Rabjohn et al., 1999). Стрелками показано положение пептидных связей, расщепляемых папаином и трипсином (Cherdivară et al., 2017).

При гидролизе папаином наблюдается разрушение С-концевой области N-концевого домена всех пяти субъединиц 11S глобулина сои, в том числе Gly m G1 (Shutov et al., 2012), где присутствуют оба идентифицированных IgE эпитопа (Rabjohn et al., 1999). Характерно, что IgE эпитопы Gly m G1 и два из

четырех IgE эпитопов Ara h3 принадлежат весьма консервативной области α-спиралей N-концевого домена, где возможно присутствие IgE эпитопов в последовательностях других 11S глобулинов. Установлено, что данная область разрушается при гидролизе папаином у всех исследованных 11S глобулинов (Shutov, Wilson, 2014).

Результаты настоящего исследования свидетельствуют о перспективности частичного снижения ограниченным протеолизом аллергенности 7S и 11S глобулинов арахиса, сои и, возможно, других растений.

Список литературы

1. Shutov A. D., Wilson K. A. Seed storage globulins: their descent from bacterial ancestors and mechanisms of degradation // Globulins: Biochemistry, Production and Role in Immunity (Milford, S. D., ed.), Nova Science Publishers, New York. 2014. pp. 71–104.
2. Shin D. S., Compadre C. M., Maleki S. J., Kopper R. A., Sampson H., Huang S. K., Burks A. W., Bannon G. A. Biochemical and structural analysis of the IgE binding sites on Ara h1, an abundant and highly allergenic peanut protein // Journal of Biological Chemistry. 1998. № 273. pp. 13753–13759.
3. Rabjohn P., Helm E. M., Stanley J. S., West C. M., Sampson H. A., Burks A. W., Bannon G. A. Molecular cloning and epitope analysis of the peanut allergen Ara h3 // Journal of Clinical Investigation. 1999. № 103. pp. 535–542.
4. Beardslee T. A., Zeece M. G., Sarath G., Markwell J. P. Soybean glycinin G1 acidic chain shares IgE epitopes with peanut allergen Ara h3 // International Archives of Allergy and Immunology. 2000. № 123. pp. 299–307.
5. Cherdivară A., Rudakova A., Rudakov S., Şutov A. Proteoliza limitată a alergenului Ara h1, globulina de rezervă 7s din semințele de arahide. Studia Universitatis Moldaviae, ser. Ştiințe reale şi ale naturii, 6/96. 2016. pp. 10–15.
6. Cherdivară A., Rudakova A., Rudakov S., Şutov A. Alergenul Ara h3, globulina de rezervă din semințele de arahide. 2. Proteoliza limitată cu tripsină. Studia Universitatis Moldaviae, Ştiințe reale şi ale naturii, 1/101. 2017. in press.
7. Shutov A., Rudakova A., Rudakov S., Kakhovskaya I., Schallau A., Maruyama N., Wilson K. Limited proteolysis regulates massive degradation of glycinin, storage 11S globulin from soybean seeds: An in vitro model // Journal of Plant Physiology. 2012. № 169. pp. 1227–1233.

LIMITED PROTEOLYSIS REGULATES MASSIVE DEGRADATION OF SEED STORAGE GLOBULINS

A. S. Rudakova[1], A. M. Cherdivară[1], S. V. Rudakov[1], K. A. Wilson[2], A. D. Shutov[1]

[1]*State University of Moldova, Kishinev, R. Moldova;*

[2]*State University of New York, Binghamton, USA*

E-mail: shutovandrei@yahoo.com

During evolution, extended disordered inserts exposed on the surface of the oligomeric structures of storage globulin molecules appeared in amino acid sequences of their subunits. Degradation of storage globulins during seed germination and *in vitro* starts from limited proteolysis of the inserts. Only after completion of the limited proteolysis, further massive degradation of the majority of storage globulins occurs by the one-by-one mechanism. In some cases, packing density of the molecules of several storage globulins is relatively low. As a result, limited and one-by-one proteolyses of these globulins occurs independently, in parallel.

Domain tertiary structure of two-domain subunits of oligomeric seed 11S and 7S globulins is formed by β-barrel of anti-parallel β-strands conjoined with a group of α-helices (Tandang-Silvas et al., 2010).

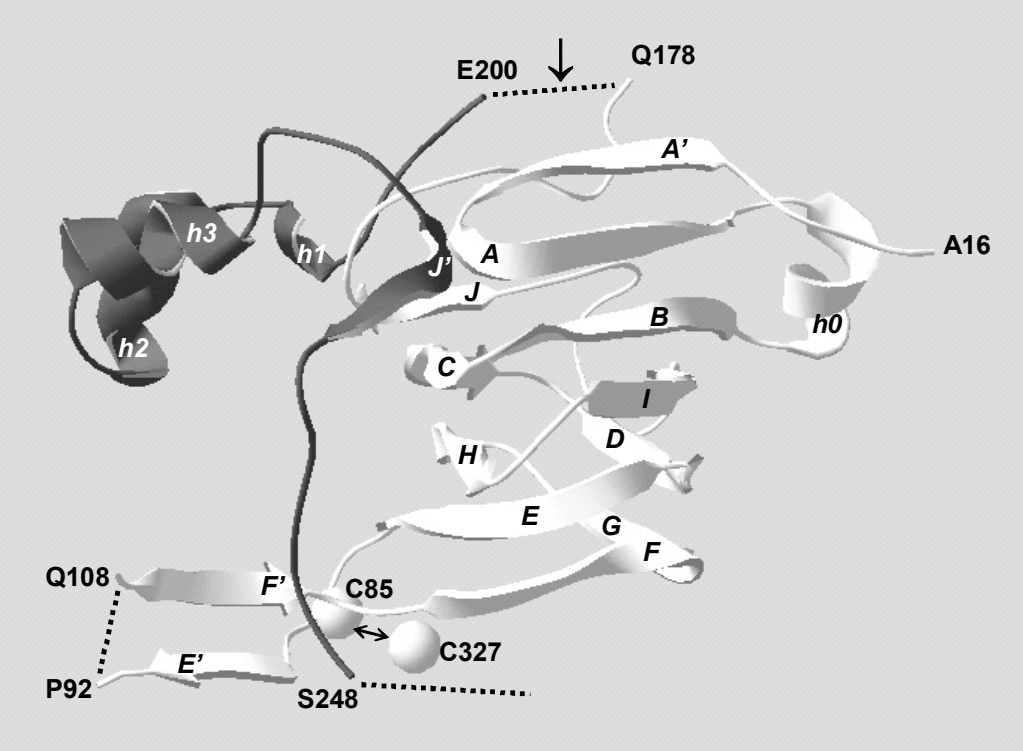


Fig. 1. Ribbon diagram of the N-terminal domain of glycinin structure pdb|1OD5. A β-barrel of anti-parallel β-strands *BCDEFGHI* conjoined with α-helices *h1-h3* represents a fundamental module of the domain structure. The core module is extended by several additional anti-parallel β-strands and the α-helix *h0*. Three extended disordered regions susceptible to limited proteolysis are shown by dotted lines. Two spheres denote Cys residues that form a disulfide bond between N- and C-terminal domains. Dark part of the diagram corresponds to the sequence region detached by limited proteolysis. An arrow indicates position of the point cleaved by papain.

During evolution, extended disordered inserts exposed on the surface of the oligomeric structures of storage globulins appeared in their amino acid sequences (Shutov and Wilson, 2014). The inserts determine susceptibility of storage globulin native molecules to proteolytic attack (Fig. 1). Degradation of storage globulins during seed germination and *in vitro* starts from limited proteolysis of the inserts. Further massive proteolysis of storage globulins leading to complete destruction of their molecules occurs by the one-by-one mechanism (Rudakova et al., 2015).

An independent analysis of papain limited and one-by-one proteolyses of glycinin, a storage 11S globulin from soybean seeds, revealed two successive stages of the reaction (Shutov et al., 2012). At the first stage, limited proteolysis started from the detachment of short C-terminal peptides is completed with cleavage off of further C-terminal region that forms a group of α-helices in crystal structures pdb|1fxz and pdb|1od5 of the native glycinin subunits.

The one-by-one proteolysis that occurs as a pseudo first order reaction (Fig. 2) starts at the second stage. It was suggested, that the ability of glycinin for degradation by the one-by-one mechanism is acquired due to loosening of inter-subunit interactions in its oligomeric molecule. Thus, limited proteolysis plays a key role in the massive degradation of glycinin by the one-by-one mechanism.

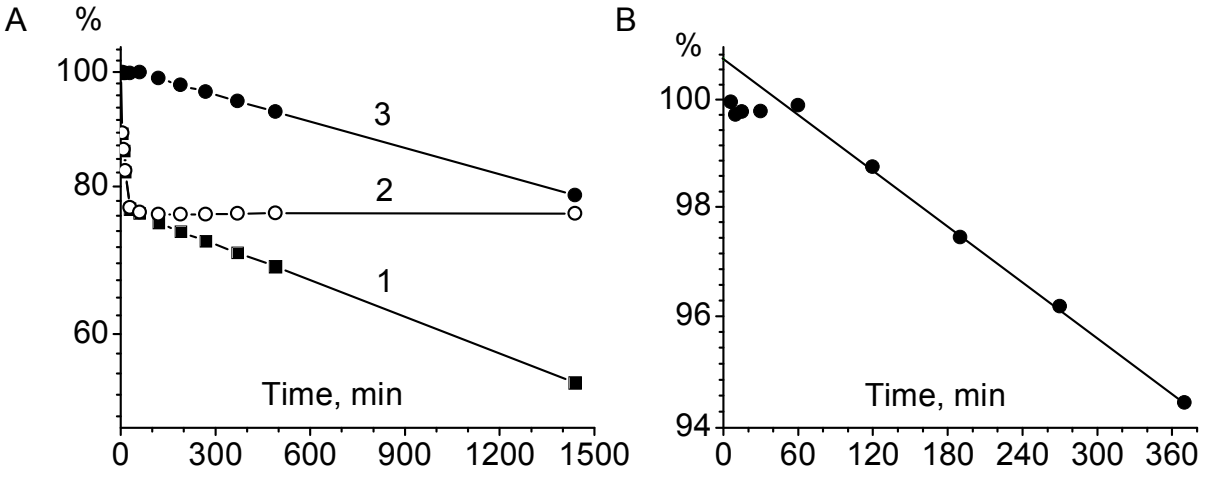


Fig. 2. Kinetics of glycinin proteolysis. A, plot 1, weight concentration P of the residual protein, and plot 2, its molecular mass M. P and M are expressed as percentage of the initial values. Plot 3, ([100%-M%]+P%) describes the kinetics of exclusive one-by-one proteolysis. B, plot 3, as in A, but enlarged initial portion of the reaction. The ordinate axis in both graphs is logarithmic.

Similar succession of the reactions of limited and one-by-one proteolyses was demonstrated, when 11S globulins from pumpkin (Rudakova et al., 1914) and peanut (Cherdivară et al., 2017) were studied. These data as well as the analysis of crystal structures of other 11S globulins allow suggesting, that the regulatory role of limited proteolysis of 11S globulins is characteristic of many storage proteins of the family.

It was demonstrated that the ability for degradation by the one-by-one mechanism of phaseolin, a storage 7S globulin from kidney bean, is only acquired after completion of limited proteolysis catalyzed by a common action of two different endogenous enzymes, papain-like proteinase of low specificity and Asn-specific legumain (Zakharov et al., 2004). The insusceptibility of the native oligomeric structure of phaseolin pdb|2phl is determined by a relatively high packing density of the subunits (Shutov et al., 2013).

References

1. Cherdivară A., Rudakova A., Rudakov S., Şutov A. Alergenul Ara h3, globulina de rezervă din semințele de arahide. 2. Proteoliza limitată cu tripsină. Studia Universitatis Moldaviae, Ştiințe reale şi ale naturii, nr. 2017. № 1(101), in press.

2. Rudakova A. S., Cherdivară A. M., Wilson K. A., Shutov A. D. Seed storage globulins: origin and evolution of primary and higher order structures. Biochemistry (Moscow). 2015. Vol. 80. pp. 1354–1361.

3. Rudakova A. S., Rudakov S. V., Kakhovskaya I. A., Shutov A. D. 11S storage globulin from pumpkin seeds: regularities of proteolysis by papain. Biochemistry (Moscow). 2014. Vol. 79. pp. 820–825.

4. Shutov A., Rudakova A., Rudakov S., Kakhovskaya I., Schallau A., Maruyama N., Wilson K. Limited proteolysis regulates massive degradation of glycinin, storage 11S globulin from soybean seeds: An *in vitro* model. Journal of Plant Physiolog. 2012. Vol. 169. pp. 1227–1233.

5. Shutov A. D., Rudakova A. S., Rudakov S. V., Kakhovskaya I. A., Schallau A. A., Wilson K. A., Maruyama N. Degradation of β-conglycinin β-homotrimer by papain: independent occurrence of limited and extensive proteolyses. Bioscience, Biotechnology, Biochemistry. 2013. Vol. 77. pp. 2082–2086.

6. Shutov A. D., Wilson K. A. Seed storage globulins: their descent from bacterial ancestors and mechanisms of degradation // Globulins: Biochemistry, Production and Role in Immunity (Milford S. D., ed.). New York, Nova Science Publishers, 2014. pp. 71–104.

7. Tandang-Silvas M. R. G., Fukuda T., Fukuda C., Prak K., Cabanos C., Kimura A., Itoh T., Mikami B., Utsumi S., Maruyama N. Conservation and divergence on plant seed 11S globulins based on crystal structures. Biochimica et Biophysica Acta. 2010. Vol. 1804. pp. 1432–1442.

8. Zakharov A., Carchilan M., Stepurina T., Rotari V., Wilson K., Vaintraub I. Comparative study of the role of the major proteinases of germinated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seeds in the degradation of their storage proteins // Journal of Experimental Botany. 2004. Vol**.** 55. pp. 2241–2249.

УДК: 635.21:631: 52

ЦЕННАЯ КОЛЛЕКЦИЯ ТОПИНАМБУРА В ТАДЖИКИСТАНЕ

К. Партоев, Н. Х. Сайдалиев, С. Д. Киру[1], Н. М. Пасько[1]

Центр инновационного развития науки и новых технологий Академии наук Республики Таджикистан,

734025, Таджикистан, Душанбе, проспект Рудаки, 3а,

E-mail: pkurbonali@mail.ru;

[1]Майкопская опытная станция, ВИР,

385746, Россия, Республика Адыгея, п/о Шунтук, п. Подгорный, Майкопский район, ул. Научная, 1

Топинамбур, или подсолнечник клубненосный (*Helianthus tuberosus* L.) – многолетнее растение семейства Астровых (*Asteraceae*). Посредством выращивания топинамбура можно получать высокий урожай продукции на землях, где невозможно выращивание других сельскохозяйственных культур (на каменистых, засоленных и брошенных землях). Топинамбур также пригоден для культивации на богарных (без полива) землях, что имеет большое значение для улучшения пастбищных угодий, а также для получения мёда в предгорных и горных районах в будущем [1–4]. В связи с этим задачами настоящего исследования являлись отбор коллекционных сортообразцов топинамбура и изучение их в условиях Гиссарской долины Таджикистана (800 м над уровнем моря) с целью использования в будущем в селекционно-семеноводческом процессе.

Материалом для исследований послужили сортовые репродукционные клубни 18-ти сортообразцов топинамбура, из них шесть сортообразцов таджикской селекции, три сортообразца, полученных из Кубанского аграрного университета, и девять сортообразцов из Майкопской опытной станции ВИР Российской Федерации. Масса посаженных семенных клубней у всех сортообразцов колебалась в пределах 20–30 г. Образец Тезпаз (Скороспелый) выделен среди местной сортопопуляции в условиях Хатлонской области Таджикистана в 2011 г., а сорт Сарват выделен клоновым отбором из сорта

Интерес российской селекции в 2010 г. Данный сорт в 2015 г. передан Государственной комиссии по испытанию новых сортов и защите сортов сельскохозяйственных культур при Министерстве сельского хозяйства Республики Таджикистан. Новый клон-образец Гигант выделен методом клонового отбора из сорта Сарват в 2013 г. В отличие от исходного сорта Сарват, у нового образца клубни имели розовый цвет, более высокий стебель и большее количество зеленой массы. Клон из семян Интерес (F_1) выделен среди популяции генеративных семян, полученных из сорта Интерес в 2014 г. Новые образцы, получившие названия «Декоративный» и «Удлиненный», выделены в разных районах Таджикистана в период с 2012 по 2016 гг. Данные образцы характеризуются обильным цветением и имеют мелкие клубни удлиненной формы.

Окраска клубней сортообразцов Гигант, Розовый (Краснодар) и № 248 (ВИР, Майкоп) розовая, а у всех других – белая. Клубни коллекционных сортообразцов были посажены 10 апреля 2016 г. на опытном участке Центра инновационного развития науки и новых технологий Академии наук Республики Таджикистан. Почва участка староорошаемая, серозем типичный. Предшественником была люцерна многолетняя. Было посажено по 24 шт. клубня каждого сортообразца по схеме посадки 70×35 см. Каждый сортообразец был посажен в трех рядках (по восемь растений в рядке) в трехкратной повторности. При посадке вносилось 50 кг/га аммиачной селитры (д.в.), в фазу всходов растений – 50 кг/га аммиачной селитры. Во время вегетации растений было проведено разовое мотыжение междурядий (вручную) и пять вегетационных поливов. Фенологические наблюдения и биометрика проводились на всех растениях отдельно по делянкам. Как показали исследования, коллекционные сортообразцы топинамбура, полученные в разных эколого-географических зонах, при выращивании в условиях Гиссарской долины Таджикистана отличаются хорошим ростом и развитием, а также значительным урожаем клубней и биомассы.

Коллекционные сортообразцы топинамбура в условиях Гиссарской долины Таджикистана имеют разные показатели таких полигенных признаков, как высота растений, масса стеблей, масса корней, масса клубней, количество клубней на растение и общая биомасса растений. По признаку высоты растений особенно выделяются такие сортообразцы, как Гигант, Интерес (Краснодар), Белая (Краснодар), Розовый (Краснодар), № 248 (ВИР, Майкоп), № 251, (ВИР, Майкоп) и Диетический (ВИР, Майкоп). Рост растений данных сортообразцов в конце вегетации достигал 360–405 см, что на 80–125 см больше, чем у других сортообразцов. Самым высокорослым оказался образец Гигант, рост растений которого составил 405 см. По признаку массы листьев и стеблей наиболее высокими показатели характеризовались сортообразцы Сарват (Богатство), клон из семян Сарват (F_1), Интерес (Краснодар) и № 251 (ВИР, Майкоп) (2800-3000 г/растение). Наиболее высокий показатель по данному признаку имел образец Интерес (Краснодар) (3000 г/растение). Такие сортообразцы, как № 3 (ВИР, Майкоп), № 8 (ВИР, Майкоп), № 243 (ВИР, Майкоп), № 248 (ВИР, Майкоп), № 251 (ВИР, Майкоп), № 255 (ВИР, Майкоп) и Диетический (ВИР, Майкоп) характеризовались показателями массы корневой системы 1500–2000 г/растение, что было на 20–75% больше по отношению к другим образцам. Наиболее высокий показатель по данному признаку имел образец № 3 (ВИР, Майкоп) (2000г/растение). Сортообразцам Тезпаз, Гигант, Белая (Краснодар), Розовый (Краснодар), № 3 (ВИР, Майкоп), № 248 (ВИР, Майкоп) были свойственны показатели массы клубней 2500–3000 г/растение, что на 40–90% больше по сравнению с другими образцами. По данному признаку среди других сортообразцов выделялся образец Белая (Краснодар) (3000 г/растение). Более высоким количеством клубней на растении отличались сортообразцы Тезпаз, Диетический (ВИР, Майкоп), Розовый (Краснодар), клон из семян Интерес (F_1) (показатель был в 1,5–2,0 раза выше по сравнению с другими образцами). По данному показателю выделялся образец Тезпаз (180 шт./растение). По признаку общей биомассы наиболее высокими показателями характеризовались сортообразцы Тезпаз, Сарват (Богатство), Гигант, клон из семян Сарват (F_1), Интерес (Краснодар), Белая (Краснодар), Розовый (Краснодар), № 3 (ВИР, Майкоп), № 8 (ВИР, Майкоп) и № 248 (ВИР, Майкоп) (5000–6000 г/растение,

что на 50–90% больше по сравнению с другими сортообразцами). По признаку общей биомассы среди других сортов выделялся образец Гигант (6433 г/растение). По массе одного клубня преимущество имели такие сортообразцы, как № 251 (ВИР, Майкоп) и Интерес (Краснодар) (средняя масса одного клубня 60 и 67 г соответственно против 19–40 г у других образцов). Низкими показателями всех полезных признаков характеризовались два сортообразца топинамбура клоновой селекции – Декоративный и Удлиненный. Данные образцы являются низкоурожайными и подходят только для декоративных целей.

Таким образом, в условиях Гиссарской долины Таджикистана (на высоте 800 м над уровнем моря) большинство сортообразцов топинамбура, полученных из разных экологических зон Российской Федерации и Таджикистана, в течение вегетационного периода (май – октябрь, более чем 170 дней) отличаются хорошим ростом и развитием, а также значительным урожаем клубней (1000 до 3000 г/растение) и биомассы (от 3500 до 6400 г/растение). По ряду продукционных признаков сортообразцы топинамбура имеют высокие показатели, что потенциально важно для получения продуктов питания и кормов для животных в перспективе.

Коллекционные сортообразцы топинамбура, полученные учеными России и Таджикистана, представляют научно-практический интерес для дальнейшего изучения в разных экологических зонах и использования в селекционно-генетических работах.

Список литературы

1. Кочнев Н.К. Топинамбур – биоэнергетическая культура // Материалы VI междунар. науч.-практ. конф. Тверь, 2006. С. 81–82.

2. Партоев К., Сайдалиев Н. Х., Ахмедов Х. М. О продуктивности топинамбура (Helianthus tuberosus l.) в условиях Таджикистана // Доклады Таджикской академии сельскохозяйственных наук. Душанбе, 2015. № 3. С. 8–11.

3. Пасько Н. М. Селекция и семеноводство топинамбура // Сб. науч. трудов. М., 2003. Вып. 38. С. 163–171.

4. Шаззо Р. И., Кайшев В. Г., Гиш Р. А., Екутеч Р. И., Корнена Е. П. Топинамбур: биология, агротехника выращивания, место в экосистеме, технологии переработки (вчера, сегодня, завтра). Краснодар, 2013. 184 с.

УДК: 633.494:631.52

ТАДЖИКИСТАН: ПРОДУКТИВНОСТЬ ТОПИНАМБУРА (*Helianthus tuberosus* L.) ПРИ ПОЛИВЕ И БЕЗ ПОЛИВА

К. Партоев, Н. Х. Сайдалиев, Н. М. Сафаралиев

Центр инновационного развития науки и новых технологий Академии наук Республики Таджикистан,
734025, Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33а
E-mail: pkurbonali@mail.ru

Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) – многолетнее травянистое растение высотой от 40 см до 2.5 м. Продолжительность вегетационного периода культуры составляет 4,5–5 месяцев, урожайность клубней в среднем – 15 т/га, суммарная продуктивность наземных органов – 70–90 т/га.

В Таджикистане топинамбур начали культивировать в 40–50-е гг. прошлого века [2]. Сведения о биологии топинамбура, агротехнике его выращивания и практическом использовании в Таджикистане, а также на территории бывшего СССР приводятся в работах [1, 3–6].

В настоящее время в Таджикистане выращивание данной культуры ограничено, во всяком случае, достоверные сведения о площадях, занятых под топинамбур, и производстве продукции из него отсутствуют [6].

В связи с этим цель настоящей работы заключалась в изучении особенностей роста, развития, биологической продуктивности растений топинамбура и урожайности клубней в долине и в горной зоне, а также в оценке перспективности использования топинамбура как продукта питания, корма для животных и сырья для получения биотоплива в будущем. Для достижения данной цели в течение 2012–2015 гг. были проведены исследования по выращиванию топинамбура в условиях Гиссарской и Раштской долинах. Опыты проведены на богарных землях и при поливе, без использования удобрений и при внесении в почву минеральных и органических удобрений. Также были установлены возможности использования биомассы топинамбура (надземной зелёной массы и клубней) в качестве корма для животных.

Материалы и методы

Материалом исследований послужили клубни топинамбура сорта Интерес в виде первой клубневой репродукции. Опыты по изучению роста и развития топинамбура проведены в условиях Гиссарской (840 м над уровнем моря) и Раштской долин (2000 м над уровнем моря) Республики Таджикистан в течение 2012–2015 гг.

В двух указанных экологических условиях было внесено NPK из расчета 50:50:25 кг/га по действующему веществу. Основная часть азотных удобрений, а также фосфорные и калийные удобрения вносились при посадке. На опытном участке делянки были размещены рендомизированно, при трехкратной повторности. Схема посадки 70×35 см. Посадка клубней топинамбура в Гиссарской долине проводилась в середине апреля, а в Раштской долине – в середине мая. На поливном участке опыта было проведено четыре полива в период вегетации. Также во время вегетации были проведены все учёты и наблюдения за ростом и развитием растений, а также их урожайностью по делянкам опыта. Статистическая обработка данных проводилась по [7].

Результаты и обсуждение

Как показали исследования, в условиях Гиссарской и Раштской долин можно получить значительные урожаи топинамбура как на поливных, так и на богарных землях. Установлено, что в среднем величина общей биомассы топинамбура на участках без проведения полива (на богарных землях) составила 47,4 т/га, что свидетельствует об эффективности выращивания топинамбура на богарных землях Республики. Как показали результаты исследования, полив способствовал увеличению накопления биомассы топинамбура на 30,4 т/га (64,1%) по сравнению с растениями на богарном участке.

В среднем урожай клубней топинамбура на богарных землях составил 15,73 т/га, что свидетельствует о высоком показателе продуктивности топинамбура при выращивании без полива. Полив способствовал увеличению

урожая клубней топинамбура на 14,9 т/га (94,7%) по сравнению растениями, выращиваемыми на богарных землях.

Заключение

Проведенные исследования показывают, что в условиях Гиссарской и Раштской долин Таджикистана при выращивании топинамбура как с поливом, так и без него (на богаре) можно получить высокий урожай биомассы и клубней. В среднем за годы исследования на поливных землях Раштской и Гиссарской долин показатели общей биомассы топинамбура составили 66.5–94,2 т/га, на богарных землях – 30,4–72,5 т/га. Также были зафиксированы высокие показатели урожая клубней: 24,95–38,4 т/га на поливных землях и 11,85–22,95 т/га на богарных землях. Установлено, что поливы способствуют увеличению биомассы топинамбура на 30,4 т/га (64.1%), а урожая клубней – на 14,9 т/га (94,7%) по сравнению с выращиванием без поливов.

Таким образом, разработаны и испытаны агротехнические приёмы выращивания топинамбура и выявлены пути получения высоких урожаев его биомассы и клубней в условиях Гиссарской и Раштской долин, что является весьма перспективной основой для использования топинамбура как высокоэффективного сырья для животноводства и в качестве продукта питания в будущем.

Список литературы

1. Вехов В. Н., Губанов И. А., Лебедева Г. Ф. Культурные растения СССР // Топинамбур (Земляная груша) – *Helianthus tuberosus* L. М., Мысль, 1978. С. 312–314.

2. Литвинов В. Н. Земляная груша в Гиссарской долине Таджикской ССР: автореф. дисс. … канд. с.-х. н. Сталинабад, 1958. 23 с.

3. Литвинов В. Н. Кормовые культуры Таджикистана. Душанбе, Ирфон, 1965. 295 с.

4. Касымов Дж. К. Сельскохозяйственные культуры Таджикистана. Душанбе, 1975. 162 с.

5. Энциклопедия сельского хозяйства Таджикистана. Т. 2. Земляная груша (Топинамбур). Душанбе, 1991. С. 69–70.

6. Партоев К., Ясинов Ш. М., Сайдалиев Н. Х. О значение топинамбура в обеспечение продовольствием и топливом в Таджикистане. Душанбе, 2016. 167 с.

7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., Колос, 1979. 416 с.

ДИНАМИКА РОСТА И АКТИВНОСТЬ ЭНДОГЕННЫХ АУКСИНОВ И ИНГИБИТОРОВ РОСТА У ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ ПРИ УФ-ОБЛУЧЕНИИ СЕМЯН ВОЛНАМИ РАЗНОЙ ДЛИНЫ И ЭКСПОЗИЦИИ

А. Б. Сафаралихонов, О. А. Акназаров

Памирский биологический институт им. Х. Ю. Юсуфбекова

Академии наук Республики Таджикистан, г. Душанбе

Ультрафиолетовые лучи оказывают различное влияние на ростовые процессы проростков и целых растений, поэтому каждому виду свойственна собственная реакция на разные зоны спектра и дозы облучения. Характер действия облучения во многом зависит от продолжительности экспозиции и области спектра. Реакция растений на действие УФ-света меняется от одного вида к другому и даже от сорта к сорту у одного того же вида растений.

В предлагаемой статье изложены результаты многолетних исследований по влиянию УФ-облучения семян волнами разной длины и продолжительности экспозиции на рост и активность эндогенных ауксинов и ингибиторов роста у проростков двух стародавних сортов пшеницы в лабораторных условиях. В качестве метода исследования для определения активности ауксинов и ингибиторов роста в проростках была использована тонкослойная хроматография с последующим испытанием отдельных зон хроматограмм на биотесте.

Результаты исследования показали, что под влиянием УФ-облучения разного спектрального состава и разной экспозиции у двух сортов пшеницы наблюдалась одинаковая динамика роста проростков и активности эндогенных регуляторов роста. При коротковолновом УФ-облучении семян были выявлены некоторое увеличение активности ингибиторов роста и подавление роста проростков у обоих сортов, а средне- и длинноволновое УФ-облучение семян вызвали сравнительное увеличение активности ауксинов и оказали стимулирующий эффект на рост проростков. Однако следует отметить, что стимулирующий эффект в данных вариантах проявился не во всех экспозициях облучения. Например, при экспозиции 90 минут во всех спектрах наблюдались относительное подавление роста проростков и увеличение активности веществ с ингибирующим характером действия по сравнению с контрольными проростками. Следует подчеркнут, что наиболее перспективным оказалось УФ-облучение семян с экспозицией 60 минут, где был установлен наибольший эффект. При увеличении экспозиции облучения эффект оставался таким же или снижался.

БИОХИМИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ЗЕРЕН ПОЛИПЛОИДНЫХ ФОРМ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ

Ю. Т. Кобилов, А. Э. Эргашев, А. А. Абдуллаев

Институт ботаники, физиологии и генетики растений

Академии наук Республики Таджикистан

Таджикистан, г. Душанбе, ул. Карамова, 27

E-mail: yusuf-kobilov@mail.ru

Засуха – это природное явление, связанное с дефицитом влаги. Данное явление наблюдается в разных климатических зонах и приносит огромный ущерб. По данным ООН, он превышает 20% от общего ущерба, наносимого всеми стихийными бедствиями. Засуха, особенно в её экстремальном проявлении, ускоряет развитие опустынивания, основной причиной которого на территории бывшего СССР являются чрезмерные антропогенные нагрузки, усиливающиеся в условиях длительных и интенсивных засух [1, 2]. Кроме того, известно, что продуктивность растений зависит от их способности к быстрому ответу и приспособлению к действию стресса [3].

В связи с этим задачей настоящих исследований являлось изучение влияния длительной почвенной засухи на биохимические показатели зерна пшеницы.

Объектами исследований послужили сорта полиплоидных форм твердой пшеницы Шамъ (гексаплоидная) и Президент (тетраплоидная), которые выведены в Таджикском научно-исследовательском институте земледелия, и разновидность *v.heidelbergi* вида *T.polonicum* (тетраплоидная), завезенная из Сирии (г. Алеппо, ИКАРДА) и России (ВИР).

Опыты проводились на экспериментальном участке Института ботаники, физиологии и генетики растений АН Республики Таджикистан (г. Душанбе), расположенном в восточной части Гиссарской долины на высоте 834 м над уровнем моря. Растения выращивались в вегетационных сосудах. Посевы были произведены в весенние сроки. Сосуды с растениями были разделены на две

группы: первая – растения выращивались в условиях почвенной засухи (опыт) – 45–50% от ППВ (предельная полевая влагоемкость); вторая – растения выращивались в оптимальных условиях почвенной влажности (контроль) – 75–80% от ППВ.

Биохимический анализ спелого зерна изученных сортов показал, что под воздействием водного дефицита (почвенная засуха) происходят значительные качественные и количественные изменения в их составе.

Сорта и варианты / Показатели	Президент		*T.Polonicum v. heidelbergi*		Шамъ	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Влажность	10.3±0.3	9.7±0.0	9.9±0.2	9.4±0.3	10.3±0.0	10.1±0.0
Клетчатка	3.0±0.0	3.3±0.0	2.8±0.0	3.1±0.0	3.0±0.1	3.3±0.0
Протеин	18.4±0.1	20.9±0.4	17.0±0.0	19.4±0.1	17.3±0.0	21.4±0.1
Крахмал	66,9±0.3	60.8±0.2	67.0±0.3	62.0±0.2	67.4±0.3	58.2±0.0
Протеин/ Крахмал	0.27±0.0	0.34±0.0	0.25±0.0	0.31±0.0	0.25±0.0	0.36±0.0
Крахмал/ Протеин	3.6±0.0	2.9±0.0	3.9±0.0	3.2±0.0	3.9±0.0	3.7±0.0
Зола	1.8±0.0	1.9±0.3	1.8±0.0	1.9±0.0	1.8±0.0	2.0±0.0

Биохимический состав зерна сорта Президент в зависимости от условий выращивания имеет некоторые отличительные черты. Так, в условиях почвенной засухи содержание крахмала снижается почти на 6%, а содержание протеина увеличивается примерно на 3%. Вместе с тем, по содержанию других компонентов зерна между вариантами опыта существенных отличий не обнаружено.

Следует отметить, что биохимические компоненты зерна *T.polonicum v.heidelbergi* в меньшей степени подвергнуты изменению под воздействием почвенной засухи по сравнению с сортами Президент и Шамъ. Содержание крахмала в зерне в условиях почвенной засухи по сравнению с контрольным вариантом (67%) снизилось на 5%, при этом содержание протеина увеличилось на 2%. Таким образом, подтверждается факт, что данный вид оказался более адаптированным к воздействию почвенной засухи.

В зерне растений сорта Шамъ, выращенных при почвенной засухе, содержание крахмала снизилось до 58% при 67% в варианте «контроль», а количество протеина, наоборот, увеличилось более чем на 4%. Однако по

содержанию других компонентов зерна заметных различий между вариантами не наблюдалось.

Таким образом, установлено, что биохимический состав зерна пшеницы с различной плоидностью в условиях почвенной засухи существенно не отличается.

Список литературы

1. Грингоф И. Г. Засухи и опустынивание – экологические проблемы современности // Труды ВНИИСХМ. 2000. Вып. 33. С. 14–40.

2. Золотокрылин А. Н. Климатическое опустынивание. М., Наука, 2003. 245 с.

3. Rassow J., von Ashen O., Bomer U., Pfanner N. Molecular chaperones: towards a characterization of the heat-shock protein 70 family // Trends in Cell Biol. 1997. № 3. pp. 129–133.

СОДЕРЖАНИЕ РАСТВОРИМЫХ УГЛЕВОДОВ У ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ В ТАДЖИКИСТАНЕ

Б. Н. Сатторов, М. М. Ниязмухамедова, Ф. А. Косумбекова, Н. Камолов, М. М. Рахимов[2]

Институт ботаники, физиологии и генетики растений АН РТ;

[2]Таджикский государственный университет им. С. Айни

E-mail: Mukadam.44@mail.ru

Комплексные морфофизиологические и биохимические исследования пшеницы, выращенной в жестких условиях богары, позволяют установить сорта и сортообразцы, сочетающие высокую продуктивность и устойчивость к неблагоприятным условиям внешней среды. Для анализа физиологического состояния растения и распределения ассимилятов по разным органам в условиях стресса следует изучить некоторые биохимические показатели (содержание крахмала, растворимых углеводов и др.), характеризующие продукционный процесс.

Целью настоящих исследований явился сравнительный анализ содержания растворимых углеводов в различных органах растений пшеницы в основные фазы их развития в условиях богары.

Объектом исследования послужила мягкая пшеница сорта Зафар селекции Института земледелия Таджикской академии сельскохозяйственных наук и сортов Волжская К (качественная), Волжская-100 и Волжская-С3 (стойкая) Ульяновской сельскохозяйственной академии России. Российские сорта пшеницы были предоставлены профессором Н. В. Тупицыным из Ульяновской сельскохозяйственной академии Российской Федерации.

Растения в опыте выращивались в одинаковых агротехнических условиях на экспериментальном участке Института ботаники, физиологии и генетики растений АН Республики Таджикистан, расположенном в восточной части Гиссарской долины на высоте 830м над уровнем моря.

Содержание растворимых углеводов определялось по микрометоду Дюбуа (Dubois et al.,1956).

Установлено, что во флаговом листе интродуцированных сортов пшеницы В-100; В-К; В-С3 и пшеницы сорта Зафар содержание моно- и ди-сахаров было достаточно высоким в фазу кущения –трубкования и затем в фазу колошения. С образованием колоса их содержание снизилось в 1.5–2.5 раза вследствие того, что образованные пластические вещества были направлены в колос. С переходом растений пшеницы в фазы цветения и молочной спелости происходит активный синтез растворимых углеводов, их содержание увеличивается в 1.5–2.0 раза, но к концу вегетации, в фазу восковой спелости, оно снова уменьшается. У пшеницы сорта В-С3 содержание растворимых углеводов незначительно уменьшается, начиная с фазы трубкования. Синтез углеводов в сезонной динамике активизируется, содержание растворимых углеводов повышается в фазы колошения и цветения. Это, по-видимому, происходит из-за большого «спроса» на пластические вещества в форме моно- и ди-сахаров. В последующие фазы наблюдается уменьшение их содержания.

Для стеблей изученных сортов пшеницы был характерен широкий диапазон изменчивости содержания сахаров от 4.44 мг/г сырой массы у пшеницы Волжская-100 в фазу трубкования до 0.89 мг/г сырого веса у интродуцированного сорта пшеницы Волжская (качественная). В остальные фазы стебель пшеницы активно использовал пластические вещества для образования растворимых углеводов, выполняя роль «депо» накопления растворимых углеводов для формирования зерновки колоса. В корнях наблюдалось динамичное накопление моно- и ди-сахаров, но по их содержанию они уступали листьям и тем более стеблям.

Следует отметить, что колосу и частям колоса (чешуе и остям) было свойственно относительно высокое содержание углеводов, вносящих существенный вклад в накопление моно- и ди-сахаров. Так, в колосе пшеницы сорта В-100 содержание углеводов колебалось от 2.29 мг/г сырого веса в фазу колошения, а в фазу восковой спелости оно снизилось в 1.5 раза. Такое же содержание углеводов по фазам было отмечено и у других изученных сортов пшеницы. В чешуе и остях пшеницы данных сортов содержание растворимых

углеводов было относительно высоким, что свидетельствует об их активном участии в синтезе пластических веществ для формирования полноценного зерна.

Таким образом, при помощи сравнительного анализа содержания растворимых углеводов в органах интродуцированных и местного сортов пшеницы были установлены некоторые аспекты их донорно-акцепторных отношений в основные фазы развития, которые можно использовать для выявления и выведения сортов с положительными хозяйственно ценными показателями качествами зерна.

Список литературы

1. Dubois M., Gilles K. A., Hamilton J. K., Rebers P.A., Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances // Analut. Chem. 1956. V. 28, № 3. pp. 350–356.

CELL-BASED PHYSIOLOGICAL MARKERS FOR PYRAMIDING PHYSIOLOGICAL TRAITS IN PLANT BREEDING FOR STRESS TOLERANCE

Sergey Shabala[1*], Honghong Wu[1,2], Zhonghua Chen[3], Lana Shabala[1], Meixue Zhou[1]

[1]*School of Land and Food, University of Tasmania, Australia;*

[2]*Department of Botany and Plant Sciences, University of California, Riverside;*

[3]*School of Science and Health, Western Sydney University, Penrith, Australia*

[*]*Corresponding author; E-mail: Sergey.Shabala@utas.edu.au*

Over the past decades, crop breeding for stress tolerance around the globe was essentially empirically-driven and relied mainly on plant phenotyping under field or glasshouse conditions. However, given the complexity and plethora of physiological and genetics mechanisms conferring stress tolerance in plants, the practical outcomes of such approaches are disappointingly low. In this paper, we argue that the challenge of making a major breakthrough in crop breeding for stress tolerance to feed 9.3 billion people by 2050 cannot be met without bringing the new paradigm into pant phenotyping and developing a set of cell-specific physiological markers. Using salinity as an example, we show that the current trend of targeting Na^+ exclusion mechanisms in breeding programmes for salinity tolerance in crops needs revising, and the progress in this area will be achieved only by learning from halophytes, naturally salt-loving plants capable of surviving in harsh saline environments. We then show how using a range of cutting-edge microelectrode and fluorescence imaging techniques may assist in pyramiding physiological traits to create truly salt tolerant varieties. Using barley (*Hordeum vulgare*), wheat (*Triticum aestivum*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) species as examples we show how the MIFE technique can be used to identify key cellular mechanisms conferring salinity tolerance in these species, as well as to screen existing germplasm to select potential "donors" of these genes. Among these traits, we focus on (1) functional characterisation of SOS1 activity in plant roots; (2) essentiality and mechanisms beyond root's ability to retain K^+; (3) control of xylem Na^+ and K^+ loading; (4) vacuolar Na^+ sequestration; and (5) oxidative stress tolerance.

EVALUATION OF ALLELOPATHIC POTENTIAL OF RICE LANDRACES (*ORYZA SATIVA* L.) AGAINST THE GROWTH OF BARNYARDGRASS (*ECHINOCHLOA CRUS-GALLI* P.BEAUV) UNDER THE DIFFERENTIAL SCREENING CONDITIONS

T. D. Khanh, K. H. Trung, P. T. Thang, L. H. Ham

Agricultural Genetics Institute, Hanoi, Vietnam

Allelopathy is a biological phenomenon, simply understood as the ability of plant to suppress or stimulate growth of nearby other plants in the environment by chemical means. The objectives of this study were to evaluate allelopathic potential of the total 51 Vietnamese rice landraces (*Oryza sativa* L.) collected from different ecosystems on the growth of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in laboratory, greenhouse and field screenings. In laboratory screening, Nanh chon, Lua Tho, Nang Quat Bien, Ble Blau and Vang Thom landraces exhibited the maximum weed suppressing against the shoot length (SL) and root length (RL) of barnyardgrass by over 60%. In greenhouse, 5 landraces, Vang Quat Bien, Nanh Chon, Lua Tho, Bulu Pan dark, Huong Chiem and Nang Quat Vang revealed significant inhibition from 60.0% – 70.0% on SL of barnyardgrass. In field trial, 8 landraces demonstrated SL inhibition over 70.0%. The highest average inhibition (AI) was found in 3 rice landraces including Ble Blau do, Huong Chiem and Vang Quat Bien by over 50.0%. Rice allelopathic activity is landraces – dependent and varietal groups – dependent, of which the traditional none sticky group landraces (TNS) were the highest, followed by the improved varieties (IV), while the least was the traditional sticky landraces (TS). The correlation coefficient showed strikingly different allelopathic potential values in laboratory – greenhouse and laboratory – field and field – greenhouse screenings. The current results have provided useful information to further develop acceptable allelopathic rice lines via breeding program for sustainable weed management in this country.

MARKER ASSISTED BACKCROSS BREEDING TO IMPROVE TOLERANCE OF SUBMERGENCE IN POPULAR VIETNAMESE VARIETY KHANG DAN 18 TO COPE WITH CLIMATE CHANGE

Le Hung Linh, Dao Van Khoi, Le Huy Ham*

Agricultural Genetics Institute, Vietnam

Vietnam is one of the most vulnerable countries affected by submergence stress in Asia. Submergence, caused by typhoons and flash floods, adversely affects poor farmers living in the rainfed lowlands in this country. Using marker-assisted backcrossing (MABC) to develop rice tolerance of submergence is one of the feasible methods to cope with these devastating climate changes. To improve rice submergence tolerance in Khang dan 18 cultivar, PSB-Rc68 was used as a donor parent to introgress the *Sub1* conferring submergence tolerance into Khang dan 18. Three backcrosses were conducted and successfully transferred positive alleles of *Sub1* from PSB-Rc68 into Khang dan 18. The improved line was named Khang Dan 18-*Sub1* has recurrent genetic background and carried the *Sub1* alleles similar to the donor parent PSB-Rc68, whereas DUS (Distinctness, Uniformity and Stability) testing for 62 of characteristics were the same as the original Khang dan 18. Khang dan 18-*Sub1* was evaluated for yield and yield component traits at several ecological regions in North Vietnam. The results showed that Khang dan 18-*Sub1* were no significant difference from original Khang dan 18 for yield and yield component traits. We show here the success of improving rice submergence tolerance by MABC and the high efficiency of selection in early generations. Khang dan 18-*Sub1* showing good adaption under submergence stress can be used as a replacement of original Khang dan 18.

IDENTIFICATION OF *CHAETOMIUM* SPP. FROM SOIL CULTIVATION OF CITRUS TREES IN VIETNAM

Nguyen The Quyet[1*], Le Thi Anh Hong[1], Ha Viet Cuong[2], Kasem Soytong[3], Le Huy Ham[1]

[1]*Agricultural Genetics Institute, Vietnam;*

[2]*Vietnam National University of Agriculture, Vietnam;*

[3]*King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thai Land*

E-mail: quyetatq@gmail.com

Citrus is one of the major plants cultivated in Vietnam. Citrus orchards are also one of the major fruit commodities to support the household economic for farmers, which are directed at increasing income, employment opportunities and nutritional status. *Chaetomium* spp is one of the largest genera of *Ascomycetes* with more than 300 species worldwide. It is reported to be potential antagonists of various plant pathogens, specially soil-borne and seed borne pathogens. Many species of *Chaetomium* with potential to be biological control agents suppress the growth of bacteria and fungi through competition for nutrients, mycoparasitism, antibiosis, or various combinations. The research findings were conducted to isolate and identify the local strains of *Chaetomium* spp. in Vietnam. Isolates of *Chaetomium* spp. were isolated by baiting technique. It was identified *Chaetomium cupreum* and *Chaetomium globosum* based on morphological characteristics and molecular analysis. Further research would formulate as biological fungicide and test *in vitro* conditions.

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПЛАЗМАЛЕММЫ ДЛЯ Ca^{2+} ПРИ ДЕЙСТВИИ АУКСИНА

М. Ф. Шишова, В. В. Емельянов, А. А. Кирпичникова, Д. А. Романюк

ФГБНУ «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ)

Внесение ИУК в модельную систему, представленную везикулами плазмалеммы, приводило к транспорту Ca^{2+}. Амплитуда ответа зависела от возраста клетки и от концентрации фитогормона. Предложена модель рецепции ауксина растительными клетками.

IAA addition to the model system, represented by plasma membrane vesicles, triggered Ca^{2+} transport through membrane. The amplitude depended on the cell age and IAA concentration. The complex scheme of auxin perception is suggested.

Известно, что ауксин, один из фитогормонов, обладает широким спектром физиологического действия. Он контролирует деление и растяжение растительных клеток и дифференцировку различных тканей. Ауксин участвует в регуляции целого ряда морфогенетических программ, в том числе органообразования, и является одним из факторов, определяющих полярность растительного организма (Полевой, 1982). Значительное разнообразие реакций на внесение одного и того же химического соединения предполагает изменение чувствительности клеток к гормону в зависимости от их локализации и стадии онтогенеза. Полученные данные свидетельствуют о том, что характер и интенсивность индуцируемых ответных реакций клетки может зависеть от величины концентрации свободного гормона, а также от интенсивности поступления гормона в клетки.

Согласно современным представлениям, рецепция фитогормона осуществляется следующим образом. Оказавшись внутри клетки, ауксин связывается с рецептором, получившим название TIR1 (TRANSPORT INHIBITOR RESPONSE1, Tan et al., 2007). Установлено, что гомологами данного белка являются представители семейства AFB1-3 (AUXIN SIGNALING F-BOX PROTEIN1-3). TIR1 – растворимый цитоплазматический белок, являющийся интегральным компонентом SKP1/CULLIN/F-BOX PROTEIN(SCF)TIR1 комплекса, наряду с белком AXR1. Рецептор опосредует убиквитинизацию AUX/IAA белков и инициирует их деградацию в 26S

протеосоме. При низких концентрациях ауксина AUX/IAA протеины вместе с транскрипционными факторами AUXIN RESPONSE FACTOR (ARF) образуют гетеродимеры, что блокирует активность ARF транкрипционных факторов. Деградация AUX/IAA белков при повышении концентрации ауксина приводит к высвобождению белков ARF, что инициирует экспрессию генов раннего ауксинового ответа (Teale, 2006).

Ранее было установлено, что внесение ауксина вызывает быструю проницаемость плазмалеммы для Ca^{2+} (Kirpichnikova et al., 2014). Дальнейшее исследование показало, что амплитуда ауксин-индуцированного транспорта Ca^{2+} зависит от возраста клеток. Из рис. 1 видно, что амплитуда ответа больше у молодых клеток, характеризующихся повышенной чувствительных к гормону. В работе использовали везикулярную фракцию плазмалеммы. Везикулы были загружены флуоресцентным зондом diS-C3(5), который реагирует на изменение мембранного потенциала. В рамках настоящего исследования было проведено сравнение градиентной и безградиентной моделей, что позволило оценить амплитуду Ca^{2+} транспорта через мембрану везикул, индуцированного внесением ИУК в разной концентрации. Изменение флуоресценции зонда регистрировалось уже через 20 сек после гормонального воздействия. Таким образом, получены прямые доказательства существования первичных гормон-зависимых биофизических реакций на плазмалемме, в которых не может принимать участие система рецепции с TIR1. Представленные результаты согласуются с высказанной ранее точкой зрения о существовании механизма рецепции на внешней поверхности клетки. Предполагается, что в данном случае может быть задействован АСБ1 (ауксин-связывающий белок 1), выполняющий роль экстраклеточного домена рецептора ауксина на плазматической мембране (Shishova, Lindberg, 2010). Возможность существования двух рецепторов отражена на предложенной модели (рис. 2).

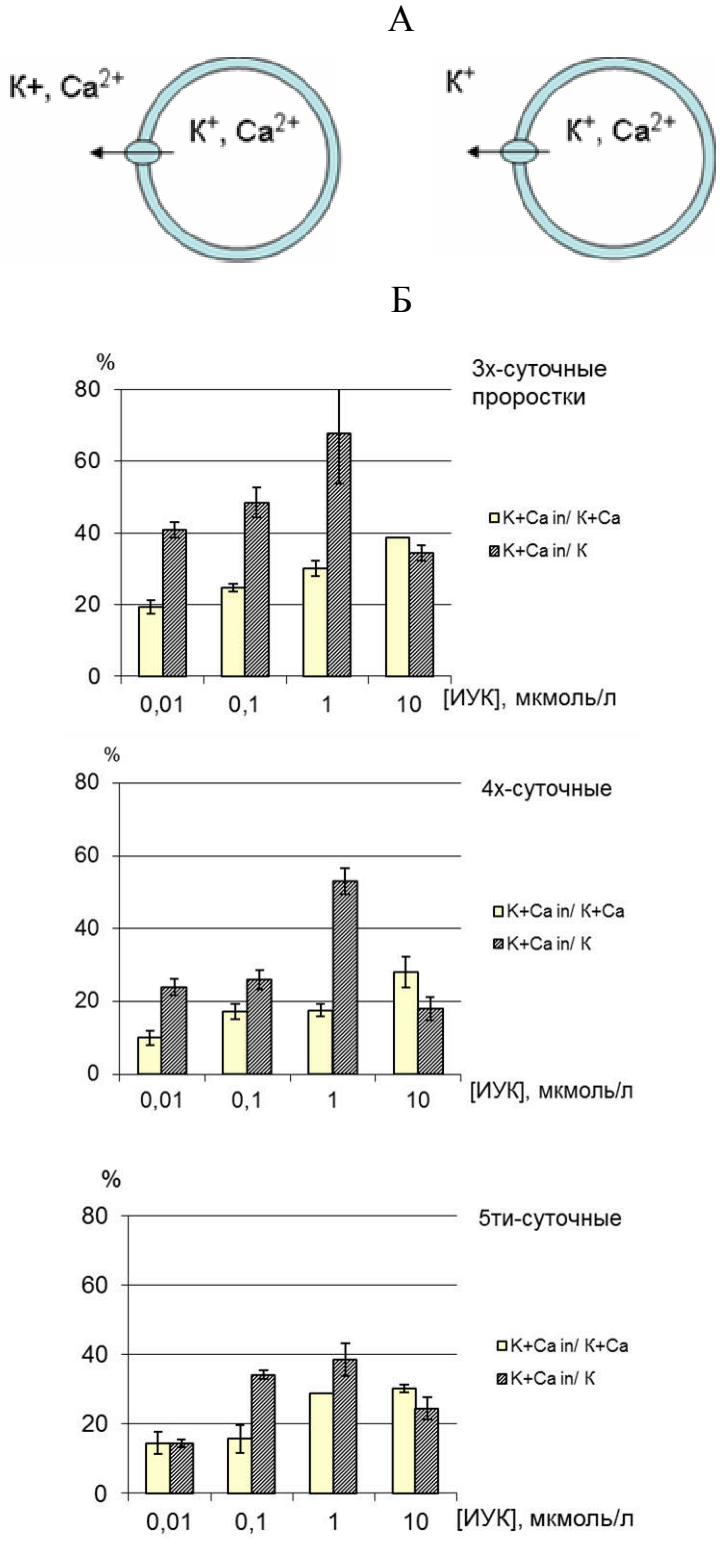


Рис. 1. Изменение интенсивности транспорта Ca^{2+} через плазмалемму при действии ИУК.
А – модель загрузки везикул ионами Ca^{2+} и K^{+} (безградиентная и градиентная модели);
Б – амплитуда Ca^{2+}-зависимой флуоресценции зонда в ответ на внесение ИУК.

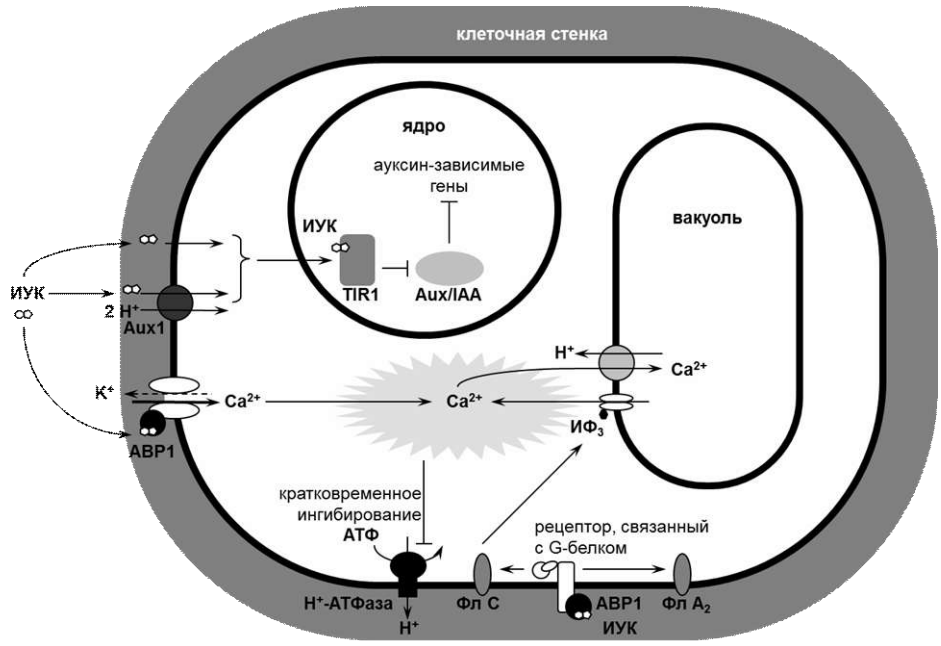


Рис. 2. Схема механизма действия ауксина на растительные клетки

Несмотря на то, что в 2016 г. было опубликовано несколько работ, ставящих под сомнение физиологическую роль АСБ1, авторы считают возможным предложить модель рецепции ауксина. Согласно данной модели, внесение ауксина в чувствительную клетку приводит к транспорту Ca^{2+} внутрь клетки и быстрому повышению его содержания в цитоплазме. Это может кратковременно ингибировать H^+-АТФазы плазмалеммы, что, в свою очередь, приводит к изменению мембранного потенциала и модуляции транспорта ионов K^+. Система Ca^{2+}-стата обеспечивает быстрое понижение концентрации ионов кальция в цитозоле. Параллельно активируется система рецепции гормона с участием рецептора TIR1.

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 16-04-00743_а.

Список литературы

Полевой В. В. Роль ауксина в регуляции роста и развития растений // Гормональная регуляция онтогенеза растений. М., Наука, 1984. 78 с.

Tan X., Calderon-Villalobos L. I., Sharon M., Zheng C., Robinson C. V., Estelle M., Zheng N. Mechanism of auxin perception by the TIR1 ubiquitin ligase // Nature. 2007. 446: 640–645.

Teale W. D., Paponov I. A., Palme K. Auxin in action: signalling, transport and the control of plant growth and development // Nat. Rev. Mol. Cell Biol. 2006. 7: 847–859.

Kirpichnikova A. A., Rudashevskaya E. L., Yemelyanov V. V., Shishova M. F. Ca^{2+}-Transport through Plasma Membrane as a Test of Auxin Sensitivity // Plants. 2014. Vol. 3, № 2. pp. 209-222. DOI:10.3390/plants3020209.

Shishova M., Lindberg S. A new perspective on auxin perception // Journal of Plant Physiology. 2010. Vol. 167, № 6. pp. 417-422. DOI: 10.1016/j.jplph.2009.12.014.

MOLECULAR IDENTIFICATION OF *FUSARIUM* SPECIES IN TOMATO

A. Deaghileva, V. Mitin, C. Grajdieru, L. Tumanova

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of Academy of Sciences of Moldova (IGPPP ASM), Chişinău, e-mail: show2003@yandex.ru

На основе двустадийной ПЦР проведена диагностика *Fusarium spp.* у внешне здоровых растений томата, а также у растений в период массового развития симптомов различных инфекций. В ДНК-образцах томата, выделенных на разных фазах вегетации, были идентифицированы *F. avenaceum*, *F. oxysporum*, F. *verticillioides*.

Introduction

Fusarium is a large worldwide genus of filamentous fungi, distributed in soil and associated with different plants diseases. Tomato plants are affected by several *Fusarium* species. *F. oxysporum* is well-known for being the causal agent of the Fusarium wilt (Bawa, 2016). *F. verticillioides* and *F. avenaceum* have a more restricted host range and are considered common pathogens for family *Poaceae*, yet are reported to be encountered in plants from family *Solanaceae* (Fungal Database). Symptoms in field trials are easily confused as with manifestations of other phytopathogens and with diseases caused by abiotic factors. For example, symptoms of Verticillium wilt can be very similar to Fusarium wilt (Lievens et al., 2003). Identification of *Fusarium* species is a hard task, because they have an overlapping range of features.

Methods based on PCR assays allow identifying pathogens in both pure culture and directly in plant material, bypassing the isolation of fungi. These methods are characterized by high sensitivity, specificity and reproducibility of test results (Ignjatov et al., 2012; Chehri, 2016).

The aim of this study was molecular identification of *Fusarium spp.* in tomato plants regardless of the manifestation of symptoms of the disease and in the period of development of symptoms of various infections.

Materials and methods

Asymptomatic and symptomatic tomato plants at different phases of development were tested. Four varieties of tomato were studied, planted directly in the field: *Gloria*, *Jubiliar*, *Atlasnyi, Zastava*. Total DNA from plant material (leaves or flowers) were isolated by a modified CTAB method (Saghai-Maroof et al., 1984).

The PCR mixture, in a volume of 25 µl, contained: 66 mM tris-HCl (pH-8,4), 16 mM $(NH_4)_2SO_4$, 2,5 mM $MgCl_2$, 0,1% Tween 20, 7% glicerol, 100 µg ml^{-1} *Bovin*

Serum Albumin, 0,2 mM dNTPs of each, 1,25 U *Taq DNA* polymerase (*Fermantas*), 5 pM of each primers, and 5–10 ng DNA.

The first round of the *nested*-PCR included 1 cycle: 95°C – 4 min, 60°C – 1 min, 72°C – 1 min; followed by 29 cycles: 95°C –1 min, 60°C – 1 min, 72°C – 1 min. The second round conditions of the *nested*-PCR were: 35 cycles: 95°C – 1 min, 60 ^{0}C – 1 min, 72°C – 1 min.

The products of amplification were divided in 1,5% agarose gel by electrophoresis (5–8 V/cm) and compared with 100 bp ladder mix DNA marker (*Fermentas*) in a migration buffer of Tris/borate/EDTA (pH 8.0) with ethidium bromide, viewed in the UV (302 nm) and photographed.

Results and discussion

Collection of plant material for analysis was carried out on the following phases of vegetation: 3–4 leaves, pre-flowering with 6-7 leaves and early flowering. At the phase of 3–4 leaves there were no symptoms of infection. At the phase of pre-flowering there were signs of various fungal infections. At the early flowering phase asymptomatic flowers were collected for analysis. Selection of plant samples was random. At first, DNA isolated from asymptomatic and symptomatic plants was tested by *nested*-PCR with the primers to *Fusarium spp.* for detection of infected samples. Primers design was performed on the basis of regions of the *TEF1* gene sequence common for all species of *Fusarium.* In the case of infection with *Fusarium spp.* a 300 bp fragment was synthesized in the second round of *nested-PCR* with the pair of primers fc3 (5'-ccatcgagaagttcgagaaggtt-3'), fc4 (5'-cccaggcgtacttgaaggaa-3'), as shown in the figure 1.

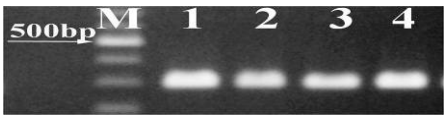


Figure 1. Electrophoregram of *nested-PCR* products of amplification of the tomato DNA using primer pairs to *Fusarium spp.* on the phase of pre-flowering.
1. *Gloria*, 2. *Jubiliar*, 3. *Atlasnyi*, 4. *Zastava***.** M – DNA marker.

Further, infected DNA samples were used in subsequent *nested*-PCR, using primers to *F. avenaceum, F. verticillioides* and *F. oxysporum.*

For molecular identification of *Fusarium* species in infected plants a set of primers was designed. The conserved regions of *TEF1* gene sequences of each pathogen from NCBI nucleotide collection for primers creation were selected (*GenBank*). Description of primers used in this study in the second round of *nested-PCR* is presented in table 1.

Table 1. Specie-specific primers for *Fusarium spp.* identification.

Taxon	Primers	Sequence (5' → 3')
F. avenaceum	fa3	cgactcgctccctcattcg
	fa4	gttttgtgggaacagggcaag
F. verticillioides	fv3	tccttctatcgcgcgttcttt
	fv4	ggaatgggagagggcagaaac
F. oxysporum	fo2	tcaatcccgaccaagacctg
	fo4	acgtgacgacgcactcatt

The results of molecular identification of *F. avenaceum, F. oxysporum* and *F. verticillioides* in tested tomato varieties selectively are shown for the pre-flowering phase on figure 2.

Figure 2. Electroprograms of *nested*-PCR products amplified by primers to *F. avenaceum* (A), *F. oxysporum* (B), F. *verticillioides* (C) on the tomato DNA extracted from plants at the pre-flowering phase. 1. *Gloria*, 2. *Jubiliar*, 3. *Atlasnyi*, 4. *Zastava*. M – DNA marker.

The sign of infection of *F. avenaceum* in the samples was the synthesis of a 140 bp fragment, *F. oxysporum* – 328 bp, *F. verticillioides* – 160 bp.

The analysis revealed infection with *Fusarium spp.* on the phase of 3–4 leaves in some asymptomatic varieties of tomato. On the pre-flowering phase, during the period of massive development of the symptoms of various infections in tested varieties *Fusarium spp.* was found. In DNA samples of asymptomatic flowers (early flowering phase), the presence of pathogens of the genus *Fusarium* is also shown. In the table 2 the results of testing for varieties *Gloria*, *Jubiliar*, *Atlasnyi, Zastava* at different phases of development via the primers for *Fusarium spp., F. avenaceum, F. verticillioides* and *F. oxysporum* are presented.

Table 2. Presence of *Fusarium spp.*(fc), *F. avenaceum* (fa), *F. verticillioides* (fv) and *F. oxysporum* (fo) in varieties of tomato at different phases of development.

Fusarium spp.	Phases											
	3-4 leaves				Pre-flowering				Early flowering			
	Gloria	Jubiliar	Atlasnyi	Zastava	Gloria	Jubiliar	Atlasnyi	Zastava	Gloria	Jubiliar	Atlasnyi	Zastava
fc	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-
fa	+			-	-	+	-	+	-	+	-	
fv	-			-	-	+	-	-	-	-	-	
fo	-			+	-	-	+	-	-	-	-	

On the phase of 3–4 leaves varieties *Gloria* and *Zastava* were infected with *Fusarium spp.* More over, analysis revealed the presence of *F. avenaceum* in *Gloria* and *F. oxysporum* in *Zastava.* On the pre-flowering phase all varieties were infected with *Fusarium spp.*: *Gloria* – with *Fusarium spp.*, *Jubiliar – Fusarium spp., F. avenaceum* and *F. verticillioides*, *Atlasnyi – Fusarium spp., F. oxysporum, Zastava – Fusarium spp., F. avenaceum. Fusarium spp.* on the early flowering phase in *Gloria, Jubiliar* and *Atlasnyi* varieties was found, in *Jubiliar – F. avenaceum.*

Conclusions

Molecular identification of *Fusarium spp*. in the tomato plants was performed. The design of specific primer set was carried out. The infection with *Fusarium spp.* at the early phase of vegetation in asymptomatic tomato plants using *nested*-PCR assay was shown. The effective specie-specific determination of *Fusarium* fungi both in symptomatic and asymptomatic tomato plants using the set of designed primers was performed.

References

1. Bawa I. 2016. Management strategies of Fusarium wilt disease of tomato incited by Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici (Sacc.): a review. International Journal of Advanced Academic Research | Sciences, Technology & Engineering. Nigeria. Vol. 2. No 5. P. 32-42.

2. Chehri Kh. 2016. Molecular identification of pathogenic Fusarium species, the causal agents of tomato wilt in western Iran. Journal of Plant Protection Research. Vol. 56. No. 2. P. 143-148.

3. Fungal Database, U.S. National Fungus Collection. https://nt.ars-grin.gov (Retrieved 19.05.2017)

GenBank: Fusarium spp. elongation factor 1a (tef1) gene, partial cds. https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi.

4. Ignjatov M., Milošević Dr., Nikolić Z. et al. 2012. Fusarium oxysporum as Causal Agent of Tomato Wilt and Fruit Rot. Pesticides and Phytomedicine Journal. Belgrade. Vol. 27. No. 1. P. 25–31.

5. Lievens B., Brouwer M. et al. 2003. Design and development of a DNA array for rapid detection and identification of multiple tomato vascular wilt pathogens. Federation of European Microbiological Societies. FEMS Microbiology Letters. Vol. 223. P. 113-122.

6. Saghai-Maroof M., Soliman K., Jorgensen R. et al. 1984. Ribosomal DNA spacer-length polymorphisms in barley. Mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics. Proceedings of the National Academy of Sciences. USA. Vol. 81. P. 8014–8018.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЗИМЫХ ФОРМ В СЕЛЕКЦИИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Н. В. Давыдова, А. О. Казаченко, А. В. Широколава, Е. Е. Шарошкина, А. В. Грачева

ФГБНУ Московский НИИСХ «Немчиновка»

THE APPLICATION OF WINTER WHEAT VARIETIES FOR SOFT SPRING WHEAT SELECTION.

N. V. Davuydova, A. O. Kazachenko, A. V. Shirokolava, E. E. Sharoshkina, T.P.Malkina, A. V. Gracheva

Moscow Scientific Research Institute of Agriculture (MSRIA) «Nemchinovka»

Currently, one of the most important problems in the creation of highly-productive, high-quality grain spring wheat cultivars, is the initial material for such development. One of the most efficient ways to solve the abovementioned problem is to include the winter wheat varieties (which, as a rule, tended to have better productive potential) into the hybridization programs. In «Nemchinovka» Moscow Scientific Research Institute of Agriculture, the methodic of winter x spring wheat hybridization and hybrid evaluation by their main limitation traits has been developed.

A large number of wheat forms (both spring and winter) were obtained by "spring x winter" hybridization. The broad spectrum of main productivity traits variations in such hybrid forms, made possible their large-scale evaluation, and allowed us to select the large number of valuable lines. However, the main problem with spring x winter hybrids is their tendency toward late ripeness. This is highly undesirable for the environmental and climatic conditions of Russia's Central Region. The accurate selection of the parent forms and constant (permanent) selection (starting with F_2-$F_{3)}$) allowed us to pick out the rare-ripe varieties, that could ripe earlier even than their own spring wheat parental form.

The evaluation of winter wheat varieties as initial material for spring wheat selection demonstrated their superiority in comparison with spring wheat -specifically, in productivity, due to their multi-flower spike and greater grain size. The average advantage of winter wheat varieties over spring wheat varieties is around 35–50%.

Currently, more than 500 samples of spring wheat (created by the hybridization with winter wheat varieties, obtained both from the Nemchinovka's own collection and from VIR, and CYMMIT collections) are under evaluation on different stages of breeding process.

The application of winter wheat in the selection of soft spring wheat led to the creation of Lada, Ester and Lubava varieties, which were accepted into the State's Register of Protected Selection for 2nd, 3rd, 4th, and 7th regions. Also, several lines with have great productivity potential, high resistance to external stress factors and were suitable for valuable & strong wheat requirements were obtained. Our current researches aimed toward the selection of parental forms for hybridization program, evaluation of genetic and economically-valuable traits of initial material, and development (on the basics of abovementioned initial material) of the new varieties – which would have the yield potential around 8,0 tons per hectare (and more), and, also, would be resistant to both the biotic and abiotic environmental stress factors.

Одним из эффективных методов повышения продуктивности яровой пшеницы является вовлечение в скрещивания озимых сортов, многие из которых в силу биологических особенностей обладают более высоким продуктивным потенциалом. В Московском НИИСХ «Немчиновка» разработана методика получения и оценки ярово-озимых гибридов по комплексу лимитирующих признаков, что позволило создать сорта яровой мягкой пшеницы Лада, Эстер, Любава, а также ряд перспективных линий с высоким потенциалом продуктивности, устойчивых к воздействию внешних стрессоров, по качеству соответствующих требованиям к ценной и сильной пшенице.

Работы по созданию сортов яровой мягкой пшеницы с привлечением в скрещивания озимого компонента, начатые академиком Э. Д. Неттевичем в 70-х годах прошлого столетия, продолжаются в лаборатории селекции яровой пшеницы Московского НИИСХ «Немчиновка» в настоящее время. В качестве исходных компонентов привлекаются как сорта собственной селекции института, так и из Краснодара, Венгрии, Западной Европы и других селекционных центров России и зарубежья.

В работах Э. Д. Неттевича (1979) отмечено, что даже при посеве яровизированными семенами лучшие сорта озимой пшеницы способны формировать колос, продуктивность которого на 35–50% выше, чем у районированных яровых сортов. Высокая продуктивность колоса у озимой пшеницы, в первую очередь, связана с его многозерностью, более высокой массой 1000 зерен. Это одни из основных определяющих факторов для продуктивности яровой мягкой пшеницы в Центральной Нечерноземной зоне России.

Методика исследований. В Московском НИИСХ «Немчиновка» разработана и адаптирована в современных условиях методика получения ярово-озимых гибридов. Для совмещения сроков цветения родительских форм семена озимых сортов проходят яровизацию в течение 40–60 дней при температуре +1°С. Необходимо отметить, что яровизация вызывает у озимых

форм растянутость фазы колошения, что несколько удлиняет и период созревания. Опыление кастрированных колосьев принудительное. В проведенных скрещиваниях озимые сорта используются как в качестве материнской, так и отцовской формы. При вовлечении в скрещивания озимого компонента в качестве материнской формы завязываемость гибридного материала значительно выше, так как посев отцовского ярового компонента проводится в два срока, что позволяет иметь жизнеспособную пыльцу яровых сортов в течение всего периода гибридизации.

Гибриды F_1–F_2 высеваются для оценки в сравнении с родительскими формами, в результате чего малопродуктивные, позднеспелые, восприимчивые к болезням выбраковываются. Для отбора в F_2 высеваются только перспективные популяции, которые показали высокую продуктивность, выживаемость и устойчивость к болезням в F_1. Отбор элитных растений начинаем вести со второго поколения, что позволяет с наибольшей достоверностью отобрать формы, устойчивые к болезням, особенно в гибридных комбинациях вида «восприимчивый × устойчивый».

Результаты исследований. При работе с ярово-озимыми гибридами особое внимание следует уделять отбору на скороспелость. Изучение большого числа гибридных комбинаций «яровая × озимая» показало, что при таких скрещиваниях возможно, как полное доминирование яровости и скороспелости, так и значительное удлинение периода вегетации. Сильное расщепление изучаемых гибридов по длине вегетационного периода обусловлено наличием у них разного количества рецессивных и доминантных генов, регулирующих яровой тип развития. При этом во втором поколении выщепляется довольно значительное количество озимых и позднеспелых форм. Сдвиг гибридов в сторону позднеспелости крайне нежелателен для условий Центра Нечерноземной зоны России, когда из-за частых августовских дождей в значительной степени снижаются семенные и качественные показатели зерна.

Таблица 1. **Анализ гибридных популяций F_2 «яровая × озимая» по типу развития**

Гибридная комбинация	Проанализировано растений, шт.			Соотношение озимые : яровые		χ^2
	всего	яровых	озимых	фактическое	ожидаемое	
Красн.99 × Злата	75	56	19	1:3	1:3	0,07
Нота × Злата	74	54	20	1:2,7	1:3	0,52
Иришка × Злата	40	29	11	1:2,6	1:3	0,13
Паллада × Злата	54	38	16	1:2,4	1:3	0,38
Таня х Подмос. 10	34	26	8	1:3	1:3	0,03
Лира х Подмос. 10	65	47	18	1:2,6	1:3	0,33
Юнона × Подмосковная 10	72	55	17	1:3,2	1:3	0,07
Москов. 35 × Инна	215	204	11	1:18,5	1:15	0,31
Люба × Инна	198	184	14	1:13,1	1:15	0,30

Практически во всех гибридных комбинациях, полученных от скрещивания яровых сортов собственной селекции Злата и Подмосковная 10 с озимыми сортами селекции Краснодарского НИИСХ, расщепление на озимые и яровые формы шло в соотношении 1:3, что позволяет предположить наличие у сортов Злата и Подмосковная 10 одного доминантного гена Vrn. В гибридных комбинациях с участием сортов Люба и Московская 35 получено соотношение по типу развития 1:15, что предполагает присутствие у сортов Московская 35 и Люба в генотипе двух доминантных генов, контролирующих яровость (Vrn Vrn). По литературным данным генотип сестринской с Московской 35 линии (сорт Московская 21) также представлен двумя доминантными генами Vrn (табл. 1).

При работе с ярово-озимыми популяциями отмечено, что, как правило, наиболее высокой продуктивностью обладают скороспелые растения F_1 за счет увеличения массы зерна с колоса, крупности зерна и озерненности колоса (табл. 2). Коэффициент корреляции между длиной вегетационного периода и основными элементами продуктивности варьирует r = от – 0,25 до – 0,77 практически по всем гибридным комбинациям.

Отобранные в F_2 скороспелые растения сохраняют более высокую продуктивность и в последующих поколениях. Скороспелые формы, выделенные в F_2, оказываются не только более продуктивными, но и в их потомстве значительно меньше линий, расщепляющихся по длине вегетационного периода. Поэтому считаем целесообразным при работе с ярово-озимыми гибридными популяциями вести отбор скороспелых растений начиная с F_2.

Таблица 2. **Характеристика ярово-озимых гибридов F_1 по элементам продуктивности и скороспелости**

Гибридная комбинация	Дата колошения	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г	Число зерен в колосе, шт.
Нота х Злата	5.07	0,96	27,9	34,4
Иришка х Злата	17.06	1,15	38,3	30,0
Паллада х Злата	14.06	1,06	33,9	31,2
Батько х Злата	4.07	1,01	32,6	31,0
Юнона х Злата	29.06	1,16	30,8	37,6
Таня х Злата	2.07	0,99	34,1	29,0
коэффициент корреляции (r)		**-0,60**	**-0,64**	**-0,25**
Нота х Эстер	6.07	0,78	28,6	27,3
Иришка х Эстер	8.07	0,57	22,7	25,1
Паллада х Эстер	5.07	0,77	28,6	26,9
Юнона х Эстер	5.07	0,75	25,3	29,7
Таня х Эстер	5.07	0,65	23,6	27,5
коэффициент корреляции (r)		**-0,69**	**-0,45**	**-0,77**

Более высокая продуктивность скороспелй группы обусловлена тем, что в условиях Центра Нечерноземной зоны России формы с медленным развитием в начальный период вегетации сильнее поражаются болезнями и вредителями, что приводит к значительному снижению урожайности, достигающему в отдельные годы 30–40%. У позднеспелых форм значительно сильнее проявляется и влияние майско-июньской засухи.

Далеко не всегда использование озимых сортов в скрещиваниях с яровыми позволяет получить хорошие результаты. При гибридизации с большинством западноевропейских озимых сортов часто получаются позднеспелые, незасухоустойчивые гибриды, в потомстве которых трудно выделить хозяйственно-ценные формы. Наибольшую ценность при

скрещивании с яровыми представляют озимые сорта отечественной селекции, выведенные в Центральном регионе РФ, в степных районах Украины и Поволжья. Наряду с высокой продуктивностью, они обладают также засухоустойчивостью и хорошим качеством зерна.

Таблица 3. **Характеристика по устойчивости к бурой ржавчине гибридных линий F_3, полученных от скрещивания озимых и яровых сортов пшеницы**

Гибридная комбинация	Пора-жение бур. ржав. F_1, %	Отоб-рано раст. в F_2, шт.	Число линий F_3 с поражением бурой ржавчиной, шт.					
			0-5%	6-10%	11-30%	31-50%	51-70%	более 70%
Н 1727 (Приокская × Памяти Федина*)	60	24	-	-	7	8	7	2
Н 1728 (Москов. 35 × Памяти Федина*)	50	30	-	-	-	16	7	6
Н 1729 (Люба × Памяти Федина*)	40	36	-	3	8	25	-	-
Н 1730 (Лада × Памяти Федина*)	5	34	3	21	10	-	-	-
Н 1731 (Норис × Памяти Федина*)	40	23	1	8	4	10	4	

* – сорт озимой пшеницы

Как показали работы Э. Д. Неттевича (1970, 1972), по устойчивости гибридов F_1 к листовым болезням, в частности к бурой ржавчине, можно судить о поражении гибридов и в последующих поколениях. Если в F_1 доминирует устойчивость, то в F_2 и F_3 наблюдается выщепление большего числа устойчивых номеров. Если же в первом поколении отмечен промежуточный тип наследования или доминирует восприимчивость, то в последующих поколениях лишь в редких случаях можно выделить устойчивые формы. Из данных таблицы 3 следует, что наибольшее число устойчивых линий в третьем поколении отобрано в гибридной комбинации Н 1730 (Лада × Памяти Федина),

полученной от скрещивания устойчивого к поражению бурой ржавчиной озимого сорта Памяти Федина и сравнительно устойчивого (поражение 5–15%) ярового сорта Лада. Значительное число восприимчивых линий отобрано в третьем поколении гибридных комбинаций Н 1727 (Приокская × Памяти Федина) и Н 1728 (Московская 35 × Памяти Федина), в которых яровой компонент обладает сравнительно низкой устойчивостью к патогену. Поэтому предварительный отбор устойчивого к листовым болезням материала с отбраковкой восприимчивых форм можно вести начиная с первого поколения в комплексе с другими хозяйственно-ценными признаками при более полной оценке в последующих поколениях.

Отбор элитных растений, проводимый в F_2 и F_3, направлен на выделение скороспелых форм, устойчивых к полеганию и наиболее вредоносным листовым болезням, с крупным, многоцветковым, хорошо озерненным колосом.

Таблица 4. **Характеристика линий конкурсного сортоиспытания, 2014-2016 гг.**

Линии конкурсного сортоиспытания	Число линий, шт.	Урожайность, т/га	Масса 1000 зерен, г	Содержание клейковины в муке,%
Яровая х озимая (А)	103	5,31	42,3	32,8
Яровая х яровая (Б)	169	4,23	38,4	32,9
(А-Б)		+1,08	+3,9	-0,1

$НСР_{05}$ 0,21

* достоверно на 5% уровне значимости

Число линий, созданных при участии озимого компонента, в период с 2000 по 2016 гг. составляет ежегодно от 37,3 до 65,6% материала, изучаемого в конкурсном сортоиспытании. Этот показатель значительно выше, чем в предыдущие годы (1995–1998 гг.), когда число ярово-озимых форм не превышало 20% (Давыдова, Шарахов, 1998). В большинстве случаев в качестве ярового компонента используются лучшие возделываемые в Нечерноземной зоне РФ сорта и линии собственной селекции.

В 2014 году начата совместная работа с Аграрным научно-исследовательским Центром Венгерской Академии Наук (г. Мартонвашар) с привлечением в скрещивания с яровым материалом селекции МосНИИСХ

«Немчиновка» озимых сортов венгерской селекции и дальнейшей совместной оценкой полученного селекционного материала.

В 2009 году на Государственное сортоиспытание передана линия 353/1-98Н1731 под названием Любава, внесенная в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию с 2012 года по 3 (Центральному) региону. Сорт создан с участием озимой пшеницы Памяти Федина и ярового сорта Люба. Потенциал урожайности сорта более 10,0 т/га, устойчив к полеганию, отнесен к ценным пшеницам.

Сорт яровой мягкой пшеницы Эстер, внесенный в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, по 2,4. и 7 регионам, создан методом индивидуального отбора из гибридной популяции (Эта × л. 52/4). В родословную линии 52/4 входят два озимых компонента: сорт Зерба и озимая линия из Германии Но 15080. Потенциал урожайности сорта Эстер составляет более 9,0 т/га. Сорт устойчив к полеганию, отличается стабильно высоким числом продуктивных стеблей на 1 $м^2$, устойчив к средней силе засухи и жесткому стрессу, обладает высокой регенерационной способностью. Хлебопекарные качества на уровне сильной и ценной пшеницы.

Выводы. Таким образом, использование лучших форм озимой пшеницы в качестве одного из родителей в скрещиваниях с яровым компонентом, адаптированным к почвенно-климатическим условиям центра Нечерноземной зоны, позволило создать новые сорта яровой мягкой пшеницы Эстер, Любава и ряд перспективных линий с высоким потенциалом урожайности, комплексом хозяйственно-ценных признаков, с качеством зерна на уровне ценной и сильной пшеницы. В селекции яровой пшеницы, по нашему мнению, этот метод должен быть широко использован и в дальнейшей работе.

Список литературы

1. Нettевич Э. Д. Повышение потенциала продуктивности яровой пшеницы в процессе селекции / Э. Д. Неттевич // Доклады ВАСХНИЛ. 1979. № 11. С. 9–12.

2. Неттевич Э.Д. Исходный материал для селекции пшеницы на устойчивость к ржавчине / Э. Д. Неттевич, Л. А. Марченкова // Селекция и семеноводство. 1970. № 3. С. 41–45.

3. Давыдова Н. В. Эффективность использования различного исходного материала в селекции яровой мягкой пшеницы / Н. В. Давыдова, А. А. Шарахов и др. // Тезисы научно-практической конференции «Теоретические и прикладные проблемы генетики, селекции и семеноводства зерновых культур». Немчиновка, 1998. С. 23.

ОПТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ДЕФИЦИТА АЗОТА И ВОДЫ У РАСТЕНИЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ

Д. В. Русаков, Е. В. Канаш

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

Обсуждаются специфические и неспецифические изменения спектральных характеристик отраженной от листьев радиации видимой и ближней ИК области у растений пшеницы в условиях засухи и дефицита азота. Определена сила влияния (η^2) каждого из стрессовых факторов. Рассмотрены особенности ответной реакции засухоустойчивых и незасухоустойчивых сортов яровой пшеницы на действие умеренной почвенной засухи.

Рост численности населения планеты, сопровождающийся ростом потребления продуктов питания, требует разработки и применения инновационных, высокоэффективных технологий сельскохозяйственного производства и использования высокопродуктивных сортов, обладающих повышенной адаптивностью к действию различных абиотических стрессоров. Известно, что почвенная засуха – один из наиболее сильных абиотических стрессоров, угнетающих рост растений. Азот является существенным компонентом белков, ферментов и других важнейших веществ, участвующих в метаболизме растений, поэтому его дефицит также становится причиной потерь урожая. Анализ спектральных характеристик отраженной от поверхности листьев радиации позволяет выявить возникновение дефицита азота и почвенную засуху на самых ранних этапах их возникновения при отсутствии внешних симптомов угнетения растений. С помощью метода контактной спектроскопии было показано, что активизация вторичного метаболизма, направленного на синтез веществ, обеспечивающих защиту растительных клеток от деградации (антиоксидантные ферменты, фенольные и другие соединения), служит одним из первых симптомов угнетения растений при возникновении окислительного стресса, вызванного, например, дефицитом азота (Kanash, Osipov, 2009) или воды (Yakushev et al. 2017). В связи с этим тесно связанные с физиологическим состоянием оптические характеристики растений могут быть использованы при применении инновационных технологий пространственно-дифференцированного внесения удобрений (в первую очередь азотных), и в селекционном процессе при отборе генотипов, толерантных к действию абиотических стрессоров.

Цель данной работы – исследовать специфические и неспецифические изменения оптических характеристик растений пшеницы под влиянием кратковременной почвенной засухи и дефицита азотного питания, а также оценить степень выраженности симптомов угнетения растений у сортов, характеризующихся высокой и низкой засухоустойчивостью.

Растения пшеницы (*Triticum aestivum* L.) разных сортов, отличающихся по засухоустойчивости, выращивали в светоустановках с лампами ДNaT-400 при освещенности 20–22 клк, фотопериоде 16 часов. Растения выращивали в полипропиленовых сосудах емкостью три литра, наполненных дерново-подзолистой почвой. Опыт включал два варианта: без дополнительного удобрения (низкий уровень азотного питания) и с 3-кратным внесением удобрения (высокий уровень азотного питания). В последнем случае перед посевом была внесена мочевина в количестве 0,107 мг/кг почвы. Еще два дополнительных внесения азота в той же дозе были выполнены в период кущения и по завершении трубкования. Влажность почвы до стадии трубкования была равна 80% от полной полевой влагоемкости (ППВ) – контроль. Растения были подвергнуты действию почвенной засухи (семь суток) в период от завершения трубкования до начала колошения. Влажность почвы опытных растений в этот период поддерживали равной 30% и 50% ППВ. Изучали влияние почвенной засухи на оптические характеристики засухоустойчивых (Эритроспермум 841, Саратовская 42, Саратовская 70, Альбидум 15) и незасухоустойчивых (Красноуфимская 100, Пирамида, Забайкальская Кубанка, Челяба Золотистая, Новосибирская 67) сортов яровой пшеницы.

Спектральные характеристики отраженной от поверхности листьев радиации регистрировали в диапазоне от 400 до 1100 нм с шагом 0,3 нм с помощью оптоволоконной спектрорадиометрической системы («Ocean Optics», США) нм. Рассчитывали индексы отражения, позволяющие оценить содержание хлорофиллов (ChlRI), флавоноидов (FRI_{mod}), антоцианов (ARI_{mod}), коэффициент диффузного рассеяния, связанный со структурными изменениями тканей листа (R_{800}), и активность фотохимических процессов фотосинтеза (PRI_{mod}), которая определяется в основном интенсивностью тепловой

диссипации (Якушев и др. 2010; Kanash et al. 2013). Статистическая обработка результатов выполнена с помощью программ MS Excel 2010 и Statistica 8. Сила факторного влияния *(η^2)* определена в процентах как отношение соответствующей суммы квадратов отклонений изучаемых оптических показателей от их средних значений к общей сумме квадратов.

Почвенная засуха в период от завершения трубкования до начала колошения стала причиной снижения урожайности растений пшеницы. Потеря урожая зерна при дефиците азота и оптимальном поливе была равна 27%, после почвенной засухи в таких же условиях азотного питания – 47%. Под влиянием почвенной засухи и дефицита азота отражающая способность листьев сортов пшеницы резко возросла. Дефицит азота увеличивал количество отраженной листом радиации в среднем на 6-8%, тогда как почвенная засуха – более чем на 30%. Коэффициент корреляции между содержанием воды в листьях и их отражающей способностью наиболее высок в диапазоне 380–400 нм ($r = -0.65$, $p < 0.05$) и 760–1000 нм ($r = 0.67$, $p < 0.01$), а между содержанием азота в почве и отражающей способностью листьев в диапазоне 405–445 нм ($r = 0.65$, $p < 0.01$), 510–645 нм ($r = -0.8$, $p < 0.01$) и 695–730 нм ($r = -0.8$, $p < 0.01$). Сравнение индексов отражения показало, что при дефиците азота и кратковременной засухе спектральные характеристики листьев меняются по-разному. Например у пшеницы сорта Красноуфимская 100, характеризующегося средней засухоустойчивостью, ChlRI являлся единственным из изученных индексов, на который умеренная (50% ППВ) почвенная засуха оказала незначительное воздействие (η^2=4%). Данные свидетельствуют об относительной устойчивости к обезвоживанию пигментного аппарата пшеницы этого сорта и позволяют предположить, что электрон-транспортная цепь фотосинтеза функционирует относительно стабильно в условиях умеренной почвенной засухи. При более сильной засухе (30% ППВ) сила факторного влияния на ChlRI у сорта Красноуфимская 100 возросла до 17%. Отличия в реакции растений на недостаток азота и почвенной влаги можно также наблюдать, сравнивая значения R_{800}, PRI_{mod}, ARI_{mod}, FRI_{mod} и оценивая силу факторного эффекта *(η^2)*. При действии засухи всегда усиливается рассеивание (R_{800}) и тепловая диссипация (PRI_{mod}). Также

достоверно увеличивается содержание антоцианов (ARI_{mod}) и флавонолов (FRI_{mod}). Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что дефицит азота оказывает наиболее значительное влияние на ChlRI, а почвенная засуха – на R_{800}, PRI_{mod}, ARI_{mod} и FRI_{mod} (табл. 1).

Таблица 1. **Сила влияния дефицита азота и кратковременной почвенной засухи на индексы отражения листьев пшеницы сорта Красноуфимская 100**

Индекс отражения	Влияние азота		Влияние засухи	
	η^2	p	η^2	p
Почвенная засуха 50%ППВ				
ChlRI	20	1.4×10^{-7}	4	0.0147
SIPI	2	0.0714	14	7.6×10^{-6}
R_{800}	2	0.0452	28	4.2×10^{-11}
PRI_{mod}	15	1.4×10^{-7}	30	9.1×10^{-14}
ARI	1	0.8893	9	0.0007
FRI	12	4.4×10^{-6}	20	1.2×10^{-8}
Почвенная засуха 30% ППВ				
ChlRI	10	0.0001	17	9.7×10^{-8}
SIPI	1	0.3567	22	0.0004
R_{800}	2	0.020	67	5.9×10^{-37}
PRI_{mod}	1	0.573	24	2.3×10^{-9}
ARI	24	0.7×10^{-4}	5	0.006
FRI	1	0.098	22	3.7×10^{-9}

Примечание: η^2 – сила влияния, p – уровень достоверности влияния фактора. Индексы отражения: хлорофилла (ChlRI), рассеяния света внутри листа, (R_{800}), активности фотохимических процессов, характеризующий интенсивность тепловой диссипации, (PRI_{mod}), антоцианов (ARI_{mod}), флавонолов, (FRI_{mod}).

Сила влияния почвенной засухи на оптические характеристики пшеницы засухоустойчивых и незасухоустойчивых сортов существенно отличается (табл. 2). У засухоустойчивых сортов (Эритроспермум 841, Саратовская 42, Саратовская 70, Альбидум 15) сила влияния засухи на ChlRI была равна всего 0,24% ($p = 0,64$), тогда как у незасухоустойчивых (Красноуфимская 100, Пирамида, Забайкальская Кубанка, Челяба Золотистая, Новосибирская 67) она достигла 13,7% ($p = 0,0001$). При высокой засухоустойчивости вклад сортовых особенностей в изменчивость ChlRI был недостоверным ($\eta^2 = 7,6$; $p = 0,09$). При низкой засухоустойчивости сила влияния сортовых особенностей значительно выше ($\eta^2 = 17,3$; $p = 0,0003$). Сила влияния засухи на R_{800}, PRI_{mod}, ARI_{mod} и FRI_{mod} незасухоустойчивых сортов была также намного выше, чем у сортов, характеризующихся высокой засухоустойчивостью (табл. 2).

Таблица 2. **Сила влияния (η^2) умеренной почвенной засухи (50% ППВ) и степени засухоустойчивости на индексы отражения листьев пшеницы**

Индекс	Незасухоустойчивые сорта		Засухоустойчивые сорта	
	η^2 засухи	η^2 сортов	η^2 засухи	η^2 сортов
ChlRI	13,7	17,3	0,2	7,6
R_{800}	8,0	30,4	0,2	27,8
PRI_{mod}	3,5	21,9	0,9	2,5
ARI_{mod}	9,2	19,0	1,2	18,9
FRI_{mod}	2,3	18,9	0,9	5,8

Примечание: см. табл. 1.

Таким образом, получены результаты, которые свидетельствуют о перспективности применения оптических методов для оценки физиологического состояния растений, степени их засухоустойчивости и исследования механизмов ответной реакции на действие почвенной засухи и дефицита азота.

Список литературы

Kanash E.V., Osipov Yu.A. Optical signals of oxidative stress in crops physiological state diagnostics // Precision agriculture 2009 / Papers presented at the 7th European conference on precision agriculture. Wageningen the Netherlands 6–7 July 2009. Wageningen, Academic Publishers. 2009. P. 81-89.

Yakushev V., Kanash E., Rusakov D. and Blokhina S. Specific and non-specific changes in optical characteristics of spring wheat leaves under nitrogen and water deficiency. Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA) 2017, (2017), 8:2, pp. 229–232. The Animal Consorcium 2017 doi:10.1017/S204047001700053X.

Якушев В.П., Канаш Е.В., Осипов Ю.А., Якушев В.В., Лекомцев П.В., Воропаев В.В. Оптические критерии при контактной и дистанционной диагностике состояния посевов. Сельскохозяйственная биология, 2010, 3: 94-101.

Kanash E.V., Panova G.G., Blokhina S.Yu. Optical criteria for assessment of efficiency and adaptogenic characteristics of biologically active preparations. Acta Hort. (ISHS), 2013, 1009: 37–44.

ОСОБЕННОСТИ РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНОТИПОВ СТЕВИИ В УСЛОВИЯХ ПОЛИКАРБОНАТНЫХ ТЕПЛИЦ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ

А. А. Кочетов, Н. Г. Синявина

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

195220, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д. 14,

E-mail: kochetoval@yandex.ru

Изучены морфологические особенности и продуктивность генотипов стевиипри выращивании в поликарбонатных теплицах в Ленинградской области. Показано, что использование теплиц повышает продуктивность этой культуры в нашем регионе на 15–20%. Выделены высокопродуктивные генотипы, хорошо проявившие себя в годы с разными погодными условиями. Выявлена достоверная корреляция между накоплением сухой надземной массы растениями и их кущением, высотой, числом междоузлий и длиной листа.

GROWTH CHARACTERISTICS AND PRODUCTIVITY OF DIFFERENT GENOTYPES OF STEVIA IN THE CONDITIONS OF POLYCARBONATE GREENHOUSES IN THE NORTH-WESTERN REGION OF RUSSIA.

A. A. Kochetov, N. G. Sinyavina

Agrophysical Research Institute,

4, Grazhdanskiy pr., St. Peterburg, 195220,

E-mail:kochetoval@yandex.ru

The productivity and morphological characteristics of different stevia genotypes were studied in polycarbonate greenhouses in the Leningrad regionduring two years. It was shown that the use of greenhouses increased up to 15–20% the productivity of this crop in our region.High-yielding genotypes were selected,according the studies they had stability in different years of cultivation under different weather conditions. The significant correlation were revealed between the accumulation of dry biomass of plants and the number of stems, height, number of internodes and length of the sheet.

Стевия (*Stevia rebaudiana Bertoni* L.) – многолетний южноамериканский полукустарник семейства Сложноцветных, широко культивируется по всему миру для получениянатуральных диетических подсластителей, содержащихся в листьях (Lemus-Mondaca et al., 2012).Высушенные листья стевиив течение сотен лет использовали индейцы гуарани для подслащивания напитков (матэ и др.), а извлекаемые из них стевиозид и ребаудиозид А утверждены в качестве пищевых добавок во многих странах мира. В США в 2008 и 2009 гг. высокоочищенные стевиогликозиды получили статус GRAS (в целом признаны

безопасными). В Европе их выход на коммерческий рынок стал возможным после того, как в марте 2010 года EFSA (Европейское агентство по безопасности продуктов питания) вынесло положительное заключение об их безопасности, причем допустимая суточная доза стевиогликозидов была увеличена до 4 мг/кг массы тела в сутки(Wölwer-Rieck, 2012).

В Агрофизическом институте работа со стевией проводится с 1994 года. На начальном этапе работ изучены особенности роста, развития и размножения стевии в светокультуре (Кочетов, 1996). Создана технология круглогодичного культивирования стевии с использованием светокультуры в зимнее время (Кочетов, 2012). Она позволяет сохранять небольшое количество активно вегетирующих растений стевиив защищенном грунте в холодное время года, вегетативно размножать и получать значительное количество рассады к любому сроку посадки в открытый грунт. Даже при небольшой продолжительности летнего периода в Ленинградской области из укорененных черенков вырастают высокопродуктивные растения.Как показали многолетние опыты в открытом грунте, средняя сухая надземная масса растений разных генотипов варьировала от 4–5 г до 6–14 г с растения, а масса сухих листьев от 2–5 до 9–12 г.

Усовершенствование предложенной технологии и увеличение продуктивности стевии в нашем регионе возможно за счет использования различного рода теплиц в летнее-осеннее время, что приведет к увеличению продолжительности активной вегетации и более интенсивному росту при повышении среднесуточной температуры. Целью настоящих исследований являлось изучение накопления сухой надземной массы различными генотипамистевии в условиях поликарбонатных теплиц в Ленинградской области в летнее время.

Материалы и методы

В двух летних исследованиях использовали семь наиболее продуктивных генотипов стевии, отобранных после опытов в открытом грунте. Высадку растений проводили во второй декаде июня, уборку – в конце сентября.

Растения выращивали при естественном освещении в поликарбонатной теплицес размерами 8×3×2,5 м, расположенной на территории института. Растения высаживали после второй обрезки в светокультуре. Они имели хорошо развитую корневую систему. Расстояние между растениями составляло 20×20 см. В качестве субстрата использовали дерново-подзолистую супесчаную почву Меньковской опытной станции (положена слоем 15–20 см поверх имеющейся). Во время вегетации развивающиеся растения подкармливали раствором Кнопа (один раз в две недели) и поливали по необходимости отстоянной водопроводной водой. При уборке измеряли сырую и сухую надземную массу, высоту растений, число междоузлий, размеры и массу наиболее развитого листа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Варьирование температуры в теплице составляло 10–17°С в ночное время и 25–37°С в дневное время суток. В конце вегетации эти температуры были на 3–5°С ниже днем и на 5–10°С в ночное время. Первые листья на обрезанных стеблях появились через 15–20 дней после высадки растений в теплицуу всех генотипов, несмотря на оптимальный режим выращивания. Наибольший прирост растений наблюдали во второй половине августа. Продуктивность различных генотипов по результатам двулетних исследований представлена в табл. 1.

Наибольшую надземную массу развили растения генотипов Х2 и 7,7 в оба года выращивания. У растений генотипа 2.7 наблюдали сильные различия по продуктивности в разные годы, что связано с разным состоянием рассады. На среднюю продуктивность растений одного генотипа, кроме особенностей года выращивания, влияла также разная степень укорененности рассады. Однако, в целом, генотипические различия весьма существенны и превышают различия,вызванные другими факторами. Более сильное кущение наблюдали у растений генотипов А10, Х2 и 7,7. Крупный лист развивали растения генотипов 2,7 и 7,7. Однако, между размерами листа и кущением существует обратная взаимосвязь, что хорошо заметно на примере генотипа Х2 в разные годы

выращивания. При сильном кущении образуется более мелкий лист, а при слабом – более крупный. При этом средняя масса сухого листа с растения существенно не меняется. Такая зависимость, однако, не мешает констатировать тот факт, что некоторые генотипы имеют более крупный лист, а другие – сильное кущение.

Таблица 1. **Биометрические показатели и продуктивность растений стевии, выращенных в поликарбонатной теплице (2015–2016 гг.)**

Геноtип	Год	Число стеблей шт.	Высота растения, см	Число пар листьев, шт.	Длина листа, мм	Ширина листа, мм	Надземная масса, г/раст.		Масса сухих листьев, г/раст.
							сырая	сухая	
2x3	1*	4,0	55,7	16	92,7	39,7	74,0	14,98	7,77
	2	3,0	61,9	18	100,1	44,0	78,2	14,46	7,12
A10	1	6,5	41,8	13,3	88,5	44,3	65,5	11,96	7,19
	2	4,2	52,0	15,3	105	54,3	64,7	12,25	7,23
2.7	1	2,0	31,0	13,5	98,5	40	25,2	4,78	3,36
	2	3,0	57,5	14,8	114,6	57,6	82,4	18,53	10,07
3.7	1	3,3	58,3	15,5	90	46,5	58,9	12,18	7,1
	2	3,8	48,5	14,2	94,2	47,4	60,3	12,11	6,25
X2	1	9,3	58,3	17,3	91,3	40,6	99,5	20,06	11,21
	2	3,7	65,5	17,8	102,5	44,7	111,7	21,97	12,6
5.5	1	2,8	54,4	16,2	92,8	44,5	81,1	15,84	8,93
	2	4,6	60,4	16,7	103,7	45,3	92,0	16,99	8,07
7.7	1	5,5	60	15,5	96	42	117,8	23,17	12,87
	2	5,3	61	17,2	105,7	42,8	108,5	20,94	9,54

* 1 – опыт 2015 г.; 2 – опыт 2016 г.

Изучение корреляционных зависимостей в опытах, проведенных в теплице, показало, что сырая и сухая надземная масса, а также масса сухого листа и масса сухих стеблей имели корреляцию, близкую к единице (0,97–0,99). Наиболее сильная корреляция сухой надземной массой выявлена с такими признаками, как число стеблей на растении (0,59), высота растения (0,66), число междоузлий (0,53). Масса сухого листа с растения хорошо коррелировала с числом стеблей (0,63), высотой растения (0,60) и длиной листа (0,52). Близкие к этим значениям корреляции получены ранее в опытах в открытом грунте. Корреляция сухой надземной массы с количеством стеблей на растении в них составляла 0,46–0,68; с длиной листа – 0,37–0,7; с шириной листа – 0,38–0,58 (Кочетов, 2012).Хорошая корреляция этих биометрических показателей с продуктивностью разных генотипов стевии при выращивании в разных условиях позволяет использовать их для отбора наиболее продуктивных

генотипов в расщепляющейся популяции растений, выращенных из семенного материала, или в популяции F_2 при получении трансгрессивных форм.

Выводы

Проведенные исследования подтвердили предположение о том, что выращивание стевии из хорошо развитых обрезанных растений (2–3 вегетация) в условиях поликарбонатных теплиц на 15-20% повышает продуктивность стевии в Северо-Западном регионе России. Выделены наиболее продуктивные генотипы, накапливающие в среднем за летний период 10–12 г сухого листа с растения. Их перспективно использовать для получения сухого листа стевии как важного лекарственного сырья, имеющего высокую экологическую чистоту при выращивании в условиях теплиц, даже в районах с высокой степенью загрязнения окружающей среды.

Список литературы

Кочетов А. А. Изучение особенностей роста и развития растений (SteviarebaudianaBertoni) в регулируемых условиях. Автореф. дисс… канд.биол.наук. ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург. 1996. 22 с.

Кочетов А. А. Перспективы выращивания стевии [*Stevia rebaudiana Bertoni* (L.)] в нечерноземной зоне России // Аграрная Россия. 2012. № 2. С. 2–4

Lemus-Mondaca R. et al. Stevia rebaudianaBertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects // Food Chemistry. 2012. Т. 132. №. 3. С. 1121–1132.

Wölwer-Rieck U. The Leaves of Stevia rebaudiana (Bertoni), Their Constituents and the Analyses Thereof: A Review // J. Agric. Food Chem. 2012, 60, 886−895.

EFFECTS OF MINERAL NITROGEN FERTILIZERS ON QUALITY INDICATORS OF LOAMY SAND SPODOSOL AFTER INCORPORATION OF FARMYARD MANURE FERTILIZERS

E. V. Balashov, A. V. Burova

Agrophysical Research Institute,

14, Grazhdanskyi pr., St. Petersburg, 195220

Results of our studies showed that, firstly, a three-year incorporation of farmyard manure had contributed to an improvement of soil organic matter's state; secondly, a conversion of organic to mineral farming system had resulted in maintaining favorable biochemical quality of bulk soil; thirdly, the conversion-induced improvement of soil organic matter's state in water-stable aggregates had been observed only in a treatment with the highest rate of farmyard manure.

Introduction

Soils are the important components of agro-ecosystems. They are responsible for such ecological functions as biochemical and geochemical cycling, accumulation and distribution of water, nutrients and heat, buffering, providing biodiversity of living organisms. Soil quality is a basic requirement for a sustainable maintenance of environment. Among numerous indicators of soil quality, contents of soil organic carbon (SOC), microbial biomass carbon (MBC), free particulate organic matter (fPOM) and water-stable aggregates (WSA) are being widely used for evaluating effectiveness of management practices in maintaining the required soil quality and sustainability (Anderson, 2003; Cambardella, Elliott, 1992; Dąbek-Szreniawska et al., 2004; Six et al., 2004).

Mineral (inorganic) and organic farming systems can demonstrate different effects on crops and soil quality. Firstly, mineral and organic fertilizers differ from each other in a duration of release of nutrients and thus have direct and indirect effects on plant nutrition. Secondly, there are differences in the effects of mineral and organic farming systems on the size and composition of soil microbial community and, as a result, on soil structural and physicochemical properties (Böhme et al., 2005; Balashov, Dąbek-Szreniawska; 2015; Väisänen et al., 2005). Despite the

information about the effects of different farming systems on soils is well documented, there are still uncertainties in the assessment of changes in soil quality indicators after a substitution of organic farming system by mineral farming system.

The aim of the present studies was to evaluate the effects of: (i) a three-year farmyard manure incorporation and (ii) a conversion of organic to mineral farming system on key biochemical and structural quality indicators of a loamy sand Spodosol.

Materials and Methods

The measurements of soil quality indicators were carried out during a growing season (May – September) of 2006 at the experimental station of the Agrophysical Research Institute in the St. Petersburg region of Russia (59°34′N, 30°08′E). During the growing season average, monthly air temperatures had been ranging from +10.2°C (May) to +17.4°C (July) and a total amount of precipitation was equal to 456.5 mm. The studied soil contained 91.7% of sand, 5.2% of silt, and 3.1% of clay particles. Disturbed soil samples were randomly collected from 0–10-cm layers of meadow and arable plots of a field experiment, and were combined into relevant composite sub-samples. The field experiment was located on 1.5 ha plot which was divided into three 0.5 ha sub-plots in size. A first sub-plot received 80, 80, 60 t ha^{-1} of farmyard manure (FYM), whereas a second sub-plot was amended with 160, 320, 60 t ha^{-1} of FYM in 2003, 2004, 2005, respectively. Totally both sub-plots were amended with 220 t ha^{-1} of FYM and 540 t ha^{-1} of FYM. A third sub-plot received no FYM. All the three sub-plots were left fallow in 2003 and were sown with oats with legume in 2004 and 2005. FYM was applied on the soil surface just before moldboard ploughing at a depth of 22–24 cm. Oats with legume was cut up mechanically and immediately ploughed into the soil. Crops were normally harvested at the end of August/early September. In 2006 each of three sub-plots was divided into two parts to establish two crop rotations. Each sub-plot part included 3 replicates without mineral fertilizers, 3 replicates with a medium rate of mineral fertilizers and 3 replicates with a high rate of mineral fertilizers (Olenchenko et al., 2012). In 2006

our studies were carried out on replicates without mineral fertilizers and with high rates of mineral fertilizers for spring barley.

Thus, a scheme of our experimental design consisted of seven treatments: meadow with perennial grasses (Tr 1); no FYM and no mineral fertilizers (Tr 2); no FYM with 60 kg N (ammonium nitrate), 20 kg P_2O_5, 30 kg K_2O ha^{-1} (Tr 3); 220 kg ha^{-1} FYM and no mineral fertilizers (Tr 4); 220 t ha^{-1} FYM with 100 kg N, 60 kg P_2O_5, 70 kg K_2O ha^{-1} (Tr 5); 540 t ha^{-1} FYM and no mineral fertilizers (Tr 6); 540 t ha^{-1} FYM with 100 kg N, 80 kg P_2O_5, 100 kg K_2O ha^{-1} (Tr 7).

Amounts of WSA were determined by wet sieving of air-dried aggregates through sieves with opening diameters of 0.5 to 7.0 mm by a method of Vadjunina and Korchagina (1986). SOC content in bulk soil and WSA (mean-weighted composite amount of their 0.5–7.0-mm fractions) was measured by a Tyurin's wet digestion method (Rastvorova et al., 1995). A content of MBC in bulk soil and WSA was determined by a method of Anderson and Domsch (1978) for measuring substrate-induced respiration by a gas chromatograph. A content of fPOM, with a density of <1.6 g cm^{-3} and a total size fraction of >0.053 mm, was measured by a technique of wet sieving of soil (Cambardella, Elliott, 1992).

All the measurements of soil properties were made in three replicates. Means and standard deviations were calculated for each parameter within each treatment. The results were subjected to an analysis of variance (one-way ANOVA) at $p \leq 0.05$. A strength of associations between sets of soil parameters was assessed with Spearman's rank correlation coefficients at $p \leq 0.05$.

Results and Discussion

In our studies, we assumed that a meadow soil (Tr 1) was a reference soil with the highest quality. The soil was not subjected to any anthropogenic disturbances caused by soil tillage, fertilization and harvesting. In contrast, an arable soil in the Tr 2 might demonstrate the lowest quality because this soil did not receive any mineral and organic fertilizers and was subjected regular anthropogenic disturbances.

The results of our studies showed that the SOC content in bulk soil and WSA of Tr 2 had been the lowest one and had significantly (at $p < 0.001$) differed from that

in Tr 1 (Table 1). The incorporation of FYM demonstrated its significant (at $p < 0.001$) effect on the accumulation of SOC in Tr 4 and Tr 6 compared to that in Tr 2.

Table 1. **Indicators of quality of a loamy sand Spodosol in the studied treatments during the growing seasons of 2004 and 2005 (mean values ± standard deviations)**

Treatment	SOC content in bulk soil, g C kg^{-1} soil	SOC content in WSA, g C kg^{-1} soil	Ratio of SOC content in WSA to SOC content in bulk soil	Total amount of WSA, %
Tr 1	26.9±5.9	26.9±5.0	1.02±0.17	42.8±16.3
Tr 2	16.6±1.9	16.3±0.7	0.99±0.11	42.2±3.2
Tr 4	20.1±1.5	20.7±1.4	1.04±0.06	38.1±7.1
Tr 6	24.5±4.1	24.5±2.9	1.00±0.07	41.2±6.3

The application of both rates of FYM contributed to an achievement of such SOC contents, which insignificantly differed from the SOC content in Tr 1 (Table 1). Moreover, the calculations of Spearman's rank correlation coefficients showed that during the growing seasons of 2004–2005 significant correlations between sets of SOC content in bulk soil and WSA had been observed in Tr 1 ($r = 0.65$ at $p = 0.01$), Tr 4 ($r = 0.66$ at $p = 0.01$), and Tr 6 ($r = 0.66$ at $p = 0.05$). Thus, the incorporation of two high rates of FYM contributed to an achievement of similar seasonal distribution of SOC content in the arable soil as compared to that in the meadow soil.

A ratio of SOC content in WSA to that in bulk soil can be a useful indicator of effects of farming systems on a sequestration of SOC in WSA and on its further humification. Our results demonstrated that the SOC sequestration in WSA had occurred in all the treatments, except for Tr 2 (Table 1). Each soil has a limited capacity of SOC saturation within a soil mineral matrix and inside micro- and macro-WSA (Hassink 1997; Šimanský et al., 2016; Six et al., 2004). The studied soil demonstrated a low content of clay particles and a high rate of turnover of micro- and macro-WSA. This was a reason of low stabilization and short-term protection of soil organic matter against microbial mineralization in the soil (Six et al., 2000, 2004). As a result, the incorporation of high rates of FYM in Tr 4 and Tr 6 as well as the growing perennial grasses in Tr 1 resulted only in slight differences in the ratios of SOC content in WSA to that in bulk soil. Recent results supported that amendments with high rates of FYM had contributed to an increase of SOC content in bulk soil and had not additively affected a clay-associated SOC content in top layers of loamy

sand Spodosol (Boitsova et al., 2015). Insignificant differences in total amounts of WSA of the soil also demonstrated that either high FYM rates or perennial grasses had not contributed to any significant improvement of water-stable aggregation.

As indicated above, the total amount of precipitation was 456.5 mm during the growing season of 2006. In 2004 and 2005 the seasonal amounts of precipitation were higher: 864.9 mm and 574.8 mm. In 2006 the lower amount of precipitation could unfavorably affect a soil moisture status and a microbial transformation of soil organic matter. Therefore, as compared to mean SOC contents in 2004 and 2005, we observed even lower mean SOC contents in all the treatments in 2006.

Nevertheless, during the growing season of 2006 mean values of SOC content ranged in the following order: Tr 6>Tr 4>Tr 1>Tr 2 in bulk soil (Table 2). This order showed that the application of FYM at rates of 540 t ha^{-1} and 220 t ha^{-1} had definitely contributed to the improvement of state of soil organic matter. Mean values of MBC and fPOM content demonstrated such an order: Tr 1>Tr 6>Tr 4>Tr 2 in bulk soil. Differences in fPOM content were significant ($p < 0.001$) between all the treatments.

Table 2. **Indicators of quality of a loamy sand Spodosol in the studied treatments during the growing season of 2006 (mean values ± standard deviations)**

Treatment	SOC content in bulk soil, g C kg^{-1} soil	SOC content in WSA, g C kg^{-1} soil	fPOM in bulk soil, g kg^{-1} soil	fPOM in WSA, g kg^{-1} soil	Ratio of SOC content in WSA to SOC content in bulk soil	WSA, %
Tr 1	17.4±0.7	18.5±0.5	52.8±1.9	57.6±9.3	1.06±0.32	48.9±6.2
Tr 2	15.2±1.6	18.0±6.4	10.6±5.0	16.3±2.2	1.17±0.33	32.8±8.3
Tr 3	16.5±1.9	14.2±3.5	13.4±1.7	15.3±1.6	0.89±0.30	20.2±2.3
Tr 4	17.9±2.9	18.3±3.1	18.5±1.7	19.6±1.9	1.03±0.06	34.5±5.3
Tr 5	20.7±1.7	17.3±7.7	20.9±2.1	27.5±2.0	0.84±0.35	33.0±8.2
Tr 6	19.4±2.0	19.6±4.4	25.3±1.7	32.8±2.6	1.01±0.26	30.4±3.0
Tr 7	20.4±4.2	24.9±4.1	34.7±2.5	49.1±9.6	1.24±0.06	35.4±7.9

Mean values of MBC content (mg C kg^{-1} soil) were: 847.6±100.5 (Tr 1), 461.2±129.1 (Tr 2), 525.3±162.6 (Tr 4), 571.1±75.8 (Tr 6). There were significant (at $p < 0.001$ and < 0.01) differences in MBC content between Tr 1 and other treatments. Mean values of MBC content (mg C kg^{-1} soil) in WSA were significantly lower than in bulk soil: 314.9±136.4 (Tr 1), 216.8±44.6 (Tr 2), 284.5±42.0 (Tr 4), 336.3±140.7 (Tr 6). Mean values of SOC and fPOM content were: (1) insignificantly higher in

WSA than in bulk soil, and (2) reflected positive effects of FYM incorporation on these parameters. The sequestration of SOC in WSA was also observed in the Tr 1, Tr 2, Tr 4 and Tr 6. There were significant (at $p < 0.001$) differences in amounts of WSA between Tr 1 and Tr 2, Tr 4, Tr 6. Significant Spearman's rank correlations of WSA amount with MBC content ($r = 0.70$ at $p < 0.05$) were calculated in Tr 1. We observed insignificant correlations of WSA amounts with the seasonal variations of other indicators of soil organic matter's state in all the studied treatments.

The application of mineral nitrogen fertilizers contributed to a mainly insignificant increase in SOC, fPOM content (Table 2) and MBC content in bulk soil. The mean values of MBC content (mg C kg^{-1} soil) were: 663.4±127.2 (Tr 3), 507.0±109.6 (Tr 5), 695.2±124.0 (Tr 7). Such positive changes in these indicators of soil quality could be induced by an increase in nitrogen and carbon availability for soil microorganisms. The incorporation of nitrogen fertilizers could also contribute to an enhanced growth of plant roots as a key source of fPOM, which is one of the key agents of water-stable aggregation (Cambardella, Elliott, 1992; Six et al., 2004). However, a conversion of organic to mineral farming system can result in decreasing amount of fungi, which also play a key role in the water-stable aggregation of soils (Zhang et al., 2016). The results of our studies showed that the application of mineral nitrogen fertilizers had resulted in an insignificant decrease of mean content of MBC and SOC in WSA as well as ratios of SOC in WSA to SOC content in bulk soil from Tr 3 and Tr 5 (Table 2). Nevertheless, mean values of these parameters were higher in WSA in Tr 7 than in Tr 6. After the incorporation of mineral nitrogen fertilizers, the total amounts of WSA insignificantly decreased in Tr 3 and Tr 5, but insignificantly increased in Tr 7, which had the highest amounts of fPOM and possibly fungi. In general, the application of mineral nitrogen fertilizers in both treatments with FYM showed positive effects on the studied quality indicators of bulk soil. However, this favorable trend was observed for WSA only in the treatment with highest FYM rate.

Список литературы

1. Anderson J. P. E., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. № 10. pp. 215–221.

2. Anderson T. H. Microbial eco-physiological indicators to access soil quality // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2003. № 98. pp. 285–293.

3. Balashov E., Dąbek-Szreniawska M. Effect of two cropping systems on agrophysical soil properties and organic carbon sequestration in water-stable aggregates of loamy sand Orthic Luvisol // Agrofizika. 2015. № 2. pp. 1–9 (in Russian).

4. Böhme L., Langer U., Böhme F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2005. № 109. pp. 141–152.

5. Boitsova L., Zinczuk E., Neprimerova S., Balashov E. Distribution of total and clay-associated organic matter in profiles of arable loamy sand Spodosol // Folia Oecologica. 2015. № 42. pp. 1–9.

6. Camardella C. A., Elliott E. T. Particulate soil organic matter changes across grassland cultivation sequence // Soil Sci. Soc. Am. J. 1992. № 56. pp. 777–783.

7. Dąbek-Szreniawska M., Kus J., Balashov E. Effects of two management practices on soil organic matter, microbial biomass carbon and wet aggregate stability in a loamy sand Orthic Luvisol // International Agrophysics. 2004. № 18. pp. 311–315.

8. Hassink J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particle // Plant and Soil. 1997. № 191. pp. 77–87.

9. Olenchenko E. A., Rizhiya E. Y., Buchkina N. P., Balashov E. V. The influence of soil fertility on crop production and soil physical properties in the newly established field experiment // Agrofizika. 2012. № 4. pp. 8–18 (in Russian).

10. Rastvorova O. G., Andreev D. P., Gagarina E. I., Kasatkina G. A., Fedorova N. N. Chemical Analysis of Soils. St. Petersburg, St. Petersburg University Publ., 1995 (in Russian).

11. Šimanský V., Balashov E., Horák J. Water stability of soil aggregates and their ability to sequester carbon in soils of vineyards in Slovakia // Archives of Agronomy and Soil Science. 2016. № 62. pp. 177–197.

12. Six J., Elliott E. T., Paustian K. Soil microaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture // Soil Biol. Biochem. 2000. № 32. pp. 2099–2103.

13. Six J., Bossuyt H., Degryze S., Denef K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics // Soil Till. Res. 2004. № 79. pp. 7–31.

14. Vadjunina A. F., Korchagina Z. A. Methods of studies of soil physical properties. Moscow, Agropromizdat, 1986 (in Russian).

15. Väisänen R. K., Roberts M. S., Garland J. L., Frey S. D., Dawson L. A. Physiological and molecular characterization of microbial communities associated with different water-stable aggregate size classes // Soil Biol. Biochem. 2005. № 37. pp. 2007–2016.

16. Zhang S., Wang R., Yang X., Sun B., Li Q. Soil aggregation and aggregating agents as affected by long term contrasting management of an Anthrosol // Scientific Reports. 2016. № 6. pp. 1–11.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ С ХИМИЧЕСКИМИ МЕЛИОРАНТАМИ

С. Е. Витковская[1, 2]

[1]*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (РГГМУ);*

[2]*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)*

Изложены особенности методики проведения полевых опытов с химическими мелиорантами. Продемонстрировано, что важнейшая методическая задача экспериментов с известкующими материалами – установление доз, которые можно рассматривать как эффективные и экологически безопасные по отношению к физико-химическим свойствам почвы, продуктивности и элементному составу сельскохозяйственных культур.

METHODOLOGICAL BASIS OF FIELD EXPERIMENTS WITH CHEMICAL AMELIORANT

S. E. Vitkovskaya[1, 2]

[1]*Russian State Hydro Meteorological University;*

[2]*Agrophysical Research Institute*

Features of the technique of carrying out field experiments with chemical ameliorants are described. It is demonstrated that the most important methodological task of experiments with liming materials is the revealing of doses, which can be regarded as effective and environmentally safe for the physical and chemical properties of the soil, productivity and elemental composition of crops.

Необходимость разработки методических основ проведения полевых опытов с химическими мелиорантами обусловлена особенностями приемов и средств известкования кислых почв по сравнению с другими приемами повышения плодородия почв. Методика проведения экспериментов с химическими мелиорантами должна учитывать специфику химического и фракционного составов мелиорантов, технологий их применения и механизмов взаимодействия мелиоранта со всеми структурными компонентами агроэкосистемы. Особенности известкования по сравнению с другими приемами повышения плодородия почв (за исключением внесения органических удобрений) заключаются в следующем:

1) Количество действующего вещества (Ca, Mg), поступающего в почву с химическими мелиорантами, несоизмеримо выше по сравнению с

минеральными удобрениями: доза мелиоранта исчисляется в т/га. Как следствие, многократно возрастает воздействие на агроэкосистему, а также на физические, химические и биологические свойства почвы.

2) Продолжительность изменения кислотно-основных свойств почвы в процессе взаимодействия химического мелиоранта с почвой определяется дозой, нейтрализующей способностью и фракционным составом мелиоранта, а также составом и свойствами почвы (Шильников и др., 2008; Небольсин, Небольсина, 2010). Действие мелиоранта может проявляться в течение 15–20 лет и более (Шильников и др., 2008).

3) При внесении в почву мелиорантов помимо нейтрализации почвенной кислотности и насыщения почвенного поглощающего комплекса основаниями происходит усиление конкурентных взаимодействий между Ca, Mg и их химическими аналогами, что приводит к изменению элементного состава почвенного раствора и растений (Витковская и др., 2016). Степень воздействия на систему «почва-растение» зависит от дозы мелиоранта.

4) Изменение реакции почвы и насыщение ППК кальцием и магнием могут приводить к дефициту необходимых для растений и человека микроэлементов. На территориях, характеризующихся недостаточным содержанием микроэлементов, известкование можно рассматривать как дополнительный фактор риска для здоровья населения. Известно, например, что в Таежно-лесной нечерноземной зоне реакции живых организмов обусловлены недостатком кальция, фосфора, кобальта (73% всех почв), меди (70%), йода (80%), молибдена (53%), бора (50%) и цинка (49%), оптимумом содержания марганца (72%) и относительным избытком стронция (15%), особенно в поймах рек (Самофалова, 2009).

5) Эффективность известкования существенно зависит от конкретных условий и отношения различных сельскохозяйственных культур к почвенной кислотности (Шильников и др., 2010). Результаты исследований могут значительно варьироваться в зависимости от почвенно-климатической зоны и генетически обусловленных особенностей растений.

Исходя из изложенного, важнейшими задачами, которые должны решаться в процессе проведения полевых экспериментов с химическими мелиорантами (особенно при испытании новых видов мелиорантов), являются:

1) Установление доз мелиоранта, которые можно рассматривать как эффективные по отношению к физико-химическим свойствам почвы и различным видам сельскохозяйственных культур. Эффективность той или иной дозы химического мелиоранта можно оценить по следующим критериям:

- Влияние мелиоранта (в широком диапазоне доз) на урожайность сельскохозяйственных культур. Экспериментальные данные (Минеев и др., 2014) свидетельствуют, что различная чувствительность сельскохозяйственных культур к кислотности почвы обусловлена составом их корневых выделений, изменяющих реакцию среды, а также связана с ферментативной активностью почвы в ризосфере.
- Влияние различных доз мелиоранта на реакцию почвы.
- Влияние различных доз мелиоранта на содержание подвижных соединений алюминия, марганца и железа, которое позиционируется (Небольсин, Небольсина, 2010) как основной фактор снижения урожайности сельскохозяйственных культур на кислых почвах.
- Пролонгированность действия химических мелиорантов на реакцию почвы и содержание обменных оснований в зависимости от дозы, нейтрализующей способности и размера фракций мелиоранта.

2) Установление доз мелиората, которые можно рассматривать как экологически безопасные по отношению к показателям качества окружающей среды и сельскохозяйственной продукции. Основными критериями, определяющими экологическую безопасность мелиоранта, являются:

- Безопасность химического состава мелиоранта. Концентрации примесных элементов не должны превышать допустимых норм. При отсутствии нормативов на содержание химического элемента в веществах, вносимых в почву, безопасность химического состава мелиоранта оценивается с

учетом ПДК элемента в почве, доз и периодичности внесения мелиоранта в почву.

- Влияние различных доз мелиоранта на содержание подвижных соединений микроэлементов в почве и накопление их в продукции растениеводства. Рекомендуемые к применению дозы мелиоранта не должны приводить к существенному снижению содержания в растениях жизненно необходимых химических элементов.
- Влияние различных доз мелиоранта на рост и развитие растений.
- Влияние различных доз мелиоранта на качественный и количественный состав почвенной микрофлоры. Известно (Небольсин, 2010), что известкование оказывает сильное и длительное воздействие на состав и численность различных групп почвенных микроорганизмов, а также на активность почвенных ферментов. На известкованных почвах численность грибной микрофлоры снижается, а различных групп бактерий и актиномицетов – возрастает.

Решение указанных задач возможно при соблюдении следующих условий планирования эксперимента:

1) Схема полевого эксперимента должна включать варианты с широким диапазоном доз мелиоранта. Диапазон тестируемых доз следует начинать с 0 т/га (контроль). Максимальная доза зависит от конкретных задач исследования, но не должна быть менее 1,5 Нг. Число вариантов (доз) должно быть не менее шести, что позволит построить зависимости «доза-ответ» по любому тестируемому параметру.

2) Полевой опыт с химическим мелиорантом не может быть однолетним. Продолжительность эксперимента должна составлять не менее трёх лет. Соблюдение данного условия позволит построить зависимости «время – ответ», а также оценить изменение скорости тестируемых процессов в зависимости от дозы мелиоранта и времени его взаимодействия с почвой.

3) Если тестируется нетрадиционный мелиорант, то при расчете допустимой дозы внесения следует учитывать содержание примесных химических элементов.

Построение зависимостей «время – ответ» и «доза – ответ» на основании экспериментальных данных, полученных в длительных полевых опытах с широким диапазоном доз мелиоранта, позволяет выявить закономерности, характеризующие процессы изменения кислотно-основных свойств почвы и распределения макро- и микроэлементов в системе «почва-растение» при известковании кислых почв (Витковская и др., 2016).

Список литературы

1. Шильников И. А., Сычёв В. Г., Зеленов Н. А., Аканова Н. И., Федотова Л. С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М., ВНИИА, 2008. 340 с.

2. Небольсин А. Н., Небольсина З. П. Известкование почв (результаты 50-летних полевых опытов). СПб., ГНУ ЛНИИСХ Россельхозакадемии, 2010. 254 с.

3. Витковская С. Е., Яковлев О. Н., Шаврина К. Ф. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на кислотно-основные свойства дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 2016. № 7. С. 3–11.

4. Самофалова И. А. Химический состав почв и почвообразующих пород: уч. пособие. Пермь, Пермская ГСХА, 2009. 130 с.

5. Шильников И. А., Аканова Н. И., Гришин Г. Е., Зеленов Н. А. Эффективность воздействия известкования почв на урожай и качество картофеля // Нива Поволжья. 2010. № 3 (16). С. 50–53.

6. Минеев В. Г., Гомонова Н. Ф., Морачевская Е. В. Влияние длительного применения удобрений и известкования на биологические свойства почвы // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 1. С. 3–9.

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПАХОТНОГО ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАУРАЛЬЯ

Д. И. Еремин

ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень

В результате многолетних опытов с использованием возрастающих доз минеральных удобрений установлено, что внесение удобрений на планируемую урожайность зерновых культур до 4,0 т/га ($N_{100}P_{30}$) не оказывает влияния на структурно-агрегатный состав пахотного чернозема. Систематическое внесение удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га и более ($N_{220}P_{100}$) приводит к ухудшению структуры и снижению водоустойчивости почвенных агрегатов, оказывая негативное воздействие на аэрацию пахотного слоя.

THE INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON THE AGROPHYSICAL PROPERTIES OF THE ARABLE LEACHED CHERNOZEM IN THE FOREST STEPPE ZONE OF ZAURALYE

D. I. Eremin

State Agrarian University of Northern Zauralye, Tyumen, Russia

As a result of long-term experiments using increasing doses of mineral fertilizers, it has been established that the application of fertilizers to the planned yield of grain crops until 4.0 t / ha (N100P30) does not affect the structural and aggregate composition of arable chernozem. The systematic application of fertilizers to the planned yield of 5.0 t / ha or more (N220P100) leads to a deterioration in the structure and a decrease in the water resistance of soil aggregates, having a negative effect on the aeration of the arable layer.

Представления о влиянии минеральных удобрений на агрофизические свойства до настоящего времени являются неоднозначными. Многие ученые справедливо полагают, что относительно невысокие дозы удобрений, какие обычно используются в хозяйствах России, не могут оказывать существенного влияния на структурно-агрегатный состав и сложение пахотного горизонта, особенно при научно обоснованной системе земледелия (Кураченко, Ульянова и др., 2008; Khasanova, Suyundukov и др., 2010). В последние десятилетия в российском аграрном секторе сложилась довольно парадоксальная ситуация: в стремлении уменьшить себестоимость получаемой продукции хозяйства намеренно отказались от органических удобрений. Отходы животноводства утилизируются на близлежащих от ферм полях, поскольку вывозить их дальше

экономически нецелесообразно (Чуян, 2008). Увеличение урожайности сельскохозяйственных культур обусловлено повышением доз минеральных удобрений, и в настоящее время в отдельных хозяйствах ежегодно вносится до 300 кг действующего вещества азотных удобрений. Как показывают проведенные исследования, содержание азота в побочной продукции (солома) увеличивается многократно, что способствует ускорению процесса ее разложения при запашке. Минеральные удобрения обеспечивают высокое содержание азота в пашне на протяжении всего вегетационного периода, тем самым поддерживая активность почвенной микрофлоры. На фоне дефицита растительных остатков, поступающих в пахотный горизонт, микрофлора активно минерализует гумус, существенно изменяя его качественный состав (Eremin, 2016). Обеднение фракциями свободных гуминовых кислот и их солей с кальцием (ГК-1 и ГК-2) оказывает негативное влияние на структурообразование и, как следствие, на все агрофизические свойства (Шеин, 2014).

Целью настоящего исследования было изучение влияния возрастающих доз минеральных удобрений на агрофизические свойства пахотного чернозема лесостепной зоны Зауралья.

Объекты и методы

Исследования проводились на стационаре кафедры почвоведения и агрохимии Государственного аграрного университета Северного Зауралья, который был заложен в 1995 г. На стационаре используется зернопаровой севооборот с чередованием культур: занятый пар (горохо-овсяная смесь); яровая пшеница; овес. Нормы удобрений рассчитываются на планируемую урожайность 3,0; 4,0; 5,0 и 6,0 т/га зерна пшеницы и овса с учетом почвенных запасов питательных веществ. Система обработки – отвальная, солома на вариантах измельчается и запахивается. С момента закладки опыта и до настоящего времени схема опыта и севооборот не менялись. Опытные делянки фиксированные, что позволило установить влияние многолетнего внесения удобрений на изучаемые показатели. Структурно-агрегатный состав определялся методом сухого просеивания через колонку сит, водопрочность – на приборе Бакшеева, порозность аэрации – расчетным способом.

Результаты и обсуждение

Результаты сухого просеивания показали, что на момент закладки стационара пахотный слой чернозема выщелоченного характеризовался отличным структурно-агрегатным составом – содержание агрономически ценных агрегатов (10,0–0,25 мм) достигало 86–89% с минимальным варьированием по опытным делянкам (табл.). Коэффициент структурности варьировался в пределах 6,1–8,3 ед., что соответствовало показателям целинных черноземов Западной Сибири (Еремин, 2008). Через 10 лет отсутствие минеральных удобрений (контроль) привело к снижению содержания агрономически ценных агрегатов на 7% относительно первоначального уровня. Причиной этого является ухудшение гумусного состояния вследствие дефицита растительных остатков (Еремин, 2010). В дальнейшем тенденция к ухудшению структурно-агрегатного состава в варианте с естественным агрофоном сохранилась – в 2015 г. коэффициент структурности снизился более чем в два раза, достигнув 3,3 ед.

Систематическое внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность зерновых культур 3,0 т/га в первые 10 лет не оказало влияния на структурно-агрегатный состав пахотного слоя чернозема выщелоченного. Однако в период с 2005 по 2015 гг. содержание агрономически ценных агрегатов уменьшилось по сравнению с контролем – коэффициент структурности составил 2,7 ед.

Таблица. **Структурно-агрегатный состав пахотного горизонта чернозема выщелоченного при длительном использовании минеральных удобрений (сухое просеивание)**

Варианты (фактор А)	Содержание агрегатов 10,0–0,25 мм, % (фактор В)			Коэффициент структурности		
	1995 г.	**2005 г.**	**2015 г.**	**1995 г.**	**2005 г.**	**2015 г.**
Контроль	89	83	77	7,8	5,0	3,3
NPK на 3,0 т/га	86	85	73	6,4	5,8	2,7
NPK на 4,0 т/га	89	71	71	8,3	2,5	2,4
NPK на 5,0 т/га	86	69	63	6,1	2,2	1,7
NPK на 6,0 т/га	88	73	63	7,5	2,8	1,7
$НСР_{05}$ по фактору А = 4; по фактору В = 5; АВ = 5						

Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га оказало негативное влияние на структурно-агрегатный состав пахотного горизонта только в период с 1995 по 2005 гг. – снижение доли агрономически ценных агрегатов составило 20% относительно первоначального уровня. Однако в дальнейшем произошла стабилизация процессов структурообразования.

Наибольший интерес представляют варианты с высоким агрофоном (NPK на 5,0 и 6,0 т/га) – уже в первые годы было установлено негативное влияние минеральных удобрений на структурно-агрегатный состав. В период 1995–2005 гг. содержание агрономически ценных агрегатов уменьшилось до 69–73%, коэффициент структурности в 2005 г. составил 2,2 и 2,8 ед. соответственно. По мнению автора, это связано с диспергирующим действием аммиачной селитры, активно замещающей кальций аммонием, в результате чего гумус частично теряет свою клеящую способность. Впоследствии структурообразование не стабилизировалось, как в варианте с внесением NPK на урожай зерновых 4,0 т/га, по причине изменения фракционно-группового состава гумуса, образующегося из обогащенных азотом растительных остатков (Еремин, 2012; Еремин, Ахтямова, 2017). На делянках с высокими дозами удобрений, как показали исследования, состав гумуса существенно отличается от целинных и старопахотных черноземов (Eremin, 2016). К 2015 г. коэффициент структурности достиг минимальных значений (1,7 ед., что почти в два раза меньше значений контроля).

Качественным показателем структурного состояния почв считается водопрочность почвенных агрегатов. Данный показатель является косвенным признаком качественного состава гумуса, поскольку от наличия его нерастворимых фракций зависит водоустойчивость структурных отдельностей. Как показали исследования, длительное выращивание сельскохозяйственных культур без минеральных удобрений привело к снижению водопрочности с 83 до 75% (рис. 1). Причиной этого, как отмечено выше, является уменьшение содержания гумуса вследствие дефицита растительных остатков.

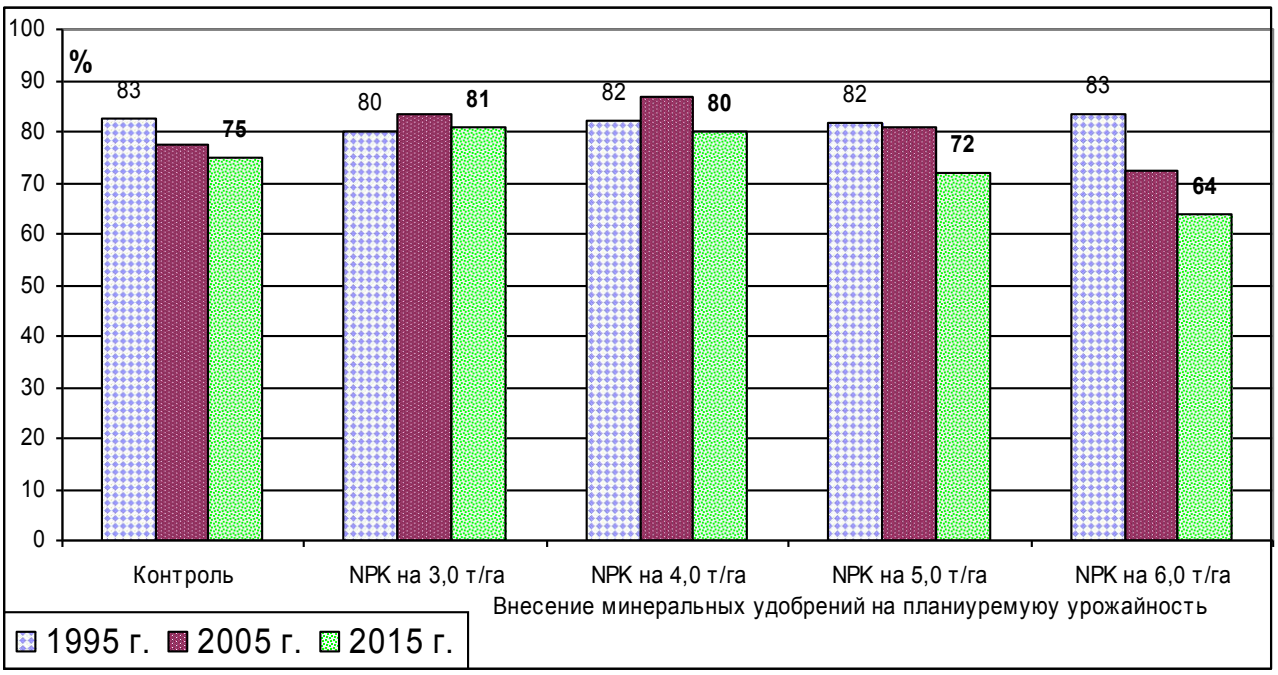


Рисунок 1 – Содержание водопрочных агрегатов >0,25 мм в слое 0–30 см чернозема выщелоченного при длительном использовании минеральных удобрений, %

Несмотря на уменьшение доли агрономически ценных агрегатов при сухом просеивании в вариантах с минеральными удобрениями, значения водопрочности изменялись. При систематическом внесении удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га содержание водопрочных агрегатов, размеры которых более 0,25 мм, оставалось неизменным в 80–82% случаев, поэтому можно утверждать, что при существующей в Западной Сибири системе земледелия внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность до 4,0 т/га зерновых культур не оказывает негативного влияния на водопрочность почвенных агрегатов.

Систематическое внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность зерновых культур 5,0 т/га не оказывало влияния на водопрочность почвенных агрегатов на протяжении 10 лет. Однако за период 2005–2015 гг. водоустойчивость агрегатов снизилась до 72%. Рассев в жидкости показал, что максимальному разрушению подвергались фракции размером более 5 мм и менее 1 мм.

Максимальный агрофон в опыте (NPK на 6,0 т/га) оказал негативное влияние на водопрочность агрегатов пахотного слоя чернозема выщелоченного уже в первые годы исследований – к 2005 г. она уменьшилась с 83 до 72%. В

последующие годы данный показатель постоянно снижался и к 2015 г. достиг 64% от общего количества. Причиной этого является не только изменение качественного состава гумуса, но и диспергирующий эффект минеральных удобрений

Мокрое просеивание подтвердило негативное влияние минеральных удобрений, особенно при их внесении на планируемую урожайность 5,0 и 6,0 т/га. Выращивание зерновых культур без использования удобрений снизило водопрочность агрегатов с 82,5 до 77,6%, однако в дальнейшем процесс структурообразования стабилизировался (рис. 2). Внесение NPK на 3,0 и 4,0 т/га зерна способствовало поддержанию водопрочной структуры пахотного горизонта в течение длительного времени. Данные результаты исследований указывают на необходимость кардинального пересмотра системы обработки и удобрений в условиях интенсификации земледелия.

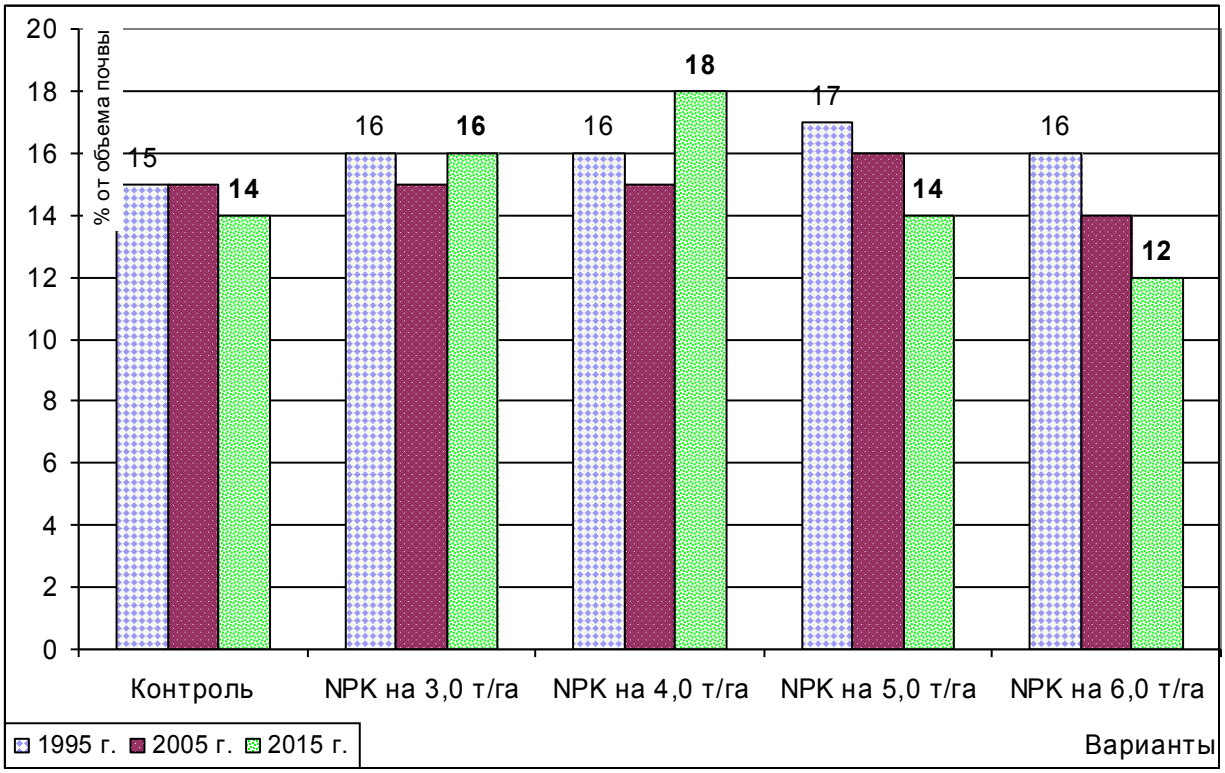


Рисунок 2 – Порозность аэрации пахотного горизонта (0-30 см) чернозема выщелоченного при длительном использовании минеральных удобрений, % от объема почвы

Столь существенные отклонения в структурно-агрегатном составе пахотного горизонта не могли не повлиять на порозность аэрации старопахотного чернозема. С учетом единой (отвальной) системы основной обработки почвы в настоящем исследовании не приводятся данные по подпахотным горизонтам, поскольку непосредственное влияние удобрений отмечено только в верхних слоях.

Анализ динамики порозности аэрации показал, что при систематическом использовании минеральных удобрений на планируемую урожайность зерновых культур до 4,0 т/га достоверного ухудшения не происходит. Внесение высоких доз минеральных удобрений, обеспечивающих получение урожая более 5,0 т/га, привело к уменьшению объема пор порового пространства с 16–17 до 12–14% от объема почвы.

Данный факт объясняется заполнением почвенных пустот мелкоземом, образующимся при разрушении агрегатов. Поскольку в Западной Сибири существует проблема аэрации почв тяжелого гранулометрического состава вследствие их генетических особенностей, следует учитывать, что уменьшение пористости пахотного слоя может привести к снижению продуктивности пашни и появлению поверхностного переувлажнения (Eremin, Eremina, 2016). Поэтому для получения урожаев зерновых культур свыше 5,0 т/га необходимо разрабатывать систему земледелия с учетом негативного влияния высоких доз минеральных удобрений на структурно-агрегатный состав пахотных почв.

Заключение

Длительное выращивание зерновых культур на естественном агрофоне в Западной Сибири привело к уменьшению агрономически ценных агрегатов (10,0–0,25 мм) с 89 до 77%, а также к снижению их водопрочности вследствие ухудшения гумусного состояния пахотного чернозема выщелоченного.

Длительное применение минеральных удобрений на планируемую урожайность зерновых культур не более 4,0 т/га не оказало влияния на структурно-агрегатный состав и порозность аэрации. В течение 20 лет водопрочность почвенных агрегатов оставалась на одном уровне. Повышение

уровня минерального питания на планируемую урожайность 5,0 т/га не оказало негативного влияния на изучаемые показатели в первые 10 лет, однако в дальнейшем негативный эффект от минеральных удобрений проявился. Внесение удобрений на планируемую урожайность 6,0 т/га ухудшило структурное состояние и порозность аэрации уже в первые годы исследований, содержание водопрочных агрегатов за 20 лет уменьшилось с 83 до 64% при снижении коэффициента структурности с 7,5 до 1,7 ед.

Список литературы

1. Кураченко Н. Л., Ульянова О. А., Луганцева М. В., Бабаев М. В. Влияние удобрений на гумусное и агрофизическое состояние чернозема выщелоченного // Вестник КрасГАУ. 2008. № 1. С. 33–37.

2. Khasanova R. F., Suyundukov Ya. T., Suyundukova M. B. Comparative assessment of the phytomeliorative efficiency of perennial grasses on chernozems in the trabsural part of Bashkortostan // Eurasian Soil Sci. 2010. V. 43, № 1. pp. 104–109. DOI: 10.1134/S1064229310010138.

3. Чуян Н. А., Масютенко Н. П., Еремина Р. Ф. Влияние внесения навоза и растительных остатков на плодородие чернозема и продуктивность зернопропашного севооборота в условиях лесостепи ЦЧЗ // Агрохимия. 2008. № 9. С. 29–36.

4. Eremin D. I. Changes in the content and quality of humus in leached chernozems of the Trans-Ural forest-steppe zone under the impact of their agricultural use // Eurasian Soil Science. 2016. V. 49, № 5. pp. 538–545. DOI:10.1134/S1064229316050033.

5. Шеин Е. В., Милановский Е. Ю. Органическое вещество и структура почвы: учение В. Р. Вильямса и современность // Известия ТСХА. 2014. № 1. С. 42–51.

6. Ерёмин Д. И. Особенности динамики структурно-агрегатного состояния и плотности сложения выщелоченного чернозема в северной лесостепи Тюменской области // Аграрный вестник Урала. 2008. № 3. С. 62–64.

7. Ерёмин Д. И. Гумусное состояние чернозема выщелоченного при длительном использовании минеральной системы удобрений под зерновые культуры в Северном Зауралье // Аграрный вестник Урала. 2010. № 8 (74). С. 35–37.

8. Еремин Д. И. Изменение качественного состава гумуса чернозема выщелоченного под действием возрастающих доз минеральных удобрений // Сиб. Вестник с.-х. науки. 2012. № 6. С. 20–26.

9. Еремин Д. И., Ахтямова А. А. Химический состав растительных остатков сельскохозяйственных культур, выращенных на различном агрофоне в лесостепной зоне Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2017. № 2 (125). С. 32–38.

10. Eremin D. I., Eremina D. V. Influence of granulometric composition structure of anthropogenic-reformed soil on ecology of infrastructure // Procedia Engineering. 2016. № 165. pp. 788–793.

УДК 630.54.631

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

Т. Н. Данилова
ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14
E-mail: danilovatn@yandex.ru

В микрополевом эксперименте изучалось влияние гидрогелей на водообеспечение ячменя в условиях почвенной засухи. Исследование проводилось в вегетационных сосудах в специальной установке (засушнике) на дерново-подзолистой супесчаной почве. Исследовались два типа гидрогеля с одной дозой внесения в вариантах контроль с внесением 90 кг га$^{-1}$ NPK в виде азофоски, гидрогель, внесенный на глубину 10–12 см + NPK, гидрогель, внесенный на глубину 20–22 см + NPK. В результате проведенных исследований было установлено, что гидрогель в условиях засухи не проявил себя в качестве водоудерживающей добавки.

INFLUENCE OF HYDROGELS ON THE WATER SUPPLY OF CEREAL CROPS UNDER CONDITIONS OF SOIL DROUGHT

T. N. Danilova
Agrophysical Research Institute,
14, Grazhdansky pr., St. Petersburg, 195220

In the microfield experiment, the effect of hydrogels on the barley water supply under conditions of soil drought has been studied. The study was carried out in vegetation vessels on a special plant (drier) on sod-podzolic sandy loamy soil. Two types of hydrogel have been studied with a single application dose in the variants control with application of 90 kg ha-1 NPK in the form of azofosca, hydrogel introduced to a depth of 10–12 cm + NPK, hydrogel introduced to a depth of 20–22 cm + NPK. As a result of the conducted studies it was established that the hydrogel under conditions of soil drought did not prove itself as a water-retaining additive.

Введение

В засушливых регионах страны водно-физические свойства почв не всегда являются оптимальными для нормального роста и развития растений, так как значительная часть влаги, поступающей в виде осадков, уходит за пределы корнеобитаемого слоя. Поэтому для улучшения влагообеспеченности прикорневого слоя почвы следует применять альтернативные приемы, такие как водоудерживающие полимеры (Данилова, 2013).

Применение водоудерживающих полимеров, или гидрогелей, дает возможность накапливать значительное количество продуктивной влаги. Поэтому их рекомендуют для использования в полузасушливых районах с целью повышения выживаемости и роста всходов (Johnson, 1984; Choudhary, 1995; Gilbert, 2014). Полиакриламидный гидрогель сорбирует и долгое время удерживает воду, что обеспечивает накопление и длительное пролонгирование

влаги в почве, своеобразный ее резервуар. В результате ускоряется процесс прорастания семян и повышается всхожесть культур. Корни используют влагу непосредственно из набухших гелей (Данилова и др., 2011; Воскобойникова и др., 2012). Цель исследования состояла в оценке эффективности гидрогелей «Ритин-10» (натриевая основа) и В-415К (калиевая основа) для управления водообеспеченностью зерновых культур в засушливых условиях. Для достижения указанной цели потребовалось исследовать влияние гидрогелей натриевого и калиевого типа на продуктивность зерновых культур при почвенной засухе, а также оценить доступность влаги, удержанной гидрогелем, для роста и развития культур.

Объекты и методы

Полевой опыт по изучению влияния гидрогелей на водообеспечение зерновых культур был заложен в 2015 г. в Меньковском филиале Агрофизического института в специальной установке (засушнике) на дерново-подзолистой супесчаной почве. Для эксперимента были взяты два типа гидрогелей: гидрогель «Ритин-10» (натриевая основа), содержание K – 27,05%, Na – 36,98%, 1 г. гидрогеля удерживает 300 мл воды; гидрогель «В-415К» (калиевая основа), содержание K_2O – не менее 21%, 1 г. гидрогеля удерживает 400 мл воды. Изучаемая культура – ячмень сорта Ленинградский. Опыт был заложен в вегетационных сосудах $S = 0{,}075$ м^2, $V = 0{,}0025$ м^3. Исследования проводились в следующих вариантах:

– контроль – с внесением азофоски (фон $N_{90}P_{90}K_{90}$);
– фон $N_{90}P_{90}K_{90} + Г_{Na}$ (10–12 см);
– фон $N_{90}P_{90}K_{90} + Г_{K}$ (10–12 см);
– фон $N_{90}P_{90}K_{90} + Г_{Na}$ (20–22 см);
– фон $N_{90}P_{90}K_{90} + Г_{K}$ (20–22 см).

Опыт проводился в пятикратной повторности. Размещение вариантов систематическое. Доза внесения гидрогеля – из расчета 400 кг га$^{-1}$ – 40 г м^2.

Результаты и обсуждение

Посев ячменя в вегетационные сосуды был проведен 18 мая. Всходы растений ячменя появились 26 мая в засушнике в вариантах опыта $ГГ_{Na}$ (10–12 см) и $ГГ_{K}$ (10–12 см), т. е. там, где гидрогель был внесен на глубину 10–12 см. На контроле в засушнике всходов не было, в вариантах $ГГ_{Na}$ (20–22 см) и $ГГ_{K}$ (20–22 см), т. е. там, где гидрогель был внесен на глубину 20–22 см, было

отмечено появление единичных растений. В вегетационных сосудах в полевых условиях всходов не было. В период вегетации два раза в неделю проводилось измерение влажности почвы с помощью почвенного влагомера МГ-44 на глубине 0–10 см и 10–20 см и рассчитывалась норма полива. До фазы кущения растения ячменя в засушнике поливали в зависимости от показаний почвенного влагомера, влажность почвы поддерживалась в пределах 70% НВ (наименьшая влагоемкость). Исследование влияния засухи (55–60% НВ) на рост и развитие растений ячменя было начато после фазы кущения.

В результате проведенных исследований на ячмене было выявлено, что гидрогель в условиях засухи не проявил себя в качестве водоудерживающей добавки. Положительное влияние гидрогеля было отмечено только в вариантах опыта в засушнике с гидрогелем, внесенным на глубину 10–12 см, при более раннем по сравнению с полевыми условиями появлении всходов ячменя. В дальнейшем, в начальные периоды развития растений ячменя, гидрогель удерживал влагу благодаря поливу, а когда после фазы кущения полив прекратили, то влажность почвы с гидрогелем практически не отличалась от влажности почвы на контроле. В полевых условиях влияние гидрогеля было более выраженным. Влага удерживалась гидрогелем и в слое 10–12 см, и в слое 20–22 см в течение всего периода вегетации. Урожайность ячменя в засушнике была выше, чем в полевых условиях, но существенных отличий от контрольного варианта не наблюдалось. Наибольшая прибавка урожая от внесенного гидрогеля была получена в полевых условиях. Более эффективным оказался гидрогель на натриевой основе. Прибавка урожая составила 36% и в варианте с гидрогелем, внесенным в слой 10–12 см, и в варианте с гидрогелем, внесенным в слой 20–22 см. Прибавка урожая от гидрогеля на калиевой основе составила 22,9% при внесении в слой 20–22 см и 31% – при внесении в слой 10–12 см. В засушнике прибавка урожая от внесенного гидрогеля была незначительной (всего 3–4% по сравнению с контролем), однако на вид зерно было чище, а полная спелость наступила на неделю раньше, чем в полевых условиях.

Заключение

Результаты исследований показали, что внесение гидрогелей в корнеобитаемый слой почвы (10–12 см) в условиях засухи недостаточно эффективно влияет на водообеспечение зерновых культур, т.е. без полива гидрогель высыхает и не проявляет себя в качестве водоудерживающей добавки. Желательно вносить гидрогель в более глубокие слои почвы (20–22 см), а перед посевом проводить влагозарядковый полив.

Список литературы

1. Воскобойникова Т. Г., Околелова А. А. Повышение плодородия почв в сухостепной зоне с помощью гидрогелей // Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения». Краснодар, 2012.

2. Данилова Т. Н., Оленченко Е. А. Применение водопоглощающих полимеров для управления водно-физическими свойствами почвенно-растительного комплекса // Материалы всероссийской научной конференции (с международным участием) «Методы оценки сельскохозяйственных рисков и технологии смягчения последствий изменений климата в земледелии». Санкт-Петербург, 13–14 октября 2011 г. СПб., 2011. С. 249–253.

3. Данилова Т. Н. Влияние полимерного геля «Ритин-10» на водно-физические свойства почв // Агрофизика. 2013. № 2 (10). С. 38–43.

4. Gilbert C., Peter S., Wilson Ng., Edward M., Francis M., Sylvester K., Erick B. Effects of Hydrogels on Soil Moisture and Growth of Cajanus cajan in Semi Arid Zone of Kongelai, West Pokot County // Open Journal of Forestry. 2014. Vol. 4, № 1. pp. 34–37.

5. Johnson M. S. Effect of soluble salts on water absorption by gel forming soil conditioners // J. Sci. Food Agric. 1984. 35: 1063–1066.

6. Choudhary M. I., Shalaby A. A., Al-Omran A. M. Water holding capacity and evaporation of calcareous soils as affected by four synthetic polymers // Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1995. V. 26, Issue 13–14. pp. 2205–2215.

ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ АГРОСЕРЫХ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПИ БАЙКАЛЬСКОЙ СИБИРИ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ФТОРИДАМИ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Н. Н. Кириллова, Л. В. Помазкина

ФГБУН «Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН» (*СИФИБР СО РАН*)

Выявлено воздействие уровней загрязнения фторидами алюминиевого производства (10, 12, 16, 26 и 31 ПДК) на изменение свойств агросерой почвы лесостепи Байкальской Сибири. По изменению физических и химических свойств оценена степень деградации почв, которая при загрязнении 16 ПДК повышалась до сильной, а при 26 ПДК и выше – очень сильной.

EVALUATION OF DEGRADATION OF AGROGRAY SOILS OF FOREST-STEPPE OF BAIKAL SIBERIA, POLLUTED BY FLUORIDES OF ALUMINUM PRODUCTION

N. N. Kirillova, L. V. Pomazkina

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS

The influence of levels of contamination by aluminum fluorides (10, 12, 16, 26 and 31 MPC) on the changes in the properties of agro-forest soil in the forest-steppe of Baikal Siberia has been revealed. By the change in physical and chemical properties, the degree of soil degradation was assessed. When contaminated with 16 MPC, the soil degradation increased to a strong, and at 26 MACs and above, it was very strong.

Одна из важных проблем современного земледелия в агроэкосистемах конкретных регионов связана с техногенным загрязнением почв. В частности, для лесостепи Байкальской Сибири особенно актуальна оценка отдаленных негативных последствий многолетнего загрязнения пахотных почв фторидами алюминиевого производства, их состояния и степени деградации.

Исследования, связанные с оценкой воздействия высоких уровней загрязнения фторидами на агросерую почву, проводились в полевом опыте. Постановка модельного опыта позволила, устранив фактор продолжающегося загрязнения, проследить за поведением фторидов в почве, включая их миграцию за пределы пахотного слоя, а также исследовать влияние разных уровней загрязнения на изменение свойств почв. Фоновым вариантом была загрязненная фторидами (10 ПДК) почва, вывезенная из импактной зоны ИркАЗа. Высокие уровни загрязнения формировались посредством внесения в

пахотный слой (0–20 см) 10 ПДК почвы разных доз фторида натрия согласно схеме опыта: 1 – Фон (загрязненная ИркАЗом – 10 ПДК); 2 – Фон + NaF_{300}; 3 – Фон + NaF_{600}; 4 – Фон + NaF_{900}; 5 – Фон + NaF_{1200} (табл. 1). Отбор почвенных проб для анализа проводился осенью следующего года.

Физические и химические свойства почв исследовались общепринятыми методами (Теория и практика…, 2006; Теории и методы…, 2007). Степень деградации почв оценивалась по содержанию агрономически ценных агрегатов и глыбистой фракции (Бондарев, Кузнецова, 1999), увеличению содержания обменного натрия в % от ЕКО (Шептухов и др., 1997) и буферности почв по отношению к NaF (Государственный доклад..., 2014).

Таблица 1. **Содержание и степень подвижности фторидов на агросерых почвах в полевом модельном опыте**

Вариант	Содержание фтора			СП, %
	валовый	водорастворимый		
	мг/кг	мг/кг	ПДК	
Фон (загрязненная ИркАЗом)	1085	102	10	9,4
Фон + NaF_{300}	1289	118	12	9,2
Фон + NaF_{600}	1602	160	16	10,0
Фон + NaF_{900}	2067	257	26	12,4
Фон + NaF_{1200}	2204	311	31	14,1

Внесение NaF повышало содержание фторидов в почве. В соответствии с вариантами опыта водорастворимые фториды составляли 12, 16, 26 и 31 ПДК, при этом степень подвижности фторидов (СП; $F_{вод}/F_{вал}$, %) увеличивалась (табл. 1).

Таблица 2. **Влияние уровня загрязнения фторидами на агрегатное состояние агросерых почв**

Загрязнение почв, ПДК	Содержание физической глины (<0,01 мм)	Содержание фракций (сухой рассев), %			$К_{стр}$	$А_г$	$К_д$	АФИ
		>10	10-0,25	<0,25				
		Мм				%		
10 (фон)	35,6	27,2	68,5	4,3	2,19	37	31	10,17
12	36,2	23,2	72,2	4,7	2,60	29	32	8,96
16	36,3	38,8	58,5	2,8	1,43	20	38	14,12
26	38,2	58,3	40,1	1,7	0,68	7	58	40,10
31	36,9	71,1	28,2	0,8	0,40	6	52	84,50

Вне зависимости от уровня загрязнения гранулометрический состав почв оставался неизменным (средний суглинок) (табл. 2). Однако макроагрегатный состав изменялся, что проявилось в снижении агрономически ценных структур и увеличении глыбистости. Если на загрязненных 10 и 12 ПДК почвах различия были незначительными, то на почве 31 ПДК содержание агрономически ценных фракций снизилось, а глыбистой фракции – повысилось до 71,1%, причем коэффициент структурности ($К_{стр}$) уменьшился (0,40). В итоге агрегатное состояние и структурность оказались неудовлетворительными. Прочность микроструктуры на загрязненных 26 и 31 ПДК почвах также стала неудовлетворительной, на что указывает снижение степени агрегированности по Бэйверу ($А_г$) и повышение коэффициента дисперсности ($К_д$). Водопрочность почвенных агрегатов АФИ в фоновом варианте составляла 10,17% (неудовлетворительная), а при загрязнении 31 ПДК резко увеличивалась (84,50% – удовлетворительная). Однако высокий показатель не увеличил агрономическую ценность почвы, поскольку высокая водопрочность агрегатов (псевдоагрегатов) была обусловлена слабым проникновение воды за счет плотной упаковки. Одновременно на загрязненных 26 и 31 ПДК почвах происходили уплотнение пахотного слоя и снижение пористости, что сопровождалось повышением влажности почв и уменьшением воздухосодержания. Если на 12 и 16 ПДК почвах плотность сложения составляла 1,20 г/см^3, то на 31 ПДК – 1,39 г/см^3. Общая порозность на 26 и 31 ПДК почвах снизилась до неудовлетворительной.

Как показано в табл. 3, влияние фторидов на химические свойства почв проявилось в изменении почвенного поглощающего комплекса. В составе обменных оснований происходили снижение содержания кальция и магния и повышение содержания натрия, что при загрязнении 26 и 31 ПДК приводило к осолонцеванию почв. Если почвы 10 и 12 ПДК были несолонцеватыми (1 и 3% от ЕКО), а 16 ПДК – слабосолонцеватыми, то 26 и 31 ПДК – солонцеватыми (14 и 17% от ЕКО).

Таблица 3. **Влияние уровня загрязнения фторидами на химические свойства агросерых почв**

Загрязнение почв, ПДК	$pH_{вод}$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	ЕКО	Гумус, %	Пг	Сгк-2:Сфк-2	$Б_{NaF}$
		мг-экв/100 г							
10 (фон)	7,6	25,9	4,0	0,2	33	2,34	0,20	3,0	43,9
12	7,9	25,4	4,0	1,0	34	2,31	0,25	2,4	7,8
16	8,1	24,6	3,5	2,3	34	2,31	0,27	2,2	2,7
26	8,2	23,1	3,5	4,8	34	2,33	0,28	2,1	1,0
31	8,3	23,0	3,9	5,8	34	2,24	0,29	2,0	0,7

Содержание гумуса во всех почвах было низким, а степень гумификации высокой (Орлов и др., 2004). При загрязнении 16 ПДК и выше тип гумуса менялся с гуматного на фульватно-гуматный. Снижение в его составе полимеризованных структур (Сгк-2:Сфк-2) приводило к увеличению содержания углерода в ГК-1 и ФК-1а, характеризующих подвижность гумусовых веществ (Пг), которая на загрязненной 31 ПДК почве была выше. Результаты исследования указывают на деградацию гумуса. Буферность почв ($Б_{NaF}$) при увеличении содержания фторидов резко снижалась, особенно на загрязненных 26 и 31 ПДК, что стало следствием повышения СП и содержания обменного натрия.

С использованием подходов, основанных на изменении физических и химических свойств (Шептухов и др., 1997; Бондарев, Кузнецова, 1999; Государственный…, 2014), была экспериментально оценена степень деградации почв, которая зависела от повышения содержания водорастворимых фторидов (табл. 4). Установлено, что на почве 10 ПДК (фон) деградация была слабой, на почве 12 ПДК – средней, на почве 16 ПДК – сильной, тогда как при повышении загрязнения до 26 ПДК и выше – очень сильной.

Таблица 4. **Влияние уровня загрязнения фторидами на деградацию агросерой почвы**

Показатель	Загрязнение почв, ПДК				
	10	12	16	26	31
Физическая деградация почв					
Содержание глыбистой фракции, %	1	1	2	3	3
Содержание агрегатов 10–0,25 мм, %	1	1	3	3	3
Химическая деградация почв					
Увеличение содержания $Na_{обм}$, % от ЕКО	0	1	2	4	4
Буферность почв к NaF	1	2	2	4	4

Примечание. Степень деградации в баллах: 0 – недеградированная;1 – слабая; 2 – средняя; 3 – сильная; 4 – очень сильная.

Таким образом, впервые установленная зависимость степени деградации агросерых почв от уровня загрязнения фторидами позволяет оценивать и прогнозировать негативные изменения свойств почв, которые возможны в условиях продолжающегося загрязнения. Необходимость изучения техногенной деградации почв, приводящей к существенному ухудшению экологического состояния почв и среды, особенно актуальна в связи с широким развитием алюминиевого производства на территории Сибири.

Список литературы

1. Бондарев А. Г., Кузнецова И. В. Проблема деградации физических свойств почв России и пути ее решения // Почвоведение. 1999. № 9. С. 1126–1131.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2013 году». Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2014. 389 с.
3. Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Розанова М. С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
4. Теории и методы физики почв. Коллективная монография / Под ред. Е. В. Шеина и Л. О. Карпачевского. М., Гриф и К, 2007. 616 с.
5. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л. А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
6. Шептухов В. Н., Решетина Т. В., Березин П. Н., Карманов И. И., Виноградов Б. В., Зимовец Б. А. О совершенствовании оценки процессов деградации почв // Почвоведение. 1997. № 7. С. 799–805.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕСТНОГО БИООРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

С. Е. Котов, З. П. Котова, Л. А. Кузнецова

ФГБНУ «Карельская ГСХОС»,

Республика Карелия, пос. Новая Вилга, ул. Центральная, 12

Проведенные исследования показали, что в полевых условиях внесение в почву БОУ на основе торфа локально и вразброс в целом оказывает положительное воздействие на продуктивность картофеля. Наибольшей урожайностью отличался вариант с максимальной дозой внесения БОУ на основе торфа (20 т/га). С помощью метода почвенных пластин было выявлено благоприятное влияние торфяных субстратов (БОУ) с различными сидератами на энергию прорастания семян гороха (до 50%) и ростовые показатели (увеличение длины проростков ячменя до 33,9% при использовании викоовсяной смеси в качестве сидерата).

APPLICATION OF LOCAL BIOORGANIC FERTILIZER IN POTATOES CULTIVATION UNDER THE CONDITIONS OF THE EUROPEAN NORTH

S. E. Kotov, Z. P. Kotova, L. A. Kuznetsova,

Karelian GSKNOS,

12, Centralnaya Str., Novaya Vilga, The Republic of Karelia

The conducted studies showed that in the field, the introduction of peat-based BOF into the soil both locally and broadcast has a general positive effect on potato productivity. soil is local and the spill generally has a positive effect on potato productivity. The highest yield was in the variant with the maximum dose of of peat-based BOF (20 t / ha). Using the method of soil plates, a favorable effect of peat substrates with various siderates on the energy of germination of pea seeds (up to 50%) and growth parameters (increase in the length of barley seedlings up to 33.9% with the use of a vetch mixture as a siderate) has been revealed.

Современные требования, предъявляемые к земледелию, включают необходимость интенсификации сельскохозяйственного производства и увеличения доли экологически безопасной продукции на рынке. Однако весьма часто для этого широко применяются средства химизации и интенсивные почвенные обработки с высокой пестицидной нагрузкой, приводящие к снижению плодородия, ухудшению качества продукции, дефициту органического вещества и уменьшению биоразнообразия в почве, что нарушает

естественный баланс биогеосистемы. Для поддержания ее в относительном равновесии требуются существенные трудовые затраты.

Применение новых видов комплексных органо-минеральных удобрений с повышенной агроэкологической эффективностью позволит значительно снизить дозы внесения удобрений, сбалансировать соотношение питательных элементов, а также уменьшить технологические затраты на их внесение и хранение. В состав таких удобрений должен водить полный набор как макро- так и микроэлементов, что значительно повысит продуктивность сельскохозяйственного производства и качество продукции (Алексеева, Перфильева и др., 1998).

Наиболее распространенные в Карелии подзолистые почвы в естественном состоянии характеризуются рядом неблагоприятных свойств. Различные удобрения на основе торфа, вносимые на такие почвы, способствуют улучшению их физико-химических свойств. Под влиянием торфяных удобрений усиливается деятельность микроорганизмов по накоплению гумуса, а также увеличивается содержание легкорастворимых соединений азота, фосфора и других питательных компонентов. Особый интерес представляют гуминовые вещества торфа, составляющие 30–50% от его массы. Растворимые формы гуминовых кислот (соли одновалентных металлов) в малых концентрациях значительно стимулируют рост, развитие растений, активизируют белковый и углеводный обмен и повышают урожайность сельскохозяйственных культур (Савич, 2007).

Цель настоящего исследования заключалась в изучении различных способов использования разработанного местного биоорганического удобрения на основе торфа с применением сидератов (БОУ) при выращивании картофеля и в определении его биологической активности.

Схема полевого однофакторного опыта включала следующие варианты: внесение БОУ в различных дозах (10,15 и 20 т/га) вразброс; внесение БОУ локально в лунку при посадке (4 т/га); контроль – без внесения БОУ. Исследования проводились в лабораторных и полевых условиях на двух

различных по скороспелости сортах картофеля (сорт Latona раннего срока созревания и среднеранний сорт Сударыня) в соответствии с методикой по культуре картофеля ВНИИКХ, а также методикой полевого опыта Б. А. Доспехова (1979). Агротехника выращивания картофеля – общепринятая для Северо-Западной зоны России.

Для определения биологической активности торфяных субстратов, полученных с применением различных сидератов (озимой ржи, горчицы белой и викоовсяной смеси), ставили модельные эксперименты методом почвенных пластин (Практикум по биологии почв, 2002). Принцип метода заключается в определении энергии прорастания и всхожести семян, помещенных в чашки Петри на поверхность почвенных субстратов. Для этого на них раскладывали по 50 семян ячменя и гороха, предварительно замоченных в водопроводной воде в течение суток. Контрольные семена размещали на увлажненной вате, покрытой фильтровальной бумагой. Семена проращивались в течение семи дней при постоянной температуре во влажной среде.

Агрометеорологические условия полевых сезонов 2015 и 2016 гг. были неблагоприятными для выращивания картофеля: 2015 г. характеризовался как недостаточно влагообеспеченный, гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,91, причем в период интенсивного клубнеобразования в августе обильные утренние росы и резкие перепады ночных и дневных температур способствовали развитию фитофтороза на листьях растений. Вегетационный сезон 2016 г. характеризовался как сильно увлажненный, в среднем осадков выпало в 1,8 раза выше среднемноголетней нормы (ГТК составил 2,7). В связи с очень ранним развитием фитофтороза (I декада июля) была получена низкая урожайность картофеля.

Проведенные исследования показали, что в полевых условиях внесение в почву БОУ на основе торфа в целом оказывает положительное воздействие на продуктивность картофеля (табл. 1).

Таблица 1. **Влияние способов и доз внесения БОУ на продуктивность растений двух сортов картофеля**

Способ внесения БОУ	Доза внесения, т/га	Продуктивность сортов					
		шт./раст.			г/раст.		
		2015 г.	2016 г.	среднее	2015 г.	2016 г.	среднее
с. Сударыня							
Контроль	без БОУ	6,9	2,6	4,7	292,7	110,7	201,7
Локально	4,0	7,6*	2,5	5,0	388,8*	102,8	245,8
Вразброс	10,0	7,0	2,4	4,7	294,7	90,3*	192,5
	15,0	7,5*	2,2	4,9	297,8	77,5*	187,7
	20,0	7,4*	2,4	4,9	293,6	80,3*	187,0
$НСР_{05}$		0,3	0,5	–	25,5	13,5	–
с. Latona							
Контроль	без БОУ	16,6	2,9	9,8	674,3	92,3	383,3
Локально	4,0	16,5	3,3	9,9	686,6	112,3	399,5
Вразброс	10,0	15,3	2,5	8,9	644,7	83,9	364,3
	15,0	17,0	2,9	9,9	728,3*	116,6	422,5
	20,0	13,6*	3,3	8,5	626,3	156,4*	391,4
$НСР_{05}$		1,3	0,5	–	42,7	19,5	–

Примечание: * – достоверное отклонение от контроля при 5%-м уровне значимости.

В 2015 г. действие БОУ было более выражено: у среднеспелого сорта Сударыня достоверное увеличение продуктивности по сравнению с контрольным вариантом (на 32,8%) установлено при локальном способе внесения удобрения. Повышенные дозы БОУ при внесении вразброс (15,0 и 20,0 т/га) достоверно увеличили количество клубней в кусте – на 7,5 и 7,4 штук на растении соответственно. У раннего сорта Latona в теплом и засушливом 2015 г. наибольшая продуктивность клубней в кусте отмечена в варианте с внесением БОУ вразброс (20,0 т/га) – 728,3 г/растение, что на 8% выше контроля. Анализ структуры урожая показал, что повышение продуктивности в кусте достигнуто за счет увеличения веса клубней средней фракции. В неблагоприятных метеорологических условиях 2016 г. гуминовые вещества, выделившиеся из изучаемого БОУ, оказали стимулирующее влияние лишь на растения картофеля раннеспелого сорта Latona, которые сформировали столоны до наступления периода избыточного увлажнения, однако полностью достигнуть стандартного размера клубней им также не удалось. Повышение продуктивности растений отмечено только при наибольшей дозе внесения БОУ вразброс за счет увеличения массы клубней в кусте.

По мнению ряда исследователей (Власюк и др., 1968; Якименко, Терехова, 2011; Врагова, 2013), органическое вещество торфа является

источником не только элементов минерального питания растений, но и различных метаболитов, химически и, особенно, физиологически активных веществ. Созданные на их основе гуминовые препараты и удобрения характеризуются сорбционными и мелиоративными свойствами, а также длительным действием и высокой биологической активностью, активизируют деятельность микроорганизмов, влияют на миграцию питательных веществ, стимулируют процессы дыхания, синтеза белков и углеводов и ферментативную активность.

Для оценки биологической активности изучаемых в полевых условиях БОУ с различными сидератами были проведены модельные эксперименты, результаты которых подтвердили положительное влияние биоорганического удобрения на проростки тестируемых растений (табл. 2). По показателю энергии прорастания наиболее благоприятное воздействие выявлено при проращивании семян гороха (превышение над контролем составило 21,0…50,0%). При проращивании семян ячменя данный показатель превысил контроль только под воздействием БОУ с озимой рожью (на 40%).

Таблица 2. **Влияние БОУ на энергию прорастания и всхожесть семян различных культур**

БОУ с сидератами	Энергия прорастания, %	Длина ростка, см	Длина корешка, см
Ячмень			
Контроль	30	10,9±3,8	10,4±3,1
Озимая рожь	42	14,1±3,2*	10,8±2,9
Викоовсяная смесь	30	14,6±2,8*	7,0±1,3*
Горчица белая	30	14,5±2,8*	6,3± 2,3*
Горох			
Контроль	56	1,2±0,5	4,5±1,3
Озимая рожь	68	5,5±4,3*	9,9±6,1*
Викоовсяная смесь	84	8,4±3,4*	11,8±4,2*
Горчица белая	68	8,8±3,8*	13,7±3,9*

Примечание: * – достоверное отклонение от контроля при 5%-м уровне значимости.

При определении морфологических показателей проростков (длины ростка и длины корешка) на 7-й день эксперимента было выявлено, что использование всех изученных сидератов способствовало достоверному увеличению длины ростка у обеих культур. Увеличение длины проростка семян ячменя составило 29,6…33,9%, причем наибольшие показатели отмечены в варианте с применением викоовсяной смеси в качестве сидератов для БОУ. По

показателю длины корешка получены иные результаты: незначительная стимуляция наблюдалась лишь в варианте с применением озимой ржи, в остальных вариантах установлено уменьшение длины зародышевого корешка. Возможно, это связано с явлением аллелопатических взаимодействий между корневыми выделениями горчицы белой и ячменя, что требует дальнейшего изучения. При проращивании на субстратах семян гороха выявлено достоверное положительное влияние по обоим показателям. Наибольший стимулирующий эффект отмечен в варианте с применением горчицы белой: на 7,6 см по показателю длины ростка и на 9,2 см по показателю длины корешка.

В целом биоорганическом удобрение оказало благоприятное влияние на прорастание семян различных культур, которое выразилось в увеличении энергии прорастания и стимуляции ростовых процессов.

Таким образом, проведенные исследования по изучению возможности использования местных биоорганических удобрений на основе торфа показали, что такие удобрения при благоприятных условиях способствуют повышению продуктивности клубней картофеля.

Список литературы

1. Алексеева Т. П., Перфильева В. Д., Криницын Г. Г. Комплексные органо-минеральные удобрения пролонгированного действия на основе торфа // Химия растительного сырья. 1998. № 4. С. 53–58.

2. Савич В. И. Энергетическая оценка плодородия почв. М., ВНИИА, 2007. 500 с.

3. Зенова Г. М., Степанов А. Л., Лихачева А. А., Манучарова Н. А. Практикум по биологии почв: Учебное пособие. М.: МГУ, 2002. 120 с.

4. Власюк П. А., Хоменко А. Д., Мельничук П. П. Значение некоторых метаболитов и органических веществ для улучшения условий питания растений // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Киев, 1968. Ч. 3.

5. Врагова Е. В. Удобрения из местного сырья для сельскохозяйственных культур Западной Сибири // Инновация и жизнь. 2013. № 5(7). С. 50–58.

6. Якименко О. С. Гуминовые препараты и оценка их биологической активности для целей сертификации // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1334–1343.

INFLUENCE OF CARBONIZED BIOMASS ON GREENHOUSE GASES EMISSIONS FROM SOIL

I. M. Mukhina

Agrophysical Research Institute

Carbonization of organic wastes and their application to soils for carbon sequestration can be a solution for the problem of the growing concentration of greenhouse gases in the atmosphere. Biochar and hydrochar are different products of the carbonization were investigated in this research to determine their influence on CO_2 and N_2O emissions from soils.

Introduction

Climate change is closely related to the global emissions of anthropogenic greenhouse gases (GHGs) (Safonov, 2004). In the agricultural sector over the past 50 years, the volume of greenhouse gas emissions has doubled and continues to grow (FAO, 2014). The most important GHGs are CO_2, N_2O and CH_4. Usage of mineral fertilizers caused significant increase of N_2O emissions from sois. According to different estimates, agricultural soils account for 40–60% of the total amount of N_2O that enters the atmosphere of our planet from all existing sources (Smith et al., 2010, Buchkina et al., 2012). Recently scientists proposed the idea of utilizing organic biomass residues of agriculture and forestry by carbonization and application of the obtained chars to soil with aim to sequester carbon and, therefore, reduce CO_2 concentration in the atmosphere. There are many ways of carbonization of biomass which influence on properties of the end products. The most popular are pyrolysis and hydrothermal carbonization. Biochar is the product of pyrolysis. The carbonized materials obtained by pyrolysis have an aromatic form of structure, are a stable carbonaceous material with a decomposition rate of 100 or more years, and serve as a means of sequestering carbon in the soil (Yanai et al., 2007). Hydrochar or HTC char is the product of hydrothermal carbonization with a decomposition rate of decades of years (Libra et al., 2011).

Prospects for the use of carbonized materials (biochar and hydrochar) in agriculture and assessment of the risks from their sequestration in soils remain to this day open, relevant in the world, and require additional long-term studies. The aim of

this study was to investigate biochar and hydrochar influence on CO_2 and N_2O emissions from soils.

Materials and Methods

I. Laboratory and field experiments were carried out to evaluate the effect of biochar application on CO_2 and N_2O emissions from soils.

Experiments were conducted on loamy sand Spodosol soil located at the Gatchina district of Leningrad region (59°25′N, 30°01′E). Biochar for the experiments was produced by fast pyrolysis of wood residues (birch, alder, aspen) under temperature ~550°C with 82.5% of C, 2.7% of N and pH 7.0.

To investigate the effect of biochar on emission of carbon dioxide was conducted 60-day laboratory experiment. Soil samples were placed in 3 l vessels with hermetically sealed caps with mounted three-way caps for sampling air from the vessels. Biochar was added to soil treatments at the rate of 5 t ha^{-1}. Also, clover was added to some treatments as additional source of nitrogen. Samples of soil air were taken into glass bottles and further analysis was performed on a gas chromatograph to determine the content of CO_2 and N_2O in the samples.

To investigate the effect of biochar on N_2O emissions and yield was conducted 3-years field experiment. Twenty vessels of 22 l without a bottom were set in medium and highly cultivated loamy sand Spodosol. Biochar was added to treatments at the rate of 12 t ha^{-1}. Urea was added to some treatments at the rate 90 kg N ha^{-1} as additional source of nitrogen. Cultivated crops: 2012 – barley (Hordeum vulgare L.) with perennial grasses (Phleum pratense L. and Trifolium pratense L.); 2013 – perennial herbs of 1st year of use; 2014 – perennial grasses of 2nd year of use. Air sampling was carried out weekly during the vegetation season from May to September using closed chamber method. Measurement of the N_2O concentration in air samples was carried out using a gas chromatograph Carlo Erba Strumentazione 4130 (Italy).

II. Samples of typical soil were taken in western Germany (49°19′N, 8°18′E) The soil is classified as sandy loam. For the incubation experiment, the following five materials were used: (1) rice husk; (2) HTC char produced at a

temperature 200 °C, unwashed; (3) HTC char produced at a temperature 200 °C, washed with acetone; (4) HTC char produced at a temperature 300 °C, unwashed; (5) HTC char produced at a temperature 300 °C, washed with acetone. Char material was produced via HTC of rice (Oryza sativa L.) husk at 200 °C and 300 °C with residence time of 6h. Part of the obtained hydrochars and rice husk was washed with acetone and water to remove dissolvable compounds, which might be toxic (Chakrabarti et al., 2014). Amount of the amendments differed and was calculated from the soil and the amendment C content with the aim to increase the soil C concentration from 0.5% to 2.5% C.

For the incubation experiment bulk soil and the mixtures of soil and soil amendment, were incubated in 125 ml bottles, screwed shut with gas-tight butyl rubber stoppers. Weekly soil air samples were taken into glass bottles and further were analyzed on CO_2 and N_2O concentrations using gas chromatograph Shimadzu GC-2010 (Japan).

Results

I. The results of our studies showed that the use of biochar did not cause significant changes in cumulative CO_2 emissions from medium and highly cultivated soil, compared to its emission from the soil in control variants (Fig. 1).

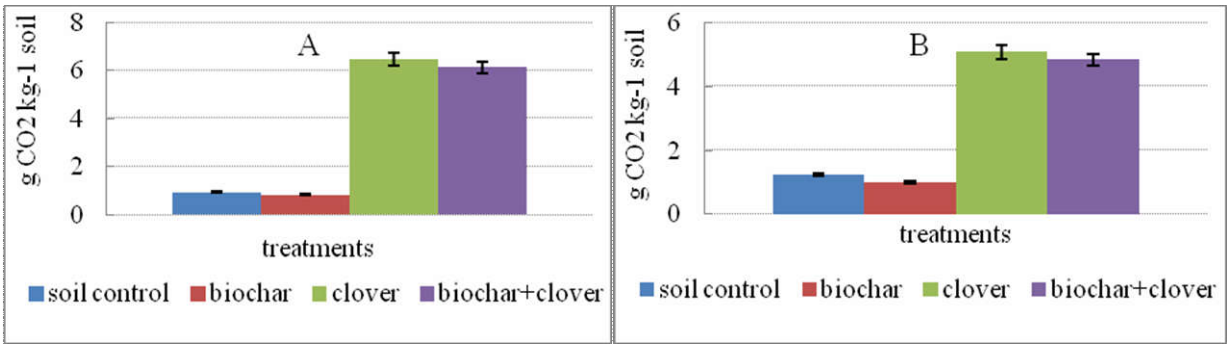


Fig. 1. Cumulative CO_2 emission from the loamy sand Spodosol with middle (A) and high (B) level of fertility.

The cumulative emission of carbon dioxide from the soils on day 32 in the treatment of medium-cultivated soil with biochar was 1.1 times lower than in the control treatment. For highly cultivated soil, the emission reduction when biochar was applied was 1.3 times in comparison with the control treatment. A significant increase in CO_2 emission from both soils was caused only by the introduction of

readily available clover residues or by the joint application of clover and biochar residues. The introduction of the biochar together with the clover did not result in a change in the cumulative CO_2 flux from the soils, compared to the treatment of soil with clover only.

The results of our studies showed that the use of biochar was reducing cumulative N_2O emissions from medium and highly cultivated soil during 3 years of the experiment, compared to its emission from the soil in control variants and soil with mineral fertilizer by an average of 1.3 times. (Fig. 2).

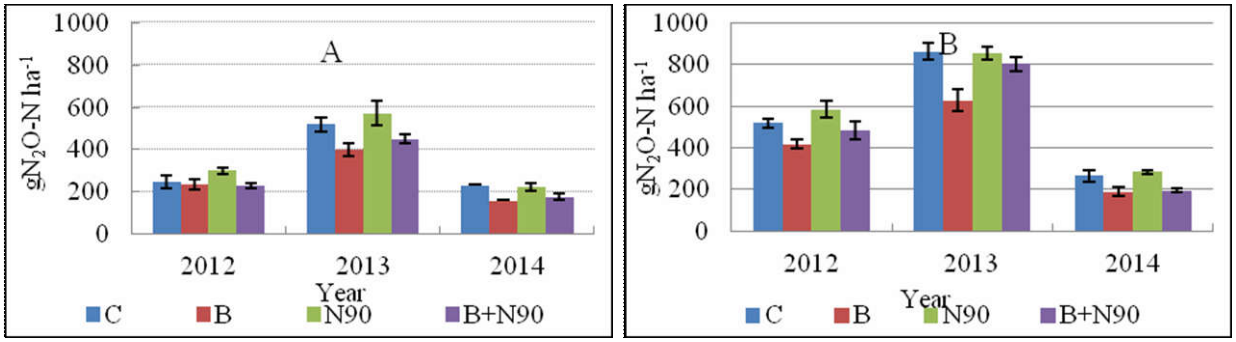


Fig. 2. Cumulative N_2O emission from the loamy sand Spodosol with middle (A) and high (B) level of fertility. Treatments: C – soil control, B – soil + biochar, N90 – soil + nitrogen fertilizer, B+N90 – soil + biochar + nitrogen fertilizer.

II. Our incubation experiment aimed at creating conditions whereby HTC char may reduce CO_2 emissions (Fig. 3). However, treating of rice husk via hydrothermal carbonization did not result in stabilization of the feedstock and subsequent decrease of CO_2 emission. Washing of HTC chars with acetone, as was hypothesized, helped to decrease amount of degradable carbon in hydrochars and, therefore, caused decrease in CO_2 emissions.

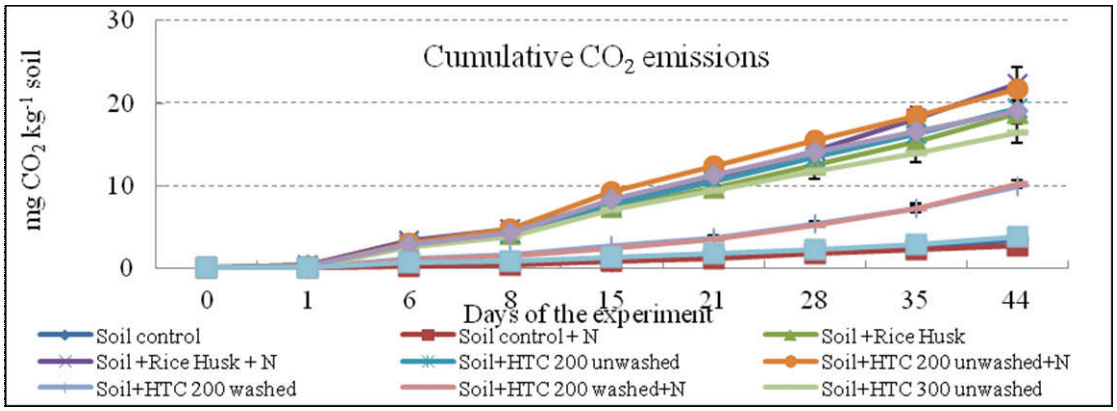


Fig. 3. Average CO_2 emission from the sandy loam soil.

N_2O emissions from mixtures with uncarbonized feedstock was higher than from mixtures with HTC chars (Fig. 4). Washing of HTC chars helped to significantly decrease N_2O emissions in comparison with emissions caused by rice husk addition to soil. Adding of N-fertilizer did not cause increase in N_2O emissions in all treatments.

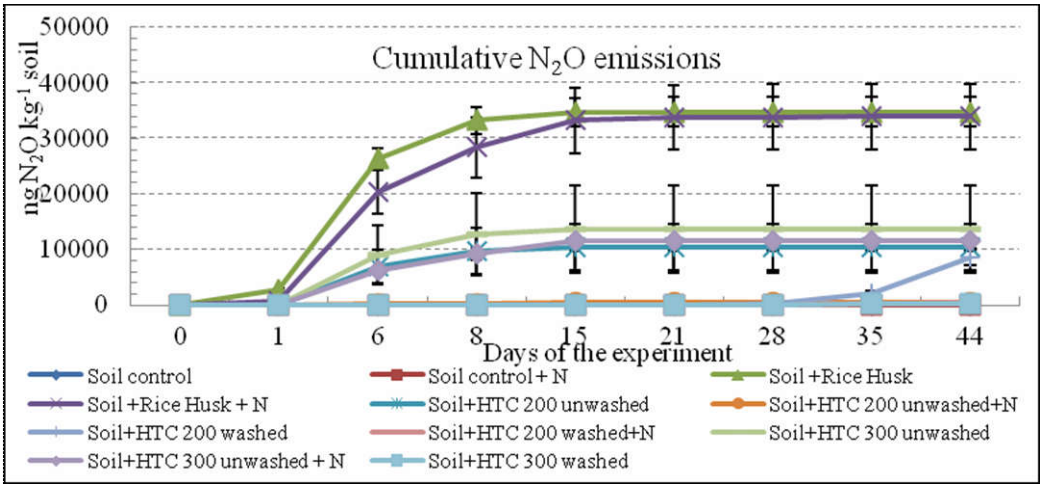


Fig. 4. Average N_2O emission from the sandy loam soil.

Washed HTC char produced at 300°C had the lowest emissions of CO_2 and N_2O in soil mixtures which were close to the control treatment. Thus, it can be implied that higher HTC process temperature and washing of hydrochars with acetone improved its properties and stability.

References

Растворова, О. Г., Андреев, Д. П., Гагарина, Э. И. Химический анализ почв: Учебное пособие. СПб., Изд-во СПбГУ, 1995. 264 с.

Сафонов Г. В. Управление выбросами парниковых газов в России: региональные проекты и инициативы бизнеса. М., Центр экологической политики России, 2004.

Libra J. A., Ro K. S., Kammann C. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis // Adv. Biofuels. 2011. № 2. pp. 89–124.

Smith K.A., Ball T., Conen F. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere, interactions of soil physical factors and biological processes // European Journal of Soil Science. 2003. № 54 pp. 779–791.

Yanai Y., Toyota K., Okazaki M. Effects of charcoal addition on N_2O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments // Soil Sci. Plant Nutr. 2007. № 53(2). pp. 181–188.

УЯЗВИМОСТЬ И АДАПТАЦИЯ ПОЛЕВОДСТВА В РЕГИОНАХ РОССИИ К ФАКТОРАМ АТМОСФЕРНОЙ ЗАСУХИ И ИЗБЫТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

М. В. Николаев

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ),

195220, Санкт- Петербург, Гражданский пр.,14

Рассматриваются основные сельскохозяйственные регионы России, относящиеся к зоне сухого земледелия и к Нечерноземью с характерным для него влажным климатом. Оценка региональной уязвимости к факторам атмосферной засухи и избыточного увлажнения основывается на сравнении низких и высоких значений гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова и их повторяемости на временных интервалах, начиная с середины прошлого столетия. На основе функционального анализа показан изменяющийся вклад влажностного и термического факторов в степень засушливости или переувлажнения на региональном уровне. С помощью кригинга картируются временные изменения границ уязвимых сельскохозяйственных территорий. Обсуждаются возможности адаптации полеводства в засушливых и переувлажненных регионах к изменяющимся климатическим условиям.

VULNERABILITY AND ADAPTATION OF CROP FARMING TO DROUGHT AND EXCESSIVE MOISTURE EFFECTS UNDER CLIMATE CHANGE (MAJOR AGRICULTURAL REGIONS OF RUSSIA)

M. V. Nikolaev

Agrophysical Research Institute,

14, Grazhdanskiy pr., St. Petersburg, 195220

The main agricultural regions of Russia, relating to the dry farming zone and to the Nechernozem region with its characteristic wet climate are considered. Assessment of regional vulnerability to the factors of atmospheric drought and excessive moisture is based on the comparison of low and high values of the hydrothermal coefficient GT Selyaninov and their recurrence at time intervals, starting from the middle of the last century. On the basis of functional analysis, the changing contribution of humid and thermal factors to the degree of aridity or overmoistening at the regional level is shown. With kriging, temporary changes in the boundaries of vulnerable agricultural areas are mapped. The possibilities of adaptation of field crop cultivation in arid and waterlogged regions to changing climatic conditions are discussed.

Засухи и атмосферное переувлажнение являются факторами, приводящими к значительным потерям конечного урожая (а иногда даже к гибели посевов) на больших площадях. В зоне сухого земледелия России весенне-летняя засуха наносит особенно ощутимый ущерб посевам яровых

зерновых, в т.ч. твердой пшеницы (T. Durum), в то время как в Нечерноземье из-за избытка атмосферной влаги часто наблюдается полегание озимых и яровых злаков.

По оценкам МГЭИК, следует ожидать расширения территорий, уязвимых к засухам и переувлажнению (CLIMATE CHANGE Synthesis Report, 2014). В свою очередь, это неминуемо приведет к увеличению частоты связанных с данными факторами агробиологических рисков (табл. 1). В качестве агроклиматических индикаторов засушливости и переувлажнения использованы градации низких и высоких значений гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова (ГТК), предложенные российскими агрометеорологами Е. К. Зоидзе и А. Д. Пасечнюком (Гордеев и др., 2007; Пасечнюк, 1990).

Таблица 1. **Риски, связанные с эффектами засухи и атмосферного переувлажнения**

Риск для зерновых культур	Агроклиматический критерий возникновения
экстремальная засуха	$\boldsymbol{ГТК_{V\text{-}VI} =< 0{,}19}$
сильная засуха	$\boldsymbol{0{,}20 =< ГТК_{V\text{-}VI} =< 0{,}39}$
умеренная засуха	$\boldsymbol{0{,}40 =< ГТК_{V\text{-}VI} =< 0{,}60}$
слабая засуха	$\boldsymbol{0{,}61 =< ГТК_{V\text{-}VI} =< 0{,}75}$
раннее корнево-стеблевое полегание*	$\boldsymbol{ГТК_{V\text{-}VI} >= 1{,}8}$
корнево-стеблевое полегание в обычные сроки**	$\boldsymbol{ГТК_{VII} >= 1{,}8}$

*хотя впоследствии растения выпрямляются, к сроку уборки такие посевы почти всегда полегают; ** в Нечерноземной зоне – межфазный отрезок « цветение – восковая спелость», приходящийся на июль.

Исходной информацией для исследования явились временные ряды средних месячных значений температуры воздуха и помесячных сумм осадков, составленные на основе длительных непрерывных данных 52-х станций. Затем исходные ряды были преобразованы в ряды сумм осадков, сумм температур и соответственных значений ГТК и отфильтрованы для получения последовательности лет, отвечающих условиям засушливости и переувлажнения.

Вклад влажностного и термического факторов в степень засушливости или переувлажнения (характеризующуюся диапазонами значений ГТК)

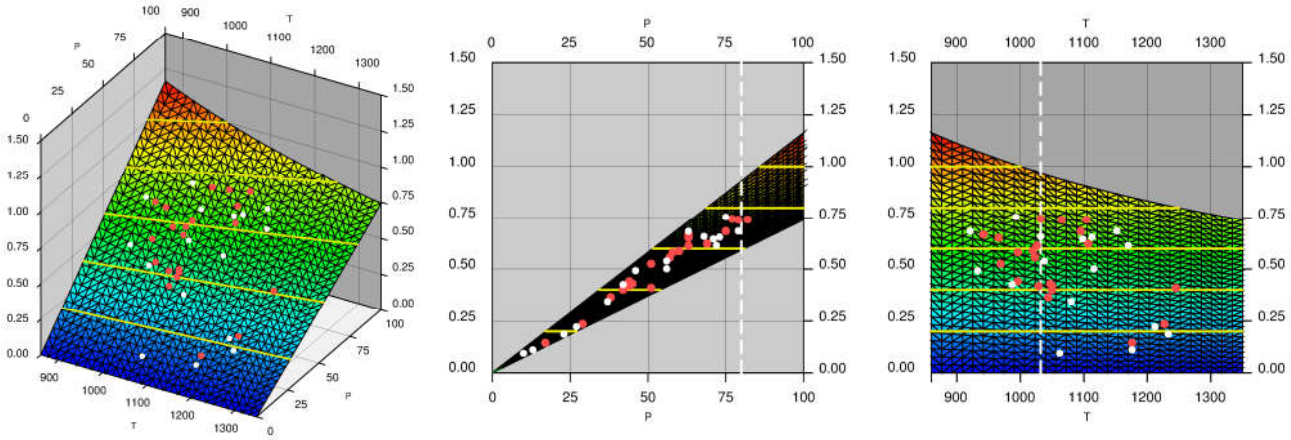
оценивался с помощью функционального анализа. ГТК как функция от двух переменных (сумм осадков и сумм температур за выбранные месяцы) представлялся в виде поверхности. Оценка вклада каждого из факторов в величину ГТК, а также изменение соотношения такого вклада во времени осуществлялись при помощи проецирования поверхности на соответствующую плоскость.

Так, на рис. 1 показан изменяющийся вклад влажностного и термического факторов в величину низких значений $\boldsymbol{ГТК}_{\boldsymbol{V\text{-}VI}}$ для агрометеостанции «Безенчук» (зона сухого земледелия). На поверхности (рис. 1а) в виде поля точек разного цвета нанесены такие значения $\boldsymbol{ГТК}_{\boldsymbol{V\text{-}VI}}$ для двух интервалов: 1945–1979 гг. и 1980–2014 гг. Также проведены изолинии значений $\boldsymbol{ГТК}_{\boldsymbol{V\text{-}VI}}$, разграничивающие диапазоны появления экстремальной, сильной, умеренной и слабой засухи. На рис. 1б и рис. 1в показаны проекции данной поверхности на плоскость, отражающие тесную связь значений ГТК с каждым из факторов. Преобладание в семействах точек, относящихся к первому и второму интервалам, и их сдвиг являются показателем изменения вклада влажностного и термического факторов. Можно проследить возрастающую повторяемость экстремально низких значений $\boldsymbol{ГТК}_{\boldsymbol{V\text{-}VI}}$ на интервале 1980–2014 гг., что соответствует учащению экстремумов низких сумм осадков, сопровождаемых суммами температур выше среднего многолетнего показателя.

Пространственно-временной анализ изменения частоты засух (в % лет) показал, что в сухостепной и степной зонах Заволжья и южного Урала экстремальные и сильные засухи стали возникать в 1,5–2 раза чаще на интервале 1980–2014 гг. по сравнению с предыдущими десятилетиями вследствие возрастающего вклада очень низких осадков в величину ГТК. Но экстремальные засухи практически всегда сопровождаются повышенным температурным фоном. Одновременно в северной лесостепи повторяемость умеренных и слабых засух возросла в 1,5–3 раза за счет вклада в ГТК повышающихся сумм температур при наблюдаемом увеличении количества осадков. В ЦЧР и Предкавказье, наоборот, отмечается ослабление засушливости. Это выражается в отсутствии экстремальных засух и резком сокращении процента лет с сильными засухами на интервале 1980–2014 гг. Однако умеренные засухи здесь всегда возникают при суммах температур выше их среднего многолетнего показателя (Николаев, 2016).

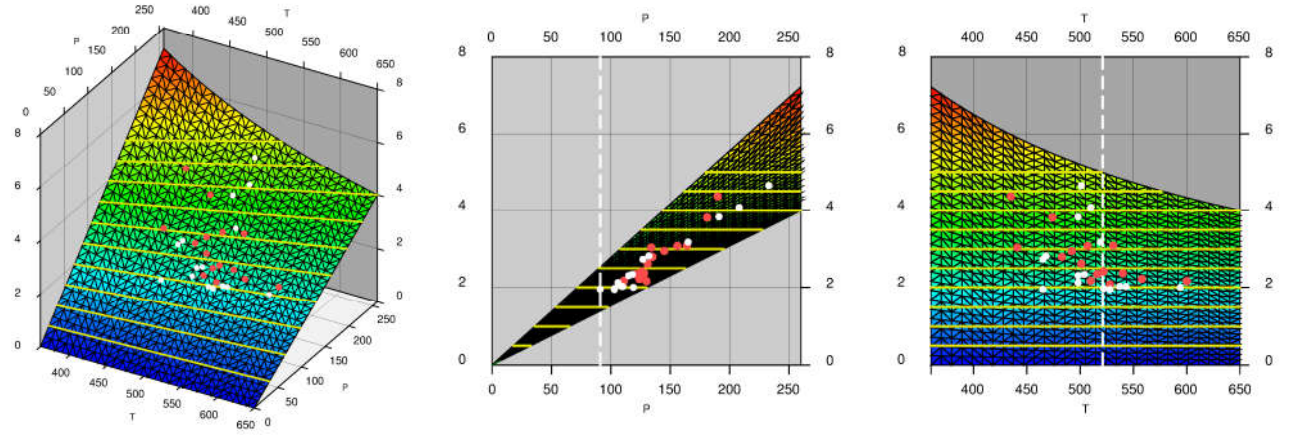
Функциональный анализ также применен для высоких значений ГТК, характеризующих избыточное увлажнение, приводящее к полеганию посевов в западной и северной частях европейского Нечерноземья. На рис. 2 показан изменяющийся вклад влажностного и термического факторов в величину высоких значений $\boldsymbol{ГТК_{VII}}$ для агрометеостанции «Смоленск». Для удобства сравнения интенсивности полегания изолинии высоких значений $\boldsymbol{ГТК_{VII}}$ на рис. 2а проведены с шагом 0,5; при этом поле точек снизу ограничивается пороговым значением $\boldsymbol{ГТК_{VII} = 1{,}8}$. Рис. 2б иллюстрирует изменение вклада высоких осадков в величину $\boldsymbol{ГТК_{VII}}$ на интервалах 1945–1979 гг. и 1980–2014 гг. Прослеживается усиливающийся вклад возрастающих сумм осадков на интервале 1980–2014 гг. Это отражается в усилении связи между влажностным фактором и ГТК при одновременном снижении остаточной дисперсии. На том же интервале отмечается экстремум осадков в июле для всего 70-летнего периода, которому отвечает максимальное значение $\boldsymbol{ГТК_{VII}}$. Рис. 2в иллюстрирует вклад сумм температур. Поле точек смещено в сторону уменьшения их величин, что соответствует наблюдаемым случаям полегания посевов, которое обычно происходит на фоне пониженных температур.

Сравнительный анализ частоты полегания на двух интервалах показал, что на интервале 1980–2014 гг. повторяемость лет с умеренным корнево-стеблевым полеганием ($1{,}8 =< \boldsymbol{ГТК_{VII}} = <2{,}5$) в западных областях Центрального района возросла в 1,4 раза, а областях Северо-Запада – в 1,7 раза. Годы с сильным корнево-стеблевым полеганием ($2{,}5 < \boldsymbol{ГТК_{VII}} =< 3{,}5$) в восточной части Северо-Западного района участились более, чем вдвое. В некоторых западных и северных областях также выявляются годы со значениями $3{,}5 < \boldsymbol{ГТК_{VII}} =< 4{,}6$, которые составляют 3% лет. Характерно, что на интервале 1980–2014 как в западной, так и в северной части европейского Нечерноземья отмечаются экстремально высокие суммы июльских осадков за весь 70-летний период. Например, в Котласе (61,2° N; 46,7° E) их максимум на данном интервале достиг 250 мм, превысив на 62 мм соответствующий максимум на интервале 1945–1979 гг.



а) б) в)

Рис. 1. Низкие значения ГТК за май–июнь, Безенчук (степное Заволжье), 50,0° N; 48,4° E. 70-летние средние: $\Sigma P = 79$ мм; $\Sigma T = 1024$°C:
а) трёхмерное изображение $ГТК_{V–VI}$; б) проекция, показывающая вклад сумм осадков; в) проекция, показывающая вклад сумм температур.
Точки: красный цвет – интервал 1945–1979 гг.; белый цвет – интервал 1980–2014 гг.



а) б) в)

Рис. 2. Высокие значения ГТК за июль, Смоленск (западное Нечерноземье), 54,5° N; 32,3° E. 70-летние средние: $\Sigma P = 91$ мм; $\Sigma P = 521$°C:
а) трёхмерное изображение $ГТК_{VII}$; б) проекция, показывающая вклад сумм осадков; в) проекция, показывающая вклад сумм температур.
Точки: красный цвет – интервал 1945–1979 гг.; белый цвет – интервал 1980–2014 гг.

Для картирования уязвимых территорий применен кригинг, эффективно используемый в ГИС-системах даже в случаях ограниченного объема данных. С помощью данного алгоритма интерполяции построены карты, иллюстрирующие мониторинг площадей, подверженных засухам и полеганию разных интенсивностей, в виде изолиний повторяемости лет с такими рисками на 30-летних интервалах со сдвигом на пять лет, начиная с середины прошлого столетия.

Рис. 3 иллюстрирует изменение конфигурации территорий с разной повторяемостью экстремальной засухи в мае–июне (**$ГТК_{V-VI}$ =< 0,19)** в основной зоне выращивания твердой яровой пшеницы. Последовательность карт показывает значительное расширение зоны, где повторяемость такой засухи составляет более 5% лет, а также образование замкнутых областей с ее повторяемостью более 8% лет и более 11% лет. Кроме того, прослеживается общее смещение уязвимых к экстремальной засухе пространств к северу – из сухостепного Заволжья по направлению к югу Башкортостана.

Представленные на рис. 4 карты иллюстрируют изменение конфигурации территорий с разной повторяемостью раннего корнево-стеблевого полегания, возникающего в мае- июне(**$ГТК_{V-VI}$ >= 1,8)**. Их сравнение свидетельствует о расширении зоны с повторяемостью раннего полегания более 35% лет и ее смещение к северу от 60°N в восточной части европейского Нечерноземья. Внутри данной зоны также прослеживается образование замкнутых областей с повторяемостью раннего полегания более 45% лет, которые располагаются в пределах Смоленской области и запада Вологодской области.

Таким образом, приведенные построения и оценки позволяют сделать следующие выводы:

- в последние десятилетия наблюдается учащение маргинальных значений ГТК, отражающих усиление либо засушливости, либо переувлажнения в уязвимых сельскохозяйственных регионах, т. е. условия для выращивания культур в них отличаются большей экстремальностью;
- прослеживается расширение уязвимых к засухе и атмосферному переувлажнению территорий при одновременном их смещении к северу под воздействием изменяющегося вклада влажностного и термического факторов;
- в изменяющемся климате обнаруживается нарастающий контраст между крайне засушливыми и крайне переувлажненными регионами, что увеличивает рискованность земледельческой практики в отличающихся по климату сельскохозяйственных зонах России.

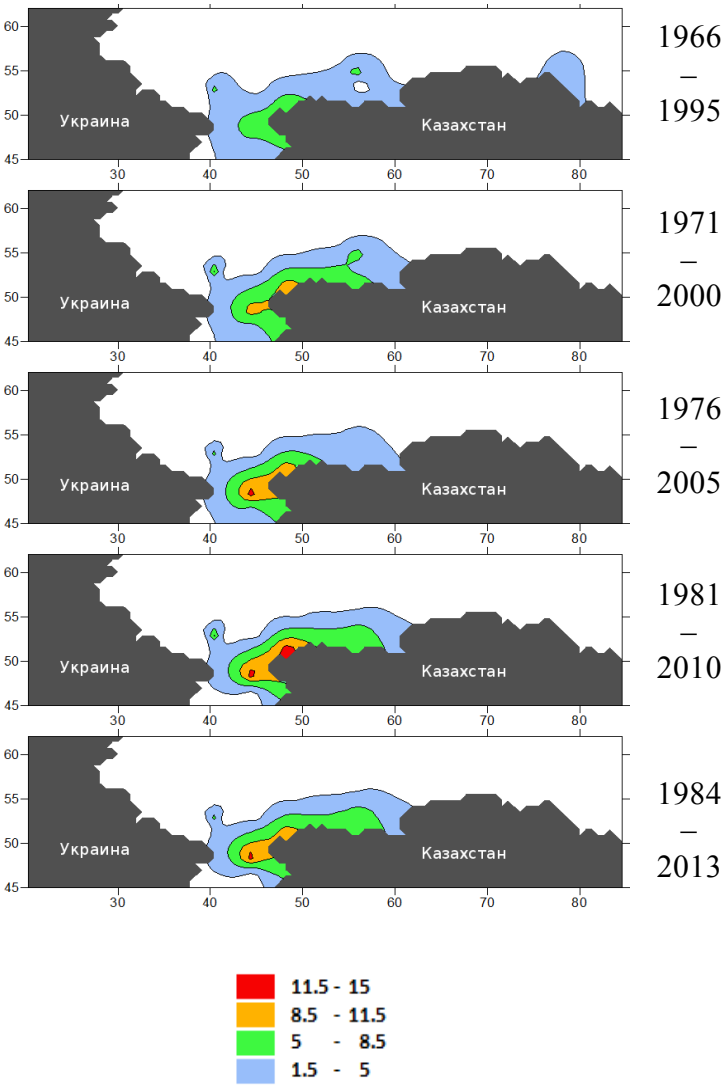


Рис. 3. Изменение конфигурации территорий с разной повторяемостью **экстремальной засухи (% лет) в мае – июне** в зоне выращивания T. Durum.

Рис. 4. Изменение конфигурации территорий с разной повторяемостью **раннего полегания (% лет) в мае – июне** в зоне выращивания озимой ржи.

Поскольку факторы засухи и избыточного увлажнения являются климатически обусловленными, адаптация регионального полеводства к их эффектам может осуществляться через управление связанными с ними агробиологическими рисками в целях минимизации потерь площадей и повышения продуктивности земель сельскохозяйственного назначения.

Для засушливых регионов такое управление может осуществляться посредством:

- рационального размещения посевов за счет расширения площадей под сорта, толерантные к водному стрессу и высоким температурам;

- эффективного применения в сухостепных районах снегозадержания с учетом наблюдаемого увеличения зимних осадков;
- эффективного использования в степных и лесостепных районах агролесомелиорации, способствующей снегонакоплению и уменьшению испарения;
- оптимизации оросительной сети, способов орошения и режимов полива.

Для избыточно увлажненных территорий оно может включать:

- оптимальное размещение посевов с учетом особенностей рельефа (путем их смещения из зон с застойным водным режимом или затрудненным поверхностным стоком);
- селекцию высокопродуктивных сортов, обладающих повышенной устойчивостью стебля к механическим нагрузкам;
- усиление фитосанитарного контроля численности видов вредоносных организмов, которые активизируются в избыточно влажных условиях;
- повышение эффективности дренажных систем для отвода талых и ливневых вод.

Список литературы

Гордеев А. В., Клещенко А. Д., Черников Б. А., Сиротенко О. Д., Темников В. Н., Усков И. Б., Зоидзе Е. К. и др. Биоклиматический потенциал России: методы мониторинга в условиях изменяющегося климата / Под. ред. А. В. Гордеева. М., Россельхозакадемия, 2007. С. 35–57.

Николаев М. В. Оценка изменяющегося вклада влажностного и термического факторов в засушливость территорий Европейской части России и Западной Сибири // Агрофизика. 2016. № 4. С. 24–34.

Пасечнюк А. Д. Погода и полегание зерновых культур. Л., Гидрометеоиздат, 1990. 212 с.

CLIMATE CHANGE 2014 Synthesis Report / Edited by The Core Writing Team, Rajendra K. Pachauri, Leo Meyer. WMO, Geneva, 2014. 132 p.

ЭМИССИЯ ЗАКИСИ АЗОТА ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ПОСЛЕУБОРОЧНЫХ ОТХОДОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА В ПОЧВЕ

Е. Я. Рижия, И. М. Мухина, Н. П. Бучкина, Е. В. Балашов

ФГБНУ «Агрофизический научно- исследовательский институт» (АФИ),

195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

Рассмотрено влияние запашки некоторых растительных отходов растениеводства на эмиссию закиси азота. Установлено, что заделка отходов с узким отношением C/N (<25) существенно ($p<0,001$) увеличивала эмиссию N_2O в отличие от заделки отходов с широким отношением C/N. Совместное внесение биоугля с растительными отходами оказалось благоприятной агротехнологией: наблюдались высокие урожаи культур при низких эмиссиях N_2O из почвы.

NITROUS OXIDE EMISSION FROM SOILS AMENDED WITH PLANT WASTE MATERIALS

E. Ya. Rizhiya, I. M. Mukhina, N. P. Buchkina, E. V. Balashov

Agrophysical Research Institute,

14, Grazhdanskiy pr., St. Petersburg

The problem of recycling and remediation of agricultural wastes is transcontinental. Improper handling and storage of the plant wastes makes a relatively high contribution to greenhouse gas (GHG) emissions. The consequent realization of sustainability requires reuse of plant wastes, which mainly are applied on or incorporated in soils. Particular attention is paid to nitrous oxide emission from soils with post-harvest residues (straw and stubble grains, stems of sunflower and maize and industrial crops, potato pulp, legume grass, hay and silage waste, etc.), as well as wood waste (shrubs, low-grade trees, bark, sawdust, chips, etc.). To investigate the influence of plant wastes decomposition in soils on N_2O emission, laboratory and field incubation experiments were carried out. The influence of plant wastes with a wide C/N ratio (>25): perennial grass grasses (41), spring wheat straw (69) and with a narrow C/N ratio (<25): red clover (15), white cabbage (21), narrow-leaved lupine (18) was studied. The incorporation of all wastes into the soil resulted in a significant ($p<0.001$) increase in N_2O emissions compared to soils without residues. The grasses and straw provided accumulation of mineral forms of N in the soil and the cumulative N_2O emission did not exceed the critical values of the fixed IPCC emission factor of 1.25%. The composting of crop residues with a narrow C/N ratio exceeded the critical value of the emission factor by 1.3–2.0 times. Since the beginning of the 2000s it has been proposed to transfer to biochar plant biomass which for various reasons cannot be directly used in agriculture. Application of biochar to soils alters physical and chemical properties, which affecting the activity of microorganisms controlling the flows of C and N. In our field experiments were investigated that biochar can significantly ($p<0.05$) increase the content of mineral nitrogen in sandy loam Spodosol amended with plant wastes, and significantly ($p<0.05$) reduce N_2O emission from the soil. Amendment of biochar to soil also did not cause significant changes in the cumulative CO_2 emissions.

Проблема утилизации и рекультивации отходов сельского хозяйства и их эффективного использования является трансконтинентальной, в том числе и для Российской Федерации, поскольку она связана с дополнительными финансовыми расходами и затратами. Возрастающий спрос населения на сырьевые товары и сокращение количества посевных площадей в нашей стране с 1990 г. обусловили необходимость проведения интенсификации сельскохозяйственного производства как наиболее эффективного пути увеличения производства сельскохозяйственной продукции. Однако интенсификация привела не только к росту количества продукции на единицу земельной площади, но и к увеличению количества отходов и их воздействия на компоненты окружающей среды (Хапаев, 2013). Отходы сельскохозяйственного производства – это материальные остатки производственного процесса (любого растительного сырья и его производных), которые потеряли свою потребительскую стоимость и не могут быть использованы по прямому назначению. Особое внимание уделяется послеуборочным остаткам (солома и стерня зерновых, стебли подсолнечника и кукурузы и технических культур, картофельная мезга, трава бобовых культур, отходы сенажа и силоса и т. д.), а также древесным отходам (кустарники, низкосортные деревья, кора, опилки, щепа и другие отходы). Парадоксально, что в XXI веке проблема утилизации данных остатков повсеместно решается традиционным способом – при помощи огня. Согласно постановлению Правительства РФ от 10.11.2015. № 1213 «О противопожарном режиме», запрещается выжигание сухой травянистой и древесной растительности на землях сельскохозяйственного назначения и землях запаса, также как их хранение, захоронение и обезвреживание без специальных установок (п. 218).

Известно, что агроэкосистемы играют одну из ведущих ролей в эмиссии парниковых газов в атмосферу, а пахотные почвы являются основным источником закиси азота (N_2O) (6-е национальное сообщение РФ, 2013). Данный газ, являющийся относительно инертным, обладает высокой способностью к экранированию инфракрасного излучения, отраженного с

поверхности Земли, и вносит вклад в глобальное явление саморазогрева атмосферы (в 310 раз больше, чем диоксид углерода) (Кудеяров, 1999). Запахивание послеуборочных остатков оказывает существенное влияние на эмиссию N_2O по сравнению с естественными экосистемами (Rizhiya et al., 2008; Рижия и др., 2011). Как известно, если отношение C/N в пожнивных остатках ниже, чем у микроорганизмов, осуществляющих их гидролиз, то в почве наблюдается накопление минеральных форм азота, а в противоположном случае происходит иммобилизация минерального азота. Например, в злаковых остатках C/N достигает 70/1. После их запахивания в почву поступает избыточное количество доступного углерода и сравнительно небольшое количество доступного азота. Поступивший доступный углерод не используется микроорганизмами полностью для формирования биомассы, минерализуется ими до CO_2, тогда как минеральный азот иммобилизуется микроорганизмами и не доступен для жизнедеятельности культур (Baggs и др., 2000).

В полевых и лабораторных исследованиях изучалось влияние запашки пожнивных остатков в количестве 50% от остающегося после уборки на 1 га на эмиссию N_2O из дерново-подзолистой супесчаной почвы. Исследовалось влияние культур с широким отношением C/N (>25) – многолетние злаковые травы (41), солома яровой пшеницы (69) – и с узким отношением C/N (<25) – клевер красный (15), листья капусты белокочанной (21), люпин узколистный на сидерат (18). Для оценки прямых выбросов ПГ из почв использовался один из наиболее распространённых методов закрытых камер (Buchkina et. al., 2012). Отбор проб воздуха проводился в динамике. Анализ концентрации в пробах воздуха осуществлялся газохроматогрофическим методом на хроматографе, оснащенном детектором электронного захвата. Заделка всех культур с различным отношением C/N в почву приводила к достоверному ($p < 0.001$) увеличению эмиссии N_2O по сравнению с почвами без остатков. Заделка остатков многолетних трав и соломы яровой пшеницы оказалась благоприятным агротехническим приемом. Было установлено накопление

минеральных форм азота в почве, а эмиссия N_2O не превышала критических значений фиксированного IPCC эмиссионного фактора 1.25% (доля азота, выделившегося в форме закиси, от количества азота, внесенного в почву с растительными остатками) (Van Groeningen et al., 2010). Запашка пожнивных остатков с узким отношением C/N резко увеличивала содержание минерального азота в почве в течение первого месяца, но при этом существенно (0.001) превышала критическое значение эмиссионного фактора (Рижия и др., 2011). В связи с этим важно учитывать их количество, химический состав и скорость разложения во избежание высоких выбросов эмиссии N_2O в атмосферу.

По данным многочисленных наблюдений установлено, что чаще всего в почву вносится лишь 10–20% от всего объема послеуборочных растительных остатков. Между тем, масса накопления, например, соломы злаковых в России за год составляет 80–100 млн. тонн (Денисова, Тарасова, 2014). С начала 2000-х для сохранения и секвестрации С в почвах предлагается переводить растительную биомассу, которая по различным причинам не может быть напрямую использована в сельском хозяйстве, в биоуголь. Основной современный способ получения биоугля – пиролиз (термическая обработка при высоких температурах без доступа кислорода) (Verheijen et al., 2009). Так как в результате пиролиза происходит переход углеродных пулов биомассы в недоступную для микроорганизмов и растений ароматическую форму, то снижается скорость, с которой поглощённый растениями в ходе фотосинтеза углерод возвращается в атмосферу. Кроме того, внесение биоугля является средством изменения физических и химических условий в почве, влияющих на деятельность микроорганизмов, контролирующих потоки С и азота (N) в биосфере. Накопленные научные сведения свидетельствуют, что биоуголь в почве способствует улучшению плодородия, водно-физических свойств и охраны окружающей среды вследствие уменьшения потоков в атмосферу парниковых газов (Рижия и др., 2014).

В полевых и лабораторных исследованиях изучалось влияние биоугля, полученного быстрым пиролизом древесины при температуре 550°С, на

эмиссию N_2O из дерново-подзолистой супесчаной почвы. Было установлено, что биоуголь способен достоверно ($p < 0.05$) увеличить содержание минерального азота в дерново-подзолистой супесчаной почве и достоверно ($p < 0.05$) снизить эмиссию N_2O из почвы. Очень важно, что внесение биоугля не вызывало достоверных изменений в кумулятивной эмиссии CO_2 из исследуемой почвы, но приводило к достоверному ($p < 0.05$) снижению эмиссии N_2O из почвы, в которую вносились минеральные удобрения или запахивались сидераты как дополнительный источник азота для выращиваемых культур. Оценка состояния пула почвенного азота и эффективность его использования культурными растениями, которая рассчитывается по отношению кумулятивных потоков N_2O к урожаю, показала, что совместное внесение биоугля с дополнительным минеральным или органическим азотом является оптимальной агротехнологией: наблюдаются высокие урожаи культур при низких эмиссиях N_2O.

Таким образом, послеуборочные отходы в растениеводстве являются важнейшим ресурсом питательных элементов почвы и источником эмиссии N_2O. Правильное и рациональное использование данных отходов способно обеспечить ощутимый экономический эффект за счет повышения урожайности и внести вклад в совместные усилия мирового сообщества по предотвращению глобального изменения климата посредством сокращения объема выбросов парниковых газов.

Список литературы

1. Денисова А., Тарасова Т. В. Пеллеты – топливо будущего. Тезисы докладов научно-практической конференции «Развитие экологического производства в малом бизнесе как фактор повышения качества жизни». Пенза, 20 марта 2014 г. Пенз. гос. технол. универ. С. 156–158.

2. Кудеяров В. Н. Азотный цикл и продуцирование закиси азота // Почвоведение. 1999. № 8. С. 988–998.

3. Рижия Е. Я., Бойцова Л. В., Бучкина Н. П., Панова Г. Г. Влияние пожнивных остатков с различным отношением C/N на эмиссию закиси азота из дерново-подзолистой супесчаной почвы // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1251–1259.

4. Рижия Е. Я., Бучкина Н. П., Мухина И. М., Павлик С. В., Балашов Е. В. Применение биоугля в сельском хозяйстве Российской Федерации. Методические рекомендации. СПб., АФИ, 2014. 28 с.

5. Русакова И. В. Легко разлагаемое органическое вещество дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном использовании соломы. Тезисы международной научно-практической конференции «Теоретические и технологические основы воспроизводства плодородия почв и урожайность сельскохозяйственных культур», Москва, 01 января – 31 декабря 2012 г. С. 157–166.

6. Хапаев И. Б. Интенсификация сельскохозяйственного производства в условиях развития аграрного сектора на современном этапе рыночной экономики (теоретико-методологический обзор) // Вестник Уральского института экономики, управления и права. 2013. № 3 (24). С. 56–59.

7. Baggs E. M., Rees R. M., Smith K. A., Vinten A. J. A. Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues // Soil Use and Management. 2000. V. 16. pp. 82–87.

8. Buchkina N., Rizhiya E., Balashov E. N_2O emission from a loamy sand Spodosol as related to soil fertility // Archives of Agronomy and Soil Sciences. 2012. V. 58. pp. 141–146.

9. Rizhiya E. Y., Olenchenko E. A., Pavlik S. V., Balashov E. V., Buchkina N. P. Effect of mineral fertilizers on crop yields and N_2O emission from a loamy-sand Spodosol of North-Western Russia // Cereal Research Comunications. 2008. V. 36. pp. 1299–1302.

10. Van Groenigen J. W., Velthof G. L., Oenema O., Van Groenigen K. J., Van Kessel C. Towards an agronomic assessment of N_2O emissions: a case study for arable crops // European Journal of Soil Science, December 2010. № 61. pp. 903–913.

11. Verheijen F., Jeffery S., Bastos A.C., van der Velde M., Diafas I. Biochar application to soils, a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 2009. 149 p.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВ ВИНОГРАДНИКОВ ЮГА ТАМАНИ

Е. А. Черников

ФГБНУ «Северо-Кавказский зональный научно-исследовательский институт садоводства и виноградарства», г. Краснодар

Продемонстрированы проблемы развития деградационных процессов в почвах виноградников Анапо-Таманской зоны. Выявлены источники засоления почв и влияние условий изменения климата на интенсивность деградационных процессов.

В Анапо-Таманской зоне Краснодарского края 25000 из 65000 га земель, условно пригодных под виноградники, подвержены воздействию факторов, лимитирующих плодородие почв. Одним из указанных факторов является засоление. Наряду с усиливающейся интенсификацией производства на уровень почвенного плодородия оказывают влияние природные условия зоны возделывания (Бондарь, Попова, 2013).

За последние 20 лет, по данным метеостанции Темрюк, отмечается увеличение суммы осадков относительно среднемноголетних данных. Анализ атмосферных осадков с 1997 по 2016 гг. показал, что во все годы (за исключением 1999, 2011 и 2014 гг.) сумма осадков в течение года превышала средние многолетние показатели (рис. 1). В отдельные годы сумма осадков была на 39–64% выше средней многолетней (459 мм) и достигала 637–752 мм (Агрометеорологический бюллетень за 1997–2016 гг.).

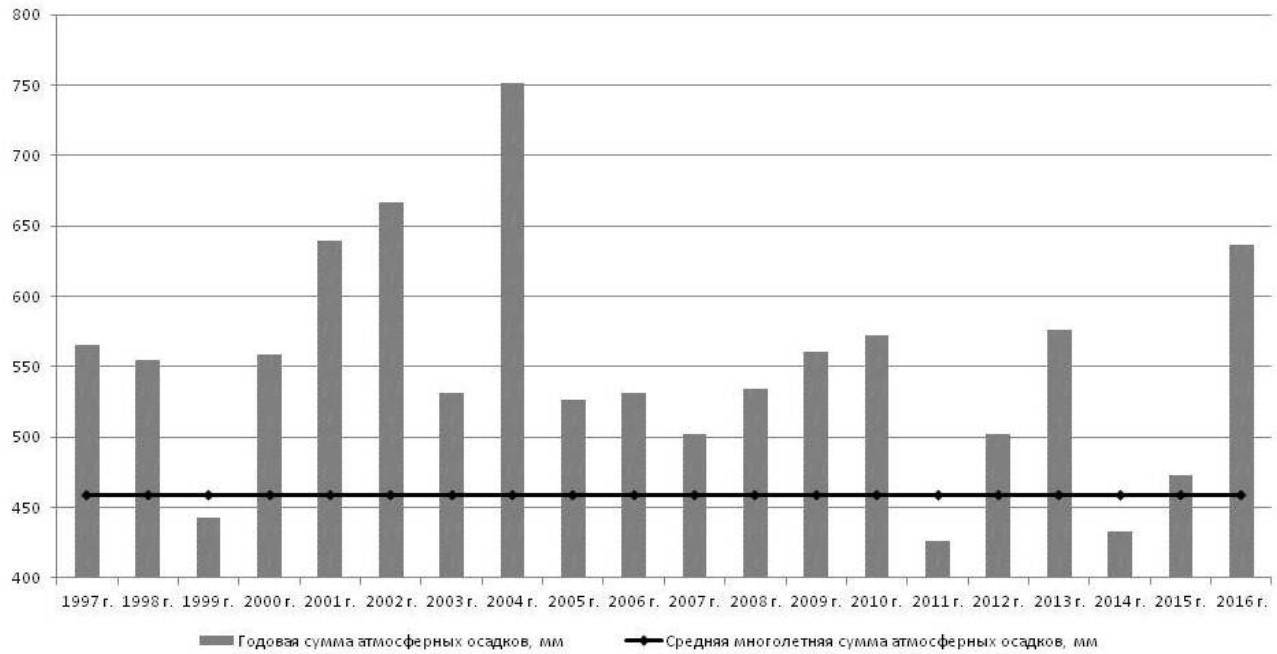


Рис. 1. Динамика изменения количества атмосферных осадков по данным метеостанции г. Темрюк, (1997–2016 гг.)

На Таманском полуострове, где почвообразующими породами являются лёссовидные суглинки, подстилаемые засолёнными майкопскими глинами, среди глубокозасолённых почв при близком залегании засолённых глин локально формируются солонцы сульфатного химизма.

Соотношение осадков ливневого характера с высокими температурами в засушливый период приводит к интенсивному испарению влаги с поверхности почвы, которое влечет за собой капиллярный подъем воды с растворенными в ней солями. Содержание солей в верхних горизонтах почвы и прикорневой зоне при этом возрастает. Данные процессы особенно выражены в местах с близким к поверхности (1–2 м) залеганием минерализованных грунтовых вод. Минерализация грунтовых вод в Анапо-Таманской зоне может достигать 19 г/л.

В современных условиях отмечается усиление деградационных процессов в почвах виноградников Тамани. Часть земель, на которых раньше располагались виноградники, переводится в разряд непригодных для возделывания культуры. Необходимо установить причины деградационных процессов и разработать эффективные меры борьбы с ними.

Объектами настоящего исследования являлись почвы под виноградниками ООО АФ «Мирный» Темрюкского района Краснодарского края. Насаждения винограда расположены на наклонной морской пластовой равнине с маломощным покровом пролювиально-делювиальных отложений у подножия горы Комендантская, сложенной соленосными палеоген-неогеновыми отложениями (Благоволин, 1962). Наклонную равнину пересекает ряд балок и ложбин, которые берут своё начало на склонах гор. Они пересекают плантации винограда в южном направлении. Исследования проведены на ключевых участках, расположенных вдоль одной из ложбин, которая берёт своё начало на южном склоне горы Комендантская, пересекает виноградники в южном направлении и заканчивается конусом выноса на расстоянии около 2 км от подножия горы.

Почвы на склонах г. Комендатская являются слабозасоленными солончаковатыми, на глубине 100 см становятся среднезасоленными, засоление сульфатно-натриевое (рис. 2) (Хитров, Черников, Попова и др. 2016).

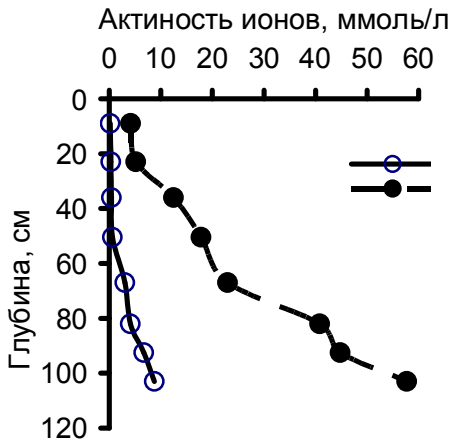


Рис. 2. Вертикальное распределение активности ионов Cl^- (1) и Na^+ (2) в почвенных пастах

В верхней части наклонной равнины отмечена сравнительно низкая активность хлорид-ионов по всему профилю почвы, только в днище ложбины значения достигают 7 ммоль/л в нижней части профиля (рис. 3).

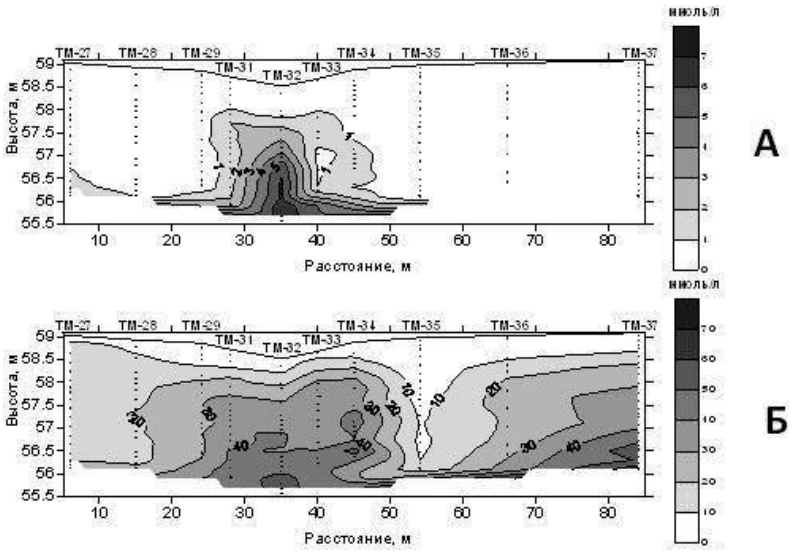


Рис. 3. Активность хлоридов A_{Cl} (А) и ионов натрия A_{Na} (Б) в профиле почвы в верхней части наклонной морской пластовой равнины

Значения активности ионов натрия (A_{Na}) на всех элементах рельефа значительно выше активности хлоридов. На ровных участках наблюдается вариация от незасолённых (активность ионов натрия < 20 ммоль/л) до слабозасоленных почв (активность ионов натрия достигает 20–50 ммоль/л).

Почвы в ложбине с прилегающими к ней участками ровного склона шириной 5–8 м по обе стороны являются солончаковатыми слабозасоленными. В ложбине сосредотачивается поверхностный сток дождевых и талых вод,

стекающих с окружающих территорий. В жаркие периоды накопившаяся в ложбине влага испаряется, что приводит к накоплению в почвах солей.

В средней части наклонной равнины почвы преимущественно не засолены (рис. 4). Солончаковатые слабозасоленные почвы сульфатного и хлоридно-сульфатного химизма приурочены непосредственно к ложбине.

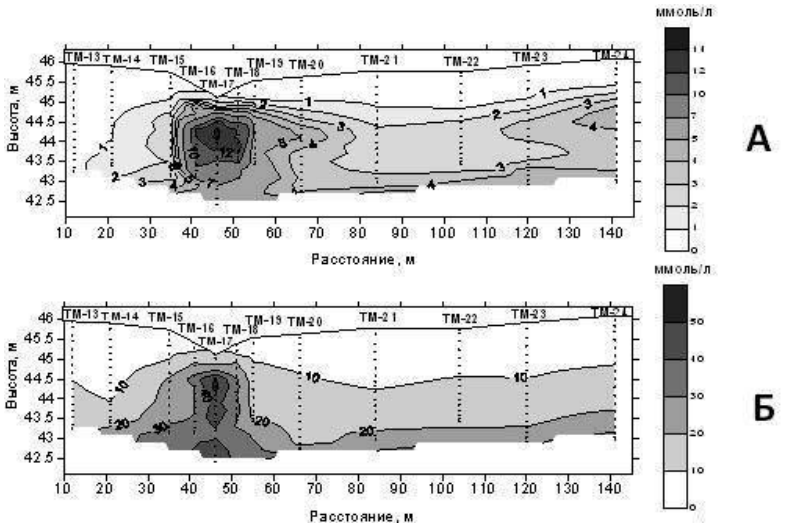


Рис. 4. Активность хлоридов A_{Cl} (А) и ионов натрия A_{Na} (Б) в профиле почвы в средней части наклонной морской пластовой равнины

В нижней трети наклонной равнины только в днище ложбины значения активности ионов натрия достигают 21 ммоль/л на глубине от 80 до 140 см, что характеризует данный горизонт как слабозасолённый (рис. 5).

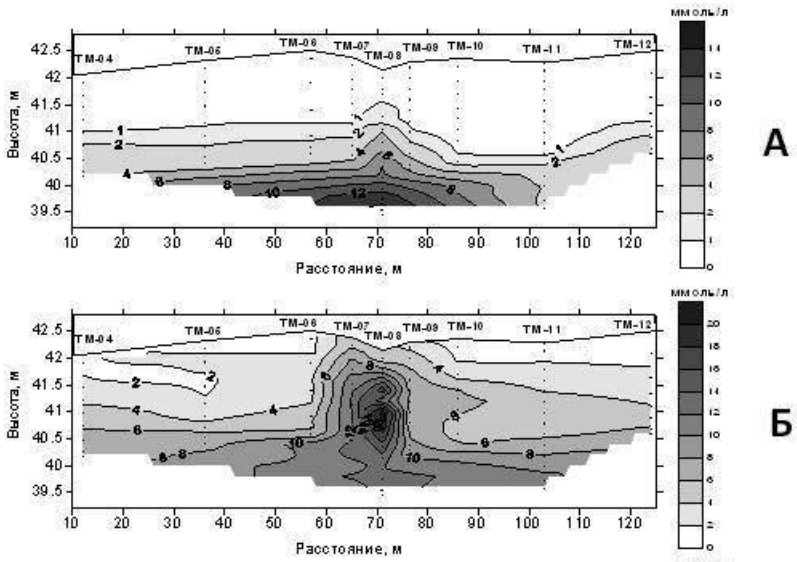


Рис. 5. Активность хлоридов A_{Cl} (А) и ионов натрия A_{Na} (Б) в профиле почвы в нижней трети наклонной морской пластовой равнины

Увеличение количества атмосферных осадков и особенности климатической зоны (атмосферные осадки в тёплый период года преимущественно ливневого характера) приводит к повышению интенсивности деградационных процессов за счёт увеличения количества солей, переносимых с дождевыми водами. При испарении влаги содержание вредных легкорастворимых солей в корнеобитаемом слое почв виноградников увеличивается и является причиной угнетения и преждевременной гибели виноградных растений. Дальнейшее развитие указанных процессов может привести к увеличению площади земель, непригодных для возделывания винограда.

Список литературы

1. Агрометеорологический бюллетень по территории Краснодарского края за 1997-2016 гг.

2. Благоволин Н. С. Геоморфология Керченско-Таманской области. М., АН СССР, 1962. 192 с.

3. Бондарь А. В., Попова В. П. Проблемы вторичного засоления и переувлажнения чернозёмов южных Анапо-Таманской зоны // Проблемы агрогенной трансформации почв в условиях монокультуры (Материалы симпозиума). 2013. С. 21–27.

4. Хитров Н. Б., Черников Е. А., Попова В. П., Фоменко Т. Г. Причины и механизмы засоления почв виноградников юга Тамани // Почвоведение. 2016. № 11. С. 1305–1318.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ЦИНКА В РАСТЕНИЯХ ОЗИМОЙ РЖИ

К. Ф. Шаврина, С. Е Витковская

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ),

195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

Влияние органических и минеральных удобрений на накопление цинка растениями озимой ржи изучалось в условиях стационарного полевого эксперимента. Представлены экспериментальные данные, характеризующие влияние различных доз органических и минеральных удобрений на распределение цинка в системе «почва – растение». Установлено, что содержание цинка в полове растений сопоставимо с его содержанием в зерне.

Цинк является необходимым для растений микроэлементом. Функции данного элемента в растении весьма многообразны. Цинк необходим для поддержания активности многих ферментов, а также для синтеза хлорофилла, он принимает участие в белковом и фосфорном обмене, синтезе аскорбиновой кислоты, тиамина и ростовых веществ, повышает водоудерживающую силу растений (Кузнецов, 2006). Существенное влияние данный элемент оказывает на окислительно-восстановительные процессы, проницаемость мембран, стабилизацию клеточных компонентов и систем микроорганизмов. При дефиците цинка подавляется деление клеток, накапливаются редуцирующие сахара, уменьшается содержание сахарозы и крахмала, увеличивается накопление органических кислот, снижается содержание ауксина, нарушается синтез белка (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Цинк поступает в растения как катион Zn^{2+} или в форме хелатных соединений через корни и листья. Признаком недостатка Zn у зерновых культур являются мелколистность и крайчатый хлороз (Вильдфлуш, 2011).

Биологическая активность цинка и его способность поступать в растения и микроорганизмы зависит от содержания доступных форм элемента в почве (Кашин, 1999). Известно (Возбуцкая, 1968), что растворимость и доступность для растений соединений цинка возрастает с подкислением среды.

Влияние органических и минеральных удобрений на накопление макро- и микроэлементов растениями озимой ржи сорта Славия изучалось в условиях стационарного полевого эксперимента (2015 г.) в Меньковском филиале АФИ. Опыт был заложен в 2006 г. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Он состоит из трёх парцелл (площадью 0,5 га каждая), различающихся дозами внесенных органических удобрений (бесподстилочный навоз КРС). Формирование парцелл проводилось в период 2003–2009 гг.: 1 – органические удобрения не вносились; 2 – за 7 лет внесено 240 т/га органических удобрений, 1 т/га извести; 3 – за 7 лет внесено 680 т/га органических удобрений, 3 т/га извести. Парцеллы разбиты на три повторности, каждая включает три делянки, различающиеся дозами ежегодно внесенных минеральных удобрений. Посев озимой ржи был проведен в августе 2014 г. Минеральные удобрения вносились по следующей схеме: осень 2014 г. – 1) Контроль (без удобрений); 2) N30P30K30; 3) N60P60K60; подкормка в апреле 2015 г. – 1) Контроль (без удобрений); 2) N40; 3) N80.

Почвенные и растительные пробы отбирались на второй повторности каждой из парцелл. Общее количество тестируемых делянок – 9. Смешанные почвенные пробы отбирались тростевым буром. Растительные пробы отбирались дважды – в фазу начала колошения и в фазу полной спелости. С каждого тестируемого варианта опыта растительные пробы отбирались в 3-кратной повторности (по 12 растений в каждой пробе).

В растительных и почвенных пробах определялось содержание Zn атомно-абсорбционным методом. В почвенных пробах содержание подвижных соединений Zn устанавливалось в вытяжке ацетатно-аммонийного буферного раствора с pH 4,8, содержание кислоторастворимых соединений – после химического разложения проб 5M HNO_3. Пробоподготовка растительных проб проводилась согласно (ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011). Математическая обработка данных осуществлялась в программе ORIGIN 7,5.

Среднее содержание кислоторастворимых соединений цинка в почве на контрольном варианте (без удобрений) составляло 21,6 мг/кг, содержание

подвижных соединений элемента – 0,29 мг/кг. Внесение органических удобрений существенно повлияло на содержание Zn в почве: среднее по вариантам содержание кислоторастворимых соединений Zn на парцеллах 2 (240 т/га органических удобрений за 7 лет) и 3 (680 т/га органических удобрений за 7 лет) превысило средние содержания на парцелле 1 в 1,4 раза; содержание подвижных соединений элемента на парцеллах 2 и 3 возросло по отношению к парцелле 1 в 2,4 и 2,7 раза соответственно. Согласно градации почв по содержанию микроэлементов (Методические указания…, 2003), почва опыта на всех парцеллах характеризовалась низким (< 2 мг/кг) содержанием подвижных соединений цинка.

С целью изучения влияния различных доз органических и минеральных удобрений и известкования на распределение цинка в системе «почва-растение» в течение вегетации растений озимой ржи было произведено два отбора растительных проб – в фазы колошения и полной спелости (табл. 1).

Таблица 1. **Влияние различных доз органических и минеральных удобрений на накопление цинка растениями озимой ржи, мг/кг а.с.в.**

Вариант	1-й отбор зел. масса	2-й отбор			
		зерно	солома	полова	корни
Парцелла 1					
1	15±3	17,2±2,9	5,0±0,7	11,8±1,5	15,6
2	22±2	23,9±3,4	10,6±2,3	18,8±3,3	18,1
3	23±2	24,9±4,6	13,1±1,2	23,8±2,5	15,4
Парцелла 2					
1	14±2	16,6±0,6	5,2±0,5	9,1±2,8	23,0
2	15±0,6	16,7±1,4	5,2±0,4	5,9±2,2	18,8
3	17±2	19,3±0,6	8,0±2,3	8,1±1,8	12,2
Парцелла 3					
1	16±2	16,2±2,4	5,8±0,7	6,8±1,3	18,1
2	17±1	17,4±2,1	4,4±1,0	4,95±0,3	16,8
3	19±2	14,4±0,5	4,7±0,5	5,7±1,1	13,5

По убыванию содержания цинка органы растений озимой ржи располагаются в следующий ряд: зерно ≥ корни > полова > солома. Наблюдалось существенное увеличение содержания Zn в зерне, соломе и полове растений в вариантах 2 и 3 парцеллы 1 по отношению к варианту 1. При внесении органических удобрений и известняковой муки (парцеллы 2 и 3)

подкормка минеральными удобрениями не оказала существенного влияния на содержание Zn в растениях.

Установлено, что распределение Zn между надземными органами растений озимой ржи тесно взаимосвязано. Коэффициенты корреляции, характеризующие зависимость содержаний Zn (зерно) – Zn (солома), Zn (зерно) – Zn (полова) и Zn (солома) – Zn (полова), составили соответственно r = 0,953; 0,913 и 0,913 (при критическом значении r на 5%-м уровне значимости 0,666).

Список литературы

1. Вильдфлуш И. Р. И др. Эффективность применения микро-удобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур. Минск, Навука, 2011. 293 с.

2. Возбуцкая А. Е. Химия почвы. М., Высшая школа, 1968. 429 с.

3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., Мир, 1989. 439 с.

4. Кашин В. К., Иванов Г. М. Цинк в почвах Забайкалья // Почвоведение. 1999. № 3. С. 318–325.

5. Кузнецов В. В., Дмитриева Г. А. Физиология растений. Учебник. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Высшая. школа, 2006. 742 с

6. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М., ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И РАСТЕНИЯХ

Ю. О. Шилова[1], С. Е. Витковская[1,2]

[1]*Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ);*

[2]*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)*

Представлены результаты исследований, характеризующие воздействие полигона твердых бытовых отходов (Волосовский район Ленинградской области) на содержание тяжелых металлов и мышьяка в почве и растениях. Результаты исследования показали, что в импактной зоне полигона уровни содержаний Cd, Hg, Pb, Zn, Cu, Co, Mn, Sb и Ni в системе «почва – растение» можно оценить как допустимые. Установлено увеличение валовых содержаний As и Cr в почве.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF LANDFILL OF SOLID WASTE ON THE HEAVY METALS CONTENT IN SOIL AND PLANTS

J. O. Shilova[1], S. E. Vitkovskaya[1,2]

[1]*Russian State Hydrometeorological University;*

[2]*Agrophysics Research Institute*

The study results describe the influence of a solid waste landfill (Volosovsky district, Leningrad region) on the content of heavy metals (HM) and arsenic (As) in soil and plants. The results of the study showed that levels of Cd, Hg, Pb, Zn, Cu, Co, Mn, Sb and Ni in the soil-plant system could be assessed as acceptable across the landfill impact zone. But the maximum permissible concentration (MPC) of As was exceeded in 60% of soil samples. An increasing trend for Pb content in the surface soil layer relative to underlying soil horizons was discovered. The content of mobile compounds for all tested heavy metals in the soil of the landfill is significantly below the MPC. The exceeded content of Cr was detected in 66% of plant samples, the content of other chemical elements did not exceed normal levels.

Управление твёрдыми бытовыми отходами (ТБО) в последние десятилетия является глобальной экологической проблемой. Ежегодно на планете образуются миллионы тонн ТБО, а во вторичный оборот включается не более 4% (Витковская, 2012). В Российской Федерации площадь территории, занятой полигонами, в настоящее время превышает 40 тыс. га и ежегодно увеличивается на 2,5–4,0% (Харитонова, Корнилаев, 2005). Тяжелые металлы (ТМ) и As относятся к числу наиболее опасных веществ, загрязняющих окружающую среду.

Цель исследования заключалась в оценке влияния захоронения твердых бытовых отходов на содержание тяжелых металлов в почве и растениях. Объектом исследования являлся полигон ТБО**,** расположенный во Волосовском районе Ленинградской области в пяти километрах на юго-восток от южной границы города Волосово. Площадь полигона составляет 5,77 га, в том числе площадь двух карт захоронения – 3,46 га. Объект расположен в лесном массиве, рельеф участка – пологая равнина. Участок и окружающий лес заболочены. Расстояние до ближайших населенных пунктов – деревень Захонье и Заполье – 2,5 и 3,0 км соответственно. Вблизи полигона водных объектов нет. На момент проведения исследования (2016 г.) срок эксплуатации полигона составил 16,5 лет. В настоящее время первая карта заполнена почти полностью: высота тела составила около 13,5 м, высота заполнения по проекту – 15 м. С июня по сентябрь 2016 г. на территории полигона было заложено пять почвенных прикопок глубиной до 0,5 метра.

Для оценки содержания и распределения по профилю почвы ТМ и их дальнейшей миграции в растения с каждого почвенного горизонта были отобраны пробы, общее количество проб составило 15 шт. Растения отбирались по 1–2 вида на расстоянии не более 1 м от почвенных разрезов (9 растительных проб). Растительные пробы были отобраны также непосредственно из фильтрационной канавы. В почвенных и растительных пробах содержание ТМ (Cd, Hg, Pb, Zn, Cu, Co, Mn, Cr, Sb, Ni) и As определялось рентгено-флуорисцентным методом на серийном рентгеновском кристалл-дифракционном спектрометре «Спектроскан МАКС-G». Для экстракции подвижных форм тяжелых металлов использовался ацетатно-аммонийный буфер, pH 4,8.

Установлено, что валовое содержание Hg и Sb в почве на территории тестируемого полигона существенно ниже предельно допустимых норм (табл. 1). Превышение ОДК Cd в 5; 2,8 и 2,6 раза выявлено в трёх пробах (глубина 7–10 см). Валовое содержание Pb в слое почвы 0–50 см не превысило 11,9±1,2 мг/кг (ПДК 32 мг/кг). Наблюдалась тенденция к увеличению

содержания Pb в поверхностном слое по отношению к нижележащим почвенным горизонтам. Валовое содержание Zn варьировалось в пределах 44±14 (ОДК 55 мг/кг). Во всех точках опробования наблюдалось увеличение валового содержания Mn с глубиной: в поверхностном слое содержание элемента изменялось в пределах 79–232 мг/кг, на глубине достигало 158–450 мг/кг (ПДК 1500 мг/кг) (табл. 1). Валовые содержания Cu и Ni на всей территории полигона можно оценивать как приближенные к ОДК – 23±8 мг/кг и 20±6 соответственно. Результаты исследования показали, что валовое содержание As на всей территории полигона находилось на уровне и выше ПДК (2 мг/кг). Среднее содержание элемента в почве составило 2,5±0,7 мг/кг, ПДК превышена в 60% проб (табл. 1). Уровень загрязнения почвы Cr на территории полигона существенно различался: в слое 0–5 см содержание элемента варьировалось от 39 до 124 мг/кг. Валовое содержание Cr в почве возрастало с глубиной во всех точках опробования (табл. 1), на глубине (гор. Bg) достигало 103–169 мг/кг.

Таблица 1. **Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка в почве, мг/кг.**

Горизонт	Cd	Hg	Pb	Zn	Cu		Co	Mn	As	Cr	Sb	Ni
Прикопка 1 (расстояние от карты 1–18 м)												
Ад (0–7 см)	≤0,5	≤0,02	12,8	50	25		12	223	3	124	≤0,5	23
Al (7–20 см)	2,5	≤0,02	9,8	71	29		16	343	2	139	≤0,5	32
Bg (20–48 см)	≤0,5	≤0,02	9,8	55	36		17	450	1	141	≤0,5	26
Прикопка 2 (расстояние от карты 1–7,5 м)												
Ад (0–7 см)	≤0,5	≤0,02	12,7	28	15		8	79	3	39	≤0,5	15
Al (7–14 см)	≤0,5	≤0,02	12,0	39	28		10	94	3,5	48	≤0,5	18
Bg (14–41 см)	≤0,5	≤0,02	11,4	32	17		9	158	2	56	≤0,5	16
Прикопка 3 (расстояние от карты 1–6 м)												
Ад (0–7 см)	≤0,5	≤0,02	12,1	26	14		6	196	2,5	52	≤0,5	11
Al (7–18 см)	1,4	≤0,02	11,6	39	24		9	282	2	69	≤0,5	19
Bg (14–41 см)	≤0,5	≤0,02	11,2	30	16		7	489	2	74	≤0,5	14
Прикопка 4 (расстояние от карты 2–5 м)												
Ад (0–7 см)	≤0,5	≤0,02	12,4	37	19		8	168	3	71	≤0,5	17
Al (7–14 см)	≤0,5	≤0,02	11,6	52	28		13	210	2,5	90	≤0,5	24
Bg (14–43 см)	≤0,5	≤0,02	11,1	35	15		9	365	2	103	≤0,5	18
Прикопка 5 расстояние от карты 2–4 м)												
Ад (0–7 см)	≤0,5	≤0,02	15,2	49	28		14	232	4	86	≤0,5	26
Al (7–14 см)	1,3	≤0,02	12,1	67	36		18	317	3	114	≤0,5	34
Bg (14–41 см)	≤0,5	≤0,02	11,1	46	21		11	459	2,5	169	≤0,5	22
ОДК*	0,5	–	32	55	33		–	–	2,0	–	–	20
ПДК вал.	–	2,1	32	–	–		–	1500	2,0	0,05**	4,5	–

* ОДК для песчаных и супесчаных почв; ** ПДК вал. для Cr^{6+}

В результате исследования было установлено, что содержание подвижных форм ТМ в почве на территории полигона также существенно ниже ПДК. В растительных пробах превышение содержания Cr обнаружено в 66% проб (нормальное содержание 0–0,5 мг/кг (Ильин, 1991), содержание остальных тестируемых химических элементов не превышало нормальных уровней (табл. 2).

Результаты исследования показали, что в импактной зоне тестируемого полигона ТБО уровни содержаний Cd, Hg, Pb, Zn, Cu, Co, Mn, Sb и Ni в системе «почва-растение» можно оценить как допустимые. Установлено увеличение валовых содержаний As и Cr в почве.

Таблица 2. **Содержание тяжелых металлов и мышьяка в растениях, мг/кг.**

Образец	Cd	Hg	Pb	Zn	Cu	Co	Mn	As	Cr	Sb	Ni
Прикопка 1 (расстояние от карты 1–18 м)											
Тимофеевка луговая	≤0,5	≤0,02	1,6	24	10	≤0,1	104	≤0,1	0,7	≤0,5	0,5
Тимофеевка луговая	≤0,5	≤0,02	1,3	22	12	≤0,1	69	≤0,1	0,6	≤0,5	0,4
Прикопка 2 (расстояние от карты 1–7,5 м)											
Осока	≤0,5	≤0,02	1,3	26	11	≤0,1	118	≤0,1	0,5	≤0,5	0,5
Одуванчик	≤0,5	≤0,02	1,4	23	20	≤0,1	104	≤0,1	0,4	≤0,5	0,4
Прикопка 3 (расстояние от карты 1–6 м)											
Злаковые травы	≤0,5	≤0,02	1,4	30	14	≤0,1	95	≤0,1	0,5	≤0,5	0,2
Одуванчик	≤0,5	≤0,02	1,2	16	24	≤0,1	111	≤0,1	0,6	≤0,5	0,8
Прикопка 4 (расстояние от карты 2–5 м)											
Осока	≤0,5	≤0,02	1,2	29	15	≤0,1	119	≤0,1	0,7	≤0,5	0,4
Прикопка 5 расстояние от карты 2–4 м)											
Злаковые травы	≤0,5	≤0,02	1,1	29	12	≤0,1	133	≤0,1	0,7	≤0,5	0,6
Фильтрационная канава											
Рогоз-стебель	≤0,5	≤0,02	1,2	22	10	≤0,1	483	≤0,1	0,4	≤0,5	1
Рогоз-листья	≤0,5	≤0,02	1,7	23	12	≤0,1	598	≤0,1	0,7	≤0,5	1

Список литературы

1. Витковская С. Е. Твердые бытовые отходы: антропогенное звено биологического круговорота. СПб., АФИ, 2012. 132 с.

2. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе «почва – растение». Новосибирск: Наука, 1991. 118 с.

3. Харитонова Н. В., Корнилаев Е.М. Оценка воздействия полигонов захоронения ТБО на подземные воды. http://www.ecoekspert.ru/art/ecsaf/sub1/73.html.

4. ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве». 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. М., 2006.

STRESS CONDITIONS IN RUSSIAN WHEAT PRODUCTION, THEIR RELATION TO LARGE-SCALE ATMOSPHERIC CIRCULATION PATTERNS AND IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGE

P. Giannakaki, P. Calanca*

Agroscope, Agroecology and Environment,

191, Reckenholz strasse, Zurich, Switzerland

**Corresponding author: pierluigi.calanca@agroscope.admin.ch*

The Russian Federation has become the main wheat exporter worldwide. Major breakdowns in Russian wheat production induced by extreme weather events are therefore of high significance not only for the domestic but also for the global market. This was the case in 2010, when blocking conditions throughout the summer led to losses of roughly 40%.

In this paper, we examine the occurrence of stress conditions in wheat in relation to large-scale patterns of the atmospheric flow. The focus is on atmospheric blocking and teleconnection patterns.

Introduction

Various hypotheses have been formulated concerning the causes of the 2010 heat wave. The role of atmospheric blocking has been acknowledged by Lupo et al. (2012) and in a more general context by Antokhina et al. (2016). In addition, the 2010 heat wave has been studied in relation natural internal variability (Dole et al., 2011), anomalous Rossby wave activity (Trenberth and Fasullo, 2012), the El Niño Southern Oscillation (ENSO) (Lupo et al., 2014), and the Quasi Biennal Oscillation (QBO) (Cherenkova et al., 2015).

Anomalous heat and drought can be also induced by teleconnection patterns, i.e. persistent and recurring large-scale pressure patterns that can act at long geographical distances (Barnston and Livezey, 1987). Concerning Eurasia, the five prominent teleconnection patterns are the North Atlantic Oscillation (NAO), the East Atlantic/Western Russia pattern (EA/WR), the Scandinavia pattern (SC), the East Atlantic pattern (EA) and the Polar/Eurasia pattern (POL/EUAS). None of them has been examined in a systematic way regarding inter-annual variability in heat and water stress across the wheat production area of the Russia, which is the main goal of the present investigation.

Data and Methods

Local weather data were obtained for 129 land-based weather stations distributed across the wheat production area. The data was taken from (Bulygina and Razuvaev, 2012) for 1980–2010 and from the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Russia (Roshydromet, http://aisori.meteo.ru/ClimateE) for 2010–2014.To account for regional differences in climate and wheat types, the weather stations were grouped into a Northern/Southern Cluster (NC/SC) (Fig.).

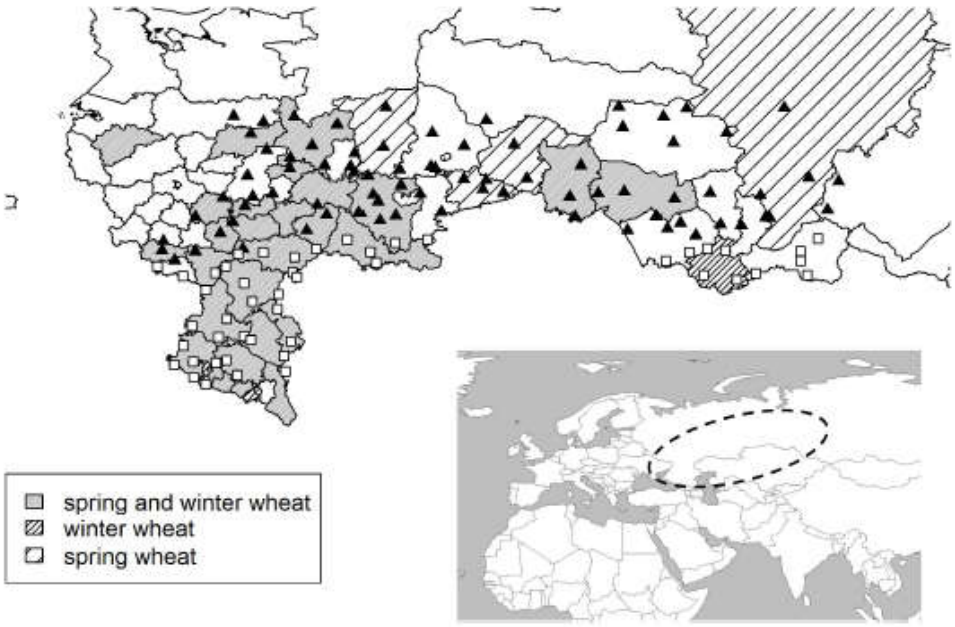


Fig. Study area and location of the 129 weather stations, along with their classification. Stations belonging to the Northern/Southern cluster (NC/SC) are shown as black triangles/white squares.

A heat stress index was calculated following Teixera et al. (2013), whereas a water stress index was calculated as a normalized log-precipitation, in line with the definition of the standardized precipitation index (McKee et al., 1993). Both variables were analysed during the flowering period of spring/winter wheat (SW/WW).

The analysis of blocking events was based on the two-dimensional blocking index (M. Rohrer, pers. comm.). This data implements the blocking detection algorithm of Tibaldi and Molteni (1990), with spatial extensions as suggested by Scherrer et al. (2006).

Monthly time-series of the five prominent teleconnection patterns mentioned above were obtained from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml).

Results

Results are presented in Tab., separately for NC/SC and WW/SW, respectively. All are significant at $p < 0.05$. As seen from the coefficients given in the table, both atmospheric blocking and teleconnection patterns concur to explain a substantial fraction of the observed variability in heat and water stress. In general, the contribution is larger for the northern than for the southern cluster and, concerning heat stress, larger for spring than for winter wheat.

Tab. **Coefficient of determination (R^2) of the relation between heat stress and blocking, respectively teleconnections patterns (left), and water stress and blocking, respectively teleconnections patterns (right)**

	Heat stress		Water stress	
Cluster/Type	Atmos. Blocking	Teleconnections	Atmos. Blocking	Teleconnections
NC, WW	0.20	0.27	0.38	0.38
NC, SW	0.54	0.48	0.45	0.28
SC, WW	0.27	0.20	0.18	0.21
SC, SW	0.37	0.28	0.10	0.13

Separation of the contribution by the teleconnection patterns into the individual modes (not shown) indicates EA/WR as the dominant mode for heat stress (more than 80% of the total R^2 in the northern cluster, 50 to 60% in the southern cluster). In the southern cluster, a second major contribution comes from POL/EUAS (20% to 30% of the total R^2).

Concerning water stress, in the northern cluster the total contribution by the teleconnections is dominated by POL/EUAS (roughly 50 to 60% of the total R^2), followed by EA/WR (20 to 30%). For the southern cluster, EA and POL/EUAS contribute together to about 80% of the total R^2, with NAO and EA/WR also having a significant impact.

Discussion

Our analysis clearly showed that a significant fraction of the inter-annual variability in heat and water stress across the wheat production area of the Russian

Federation could be explained by the influence of atmospheric blocking and teleconnection patterns. Of course, teleconnections also play a role in shaping atmospheric blocking (Barriopedro et al., 2006). Hence, further analyses are required to examine this dependence in more detail. Concerning the role EA/WR, our results are in agreement with Rust et al. (2015).

To be able to develop scenarios concerning the occurrence of heat and water stress under climate change, changes in the dynamics of the atmospheric circulation have to be taken into account. Mokhov and Timazhev (2015) found e.g. that tendency of an increase in the duration of blocking events is very likely.

Conclusions

Understanding the physical factors that favour the occurrence of heat waves and drought remains an important step toward securing Russian grain production under present and future climatic conditions. Future work should be targeted at further statistical analyses, including not only current data but also the output of global climate models.

Acknowledgements

This study is a contribution to the ERA.net RUS Plus Project EXTRA (Impact of EXTreme events and climate change on Russian Agriculture, economic implications and adaptation). It received support from the Swiss National Science Foundation (Grant IZRPZ0_164737 / 1)

References

Antokhina O.Y., Antokhin P., Martynova Y.V., Mordvinov V. Theimpact of atmospheric blocking on spatial distributions of summertime precipitationover Eurasia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 48, IOP Publishing. 2016. pp. 012035.

Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality andpersistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Monthly Weather Review. 1987. № 115 (6). pp. 1083–1126.

Barriopedro D., García-Herrera R., Lupo A.R., Hernández E. Aclimatology of Northern Hemisphere blocking // Journal of Climate. 2006. № 19(6). pp. 1042–1063.

Bulygina O., Razuvaev V. Daily temperature and precipitation data for Russian meteorological stations. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee. 2012. http://cdiac.ornl.gov/ndps/russia_daily518.html.

Cherenkova E., Semenova I., Bardin M., Zolotokrylin A. N. Drought and grain crop yields over the EastEuropean Plain under influence of Quasibiennial Oscillation of global atmospheric processes // International Journal of Atmospheric Sciences. Article ID 932474. 2015. http://dx.doi.org/10.1155/2015/932474.

Dole R., Hoerling M., Perlwitz J., Eischeid J., Pegion P., Zhang T. et al. Was there a basis for anticipating the 2010 Russianheat wave? // Geophysical Research Letters. 2011. № 38 (6). L06702, doi:10.1029/2010GL046582.

Lupo A. R., Mokhov I. I., Akperov M. G., Chernokulsky A. V., Athar H. A dynamic analysis of the role of the planetary-and synoptic-scale in the summer of 2010 blocking episodes over the European part of Russia // Advances in Meteorology. 2012. Article ID 584257. doi:10.1155/2012/584257.

Lupo A. R., Mokhov I. I., Chendev Y. G., Lebedeva M. G., Akperov M., Hubbart J. A., 2014: Studying summer season drought in Western Russia // Advances in Meteorology. 2014. Article ID 942027. http://dx.doi.org/10.1155/2014/942027.

McKee T. B., Doesken N. J., Kliest J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, 17–22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society, Boston, MA. 1993. pp. 179–184.

Mokhov I. I., Timazhev A. V. Model assessment of possible changesof atmospheric blockings in the Northern Hemisphere under RCP scenarios of anthropogenic forcings // Doklady Earth Sciences. 2015. № 460 (1). pp. 63–67. http://dx.doi.org/10.1134/S1028334X15010122.

Rust H. W., Richling A., Bissolli P.,Ulbrich U. Linking teleconnection patterns to European temperature, a multiple linear regression model // Meteorologische Zeitschrift. 2015. № 24 (4). pp. 411–423.

Scherrer S. C., Croci-Maspoli M., Schwierz C., Appenzeller C. Two-dimensional indices of atmospheric blocking and their statistical relationship with winter climate patterns in the Euro-Atlantic region // International Journal of Climatology. 2006. № 26. pp. 233–249,.doi:10.1002/joc.1250.

Teixeira E. I., Fischer G., van Velthuizen H., Walter C., Ewert F. Globalhot-spots of heat stress on agricultural crops due to climate change. Agricultural and Forest Meteorology. 2013. № 170. pp. 206–215.

Tibaldi S., Molteni F. On the operational predictability of blocking. Tellus, 42A. 1990. pp. 343–365.

Trenberth K. E, Fasullo J. T. Climate extremes and climate change: The Russian heat wave and other climate extremes of 2010 // Journal of Geophysical Research. 2012. № 117. D17103, doi:10.1029/2012JD018020.

CHANGES OF SOIL TAXONOMICAL STATUS AND SOIL PROPERTIES AFTER AFFORESTATION OF SOLONETZIC GRASSLANDS

J. Rásó[1*], D. Balla[2], T. J. Novák[2]

[1]*Püspökladány Station of the National Agricultural Research and Innovation Centre (NARIC) Forest Research Institute;*

[2]*University of Debrecen, Department for Landscape Protection and Environmental Geography*

[*]*Email address of corresponding author: rasoj@erti.hu*

Abstract

One of the typical landscape type of the Hungarian lowland areas is solonetzic grassland, which is situated on the eastern part of the Hungarian Plain. Our research aimed to describe and characterize soil transformation processes of solonetz soils few decades after on their afforestation in the Püspökladány Station of the National Agricultural Research and Innovation Centre (NARIC) Forest Research Institute. The characteristics of the soil organic matter, the cation exchange complex, pH and carbonate content were compared on afforestated alkaline-solonetzic soils with the non-forested alkaline grasslands. Several decades after afforestation a significant decrease of soil pH, eluviation of exchangeable sodium and an increase of the organic matter could be observed. We also examined the soils in order to perceive how precisely is possible to identify the taxonomic status according to the World Reference Base for Soils (WRB) of soil profiles based on their former taxonomic status and archived, and then surveyed soil data according to the genetic and diagnostic classification.

Introduction

The primary objective of the National Agricultural Research and Innovation Centre (NAIK ERTI) Püspökladány Station – which has been founded for the purpose of devising afforestation methods for the saline areas – is the local evaluation of the research results regarding salinization. Due to their importance, large and detailed databases are available regarding the soils of the station (Jassó, 1972, Tóth, 1972). Several soil profiles can be found in the area which are described in great details and classified in a genetic classification system. In 1960, there was a detailed

genetic exploration of the soil. Field morphology description were carried out and descriptions recorded of more than 60 soil profiles. In addition, a genetic soil map was compiled in 1:5000 scale. (Jassó, 1962). Our research aimed to describe and characterize soil transformation processes of solonetz soils few decades after on their afforestation in the Püspökladány Station of the National Agricultural Research and Innovation Centre (NARIC) Forest Research Institute. We also examined the soils in order to perceive how precisely is possible to identify the taxonomic status according to the World Reference Base for Soils (WRB) of soil profiles based on their former taxonomic status and archived, and then surveyed soil data according to the genetic and diagnostic classification.

Soil condition of the NARIC

The Püspökladány Station of the National Agricultural Research and Innovation Centre (NARIC) Forest Research Institute is situated on the eastern part of the Hungarian Plain (Fig.). The station was established in 1924 to develop afforestation methods for alkaline and in their subsoil salt affected soils. In 1960, there was a detailed genetic exploration of the soil. Field morphology description were carried out and the descriptions recorded of more than 60 soil profiles. In addition, a genetic soil map was compiled in 1:5000 scale. According to the Hungarian soil classification system (Földvári, 1966, Stefanovits, 1992) the characteristic soils of the station are the meadow solonetz, meadow steppe solonetz, secondary saline soils, meadow solonetz soils and meadow chernozem soils and the subtypes of the above (Arany, 1956; Jassó (1962 and 1972)). Their spatial distributions are primarily determined by the depth and the quality of the ground water (Szabolcs, 1954). In the lower, northern part of the station the characteristic soils are the saline soils (meadow solonetz, meadow steppe meadow solonetz) while in the southern, south-eastern region the dominant soils types are the meadow chernozems which are characteristic of Dél-Hajdúság (Kátai and Novák, 2010). Due to the afforestation projects carried out approximately 60-80 years ago, the physical-chemical properties of the soils could be significantly altered (Bacsó and Lesztákné, 1960; Balog et al., 2014).

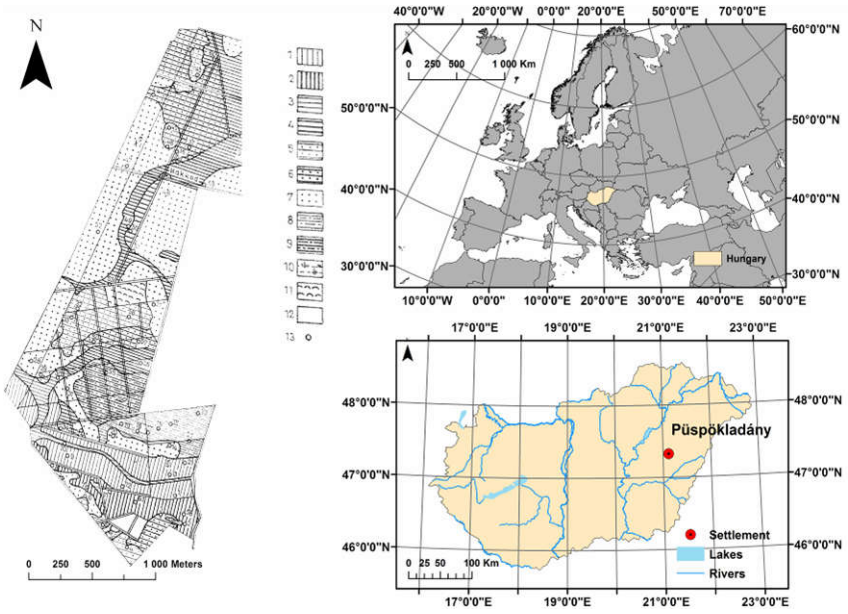


Figure. Location of the study area with archive genetic soil map from NARIC.

Results

Based on the archive data, we have examined 18 genetically classified soil profiles, among which 3 profiles can be found outside of the station but in its vicinity. We have reclassified the profiles according to the 2015 version of WRB 2006 based on the archive data (Buday and Schmidt (1938a and 1938b); Jassó, 1972; Várallyay, 1972) and the descriptions, then we have compared the result of the genetic classification to the result of the WRB classification (IUSS WG 2007 and 2015). From the standpoint of the sample area, one of the major modification of the 2014 WRB was that the Solonetz has been placed before the Vertisol reference group. The Vertisol soils which used to have Sodic principal qualifier have been placed into the Solonetz reference group and have been labelled with Vertic principal qualifier. Furthermore, the classification criteria of the Vertisol and the Chernozem soils has been modified in some aspects, as a consequence of which more soils previously classified as Chernozem have been placed into other reference groups.

During the reclassification of the 18 profiles examined by us, in the case of 8 profiles the classification into a WRB reference group was not possible due to the lack of the data. The result of the reclassification of the other 10 profiles can be seen in Table.

Table. Soil taxonomical status of NARIC according Hungarian Classification System and WRB (2015).

ID	Hungarian soil type	WRB RSG	Principal qualifiers	Supplementary qualifiers
SP13	meadow chernozem	Chernozem	Gleyic	Siltic, Aric, Aric
SP61	meadow chernozem	Chernozem	Amphiprotocalcic	Loamic, Aric, Pachic, Bathyprotosalic, Protosodic
SP9	meadow chernozem	Chernozem	Luvic – Calcic	Aric, Epiloamic, Endoclayic, Pachic
SP51	solonetzic meadow soil	Gleysol	Endocalcic – Oxygleyic – Chernic	Siltic, Protosodic
SP27	meadow solonetz	Solonetz	Vertic – Mollic – Endosalic – Epistagnic – Endogleyic	Clayic, Hypernatric
SP16	solonetzic meadow soil	Phaeozem	Luvic – Gleyic – Stagnic	Abruptic, Endoloamic, Epiclayic, Endoprotocalcic, Bathyprotosalic, Protovertic
SP21	meadow chernozem	Gleysol	Chernic – Oxygleyic	Loamic, Protocalcic, Bathyreductic, Bathyprotosalic
SP15	solonetzic meadow soil	Gleysol	Protocalcic – Stagnic – Chernic	Clayic, Protosodic, Protovertic
SP17	solonetzic meadow soil	Solonetz	Vertic – Protocalcic – Mollic – Gleyic	Clayic, Hypernatric
SP60	solonetzic meadow soil	Gleysol	Endocalcic – Oxygleyic – Chernic	Clayic, Pachic, Bathysodic, Protovertic

Afforestations had considerable influence on studied solonetzs and solonetzic meadow soils. In comparison the afforested soils with the soils preserved in original stage SOC content, pH, base saturation and ESP showed the most conspicuous differences. Under forests due to the water circle modificating effect of the deep roots, to the leaf litter and to the altered microclimate the topsoil gone under illuviation, pH decreased, and hydrolytic acidity occurred, while the SOC content increased, the exchangeable Na^+ content decreased and the vertical position of natric horizon shifted deeper. The pH under forests showed in average 6.79 in non-forested soils topsoil layer (0–20 cm) and 5.99 in afforestations. In deeper layers (20–50 cm) the difference proved to be even higher, being 8.56 and 7.39 respectively. SOC content of the topsoil (0–20 cm) was found to be 1.84% in average of non-forested, and 2.73% in forested soils topsoil. Na adsorption (ESP) shows large difference between forested and non-forested soils, being 50.1% and 12.0% in average

respectively. The vertical alignement of the Na adsorption also shows differences: the maximum ESP value occurs at an average depth of 1.15 meter under forests, and at 0.79 meter in non-forested soils.

Conclusion

Beyond the different methods of data collection and other difficulties regarding the correlation in the case of characteristic soils of the station, WRB reclassification based on the archive data is limited primarily due to the lack of the data. The following limitations were presented: 1. the volume ratio of the secondary carbonates are unknown; 2. the size of the structural elements is unknown; 3. the exact Munsell colour is unknown; 4. in case of mottling the volume ratios of the Munsell colours are unknown; 5. there is no available information regarding the slickensides and shrink–swell cracks. The lack of these information makes it impossible not only to determine the principal qualifiers but often to determine the reference group (e.g. Vertisol) as well. The characteristics of the soil organic matter, the cation exchange complex, pH and carbonate content were compared on afforestated alkaline-solonetzic soils with the non-forested alkaline grasslands. Several decades after afforestation a significant decrease of soil pH, eluviation of exchangeable sodium and an increase of the organic matter could be observed.

References

Arany S. The salt-affected soil and its improvement. Agricultural Publishing House, Budapest. 1956. 407 (in Hungarian).

Bacsó A., Lesztákné J. Changes in chernozem soil properties under some forest types // Agrochemistry and Soil Science. 1960. № 9 (1). pp. 67 (in Hungarian).

Balog K., Gribovszki Z., Szabó A., Jobbágy E., Nosetto M., Kuti et al. Effect of forest plantations on subsurface salt accumulation in lowlands with shallow groundwater // Agrokémia és Talajtan. 2014. № 63 (2). pp. 249-268 (in Hungarian).

Buday Gy, Schmidt E. R. Explanations of the geological and soil-knowledge maps of Hungary, Karcag, 5066/3, 1:25 000, M. Kir. Geological Institute, Budapest. 1938. pp. 55 (in Hungarian).

Buday Gy, Schmidt E. R. Explanations of the geological and soil-knowledge maps of Hungary, Püspökladány, 5066/4, 1:25 000, M. Kir. Geological Institute, Budapest. 1938b. pp. 79 (in Hungarian).

György Földvári Systematic list of genetical soil types, subtypes and variants of Hungary / Szabolcs I. (ed.) Methodology of genetic plant soil mapping, National Agricultural Quality Inspection Institute, Budapest. 1966. pp. 165–254 (in Hungarian).

IUSS Working Group WRB World Reference Base for Soil Resources 2006, World Soil Resources Reports, № 103. FAO, Rome, 93. 2007.

IUSS Working Group WRB World Reference Base for Soil Resources 2015, World Soil Resources Reports, No. 106. FAO, Rome. 2015. pp. 192.

Jassó F. The soil conditions of the Püspökladány Experimental Station // Agrochemistry and Soil Science. 1962. № 11(1). pp. 13–28 (in Hungarian).

Jassó F. The genetic and dynamic conditions and basic properties of soils of the Experimental Station. In: Tóth, B. (ed.). Wooding of the salt-affected soils. Akadémiai Kiadó, Budapest. 1972. pp. 55–73 (in Hungarian).

Kátai J., Novák T. J. Soils of Hortobágy. Acta Biologica Debrecina Supplementum Oecologica Hungarica. 2010. № 24(1). pp. 43–54 (in Hungarian).

Stefanovits P. Soil Science, Mezőgazda Kiadó, Budapest. 1992. p. 379 (in Hungarian).

Szabolcs I. The Szologyosodás (degradation) of salt-affected soils of Tiszántúl region // Agrochemistry and Soil Science. 1954. № 3(4). pp. 361–368 (in Hungarian).

Tóth B. Experimental forest plantings and their evaluation, In: Várallyay Gy. 1972. Hydraulic conductivity of salt-affected soils in the Hungarian Great Plain // Agrochemistry and Soil Science. 1972. № 21(1–2). pp. 57–81 (in Hungarian).

CHANGES OF SOIL SORPTION PARAMETERS AFTER APPLICATION OF BIOCHAR AND BIOCHAR WITH NITROGEN FERTILIZER

V. Šimanský[1], J. Horák[2], D. Igaz[2]

[1]*Department of Soil Science, Faculty of Agrobiology and Food Resources, Slovak University of Agriculture, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovakia;*

E-mail: Vladimir.Simansky@uniag.sk;

[2]*Department of Biometeorology and Hydrology, Horticulture and Landscape Engineering Faculty, Slovak University of Agriculture in Nitra, Hospodárska 7, Nitra 94901, Slovakia*

Biochar usually has a large specific surface area and due to this it increases the sorption of the soil where it was applied. Therefore, the objective of this study was to (i) quantify the impacts of biochar and biochar in combination with N fertilizer on the soil sorptive parameters, and (ii) quantify the effects of soil organic matter on the sorptive parameters after biochar application. The experiment was established on loamy Haplic Luvisolat the locality of Dolná Malanta (Slovakia) in 2014. The soil samples were collected from the depth 0–0.2 m during the vegetation season of maize (once a month: from April to September) in 2015.The field experiment included three rates of biochar application (B0 – no biochar, B10 – biochar at the rate of 10 t ha^{-1}, B20 – biochar at the rate of 20 t ha^{-1}) and three levels of N fertilization (N0 – no nitrogen, N160 – nitrogen at the rate of 160 kg ha^{-1}, N240 – nitrogen at the rate of 240 kg ha^{-1}). Application of biochar and biochar combined with the N fertilizer had statistically significant influence on the values of hydrolytic acidity (Ha) and base saturation (Bs). Obtained results showed that Ha decreased by 18% and 23% in B10N0 and B20N0, respectively, compared to B0N0. Application of the nitrogen fertilizer at both rates together with biochar (both rates) decreased Ha more intensively than treatments without N fertilization. The lowest Ha values were determined in B10N160. The sorption complex after the application of biochar and biochar in combination with the N fertilizer became fully saturated. The most significant saturation was observed in B10N160 treatment. The higher rate of biochar (20 t ha^{-1}) had a positive effect on the increase of Bsin compared to B0N0. On the

other hand, the higher rate of biochar with N fertilizer had lower effect on Bs values, than lower rate of biochar with N fertilizer. Contents of sum of basic cations (SBC), as well as cation exchange capacity (CEC) fluctuated from 16.9 to 21.7cmolkg^{-1} and from 17.7 to 22.3 cmol kg^{-1}, respectively, and the applied biochar did not have statistically significant influence on these values. Positive correlations between Ha and the content of humic substances ($r = 0.327$, $p \leq 0.05$), fulvic acids ($r = 0.314$, $p \leq 0.05$) and negative correlation between Ha and the soil organic carbon content ($r = –0.354$, $p \leq 0.05$) were observed. Higher values of fulvic acids' contents corresponded with lower values for SBC and CEC. With increased humus quality, SBC ($r = –0.482$, $p \leq 0.01$) and CEC ($r = –0.487$, $p \leq 0.01$) significantly decreased. On the other hand, increased humic acids stability, SBC ($r = –0.389$, $p \leq 0.05$) and CEC ($r = -0.392$, $p \leq 0.05$) significantly decreased. The higher the soil organic carbon content was, the higher the increase in base saturation was observed. The results of our study confirm that biochar as a soil amendment has the agronomic benefits, such as neutralizing effect and saturated sorptive complex of soil.

Acknowledgement

This study was supported by Slovak Grant Agency VEGA, No. 1/0604/16 and No.1/0136/17 and Slovak Research and Development Agency under the contract No.APVV-15-0160. This study is also the result of the project implementation: Centre of excellence for the integrated river basin management in the changing environmental conditions, ITMS code 26220120062; supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF.

BIOCHAR APPLICATION AND ITS EFFECT ON SOIL WATER CONTENT AND CORN VEGETATIVE DEVELOPMENT

D. Igaz[1], E. Kondrlová[1], J. Horák[1], V. Šimanský[2]

[1]*Department of Biometeorology and Hydrology, Faculty of Horticulture and Landscape Engineering, Slovak University of Agriculture, Hospodárska 7, 949 76 Nitra, Slovakia;*

[2]*Department of Soil Science, Faculty of Agrobiology and Food Resources, Slovak University of Agriculture, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovakia*

Abstract

Climate change and related changes in the environment force scientists to seek new solutions that would not only increase the yields of agricultural crops but also would be sustainable in the long-term period. There is a need to preserve and replenish soil organic matter reserves to sustain nutrient cycling, aid water use efficiency and help mitigate climate change. Depending on the feedstock, manufacturing process, application rate and combination with fertilizers of organic or inorganic origin, biochar as a result of pyrolysis process has proven to have positive effects on various physical, hydrophysical, chemical and biological soil properties. Improved soil fertility is mostly followed by positive crop responses. This contribution presents the partial results of the assessment of biochar application on soil water content determined by gravimetric method and plant development estimated by non-destructive method of taking digital imagery by conventional digital camera. The field experiment was conducted in Malanta (W Slovakia) at the experimental area of the Slovak University of Agriculture in Nitra where biochar as a potentially sustainable soil amendment was incorporated at different application rates (0, 10 and 20 t ha^{-1} – presented in the treatment identifier as B0, B10, B20, respectively) in the loamy soil in Spring 2014. In 2015, the soil was either fertilized by ammonium nitrate at dosage of 160 kg ha^{-1} or left without fertilizing (N160 and N0, respectively). All 18 (4×6 m) plots (6 treatments, 3 replicates) were sown by corn (*Zea mays*) in Spring 2015. Four imagery sessions were realized during the

vegetation season 2015 (Julian days 138, 148, 155 and 183). Vegetation index was calculated according to the estimates of the amount of green pixels present in the images (n = 3 per plot) obtained by Breedpix software. In general, no difference was observed in the plant development at the beginning of the monitoring period (Julian days 138 and 148). The positive effect of biochar application was observed at the end of trial (Julian day 183) when the vegetative index increased by 7% and 6% for non-fertilized treatments (B10N0 and B20N0, respectively) and by 11% and 8% when 160 kg ha^{-1} of nitrogen fertilizer was applied (B10N160 and B20N160, respectively). Application of biochar at 20 t ha^{-1} slightly increased (in average by 1.6%) the soil water content in comparison to control (B20N0 as well as B20N160). Although the obtained results were not statistically significant, the preliminary results of the study indicate that biochar associated with adequate level of nitrogen fertilizer can improve the vegetative growth of corn and it slightly increase the soil water content.

ESTIMATION OF SEDIMENT DELIVERY IN GIS: ŠIROČINA CATCHMENT CASE STUDY

E. Kondrlová, J. Antal

Department of Biometeorology and Hydrology, Faculty of Horticulture and Landscape Engineering, Slovak University of Agriculture, Hospodárska 7, 949 76 Nitra, Slovakia

Abstract

Soil erosion has a special position between the land degradation processes. Although soil compaction or soil chemical contamination can be very dangerous, soil erosion often leads towards the complete loss of the finest soil grain size fraction and thus to soil extinction. No other process affects the environment at such large long term and spatial scale. In many cases erosion processes result in a complete deterioration of the large land areas, as evidenced by the massive signs of water erosion in many countries worldwide. Water erosion causes losses not only in agriculture but it threatens also other sectors of land management, predominately water management. The eroded and transported soil particles can negatively influence the areas of their accumulation, not only due to sediment volume but also because of their physical, chemical and biological characteristics changes. Particularly, the negative effect of erosion products is fully displayed when reaching surface waters. If the specific information on landuse and crop rotation, soil, terrain and land management are available in the digital form, the initial assessment and localization of the areas prone to water erosion can be done in the geographical information system interface (GIS). The aim of this contribution was to determine the intensity of erosion-sedimentation processes in catchment (106 km^2) of the Širočina watercourse (W Slovakia) using various tools especially from the Spatial Analyst Tools Extension in ArcMap 10.2.2 (© ESRI). The average long-term soil loss was evaluated the Universal Soil Loss Equation (USLE). Since not all eroded particles are transported from source to the main watercourse and thus out of catchment, the estimated amount of soil loss (33626 t per year) was further reduced by the sediment delivery ratio.

This ratio can be close to 1 in some cases if the surface runoff directly enters the water flow and reservoir without any obstacles or changes in inclination. In another case, a wide belt of forest litter or dense vegetation downslope the eroded area can capture almost all the sediment. In such a case sediment delivery ratio can be close to 0. If the transport ability of surface runoff is less than the amount of entrained sediment, deposition occurs and vice versa increased flow discharge takes away a certain number of already previously accumulated sediment. It was estimated that under conditions of usual crop rotation in the area 1140 t of sediment would accumulate downslope the source areas before reaching the water recipient. The final sediment delivery from the catchment was further reduced by the sediment trapped in 3 reservoirs (Veľké Vozokany, Nemčiňany and Nevidzany) originating in the contributing areas of these reservoirs. According to the analysis the average annual amount of sediments discharged from Širočina catchment is 21398 t. The modeled general estimate of the catchment response to its management can be verified by various field methods (e.g. measuring the volume of sediments in the water reservoirs).

CLIMATE CHANGE AND ITS INFLUENCE ON OCCURRENCE OF YELLOW RUST IN SERBIA

R. Jevtić, V. Župunski, M. Lalošević, Z. Jerković

Institute of Field and Vegetable Crops,

Maksima Gorkogo 30, 21000 Novi Sad, Serbia

Corresponding author: Radivoje Jevtić

E-mail address: radivoje.jevtic@ifvcns.ns.ac.rs

Abstract

There are challenges in monitoring the occurrence of rusts since population structure of wheat pathogens continuously change under selection pressures of agro-ecological conditions, resistant varieties and applied pesticides. Climate-change impacts on occurrence of yellow rust in Serbia were estimated in experiments involving efficacy testing for fungicides and breeding material resistance. The significant influence of climatic elements and varieties on disease index of yellow rust was confirmed and the most influencing were average temperatures in January ($P = 0.000$), variety ($P = 0.000$) and interaction between year and variety ($P = 0.000$). Furthermore, yield loss was significantly affected by the disease index of yellow rust ($P = 0.000$) and varieties ($P = 0.000$), but relationship of disease index and yield loss was not straightforward.

Introduction

The impact of climate change on wheat production has become a global issue and a cause of great concern within scientific community. The climate change affects many aspects of wheat farming systems including pest management and control. Population structure of wheat pathogens continuously change under selection pressures of agro-ecological conditions, resistant varieties and applied pesticides. As a result, breeding wheat for resistance to economically important diseases is a continuous and very challenging process. The occurrence of wheat rusts in Serbia was monitored for decades by experiments associated with resistance and fungicide efficacy testing. In 2014, warming winter and excessive rainfall in spring significantly affected population structure of rusts in Serbia resulting in

predominance of yellow rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* over the leaf rust caused by *Puccinia triticina*. Thus, a great number of wheat producers suffered yield losses since the management of yellow rust and leaf rust is different regarding the time needed for fungicide application. Knowing that yield is a complex trait influenced by biotic and abiotic factors, the impact of changing climate elements on occurrence of wheat rusts and yield loss of different wheat varieties is examined in this study.

Materials and methods

The experiments were conducted in the locality Rimski Šančevi (Vojvodina, the northern province of Serbia). The influence of changing climate elements on occurrence of yellow rust was examined on three model varieties: common wheat NS 40S (*Triticum aestivum* spp. *aestivum*), club wheat Barbee (*Triticum aestivum* spp. *compactum*) and durum wheat Durumko (*Triticum turgidum* subsp. *durum*). Variety Barbee is known for increased susceptibility to wheat rusts while Durumko is usually used as susceptible check for leaf blotch diseases. Varity NS 40S is known for its tolerance on wheat rusts and released by the Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad, Serbia. Field trials were set up in a randomized block design in four replicates with plot size of 10 m^2 under naturally occurring inoculum. The severity of rusts was estimated at the growth stage 71-73 BBCH (kernel watery; early milk) using modified Cobb's scale (Peterson et al., 1948). Disease index of yellow rust was calculated by taking into consideration rust incidence and severity. Yield was measured for each plot at 15% water content. The yield loss (%) was determined according to yield reducing effects in untreated plots compared to the yield of treated plots showing best control of wheat diseases. General Linear Model was used in order to investigate the influencing factors on occurrence of yellow rust and yield losses of wheat varieties. For all statistical analysis software Minitab 17 (trial version) was used.

Results and discussion

Until 2014 leaf rust was predominant rust pathogen in Serbia and well controlled. However, high temperatures in January and February together with above

average precipitation totals in March and April in 2014 favored occurrence of yellow rust over the leaf rust (Figure 1A). Using General Linear Model the significant influence of climatic elements on disease index of yellow rust was confirmed and the most influencing was average temperature in January (P = 0.000) together with the influence of variety (P = 0.000) and interaction between year and variety (P = 0.000). Different reaction of wheat varieties on disease pressure under favorable climatic conditions was shown using varieties with different levels of tolerance to rust pathogens. It was confirmed by Fisher's test at P = 0.05, when comparing paired means of disease index for yellow rust, that variety Barbee was significantly more susceptible than varieties NS 40S and Durumko (Figure 1B). It is important to point out that changing climate elements did not trigger change in genetic structure of existing rusts populations in the territory of Serbia, but enabled infection of winter wheat by races which were introduced in the country. Jevtić et al. (2017) reported that Warrior race, originated from the center of diverse (near-Himalayan region), predominated in wheat production area in Serbia in 2014.The Warrior race has been recognized as a serious threat for wheat prediction in many European countries since 2011 due to its higher aggressiveness and adaptation to higher temperatures than older populations of yellow rust (Hovmøller et al., 2016). As a consequence, many efforts were made in order to develop models for predicting occurrence of yellow rust and yield losses of wheat varieties (Coakley et al., 1988; Sharma-Poudyal and Chen, 2011).

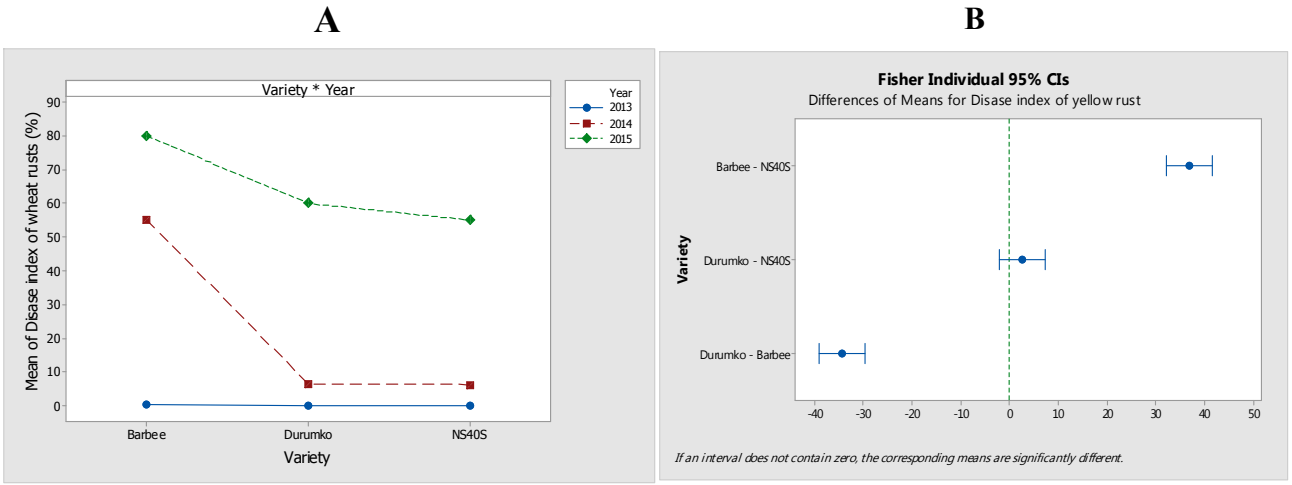


Figure 1. A) The mean of disease index of wheat rusts in three consecutive years; (B) The difference of means of disease index of yellow rust estimated by Fisher's test at P = 0.05.

The yield losses of three varieties were generally higher in 2014 than in 2015 although disease index of yellow rust was higher in 2015 (55–80%) comparing with disease index in 2014 (5–55%) (Figure 2A, 2B). Even though yield loss was significantly influenced by disease index of yellow rust (P = 0.000), the relationship between disease index and yield loss was not straightforward indicating that high scores of diseases index is not necessary related with high yield losses (Figure 2B). Knowing that the yield is a complex trait, yield loss of examined varieties could be attributed not only to significant influence of yellow rust but also to significant influence of the year (P = 0.003) and the varieties (P = 0.000).

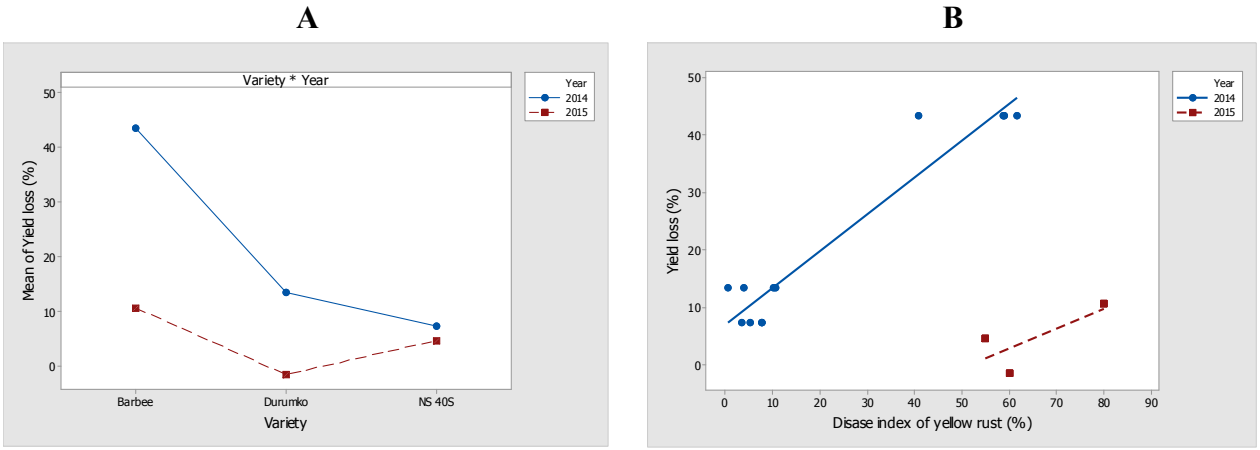


Figure 2. (A) Means of yield loss of three varieties in 2014 and 2015;
(B) Regression of the disease index of yellow rust and yield loss of three varieties in 2014 and 2015.

Župunski et al. (2016) reported positive moderate correlation (Pearson's r = 0.397) between yield loss of 17 commercial varieties and disease index of yellow rust examined in locality Rimski Šančevi, Serbia in 2014. In that experiment, coefficient of determination R^2 was 16% indicating a great dispersion of data. It was reported that regression models which take into account only disease index of yellow rust had low possibility of predicting future yield losses. As a consequence, more factors influencing yield loss should be taken into consideration for constructing yield loss prediction models.

Conclusions

This study confirmed that rising winter temperatures, especially temperatures in January, significantly affected changes in population structure of wheat rusts

favoring occurrence of yellow rust in Serbia. Wheat yield losses were significantly affected not only by disease index of yellow rust but also by varieties and abiotic factors, emphasizing the need to include both biotic and abiotic factors for constructing yield loss prediction models. This study also confirmed that global warming together with the changes in population structure of wheat rusts are serious threats, and many efforts should be made in order to ensure sustainable wheat production in the future.

Acknowledgements

This paper was realized as a part of the project TR 31066 -Contemporary breeding of small grains for current and future needs financed by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia.

References

Coakley S. M., Line R. F., McDaniel L. R. Predicting striperust severity on winter wheat using an improved method for analyzing meteorological and rust data // Phytopathology. 1988. № 78. pp. 543–550.

Hovmøller M. S., Walter S., Bayles R. A., Hubbard A., Flath K., Sommerfeldt N., Leconte M., Czembor P., Rodriguez-Algaba J., Thach T., Hansen J. G., Lassen P., Justesen A. F., Ali S., de Vallavieille-Pope C. Replacement of the European wheat yellow rust population by new races from the centre of diversity in thenear-Himalayan region // Plant Pathology. 2016. № 65. pp. 402–411.

Jevtić R., Župunski V., Lalošević M., Župunski Lj. Predicting potential winter wheat yield losses caused by multiple disease systems and climatic conditions // Crop Protection. 2017. № 99. pp. 17–25.

Peterson R. F., Campbell A. B., Hannah A. E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereal // Canadian Journal of Research. 1948. № 26. pp. 496–500.

Sharma-Poudyal D., Chen X. M. Models for predicting potential yield loss of wheat caused by stripe rust in the U.S. Pacific Northwest // Phytopathology. 2011. № 101. pp. 544–554.

Župunski V., Jevtić R., Lalošević M. The occurence of yellow rust of winter wheat in relation to year. XV Simposium on plant protection, Zlatibor, Book of abstracts. 2016. pp. 9–90 (In Serbian).

ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР ПОЧВОЗАЩИТНОГО СЕВООБОРОТА НА РАЗНЫХ КАТЕГОРИЯХ АГРОЛАНДШАФТА

О. А. Савоськина, Н. С. Матюк, В. А. Шевцов

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

Для создания эффективной системы земледелия необходимо учитывать требования культур к агроклиматическим, почвенным, геоморфологическим, литологическим и другим условиям. Это связано с возможностью возделывания конкретной культуры в конкретных условиях и получением высоких урожаев. Совокупность агроэкологических факторов должна быть ранжирована с учетом лимитирующего влияния на возделывание сельскохозяйственных культур и возможностей их преодоления.

To create an effective system of agriculture, it is necessary to take into account the requirements of the crop to the agroclimatic, soil, geomorphological, lithological and other conditions. This is due to the possibility of cultivation of this culture in these conditions and produce high yields. The combination of agroecological factors should be ranked in terms of a limiting effect on the cultivation of crops and possibilities of their overcoming

Настоящие исследования проводились в опыте М-01-18-ОП «Разработка научных основ защиты почв от эрозии на склоновых землях в адаптивно-ландшафтном земледелии Нечерноземной зоны РФ», где изучалось изменение морфологических и литологических характеристик склоновых земель и влияние почвозащитных ресурсосберегающих технологий обработки на формирование поверхностного стока талых вод и смыв почвы для обоснования типа использования, состава культур и интенсивности технологий их возделывания.

Опыт был заложен на трансэлювиальном ландшафте осенью 1980 г. профессором И. С. Кочетовым на поле западнее поселка Конаково Подольского района Московской области методом организованных повторений. Опыт стационарный двухфакторный. На опытном участке был развёрнут во времени зернотравяной почвозащитный севооборот: 1) овёс; 2) ячмень с подсевом многолетних трав; 3) многолетние травы 1-го г.п.; 4) многолетние травы 2-го г.п. на 1 укос; 5) озимая пшеница (табл. 1).

Таблица 1. **Изучаемые факторы в полевом стационарном опыте**

Факторы		
А. Система обработки		В. Крутизна склона
Вариант	система основной обработки почвы	
1.Вспашка	лущение на глубину 8–10 см, вспашка на 20–22см	1. 2–5°
2.Вспашка + щелевание	лущение на глубину 6–8 см, вспашка на 20–22 см, щелевание ПЩН-3-35 на 38–40см	
3.Плоскорезная + щелевание	лущение на глубину 6-8 см, плоскорезная обработка на 20–22 см, щелевание ПЩН-3-35 на 38–40см	
4.Плоскорезная + чизелевание	лущение на глубину 6–8 см, плоскорезная обработка на 20-22 см с чизелеванием на 38-40 см	2. 5–7°
5.Поверхностная + щелевание	лущение на глубину 6–8 см, щелевание ПЩН-3-35т на 38-40 см	
6.Поверхностная	лущение на глубину 6-8 см	

На опытном участке преобладают окультуренные дерново-глубокоподзолистые легкосуглинистые почвы на лессовидном покровном суглинке. Участок представляет собой приподнятую плоскую дренированную равнину, сильно расчлененную эрозионной сетью (рис. 1).

Формирование агроэкологических типов земель осуществляется путём сопоставления агроэкологических требований культуры с параметрами ЭПА и объединения агроэкологически совместимых (рис. 2, табл. 2).

Определение пригодности каждого ЭПА для возделывания той или иной культуры проводится с учётом производственно-ресурсного потенциала хозяйства, способного изменять условия среды и адаптивного потенциала растений.

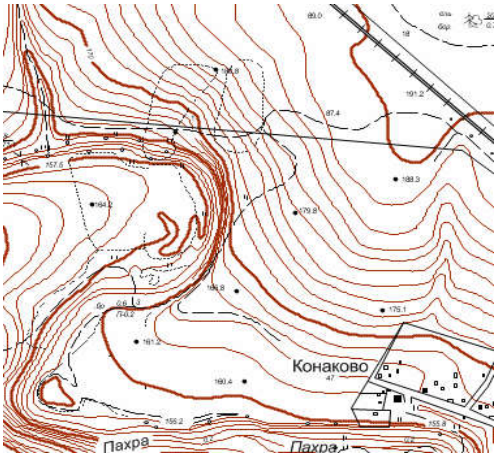


Рис. 1. Фрагмент топографического плана территории опытного поля (М 1:10000, сечение диагоналей через 2 м).

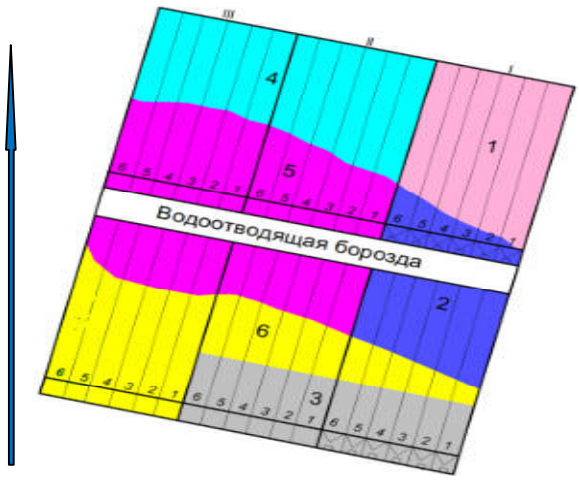


Рис. 2. Агроэкологическая группировка земель опытного участка.

Таблица 2. **Характеристика ЭПА**

№ ЭПА	Крутизна склона, градусы экспозиция	Форма	Почва	Мощность горизонтов	Возможность миграции вещества и энергии	%
1	5–7 Ю ЮЗ	выпуклый	средне-смытая	А1А2Р – 0...10 А2А1ВР – 10…14 $В1_t$ – 24…60	+	13,5
2	2–3 Ю ЮЗ	покатый	слабо-смытая	А1А2Р – 0…6 А2А1Р – 6…25 ВА2 – 25…50 $В1_t$ – 50…75	+	10,7
3	3–5 Ю ЮЗ	покатый	средне-смытая	А1А2Р – 0..5 А2А1ВР – 5…23 $В1_t$ – 23…45	+	12,6
4	5–7 ЮЗ – Ю ЮЗ	двухскатный	слабо-смытая	А1А2Р – 0…7 А2А1Р – 7…28 А2В – 8…40 $В1_t$ – 0…80	+	18,2
5	2–3 3–5 ЮЗ – ЮЗ	двухскатный вогнутый	намытые	А1А2Р – 0..10 А2А1Р– 10…27 А2 – 27…40 ВА2 – 40…62 $В1_t$ – 62…82	–	25,5
6	3–5 Ю ЮЗ	двухскатный вытянутый	намытые	А1А2Р – 0..6 А2А1Р – 6…31 А2 – 31…38 А2В – 38…46 $В1_t$ – 46…85	+	19,5

Совокупность агроэкологических факторов должна быть ранжирована с учетом лимитирующего влияния на возделывание сельскохозяйственных культур и возможностей их преодоления (табл. 3).

Наличие детальной информации о рельефе и почвах опытного участка позволило сгруппировать опытные делянки и проанализировать продуктивность по отдельным микроструктурам почвенного покрова (табл. 4). Отчетливо фиксируется снижение продуктивности полевых культур на 2, 3 и 6 ЭПА (в среднем на 10–15% по сравнению с плакорным рельефом). Максимальный выход продукции отмечен на выпуклом склоне крутизной 5–7° (1 ЭПА), где дополнительно было получено 23,8%. На 4 и 5 ЭПА прибавка продуктивности составила 18%. Различия в продуктивности культуры более четко выявлялись между микроструктурами, чем между вариантами обработки почвы.

Таблица 3. **Лимитирующие геоморфологические факторы опытного участка**

№ п.	№ ЭПА	Название фактора	Неблагоприятное влияние
1	5, 6	Малые уклоны, вогнутая форма, отрицательные формы мезо- и микрорельефа	Возможность сезонного переувлажнения, выпадение растений, снижение продуктивности, запаздывание в проведении полевых работ, невозможность их качественного выполнения в одни и те же сроки
2	1, 4	Повышенные уклоны	Недостаток влагообеспеченности (особенно в засушливые годы) из-за усиленного бокового стока, ограничение культур по условиям влагообеспеченности и эрозионной опасности, необходимость проведения противоэрозионных мероприятий
3	3	Малые уклоны	Холодные склоны – пониженная теплообеспеченность, ограничения в наборе возделываемых культур, эрозионная опасность
4	2	Малые уклоны	Тёплые склоны – пониженная влагообеспеченность, повышенная эрозионная опасность

Снижение интенсивности основной обработки почвы за счет использование безотвальных приемов было эффективным на сложных склонах (4, 5, и 6 ЭПА). Продуктивность культур зернотравяного севооборота при ресурсосбережении была на 7–11% выше по сравнению с плужной обработкой. Плоскорезная обработка, усиленная щелеванием, была высокоэффективной на 1 ЭПА, где продуктивность севооборота повысилась на 9% относительно вспашки и на 15–30% по сравнению с другими ЭПА. Нецелесообразно ее применение на двухскатном вогнутом склоне крутизной 3–5° (6 ЭПА), так как наблюдается депрессия продуктивности на 15% и 45% соответственно.

На покатых склонах крутизной 2–5° (2 и 3 ЭПА) для повышения выхода продукции целесообразно проводить обычную вспашку поперек склона и в сочетании со щелеванием в качестве приема основной обработки почвы. Это связано с тем, что ЭПА расположены на простом односкатном склоне, и создаваемый микрорельеф на поверхности почвы хорошо регулирует поверхностный сток. Остальные ЭПА располагаются на сложных двухскатных склонах с различной экспозицией и крутизной, и направление вспашки не совпадает с горизонталями, что приводит к миграции воды и биофильных элементов в различных направлениях.

Таблица 4. **Роль противоэрозионных обработок в формировании продуктивности культур почвозащитного севооборота на различных рельефах склонового агроландшафта (т корм ед.)**

Рельеф (склон)		Варианты обработки					
		вспашка	вспашка щелевание	плоскорез +щелевание	плоскорез +чизель	поверхностная +щелевание	поверх-ностная
1	Выпуклый 5–7° Ю ЮЗ	3,81	3,93	4,18	3,79	4,08	3,96
2	Покатый 2–3° Ю ЮЗ	2,92	2,93	2,96	2,82	2,84	2,86
3	Покатый 3–5° Ю ЮЗ	2,87	2,87	2,88	2,76	2,75	2,79
4	Двухскатный пологий 5–7° ЮЗ –Ю ЮЗ	3,53	3,52	3,67	3,44	3,54	3,78
5	Двухскатный вогнутый 2–5° ЮЗ – Ю ЮЗ	3,37	3,36	3,53	3,37	3,52	3,76
6	Двухскатный вогнутый 3–5° Ю ЮЗ	2,71	2,79	2,32	2,61	2,52	2,74
	плато	3,20					

Характеристика	Показатель	Характеристика	Показатель
Минимум	2,32	максимум	4,18
Нижний квантиль	2,82	среднее	3,15
Медиана	3,20	стандартное отклонение	0,47
Верхний квантиль	3,54		

Таким образом, правильный выбор системы обработки почвы под культуры севооборота позволяет сформировать высокопродуктивные агроценозы на агроландшафтах с повышенными уклонами даже в условиях недостаточной влагообеспеченности.

О РОЛИ МЕЛИОРАТИВНЫХ И АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ В СНИЖЕНИИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ

А. И. Иванов[1,2], А. А. Конашенков[1], Ж. А. Иванова[1], В. А. Воробьёв[3], Т. А. Данилова[2], М. А. Фесенко[1]

[1]ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);

[2]ФГБНУ Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения;

[3]ФГБОУ ВПО Великолукская государственная сельскохозяйственная академия

В результате обобщения материалов длительных полевых исследований установлены основные факторы управления агроклиматическими рисками в условиях Северо-Запада России. Оросительная мелиорация на фоне острой засухи повышает продуктивность капусты белокочанной на 118–180%, осушительная на фоне избыточного увлажнения картофеля – на 72%, окультуривание почвы и применение калийных удобрений в овощном севообороте – на 47–111% сокращая метеозависимость в 1,5–1,7 раза.

ON THE ROLE OF MELIORATIVE AND AGROTECHNICAL METHODS TO REDUCE AGRO-CLIMATIC RISK

A. Ivanov[1,2], A. Konashenkov[1], J. Ivanova[1], V. Vorobev[3], T. Danilova[2], M. Fesenko[1]

[1]Agrophgysical Research Institute;

[2]North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance;

[3]Velikie Luki state agricultural Academy

As a result of generalization of materials for a long field research the main factors of agro-climatic risk management in North-West Russia. Irrigation irrigation on the background of acute drought increases the productivity of cabbage 118–180%, drying due to excessive moisture of the potatoes by 72%, the cultivation of the soil and applying potash fertilizer in vegetable crop rotation – 47–111% reducing weather dependent 1.5–1.7 times.

Исключительная зависимость эффективности растениеводческой отрасли Северо-Запада РФ от погодно-климатических условий позволила несколько десятилетий назад назвать этот регион зоной рискованного земледелия. При этом основными факторами обострения производственных рисков здесь продолжают выступать: неудовлетворительное агромелиоративное состояние сельскохозяйственных угодий, низкая водопроницаемость почти трети почвенного фонда, близкое к поверхности залегание грунтовых вод, общее

доминирование слабо- и среднеокультуренных почв, введение в структуру посевных площадей ценных и весьма требовательных культур более южных регионов (Архипов и др., 2015, 2016; Иванов и др., 2016). Резкое обострение проблемы в последнее десятилетие связано, главным образом, с сочетанием трёх групп неблагоприятных факторов: существенным повышением рисков аномальных погодных явлений в течение вегетации, постепенной утратой работоспособности построенных в 60–80-е годы мелиоративных систем и скрытой деградацией почвенного плодородия (Иванов, Кирюшин и др., 2009; Якушев, Иванов, 2011; Иванов, Цыганова, Воробьёв, 2010). Среднегодовое повышение температуры в пределах 0,01–0,02°С, с одной стороны, является важным и весьма желательным фактором повышения биоклиматического потенциала региона. С другой стороны, такие изменения, сопровождающиеся увеличением риска проявления особенно неблагоприятных явлений (раннелетних засух – в два раза, экстремальных температурных перепадов – в 1,3 раза; частоты зимних оттепелей – в 1,4 раза), требуют от земледельческой науки адекватных мер (Якушев, Иванов, 2011).

Исследование выполнено на основе обобщения статистических агроклиматических и хозяйственных данных совхоза «Гдовский» Гдовского района Псковской области (1964–1994 гг.), а так же серии многолетних стационарных экспериментов в системе полевых и овощных севооборотов, заложенных в Меньковском филиале АФИ (1984–2014 гг.) и КХ «Прометей» Гдовского района Псковской области (2007–2013 гг.). Объектами исследования здесь выступали различные почвенные комбинации (пятнистости дерново-подзолистых автоморфных и полугидроморфных почв, мозаики литогенного происхождения, сформированные на морене от песчаного до тяжелосуглинистого гранулометрического состава), культуры полевых и овощных севооборотов, а так же минеральные и органо-минеральные системы удобрения и отдельные приёмы их прецизионного внесения. Дерново-подзолистые почвы опытов имели резкие отличия по степени окультуренности (от слабо до хорошо окультуренных), гранулометрическому составу (от

песчаного до среднесуглинистого), агрофизическим и агрохимическим свойствам.

Анализ тридцати лет наблюдений в одном из лучших хозяйств Псковской области совхозе «Гдовский» (1964–1994 гг.) и в агроэкологическом стационаре Меньковского филиала АФИ (1982–2012 гг.) показал, что максимальная продуктивность приходится на годы с близкими к средним многолетним параметрами тепло-влагообеспеченности вегетационного периода, с небольшим отклонением в засушливую сторону. Доля таких лет за период наблюдений составила около 40%. Однако средние за вегетационный период агроклиматические характеристики не всегда оказывали решающее влияние на продуктивность полевых культур. Так в каждом пятом условно благоприятном по средним показателям прихода тепла и влаги году урожайность картофеля, многолетних трав, яровых и озимых зерновых сокращалась на 17–24% за счёт проявления т.н. «волн холода» в виде 2–4 недельного периода пониженных на 3–6°С температур.

Между избыточно влажными и засушливыми годами в обоих пунктах наблюдения фиксировалось практически статистическое равновесие, хотя причины потерь урожая в них разные. В засушливые тёплые годы в среднем на 20% снижалась биологическая продуктивность зерновых и картофеля. Особенно чувствительными к весьма вероятной поздневесенней-раннелетней засухе (в разной степени проявляется в 8 годах из 10) оказались ячмень и многолетние злаковые травы. В избыточно влажные тёплые годы на фоне высокой биологической продуктивности резко возрастали потери при уборке урожая зерновых и картофеля. Наиболее тяжёлые последствия отмечались на фоне переувлажненных и прохладных погодных условий вегетации, когда продуктивность культур даже на фоне высокого уровня культуры земледелия снижалась уже по комплексу причин на 20–50%. В такие годы средняя продуктивность овощных культур открытого грунта в КХ «Прометей» Гдовского района Псковской области снижалась 38–56 до 22–27 т/га, а установленные потери урожая при уборке достигали 21–33%.

Данные длительных полевых экспериментов убедительно подтверждают мнение, что основная причина недостаточной продуктивности регионального земледелия не в низком БКП, а в критически слабой его производственной реализации, достигающей по областям Северо-Запада лишь 12–30% от потенциальных возможностей (Иванов, Кирюшин и др., 2009; Пасынков и др., 2014). Использование этого фактора признаётся одним из главных элементов адаптивной интенсификации с.-х. производства не только в регионе, но и в масштабе страны в целом. Подтверждая эту точку зрения, результаты экспериментов показывают, что наряду с оптимизацией структуры посевных площадей и технологической диверсификацией основными элементами адаптации к изменчивым погодным условиям на региональном уровне выступает регулирование водного и питательного режима почвы.

Проведение нормированных с учётом потребностей культур поливов в звене овощного севооборота «свёкла столовая – морковь – однолетние травы – репа» позволило даже на фоне относительно удовлетворительных погодных условий (благоприятных в начале вегетации и засушливых – во второй половине) увеличить урожайность корнеплодов на 24–52 т/га на хорошо окультуренных почвах и на 8–28 т/га – на слабо окультуренных дерново-подзолистых почвах.

При этом существенную роль в повышении их устойчивости к засухе играет уровень окультуренности почвы и её обеспеченности обменными соединениями калия. В целом, как и другие виды удобрений, калийные были эффективнее при оптимальной влажности почвы. Оплата 1 кг действующего вещества в этих условиях составляла от 11 до 37, в то время как в засушливых – только 6– 7 кг з.ед.

На фоне критично засушливых условий середины вегетации 2010 года агрономический эффект даже от двух поливов (40 $м^3$/га) капусты белокочанной достигал в условиях КХ «Прометей» Гдовского района 144% прибавки продуктивности без удобрений и 118–180% – на фоне удобрений (табл.).

Таблица. **Зависимость эффективности системы удобрения капусты белокочанной от орошения в условиях 2010 года**

Вариант	Показатели продуктивности при орошении				Показатели продуктивности без орошения			
	урожайность, т/га	прибавка урожайности, %	окупаемость, з.ед./ кг NPK	V, %	урожайность, т/га	прибавка урожайности, %	окупаемость, кг з.ед./ кг NPK	V, %
Контроль – 0	60,5	–	–	24	24,8	–	–	35
Зональная СУ	105,1	74	11,3	11	37,6	52	6,4	24
Точное окультуривание + ЗСУ	114,3	89	14,5	9	52,3	111	12,7	17
Точная СУ	112,4	86	13,0	11	39,1	58	7,6	20
$НСР_{05}$	4,40				2,91			

Ситуационный производственный эксперимент с культурой картофеля в 2016 г., на фоне избыточного увлажнения, начиная с фазы цветения, показал, что возделывание в пределах закрытой осушительной системы сократило уровень прямых потерь урожая при уборке с 34–47 до 12–15%. В результате при биологической продуктивности культуры без осушения 31,2 т/га и при осушении 36,9 т/га, фактическая хозяйственная урожайность составила 16,6–20,6 и 31,4–32,4 т/га. Это значит, что на фоне весьма вероятной погодной аномалии избыточного увлажнения периода созревания – уборки урожая культуры осушительная мелиорация, обеспечивая 18% прибавку биологической продуктивности, сформировала 72% превосходство в фактически убранном урожае.

Разработанный для контрастных и сложных структур почвенного покрова новый вид химической мелиорации – точное окультуривание позволил сформировать модельное эффективное плодородие почвы, снизив его пространственную дифференциацию в 1,5–3,9 раза, повысить продуктивность капусты в условиях засухи на 111% к неудобренной почве и на 39% – к удобренной навозом (60 т/га) и минеральными удобрениями, добиться двойного превосходства в окупаемости удобрений.

Таким образом, Северо-Западный регион обладает весьма значительным и слабо реализованным в товарном земледелии биоклиматическим

потенциалом. Особенности его погодно-климатических условий связанные с неравномерным распределением во времени и пространстве ресурсов тепла и влаги играют важную, но не определяющую роль в эффективности отрасли. Механизм адаптации систем земледелия к климатическим изменениям должен формироваться отдельными интегрирующими приёмами в его базовых звеньях, таких как система землеустройства и севооборотов, мелиорации, удобрения, тогда как к погодным аномалиям должны легко адаптироваться системы обработки почвы, защиты растений, регулирования питания, технологического обеспечения и др. Окультуривание пахотных почв и оптимизация комплекса агрофизических и агрохимических свойств за счёт мелиорации и применения удобрений в условиях региона выступает одним из главным факторов снижения метеозависимости земледельческой отрасли с 19–24 до 13–14%.

Список лиетартуры

1. Архипов М. В., Иванов А. И., Синицына С. М., Данилова Т. А. и др. Методологические и информационно-технологические основы развития кормопроизводства в Северо-Западном регионе РФ. СПб., 2015. 184 с.

2. Архипов М.В., Иванов А.И., Данилова Т.А., Синицына С.М., Тюкалов Ю.А., Пасынкова Е. Н. Оценка биопотенциала производства продовольствия в Северо-Западном регионе России. СПб. – Пушкин, 2016. 136 с.

3. Иванов А. И., Конашенков А. А., Иванова Ж. А., Воробьёв В. А., Фесенко М. А., Данилова Т. А., Филиппов П.А. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала Северо-Запада России // Агрофизика. 2016. № 2. С. 35–45.

4. Иванов А. И., Цыганова Н. А., Воробьёв В. А. Оценка длительного использования хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении разных систем удобрения // Агрохимия. 2010. №3. С.17–21.

5. Иванов А. Л., Кирюшин В. И. и др. Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве. М.: Россельхозакадемия, 2009. 518с.

6. Пасынков А. В., Иванов А. И., Лекомцев П. В., Пасынкова Е. Н. Биоклиматический и технологический потенциал урожайности зерновых культур в Северо-Западном регионе России / Научное обеспечение развития проивзодства зерна на Северо-Западе России. СПб.: ГНУ СЗРНЦ, 2014. С. 31–36.

7. Якушев В. П., Иванов А. И. Оценка изменений климата и стратегия адаптации к ним земледелия / Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодно-климатическим условиям. М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2011. С. 58–64.

ВОСПРОИЗВОДСТВО ПЛОДРОДИЯ ПОЧВ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РФ

А. И. Иванов[1,2], А. А. Конашенков[1], Н. А. Цыганова[3], Ж. А. Иванова[1]

[1]*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);*

[2]*ФГБНУ Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения;*

[3]*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный аграрный университет*

Ведение высокоэффективного земледелия на дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России требует постоянного контроля и управления их эффективным плодородием. Отказ от применения удобрений здесь сопровождается развитием скрытых деградационных процессов. Лучшие результаты в управлении плодородием и эффективностью земледелия в серии полевых экспериментов обеспечили точные органо-минеральные системы удобрения.

REPRODUCTION PATODIA SOILS AND THE EFFICIENCY OF AGRICULTURE IN THE NORTH-WEST OF RUSSIA

A. Ivanov[1,2], A. Konashenkov[1], N. Tsyganova[3], J. Ivanova[1]

[1]*Agrophgysical Research Institute;*

[2]*North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance;*

[3]*Saint-Petersburg State Agrarian University*

Maintaining high performance of agriculture on sod-podzolic soils of North-West Russia requires constant monitoring and management of their effective fertility. The rejection of the use of fertilizers it is accompanied by the development of the latent degradation processes. The best results in the management of fertility and efficiency of agriculture in a series of field experiments have provided the fine organo-mineral fertilizer system.

Воспроизводство почвенного плодородия – ключевая проблема организации товарного земледелия в любой зоне. На Северо-Западе России – это фундаментальный вопрос продовольственной, экономической и экологической безопасности. Естественные условия почвообразования здесь резко ограничивают параметры агропроизводственных свойств доминирующих дерново-подзолистых почв на уровнях, далёких от биологических потребностей большинства возделываемых сельскохозяйственных культур. В 60–80-е годы на фоне комплексной государственной поддержки процессами окультуривания

были затронуты, в основном, только пахотные почвы. В середине 70-х годов XX века на долю их слабоокультуренных видов приходилось около 37, среднеокультуренных – 50, хорошо окультуренных – 13% (Сапожников, Корнилов, 1977). К началу 90-х годов доля хорошо окультуренных почв увеличилась ещё на 4% (Небольсин и др., 1997). Средневзвешенные показатели пахотных почв при этом увеличились по pHсол. с 5,1 до 5,5, содержанию подвижных фосфатов и калия – с 78 до 135 и со 122 до 152 мг/кг соответственно (Иванов, 2000). Сформировался фонд почв с очень высокой обеспеченностью подвижными соединениями фосфора и калия, требовавший изменения подходов к системе их удобрения и классификации (Иванов, 1991, 1993, 1998, 1999; Иванова, Иванов, Иванов, 1991; Иванов, Семёнова, 1998). Однако, несмотря на применение в среднем на 1 га пашни до 11 т навоза, 0,95 т извести и 0,24 т минеральных удобрений, продуктивность земледелия сохранялась на низком уровне (1,2–1,7 т/га з.ед.). При этом опыт передовых хозяйств, опиравшихся на научные достижения, подтверждал возможность получения при таком ресурсном обеспечении втрое больших урожаев (до 3,5–5,5 т/га з.ед.). Основными причинами такого положения обычно назывались технологическая отсталость, низкая технологическая дисциплина и пестрота почвенного плодородия (Небольсин и др., 1997; Иванов, Иванов, Конашенков, 2002). Последняя на сельскохозяйственных угодьях имела как природное, так и рукотворное происхождение (Иванов, Конашенков, Федотенков, 2007; Литвинович, 2014; Иванов, Конашенков, 2012). В ходе исследований было установлено, что в наиболее контрастных структурах почвенного покрова в виде мозаик литогенный фактор предопределяет варьирование параметров плодородия как в лесу (V – 19–56%), так и на пашне (V – 17–53%). Тогда как на пятнистостях резче проявляется влияние антропогенного фактора дифференциации (V – 5–19% – в лесу и 6–26% – на пашне) (Иванов и др., 2014). Грубое нарушение агротехнических требований к распределению удобрений и мелиорантов между объектами внесения в годы химизации привело к увеличению коэффициентов вариации агрохимических свойств в целом по

Псковской области с 32–52 до 78–89% (Конашенков, 2014). Пестрота агрофизических свойств существенно меньше, но у контрастных почвенных комбинаций достигает 30 и более %, по таким принципиальным показателям как физическая глина, наименьшая влагоёмкость и др.

Поэтому с экономических позиций оправданным оказался перенос всей тяжести товарного земледелия и части кормопроизводства только на угодья с наиболее окультуренными почвами, позволивший на фоне технологического перевооружения повысить продуктивность культур (Иванов, 1991, 1993, 1998, 1999). При этом минеральные системы удобрения на основе повышенных доз азота обладали явным преимуществом в доходности перед полными и органическими системами. Их длительное применение неминуемо привело к развитию скрытых деградационных процессов (Ефимов, Иванов, 2001). По нашим оценкам, подтверждённым многолетними полевыми опытами, среднегодовое ухудшение наиболее важных агропроизводственных характеристик пахотного слоя почвы в зависимости от конкретных условий составило 0,03–0,20 по pH_{KCl}, 0,015–0,020% – по содержанию гумуса, 6–20 и 10–80 мг/кг – по содержанию подвижного фосфора и калия соответственно (Иванов, Цыганова, Воробьёв, 2010; Иванов, Иванова, Воробьёв, Цыганова, 2016). Применение навоза лишь несколько сдерживает подкисление почвы и деградацию её калийного состояния, но не предотвращает их. Скорость деградационных процессов у окультуренных почв в 2–3 раза выше, чем у слабо- и среднеокультуренных аналогов. В результате к настоящему времени общая площадь хорошо окультуренных пахотных почв сократилась за два десятилетия в 1,5–1,7 раза.

Особенно остро данная проблема стоит в Ленинградской области, занимающей по ряду производственных показателей лидирующие позиции не только в регионе, но и в стране. Реализация программы развития животноводства в регионе обострила проблему эффективного использования на удобрение навоза. Его внесение из эффективного приёма во многих случаях превратилось в ярмо по утилизации. С одной стороны, большие объёмы и

высокая влажность навоза всегда были фактором повышенных денежных издержек на транспортировку и внесение. А в условиях ценового диспаритета они и вовсе ограничили эффективное плечо перевозки навоза 1–3 км. Это привело к необоснованному завышению доз навоза и, как следствие, к сокращению экономической эффективности его применения. С другой стороны, существенно увеличился выход наименее ценных, но более объёмных полужидких и жидких видов навоза. Его интенсивное применение нередко сопровождается снижением урожая культур. Химико-аналитические исследования показали, что в его органическом веществе доминирующее положение часто стал занимать не переваренный крахмал, оказывающий отрицательное влияние на соотношение микробиологических превращений азотного цикла. Обостряет проблему и нарушение равномерности внесения органических удобрений и мелиорантов. В стационарном полевом опыте двухкратное за ротацию севооборота внесение по 60 т/га навоза с распространённой в производстве неравномерностью 50–100% привело к увеличению коэффициента пространственной вариации показателей питательного режима в 2,5–12 раз, существенному росту риска получения недоброкачественной по содержанию нитратов продукции и двухкратному снижению рентабельности и окупаемости (с 10,4 до 5,1 кг з.ед./1 кг NPK) органической системы за ротацию севооборота (Иванов, Конашенков, 2012). Напротив, научно обоснованная дифференциация доз удобрений и равномерное их внесение внутри однородных контуров позволяют снизить коэффициент пространственной вариации основных агрохимических показателей от 3 до 5 раз за 20–25 лет. Процесс нивелирования свойств может быть ускорен в 4–5 раз при использовании точной системы удобрения, базирующейся на базовом прецизионном окультуривании, при котором вариабельность агрохимических свойств снизилась с 14–67 до 5–24% за одну ротацию овощного севооборота (Иванов, Якушев, Иванов, 2010). В ходе многолетних исследований было обосновано дифференцированное применение органических удобрений только на фоне высокого уровня пестроты плодородия.

Органические системы удобрения, как и минеральные на неоднородных дерново-подзолистых почвах в овощных севооборотах существенно уступают

органо-минеральным системам. Органические системы не балансируются по азоту и калию. Попытки компенсировать их недостаток гиперинтенсивным применением навоза (80–120 т/га в год) привели к резкому усилению выветривания калийсодержащих гидрослюдистых минералов, лёссиважа и переосаждению продуктов миграции в нижней части иллювиального горизонта. В результате дополнительного улучшения физических свойств супесчаной почвы относительно доз 30–40 т/га в год не получено, а калийное состояние резко деградировало при положительном балансе элемента.

Наивысших показателей окупаемости удалось достичь при использовании геоинформационных технологий для дифференцированного внесения органических и минеральных удобрений. Точная система удобрения, предусматривающая дозирование с ежегодным учётом фактической неоднородности свойств почвы обеспечила увеличение окупаемости 1 кг NPK относительно зональной системы урожаем овощных культур на 18–21%, полевых культур – на 12–17%. Агрономическая эффективность точной системы, основанной на прецизионном окультуривании почвы оказалась выше ещё на 3–34%. На фоне среднегодовой продуктивности овощного севооборота в 9,6–9,9 т/га з.ед. превосходство в рентабельности перед зональной системой достигло 38–49%, достигнув уровня в 253–401%. При этом существенно снизился коэффициент пространственной вариабельности урожайности овощных и полевых культур с 32–53 и 15–30 до 9–32 и 10–15% соответственно, увеличилось содержание в товарной продукции сырого протеина на 9–42%, калия – на 7–59%, витаминов – на 11–128% (Иванов, Конашенков, 2014; Конашенков, 2014).

Таким образом, недостаточная окультуренность, повышенная неоднородность свойств почв сельхозугодий и неудовлетворительное информационно-технологическое обеспечение являются одними из главных факторов, сдерживающих развитие всей отрасли и решение вопроса региональной продовольственной безопасности. Их преодоление требует скорейшего технического переоснащения и восстановления системы научного обеспечения АПК.

Список литературы

Ефимов В.Н., Иванов А.И. Деградация хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв // Доклады РАСХН. 2001. № 6. С. 21–23.

Иванов А.И. Использование высокообеспеченных питательными веществами дерново-подзолистых почв // Агрохимический вестник. 1991. № 8. С. 83–84.

Иванов А.И. Оптимизация условий питания полевых культур на дерново-подзолистых почвах с высоким содержанием фосфора и калия. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. С-Пб. – Пушкин, 1993. 15 с.

Иванов А.И. Особенности удобрения зерновых на окультуренных дерново-подзолистых почвах с высокими запасами фосфора и калия // Зерновые культуры. 1998. № 3. С. 20–21.

Иванов А.И., Семёнова Н.И. Перспективы удешевления систем удобрения кормовых культур // Кормопроизводство. 1998. № 6. С. 24–26.

Иванов А.И. Осадок сточных вод в системах удобрения зерновых // Зерновые культуры. 1998. № 6. С. 10–11.

Иванов А.И. Особенности применения удобрений на хорошо окультуренных почвах // Картофель и овощи. 1999. № 2. С. 5.

Иванов А.И., Иванов И.А., Конашенков А.А. Влияние условий хранения минеральных удобрений на их свойства, равномерность внесения и эффективность // Агрохимия. 2002. № 1. С. 48–52.

Иванов А.И., Иванова Ж.А., Воробьёв В.А., Цыганова Н.А. Агроэкологические последствия длительного использования дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. 2016. № 4. С. 10–17.

Иванов А.И., Конашенков А.А. Агроэкологические последствия неравномерного внесения навоза в овощном севообороте // Агрохимия. 2012. № 6. С. 66–72.

Иванов А.И., Конашенков А.А. Методико-технологические аспекты и результаты оценки точных систем удобрения // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 3. С. 20–24.

Иванов А.И., Конашенков А.А., Федотенков Д.В. Равномерность внесения навоза и пестрота почвенного плодородия // Плодородие. 2007. № 2. С. 16–18.

Иванов А.И., Конашенков А.А., Хомяков Ю.В., Фоменко Т.Г., Федькин И.А. Оценка параметров пространственной неоднородности показателей почвенного плодородия // Агрохимия. 2014. № 2. С. 39–49.

Иванов А.И., Цыганова Н.А., Воробьёв В.А. Оценка длительного использования хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении разных систем удобрения // Агрохимия. 2010. № 3. С. 17–21.

Иванов И.А., Якушев В.П., Иванов А.И. Основы почвоведения, агрохимии и земледелия. СПб: Изд-во АФИ, 2010. 236 с.

Иванова В.Ф., Иванов И.А., Иванов А.И. Совершенствование агрохимической классификации почв // Агрохимический вестник. 1991. № 2. С. 24–25.

Конашенков А.А. Научное обоснование систем удобрения для прецизионного применения в условиях Северо-Запада России. Автореф. дисс. докт. с.-х. наук. СПб.: АФИ, 2014. 40 с.

Литвинович А.В. Пространственная неоднородность агрохимических показателей пахотных дерново-подзолистых почв // Агрохтимия. 2007. № 5. С. 89–94.

Небольсин А.Н. и др. Научные основы применения органических удобрений в Ленинградской области (рекомендации). Л.: СЗНИИСХ, 1987. 108 с.

Сапожников Н. А., Корнилов М. Ф. Научные основы систем удобрения в Нечернозёмной зоне. Л.: Колос, 1977. 296 с.

ОКУЛЬТУРИВАНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ НА ПОЛЕВЫХ И ОВОЩНЫХ КУЛЬТУРАХ

Ж. А. Иванова, П. А. Филиппов, Н. В. Смирнова

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

В ходе исследований в длительном стационарном полевом опыте в 2015–2016 гг. установлена высокая агрономическая эффективность мероприятий по интенсивному окультуриванию дерново-подзолистой почвы и применению повышенных доз минеральных удобрений. Ограничивающим фактором выступают неблагоприятные погодно-климатические условия и эпифитотии вредоносных заболеваний.

CULTIVATION OF SOD-PODZOLIC SOIL AND EFFICIENCY OF FERTILIZER SYSTEM FOR FIELD AND VEGETABLE CROPS

Zh. A. Ivanova, P. A. Filippov, N. V. Smirnova

Agrophysical Research Institute

In studies conducted in long-term stationary field experiment in the period of 2015–2016 has high agronomic efficiency of intensive cultivation of sod-podzolic soil and the use of high doses of mineral fertilizers. The limiting factor are the adverse weather conditions and epidemics harmful diseases.

Высокое значение минеральных и органических удобрений в деле повышения плодородия дерново-подзолистых почв и эффективности земледелия Северо-Западного региона Российской Федерации подтверждается многочисленными исследованиями отечественных учёных (Сапожников, Корнилов, 1977; Иванов, 1989; Иванова, Иванов, Иванов, 1991; Иванов, 1993; Небольсин, Небольсина, Яковлева, Поляков, 1997). Однако современный этап развития регионального земледелия отличается целым рядом особенностей: низким уровнем применения удобрений, в т. ч. местных (Архипов, Иванов, Данилова и др., 2016), высокой концентрацией производства на окультуренных дерново-подзолистых почвах (Иванов, 1998; Иванов, Семёнова, 1998; Архипов, Иванов, Синицына и др., 2015), как следствие, развитием не только явных (на неиспользуемых землях), но и скрытых деградационных процессов (Иванов, Цыганова, Воробьёв, 2010; Иванов, Воробьёв, Иванова, 2015; Иванов, Иванова,

Воробьёв, Цыганова, 2016), выраженным повышением роли погодно-климатического фактора в снижении устойчивости производства (Архипов, Иванов, Данилова и др., 2016; Иванов, Конашенков, Иванова, Воробьёв, Фесенко, Данилова, Филиппов, 2016).

На поиск эффективных приёмов воспроизводства плодородия активно используемых окультуренных дерново-подзолистых почв направлено исследование в многолетнем стационарном опыте «Агрофизический стационар», заложенном в Меньковском филиале АФИ в 2006 году на почвах трёх видов окультуренности (средней, хорошей и высокой), сформированных интенсивным применением навоза (а также птичьего помёта) и поддерживающим известкованием. Он представляет собой 3-хфакторный стационарный опыт в системе зернотравянопропашного (ячмень+мн. травы – мн. травы 1 г.п. – мн. травы 2 г.п. – рожь озимая – картофель – однолетние травы) и зернопропашного севооборотов (картофель ранний – пшеница озимая – люпин узколистный – свёкла столовая – капуста белокочанная – ячмень). Схема опыта представлена в табл. 1,2, общая площадь делянки 200 м^2, учётная – 140 м^2, размещение делянок систематическое, повторность 3-х кратная.

В 2015 и 2016 годах в зернотравянопропашном севообороте возделывались рожь озимая и картофель, а в зернопропашном севообороте – свёкла столовая и капуста белокочанная. Особенности роста и развития культур в эти годы определялись не только изучаемыми в опыте факторами, но и весьма своеобразными погодными условиями с необычно длительными безморозными волнами холода в начале вегетации. И всё же, несмотря на неблагоприятные погодные условия начала вегетации 2015 г. (острая поздневесенняя засуха и волна холода в июне), уровень продуктивности ржи озимой и свёклы столовой находился в пределах 4,83–8,08 и 14,25–38,57 т/га соответственно (табл. 1).

Таблица 1. **Зависимость продуктивности ржи озимой и свёклы столовой от окультуренности почвы и уровня применения удобрений**

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели продуктивности по видам почвы (фактор А)						
	урожайность зерна, т/га	прибавка урожайности		прибавка от окультуренности		прибавка от минеральных удобрений	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%
Рожь озимая							
Среднеокультуренная почва							
Контроль – 0	4,83	–	–	–	–	–	–
N70P30K30	6,21	1,38	31	–	–	1,38	29
N140P60K60	6,88	2,05	47	–	–	2,05	42
Хорошо окультуренная почва							
Контроль – 0	6,30	1,47	33	1,47	30	–	–
N70P30K30	7,18	2,35	54	0,97	16	0,88	14
N140P60K60	7,85	3,02	69	0,97	14	1,55	25
Высокоокультуренная почва							
Контроль – 0	6,93	2,1	48	2,1	43	-	-
N70P30K30	7,90	3,07	70	1,69	27	1,6	23
N140P60K60	8,08	3,25	74	1,2	17	1,15	17
$НСР_{05}$ фактор А		0,40					
фактор Б		0,57					
фактор АБ		$F_{факт}<F_{05}$					
Свекла столовая							
Среднеокультуренная почва							
Контроль – 0	14,25	–	–	–	–	–	–
N70P50K100	21,28	7,03	49	–	–	7,03	49
N110P70K200	24,33	10,08	71	–	–	10,08	71
Хорошо окультуренная почва							
Контроль – 0	21,88	7,63	54	7,63	53	-	-
N70P50K100	30,52	16,27	114	9,24	43	8,64	39
N110P70K200	36,00	21,75	153	11,67	48	14,12	64
Высокоокультуренная почва							
Контроль – 0	26,12	11,87	83	11,87	83	–	–
N70P50K100	34,76	20,51	144	13,48	63	8,64	33
N110P70K200	38,57	24,32	171	14,24	58	12,45	48
$НСР_{05}$ фактор А		1,87					
фактор Б		2,63					
взаимод АБ		$F_{факт}<F_{05}$					

Более требовательная к плодородию свёкла столовая чувствительнее реагировала на окультуривание дерново-подзолистой почвы (поддерживаемое применением органических удобрений), формируя прибавки урожайности корнеплодов в 53 и 83% при 30 и 43% у ржи озимой.

Отдача от минеральных удобрений у ржи озимой закономерно снижалась по мере роста степени окультуренности почвы. Если на средне- и хорошо окультуренной почве оптимальной была доза N140P60K60, то на высоко

окультуренной N70P30K30. У свёклы столовой эта закономерность отсутствовала. Прибавка урожайности корнеплодов от минеральных удобрений по мере роста окультуренности почвы здесь не только не снижалась, но и имела тенденцию к увеличению в абсолютном исчислении с 7–10 до 9–14 т/га. Причина этого в высокой потребности культуры в комплексной оптимизации питательного режима почвы (нейтральной реакции, оптимальном обеспечении микроэлементами и др.).

Анализ факторов продуктивности ржи озимой показал, что уровень окультуренности почвы, как и уровень применения минеральных удобрений больше влияли на продуктивную кустистость растений, их выживаемость к уборке и число зёрен в колосе. Масса тысячи зёрен на изучаемом агротехническом фоне оказалась относительно стабильным показателем.

Окультуренность почвы существенно влияла на полевую всхожесть семян и выживаемость растений свёклы столовой к уборке (густота стояния растений увеличилась с 18 до 21–22 шт./м^2. Влияние минеральных удобрений на этот показатель было слабовыраженным. Напротив, средняя масса корнеплода зависела и от уровня окультуренности почвы (77, 106 и 121 г) и от уровня применения удобрений (134, 155, 157 г). По мере роста плодородия почвы товарность корнеплодов увеличилась с 71 до 86–91%, а минеральные системы удобрения повысили её в среднем с 83 до 90–92%. Применение максимальной дозы минерального удобрения на фоне хорошей и высокой окультуренности почвы способствовало увеличению доли крупных корнеплодов, что выражалось в тенденции снижения их товарности.

В 2016 г. неблагоприятные условия, выражались в продолжительной волне холода со второй декады мая до середины июня и в исключительно избыточном увлажнении периода активного формирования клубней (с конца июля до середины августа). В условиях повышенной влажности почвы и пониженных температур существенно повысилась подвижность фитотоксичных соединений марганца и поражённость растений ризоктониозом. Особенно значительные потери от эпифитотии ризоктониоза были

зафиксированы на капусте белокочанной, где уровень поражения прямо коррелировал с дозами минеральных удобрений, и обратно, с уровнем окультуренности почвы. В результате уровень недобора урожая от такого неблагоприятного сочетания агроэкологических условий варьировал от 32–40% в контрольных вариантах (без минеральных удобрений) до 43–64% – на фоне высокой их дозы (табл. 2).

Таблица 2. **Зависимость продуктивности картофеля и капусты белокочанной от окультуренности почвы и уровня применения удобрений**

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели продуктивности по видам почвы (фактор А)							
	урожайность, т/га		прибавка урожайности		прибавка от окультуренности		прибавка от минеральных удобрений	
	потенц.	факт.	т/га	%	т/га	%	т/га	%
Капуста белокочанная								
Среднеокультуренная почва – без помёта								
Контроль-0	30,5	25,0	-	-	-	-	-	-
N100P40K160	47,0	30,6	5,6	22	-	-	5,6	22
N150P60K240	58,9	21,2	-3,8	-15	-	-	-3,8	-15
Хорошо окультуренная почва								
Контроль-0	109,9	75,0	50,0	200	50,0	200	-	-
N100P40K160	141,6	82,9	57,9	232	52,3	171	7,9	11
N150P60K240	143,3	81,8	56,8	227	60,6	242	6,8	9
Высокоокультуренная почва – 70 т/га помёта								
Контроль-0	128,1	77,3	52,3	209	52,3	209	-	-
N100P40K160	161,7	81,6	56,6	226	51,0	167	4,3	6
N150P60K240	162,5	79,0	54,0	216	57,8	272	1,7	2
$НСР_{05}$ фактор А	8,70	7,40						
фактор Б	8,70	$F_ф<F_{05}$						
фактор АБ	15,07	$F_ф<F_{05}$						
Картофель								
Среднеокультуренная почва – без помёта								
Контроль-0	20,8	17,9	-	-	-	-	-	-
N80P20K100	30,4	25,1	7,2	40	-	-	7,14	40
N120P40K150	35,5	28,2	10,3	57	-	-	10,25	57
Хорошо окультуренная почва – 35 т/га помёта								
Контроль-0	29,4	23,7	5,8	32	5,8	32	-	-
N80P20K100	38,1	29,5	11,6	65	4,4	18	5,81	25
N120P40K150	43,0	32,1	14,2	79	3,9	14	8,40	35
Высокоокультуренная почва – 70 т/га помёта								
Контроль-0	33,6	25,3	7,4	41	7,4	41	-	-
N80P20K100	38,8	28,1	10,2	57	3,0	12	2,79	11
N120P40K150	42,9	30,0	12,1	67	1,8	6	4,70	19
$НСР_{05}$ фактор А	3,71	2,69						
фактор Б	3,71	2,69						
взаимод АБ	$F_ф<F_{05}$	$F_ф<F_{05}$						

Фактически даже резкое повышение товарности продукции на фоне минеральных систем удобрения, достигнутое во второй половине вегетации, лишь компенсировало потери от изреживания посадок культуры в начале вегетационного периода, а их действие может быть выражено лишь тенденциями (от отрицательных на среднеокультуренном фоне до положительных – на хорошо- и высоко-окультуренном). Отзывчивость на минеральные удобрения картофеля также ограничивалась неблагоприятными условиями начала и конца вегетации, когда на фоне избыточного увлажнения произошло эпифитотийное поражение посадок культуры фитофторозом. Прямые потери урожая клубней (гибель от поражения возбудителем и незавершенное формирование клубней) на средне-, хорошо и высококультуренных почвах составили 16–26, 24–34 и 33–43% соответственно. Однако относительный положительный эффект здесь всё же был достоверным и достигал на средне-, хорошо- и высокоокультуренном фонах 40–57, 25–35 и 11–19% прибавок урожая клубней. Повышение дозы минерального удобрения до максимального уровня оказалось эффективным только на среднеокультуренном фоне.

В целом же агрономические эффекты от уровня окультуренности почвы и минеральных удобрений в значительной степени трансформировались в 2016 г. в связи с применением высокой (35 т/га) и очень высокой (70 т/га) дозы птичьего помёта. На фоне неблагоприятных погодных и фитосанитарных условий оптимизация питательного режима почвы под действием помёта, положительно отразившаяся на комплексе биометрических показателей обеих культур достоверно реализовалась в урожае лишь при первом уровне дозы в 35 т/га. Прибавка урожайности картофеля достигла 32, а капусты белокочанной – 200%. Применение очень высокой дозы помёта хотя и имело ряд положительных биометрических эффектов, а так же повышало товарность основной продукции, существенного роста урожая не вызвало.

Таким образом, комплексное окультуривание дерново-подзолистой почвы и приёмы воспроизводства её плодородия позволяют повысить

продуктивность полевых (ржи озимой и картофеля) и овощных (свеклы столовой и капусты белокочанной) культур на 30–32 и 53–200%. Стабильно высокая эффективность свойственна лишь первому уровню минеральных систем удобрения. Реализация биопродуктивного потенциала культур на фоне высоко интенсивного окультуривания и применения органических и минеральных удобрений ограничивается неблагоприятным сочетанием погодно-климатических и фитосанитарных условий. По прежнему, основные издержки здесь связаны с недостаточной теплообеспеченностью и периодическим переувлажнением.

Список литературы

Архипов М.В., Иванов А.И., Синицына С.М. и др. Методологические и информационно-технологические основы развития кормопроизводства в Северо-Западном регионе РФ. СПб.: СЗЦППО, 2015. 184 с.

Архипов М.В., Иванов А.И., Данилова Т.А. и др. Оценка биопотенциала производства продовольствия в Северо-Западном регионе России. СПб. – Пушкин, 2016. 136 с.

Иванов А.И. Оптимизация условий питания полевых культур на дерново-подзолистых почвах с высоким содержанием фосфора и калия. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. С-Пб.-Пушкин, 1993. 15 с.

Иванов А.И. Особенности удобрения зерновых на окультуренных дерново-подзолистых почвах с высокими запасами фосфора и калия // Зерновые культуры. 1998. № 3. С. 20–21.

Иванов А.И., Семёнова Н.И. Перспективы удешевления систем удобрения кормовых культур // Кормопроизводство. 1998. № 6. С. 24–26.

Иванов А.И., Цыганова Н.А., Воробьёв В.А. Оценка длительного использования хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении разных систем удобрения // Агрохимия. 2010. № 3. С. 17–21.

Иванов А.И., Воробьёв В.А., Иванова Ж.А. Современные деградационные процессы в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Проблемы агрохимии и экологии. – 2015. № 3. – С. 15–19.

Иванов А.И., Иванова Ж.А., Воробьёв В.А., Цыганова Н.А. Агроэкологические последствия длительного применения дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. 2016. № 4. С. 10–17.

Иванов А.И., Конашенков А.А., Иванова Ж.А., Воробьёв В.А., Фесенко М.А., Данилова Т.А., Филиппов П.А. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала Северо-Запада России // Агрофизика. 2016. № 2. С. 35–45.

Иванов И.А. Пути повышения эффективности минеральных удобрений в условиях Северо-Запада РСФСР. Дисс. … докт. с.-х. наук. Великие Луки, 1989. 388 с.

Иванова В.Ф., Иванов И.А., Иванов А.И. Совершенствование агрохимической классификации почв // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 12. С. 24 – 25.

Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Яковлева Л.В., Поляков В.А. Научные основы и технологии использования удобрений и извести. СПб: 1997. 52 с.

Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф. Научные основы системы удобрения в Нечернозёмной полосе. Л.: Колос, 1977. 296 с.

RESPONSE OF SPRING WHEAT TO VARIED NITROGEN AND WATER APPLICATIONS

Olga S. Walsh[1], Jessica A. Torrion[2], Xi Liang[3], Jordan R. McClintick[1], Steven M. Blanscet[1]

[1]*University of Idaho, Parma Research & Extension Center;*

[2]*Montana State University, Northwestern Agricultural Research Center,*

[3]*University of Idaho, Aberdeen Research & Extension Center*

Water and nitrogen (N) are two key production inputs in most wheat cropping systems. Sustainability of wheat production in semi-arid regions of the Western U.S. is threatened by limited water availability and inefficient use of irrigation water and fertilizers. Through field experiments in Idaho and Montana, this study aims to demonstrate that sensor-based technologies, utilized in combination with traditional practices such as soil testing and evapotranspiration (ET) monitoring, can substantially improve the management of N and water.

Introduction

The project incorporates research and education focused on: 1) conducting field studies for determining the minimum N and water requirements for optimum wheat grain yield and quality, 2) developing a sensor-based system for identifying and distinguishing between N and water stresses, 3) developing an empirical model for predicting wheat yield and protein content in varying water × N interactions, 4) developing water and N use recommendations for growers based on the developed model, and 5) delivering extensive educational outreach focused on water and nutrient conservation and utilization of sensor-based technologies.

Materials and Methods

Field studies were initiated in Idaho and Montana. Experimental plots were arranged in a split-plot design with 4 replications: four N levels (112, 168, 224, and 280 kg N ha^{-1}) and four water regimes (100%, 75%, 50% and 0% ET). Spring wheat (var. Alturas) was planted in March 2016 at 168 kg seed ha^{-1}. Irrigation was applied via subsurface drip system. Several crop physiological parameters including plant height, leaf area index, chlorophyll content, canopy spectral reflectance, above ground biomass, N uptake, water and N use efficiency and grain yield and quality was measured at early tillering, late tillering and anthesis. In this paper, we report some findings from the 2016 growing season.

Results

Spring wheat grain yield was mostly influenced by water availability (Figures 1, 3, and 4). Grain yields ranged from 4013 to 7748 kg ha^{-1} at Parma, from 1266 to 7612 kg ha^{-1} at Aberdeen, and from 4396 to 6443 kg ha^{-1} at Kalispell. At Kalispell, the 100% ET treatments, plus the 75% ET treatment with the highest N rate, were the top yielding. At Aberdeen, the 75% ET with the highest N rate and the 100% ET with the second-highest N rate, produced the highest grain yields. At all three locations, the lowest grain yields were obtained with 0% ET treatments, independent of the N rate applied. For all locations, Pearson correlation test showed that, ET has significantly affected grain yield, and there were no significant differences in yield associated with N rate.

Grain protein content was mainly affected by N application. Grain protein content ranged from 8.9 to 12.0% at Parma, and from 14.5 to 15.9% at Kalispell (Figure 2), with Aberdeen protein data pending. These protein values are typical for the varieties grown. For both Parma and Kalispell, Pearson correlation test showed that, N has significantly affected grain protein content, and there were no significant differences in grain protein associated with ET.

At Parma, ET has significantly affected number of spikes per plant, and N rate has significantly affected plant height and NDVI (at Feekes 8), SPAD values, NDVI, and biomass total N content (at Feekes 10), and kernel weight (data not shown).

This study is being repeated at the same three experimental locations in 2017 growing season.

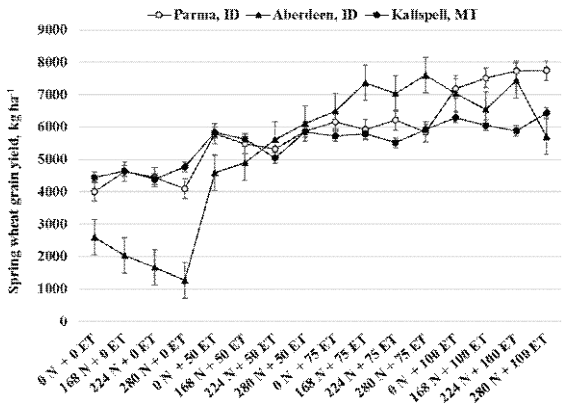


Figure 1. Spring wheat grain yield response to nitrogen and water treatments, 2016.

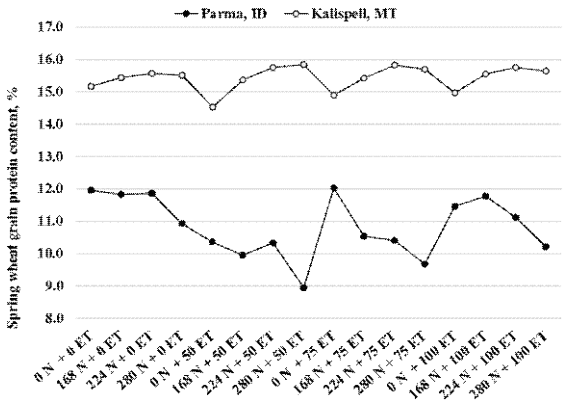


Figure 2. Spring wheat grain yield response to water treatments, 2016.

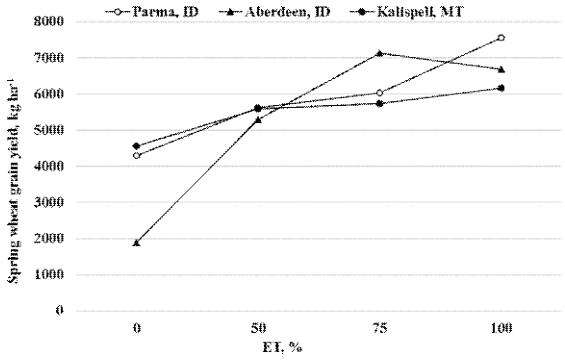


Figure 3. Spring wheat grain protein content response to nitrogen and water treatments, 2016.

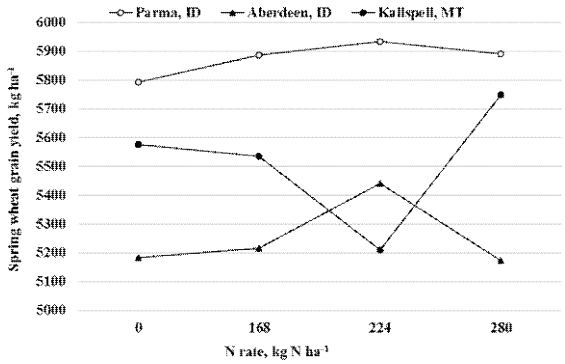


Figure 4. Spring wheat grain yield response to nitrogen treatments, 2016.

КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ РИСКИ ФАКТОРОВ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

О. В. Кононенко

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

На примере Северо-Западного региона рассмотрены климатически обусловленные риски температурного режима погоды. Проанализирован один из лимитирующих факторов сельскохозяйственного растениеводства – возникновение радиационных заморозков в весенний и осенний периоды. Показан согласованный характер межгодовой изменчивости явления по всем областям, что объясняется общностью макромасштабных синоптических процессов в регионе. Отмечено, что в последнее десятилетие наблюдается тенденция к снижению количества радиационных заморозков.

On the example of the North-West region, climate-related risks of the weather temperature regime were studied. One of the limiting factors for crop growth – the occurrence of radiation frosts in the spring and autumn periods was analyzed. The coordinated character of the interannual variability of the phenomenon in all the regions was shown. The could be explained by the generality of macroscale synoptic processes in the whole area. It was noted that in the last decade there was a decrease in the number of radiation frosts.

Климатические и погодные условия оказывают существенное влияние на факторы продуктивности сельскохозяйственных культур. В условиях современного изменения климата оценка климатически обусловленных рисков является важной составляющей для планирования и принятия решений в сельскохозяйственном растениеводстве (Усков и др., 2014). Наиболее существенное влияние в Северо-Западном регионе на факторы продуктивности оказывают температурный и влажностный режимы погоды. Одной из составляющих температурного режима является продолжительность вегетационного периода и возникновение поздних весенних и ранних осенних заморозков. Влажностный режим в большей степени определяется частотой и интенсивностью осадков в вегетационный период.

Исследование температурного режима Северо-Западного региона по фактору возникновения радиационных заморозков проводилось для метеостанций, расположенных в пяти областях региона с наиболее развитым сельскохозяйственным растениеводством: Вологодской, Калининградской, Ленинградской, Новгородской и Псковской областях. Для анализа использованы данные ежедневных срочных наблюдений штатной метеорологической сети со срочностью три часа за безморозный период с мая по октябрь с 1966 по 2013 годы (47 лет), опубликованные Всероссийским

научно-исследовательским институтом гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. В анализе участвовало 16 метеорологических станций:

– по Вологодской области: Вытегра, Великий Устюг, Бабаево, Вологда (Прилуки), Тотьма, Никольск;

– по Калининградской области: Железнодорожный, Советск;

– по Ленинградской области: Выборг, Белогорка, Тихвин;

– по Новгородской области: Старая Русса;

– по Псковской области: Гдов, Псков, Пушкинские Горы, Великие Луки.

Под радиационными заморозками понимались ситуации, при которых температура воздуха и поверхности почвы принимали отрицательные значения на фоне положительных среднесуточных температур.

Выделяют два типа процесса возникновения заморозка: адвективные, связанные с передвижением холодных масс воздуха из других районов и радиационные, возникающие вследствие интенсивного ночного излучения подстилающей поверхности. Радиационные заморозки наиболее опасны, поскольку возникают в поздние весенние и ранние осенние периоды, когда среднесуточная температура воздуха положительна и растения находятся в активных фазах всходов, роста или цветения. Радиационные заморозки возникают в результате радиационного выхолаживания подстилающей поверхности в ясные безветренные ночи. Поверхность почвы путем излучения отдает тепло расположенным над ней слоям воздуха – в процессе радиационного выхолаживания сначала охлаждается поверхность почвы и далее, путём теплообмена, охлаждаются приземные слои воздуха, вследствие чего температура вблизи поверхности почвы становится ниже, чем на высоте 2 м. Основные процессы тепло- и влагообмена в системе «почва – воздух» происходят на высоте 2 см от поверхности почвы или смещаются от 5 см и выше по уровню травостоя (Чудновский, 1949).

Наибольшую опасность для сельскохозяйственных культур представляют заморозки, возникающие в период активной вегетации и цветения. Генеративные органы растений повреждаются даже слабыми кратковременными заморозками около 0…–2°С. Гибель цветков большинства растений наблюдается при –3°С, –4°С и не определяется общей устойчивостью культур к заморозку. Для основных зерновых культур зерно в фазе молочной спелости повреждается заморозками при –2°С, –4°С.

Согласно исследованиям (Кононенко, 2013, 2015), ежегодная повторяемость заморозков свидетельствует о климатической обусловленности данного явления в Северо-Западном регионе. Возникновение радиационных заморозков носит ярко выраженный сезонный характер. Количество и частота возникновения весенних и осенних заморозков в разные годы меняются, но, в основном, весенние заморозки превалируют над осенними, на весну приходится 60%, на осень 40% случаев. Наиболее поздние весенние заморозки зарегистрированы в июне, самые ранние осенние заморозки наблюдались в августе, однако, как показал анализ, в последние 10–15 лет частота возникновения заморозков в июне и августе существенно уменьшилась (рис. 1).

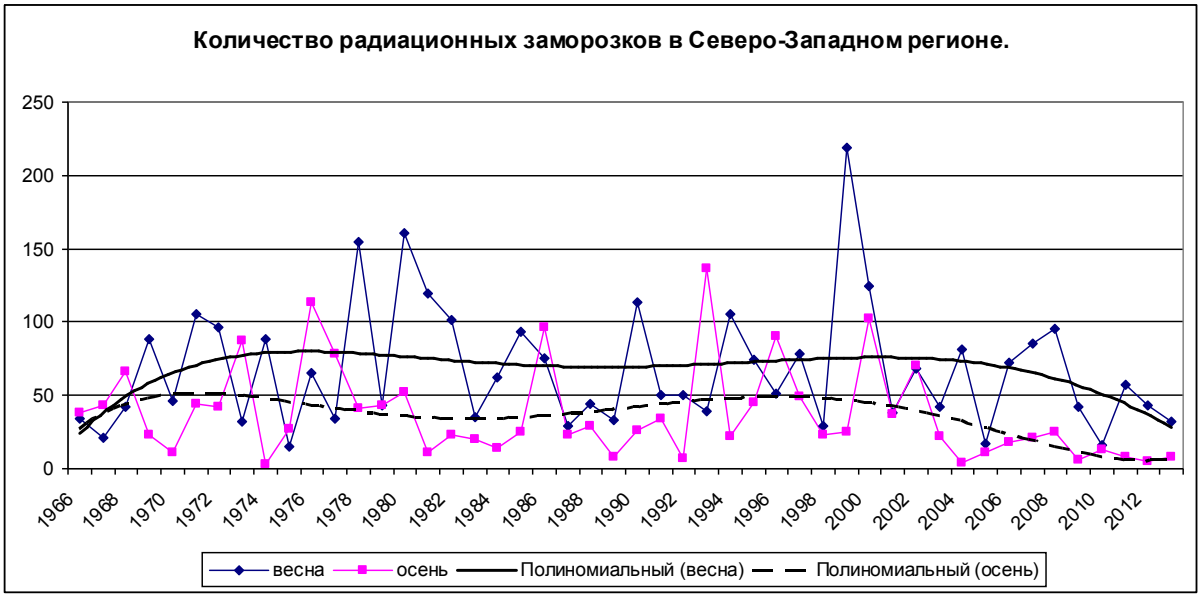


Рис. 1. Количество радиационных заморозков в Северо-Западном регионе по годам

Зональное распределение радиационных заморозков по датам возникновения поздних весенних и ранних осенних заморозков приведено на рисунке 1. По крайним датам наступления заморозков регион условно можно разделить на три зоны: Ленинградско-Вологодская, с регулярным возникновением заморозков в июне и августе; Псковско-Новгородская, с единичными заморозками в июне и августе; Калининградская, с наиболее продолжительным безморозным периодом и единичными заморозками в мае и сентябре (рис. 2).

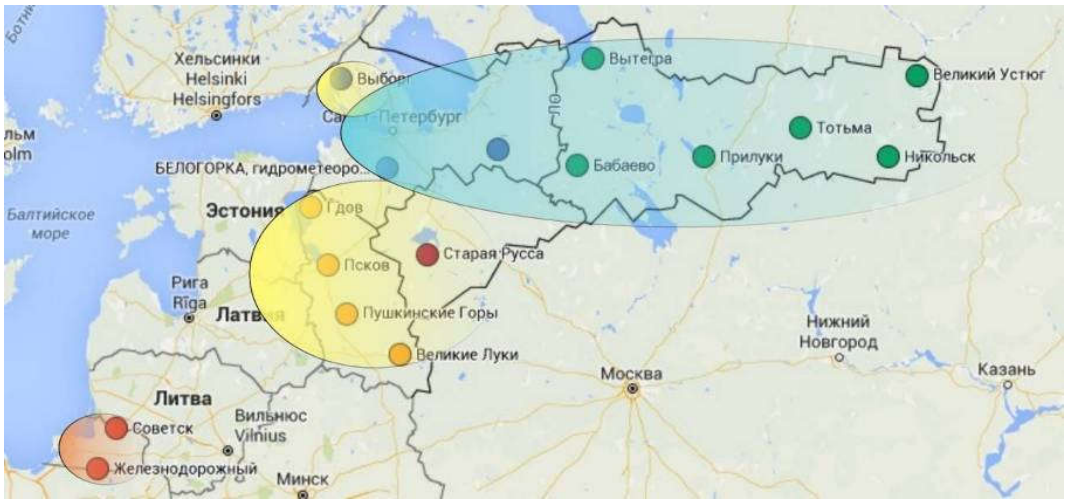


Рис. 2. Зональное распределение радиационных заморозков по датам возникновения поздних весенних и ранних осенних

По абсолютным значениям за исследуемый период наибольшее количество заморозков наблюдалось на станциях Вологодской области, наименьшее на станциях Калининградской области и станции Выборг, расположенной в Ленинградской области, что соответствует особенностям их географического положения – континентального и морского соответственно (табл.).

Таблица. **Количество радиационных заморозков по станциям за период с 1966 по 2013 годы**

	Весна	Осень
Вологодская		
Вытегра	489	201
Великий Устюг	363	162
Бабаево	324	220
Вологда (Прилуки)	331	214
Тотьма	349	178
Новгородская		
Старая Русса	106	100
Псковская		
Гдов	162	83
Псков	136	81
Пушкинские горы	137	79
Великие Луки	131	106
Ленинградская		
Тихвин	268	188
Выборг	76	29
Белогорка	174	91
Калининградская		
Железнодорожный	108	14
Советск	82	22

Основные выводы:

На территории Северо-Западного региона России возникновение радиационных заморозков показывает согласованных межгодовой ход по всем областям, что объясняется общностью погодных условий в регионе. В количественном отношении наиболее заморозкоопасные территории находятся в Вологодской области и в районе метеостанции Тихвин Ленинградской области, расположенные вдали от крупных водоёмов и характеризующиеся континентальным типом климата. Наименее подвержены заморозкам Калининградская область и метеостанция Выборг Ленинградской области, расположенные на побережье.

Возникновение радиационных заморозков показывает довольно большую межгодовую изменчивость на всех станциях, однако, нужно отметить, что в последнее десятилетие наблюдается некоторая тенденция к снижению их количества, что в прочем, не является показателем существенного потепления климата, поскольку периоды с минимальным количеством заморозков наблюдались на всех станциях и в исследованный нами период.

Для определения климатически обусловленных рисков по факторам заморозков радиационного типа разработана методика расчета вероятности возникновения заморозков (Кононенко, 2013). Оценку вероятности возникновения заморозков радиационного типа предлагается рассчитывать по скорости изменения разности температур воздуха и подстилающей поверхности.

Список литературы

1. Усков И. Б., Захарян Ю. Г., Николаев М. В., Усков А. О., Кононенко О. В., Мищенко А. Ф. Геостатистическая оценка рискованности земледелия РФ по комплексу метеорологических, климатических и агрономических факторов // Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование. Материалы первой Всероссийской открытой конференции. 2014. С. 157-160.

2. Кононенко О. В. Физико-статистические предпосылки и методика оценки вероятности возникновения скрытых заморозков. Диссертация на соискание степени кандидата сельскохозяйственных наук. / Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН. Санкт-Петербург, 2013. 164 с.

3. Кононенко О. В. Агробиологические риски по факторам заморозков радиационного типа // В сборнике: Перспективы инновационного развития агропромышленного комплекса и сельских территорий Материалы международного конгресса. Сер. "Агрорусь" Северо-Западный региональный научный центр Российской академии сельскохозяйственных наук, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, ООО «ЭФ-ИНТЕРНЕШНЛ». 2014. С. 262-263.

4. Кононенко О. В. Особенности возникновения заморозков радиационного типа по территории Ленинградской области. // Агрофизика. 2015. № 4. С. 31-36.

5. Чудновский А. Ф. Заморозки. Л., Гидрометеоиздат. 1949. 124 с.

ПРОБЛЕМА ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПУТИ ЕЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЙЕМЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)

Мукбиль Мансур Хассан

Институт международных образовательных программ

Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург

Публичная информация о глобальном изменении климата, которая ныне доступна для мировой общественности, свидетельствует о развитии крайне негативной ситуации для человечества. В частности, в докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) от 31 марта 2014 года говорится, что на всех континентах и пространствах океанов уже наблюдаются воздействия изменения климата в связи с высокими уровнями глобального потепления, и мир плохо подготовлен к рискам, связанным с изменением климата. Отмечается, что уже сейчас наблюдаемые последствия изменения климата затронули экосистемы суши и океана, некоторые источники средств к существованию людей, системы водоснабжения, сельское хозяйство, здоровье человека – то есть люди, сообщества, экосистемы являются уязвимыми во всём мире, но с разной степенью уязвимости в разных местах. Последствия таких изменений более значительного масштаба могут оказаться неожиданными, чрезвычайно серьёзными, всепроникающими и необратимыми.

В качестве примера рассмотрим климатические и природные особенности Республики Йемен. Йемен является страной Ближнего Востока и расположен в южной оконечности Аравийского полуострова – на стыке тропического и субэкваториального поясов.

Времена года в Йемене слабо различаются, и привычной в понимании европейца зимы, весны и осени здесь не бывает. Зима в Йемене начинается в начале декабря и длится три месяца. Зима – это «самое холодное» время года со средней дневной температурой воздуха +25°С. На побережье Красного моря и

Аденского залива, а также на островах в дневные часы воздух прогревается до +26…+28°С, а в ночные – охлаждается до +22…24°С. На побережье Аравийского моря температуры воздуха на 2–3 градуса ниже. В столице Йемена – Сане зимой чуть прохладнее: в дневные часы воздух прогревается до +22°С, а ночью охлаждается до +10°С. И лишь в высокогорьях зимой действительно прохладно, а в ночные и утренние часы нередко случаются заморозки.

Весна в Йемене начинается в начале марта и длится 1,5–2 месяца. Весна здесь явление незаметное и выражается лишь в повышении температуры воздуха на всей территории страны. Так как территория Йемена по большей части лишена растительности, наступление весны в природе, практически, не заметно. Пожалуй, лишь в горных районах действительно можно почувствовать наступление весны.

Лето в Йемене – самое продолжительное время года, и если судить по среднегодовым температурам, то здесь лето бесконечно. Средняя температура воздуха в дневные часы летом в Йемене составляет +30°С.

Осень в Йемене – это переходящее состояние от очень жаркой погоды к менее жаркой. Осень в Йемене длится всего два месяца – октябрь и ноябрь. Средняя дневная температура воздуха на большей части территории держится на отметке +27°С. И лишь в горных районах осень по – настоящему заметна, здесь уже прохладнее, в среднем, +15…+19°С в дневное время суток.

В течение года над территорией Йемена выпадает от 40 мм до 1000 (и более) мм осадков. Наибольшее увлажнение получают склоны гор, расположенных в южной и западной части страны и острова Аравийского моря. Горные районы континентального юга получают от 520 до 760 мм осадков в год, а некоторые области юго-запада, такие как провинция Ибб, даже до 1000–1500 мм осадков в год. Иногда, на самых высоких вершинах выпадает снег. Уровень осадков в Сане достигает 300 мм в год. Меньше всего осадков выпадает на побережье и в пустынях, при этом некоторые пустынные районы вообще не получают осадков по нескольку лет.

В Йемене существует пять основных систем суши:

1 – жаркая и влажная прибрежная равнина;

2 – умеренное Йеменское нагорье;

3 – высокие плато Йемена и возвышенности Хадрамаут-Махра;

4 – внутренняя часть пустыни;

5 – острова.

Особенности рельефа и ландшафта – наличие горных хребтов, высокогорий, пустынь и прибрежных равнин в сочетании с засушливыми погодными условиями делает несколько регионов подверженными опустыниванию и наводнениям. Несколько экологических зон являются хрупкими и ограничены небольшими районами, где общины, флора и фауна хорошо приспособлены к существованию в них.

В стране проживает преимущественно сельское и быстро растущее население, насчитывающее более 26 миллионов человек, с уровнем бедности 38 процентов и ВВП на душу населения в размере 1118 долларов, что является одним из самых низких показателей в регионе Ближнего Востока. Несмотря на скромные успехи в борьбе с нищетой в последние годы, 40% населения страны по-прежнему относятся к категории бедных(1). В качестве страны с высоким уровнем продовольственной небезопасности, которая сильно зависит от импорта основных продуктов питания и где 32% ее населения считаются недоедающим, Йемен серьезно пострадал от недавнего продовольственного кризиса.

В 2009 году Йемен представил свою Национальную программу действий по адаптации (НПДА), заложив тем самым основу для национального плана действий по изменению климата. В ней указаны несколько критериев бедности и экономического роста, которые должны использоваться при оценке и определении приоритетности предлагаемых новых проектов. К числу ключевых уязвимых секторов относятся водные ресурсы, сельское хозяйство и животноводство, энергетика и прибрежные зоны. Варианты адаптации были впоследствии отобраны с помощью консультативного процесса с

соответствующими заинтересованными сторонами по всей стране. В порядке приоритетности они включают:

- разработку и осуществление комплексных программ управления прибрежными зонами;
- сохранение воды за счет повторного использования отработанных сточных вод, а также методов ирригации;
- разработку и осуществление программы повышения осведомленности об адаптации к потенциальным последствиям изменения климата;
- создание и ведение базы данных об изменении климата и адаптации;
- посадку мангровых деревьев для адаптации к прогнозируемому повышению уровня моря;
- разработку и осуществление программ, направленных на повышение готовности Йемена справляться с экстремальными погодными явлениями;
- сбор дождевой воды с использованием различных методов, включая традиционные методы;
- содействие исследованиям в отношении признаков засухоустойчивости, жаростойкости и солевыносливости культур;
- разработку и осуществление стратегий устойчивого землепользования для борьбы с опустыниванием и деградацией земель;
- устойчивое управление рыбными ресурсами;
- включение вопросов изменения климата и адаптации в школьные программы;
- инвестирование в «ответные знания», которые касаются климатической изменчивости и изменения климата (в частности, прогнозирование и раннее предупреждение, улучшение сбора данных и обмена ими, а также информирование общественности)

Глобальные климатические модели являются нашим основным источником информации о будущем климате. МГЦАО содержат упрощенные, но систематически строгие математические описания важных физических и

химических процессов, регулирующих климат, включая роль атмосферы, суши, океанов и биологических процессов. Нижеследующая информация о меняющемся климате представлена в виде набора МГЦАО, используемых Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Обзор ожидаемых изменений климата в Йемене (2):

- ожидается, что к 2060 году среднегодовая температура повысится с 1,2°C до 3,3°C, а во внутренних районах прогнозируемый темп потепления будет более быстрым, чем в районах, прилегающих к побережью. Это согласуется с более высокими темпами потепления, которые прогнозируются для Аравийского полуострова и Восточной Африки, согласно четвертому оценочному докладу МГЭИК.
- прогноз будущих осадков не согласуется по моделям. Согласно одним моделям предсказывают увеличение осадков, в то время как по другим модельным оценкам предсказывается их уменьшение. Эти неопределенности в будущих моделях выпадения осадков частично зависят от различий в моделируемом поведении внутритропической зоны конвергенции в этом регионе. Доля осадков, которая приходится на «тяжелые» события, в большинстве модельных прогнозов показывает на увеличение осенних осадков (сентябрь, октябрь и ноябрь).
- ожидается, что сток увеличится на 13%. Прогнозируется, что количество дней и ночей, которые считаются «горячими» при нынешнем климате также увеличиться, в то время как частота дней и ночей, считающихся «холодными», в текущем климате, по прогнозам, будет уменьшаться.

К числу связанных с климатом опасностей в Йемене относятся экстремальные температуры, наводнения, оползни, повышение уровня моря и засухи. Хотя эти опасности являются естественным явлением в Йемене, тем не менее, они создают серьезные ограничения для развития и продовольственной безопасности, и их интенсивность и частота, вероятно, возрастут в условиях изменяющегося климата. Причины и последствия этих стихийных бедствий в Йемене обсуждаются ниже:

Наводнения

Осадки в Йемене характеризуются сезонными интенсивными и непродолжительными сильными штормами, которые часто приводят к внезапным наводнениям, которые вызывают эрозию почв и деградацию сельскохозяйственных террас. Иногда эти наводнения приводят к значительному экономическому ущербу и потере урожая. Например, сильные дожди, связанные с тропическим штормом в октябре 2008 года, привели к выпадению 90 мм осадков в течение 30 часов – в отличие от обычных 5–6 мм за тот же период. Это привело к сильному наводнению в Хадрамуте и на востоке Йемена. В результате чего погибло более 70 человек, было перемещено 25 000 человек и уничтожено более 2800 домов. (3) Общий ущерб от наводнения оценивался в 1638 млн. долл. США. Из-за сосредоточенных физических активов и концентрации населения, такие наводнения в городских районах могут привести к очень высоким потерям. Средний ежегодный ущерб, вызванный повторяющимися наводнениями, например, в Сане, оценивается в 3,0 млн. долл. США(4).

Засухи и опустынивание

За сильным ливнем часто следуют длительные сухие периоды, которые приводят к широко распространяемой засухе, опустыниванию и деградации земель. Изменение климата может увеличить продолжительность этих периодов. При этом наблюдается усиление водного стресса и запасы подземных вод, по всей вероятности, будут истощены в течение 2–3 лет независимо от изменения климата, что приведет к сокращению производства сельскохозяйственной продукции примерно на 40% (5). Водный кризис в Йемене занимает одно из первых мест в мире. Высокая сухость, быстро истощающиеся запасы подземных вод и прогнозируемое повышение температуры указывают на увеличение отрицательной нагрузки на сельскохозяйственное производство. К тому же высокая изменчивость количества осадков может привести к длительным сухим периодам.

Повышение уровня моря

Повышение уровня моря приведет к увеличению прибрежных наводнений и возможному ущербу для инфраструктуры и экосистем вследствие вторжений соленых вод, и это отрицательно скажется на и без того хрупком водном балансе страны. Прибрежные районы уже страдают от деградации почв. Повышение уровня моря может усугубить ухудшение состояния водно-болотных угодий, повреждение инфраструктуры, затопление прибрежных районов, проникновение соленых вод в подземные воды и миграцию мангровых лесов.

Варианты адаптации в водном секторе включают принятие комплексного управления водными ресурсами на всех уровнях (например, оценка водных ресурсов и мониторинг, структура стимулов для поощрения эффективного и устойчивого водопользования, содействие планированию и управлению на уровне бассейна, управление водоразделами в ключевых водосборных бассейнах).

Сельское хозяйство остается важнейшим производственным сектором, вносящим 25% в ВВП и использующим более 45% рабочей силы страны. Однако в результате низкой производительности и возникающей нехватки воды доходы сельского населения сокращаются, а бедность увеличивается. Йемен — одна из наиболее известных стран-производителей на мировом кофейном рынке, однако о географии производства кофе в Йемене известно не так много. Более 95% объема производимого в Йемене кофе приходится на 10 западных провинциях, хотя общий объем производства кофе в стране мог бы быть и выше. Главным образом, этому препятствуют такие факторы, как недостаток регулярного водоснабжения и несовершенные технологии управления ресурсами и ведения сельского хозяйства. 60% производителей кофе используют дополнительный источник орошения. Для большинства это – ручьи и колодцы.

Наиболее решительные меры адаптации уже являются частью йеменской национальной стратегии и инвестиционной программы сектора водоснабжения

(NWSSIP) и Национальной программы действий по адаптации (НПДА). Однако инвестиции и осуществление этих программ необходимо укреплять и ускорять. Варианты адаптации в сельскохозяйственном секторе в значительной степени связаны с подходами в водном секторе. Рекомендации включают:

- макроэкономические решения для устранения стимулов для добычи воды и неэффективного водопользования и внедрения стимулов, повышающих эффективность водопользования;
- технические решения для разработки и распространения технологий, необходимых для улучшения добавленной стоимости (укрепление традиционных методов ведения сельского хозяйства и сбора урожая);
- управленческие решения для обеспечения большей ответственности за управление ресурсами и предоставление услуг фермерам и фермерским учреждениям и повышение качества и экономической эффективности государственных услуг для сельского хозяйства;
- стимулирование исследований адаптивных свойств культур на их толерантность к засухе и высоким температурам, а также выносливости к засолению;
- адаптацию методов ведения сельского хозяйства, включая изменение структуры землепользования, использование культур с более коротким циклом роста (или позднеспелых сортов), изменение фенологического календаря культур и т. д.

Список литературы

Всемирный банк Йемен Краткая информация о стране: http://go.worldbank.org/8NOZE6X5O0.

Wilby, R. 2009. Оценка климатических данных и варианты уменьшения масштаба для Йемена.

Программы управления рисками бедствий для приоритетных стран: Йеменская Республика. Http://gfdrr.org/ctrydrmnotes/Yemen.pdf.

Краткий обзор управления городскими рисками в Йемене: записка для весенних совещаний 2011 года.

Исследование Всемирного банка в Йемене: оценка влияния изменения климата и изменчивости на водные и сельскохозяйственные секторы и последствия для политики, 2010 год.

ВОЗМОЖНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИМИ РИСКАМИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

В. А. Романенков[1,2], В. Н. Павлова[3], М. В. Беличенко[2]

[1]*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова;*

[2]*Всероссийский НИИ агрохимии имени Д. Н. Прянишникова;*

[3]*Всероссийский НИИ сельскохозяйственной метеорологии*

Проведены оценки климатически обусловленного риска при производстве яровых и озимых культур на территории отдельных субъектов в Приволжском и Северо-Кавказском федеральных округах, полученные на основе имитационной системы «климат – почва – урожай». Внесение удобрений благоприятствовало реализации зерновыми культурами биоклиматического потенциала и позволяло достичь устойчивого снижения риска до среднего и низкого уровня.

The estimates of climate-driven risks for growing spring and winter cereals in the selected territories of the Volga and North Caucasis Fereral Disticts are provided. They were calculated based on the Climate – Soil – Yield imitation system. Fertilizers application promoted realization of bioclimatic potential by cereals and sustainable reduction of risk to minimal and medium level.

Климатические риски обусловленные, прежде всего, засухой на территории Приволжского и Северо-Кавказского федерального округа, представляются наиболее характерными и, как следствие, требуют адекватной количественной оценки. Одним из факторов повышения стабильности сельскохозяйственного производства в условиях изменяющегося климата является оптимизация минерального питания растений (Израэль, Сиротенко, 2003). Влияние погодных условий на эффективность удобрений во многом определяется уровнем почвенного плодородия и содержанием органического вещества почвы – важнейшего источника азота для развития растений (Сиротенко и др.., 2009; Романенков и др., 2009).

Для анализа динамики урожайности и повторяемости неурожайных лет привлекались данные Росстата по урожайности яровой, озимой пшеницы, ярового и озимого ячменя с 1993 по 2014 гг. на территории отдельных субъектов в Приволжском и Северо-Кавказском федеральных округах, полученные на основе имитационной системы «климат – почва – урожай». Данные Росстата сравнивали с данными 14 длительных опытов Геосети за тот же период, ранжированных по вариантам: контроль (отсутствие внесения азотных удобрений), средняя доза N удобрений, высокая доза. В качестве

критерия разделения были использованы дозы минеральных азотных удобрений 60 кг/га в Поволжском регионе и 80 кг/га в Северо-Кавказском регионе, внесённые разово или дробно под каждую зерновую культуру.

Для оценки климатически обусловленного риска при производстве яровых и озимых культур на территории использована методический подход, предложенный в работе (Павлова, Варчева, 2016, 2017). Количественная оценка климатического риска (R) определяется как произведение вероятности неблагоприятных гидрометеорологических условий и уязвимости субъекта (зона выращивания сельскохозяйственной культуры). Таким образом, риск ожидаемых потерь урожайности вытекает из взаимодействия между неблагоприятными метеорологическими факторами и уязвимостью территории.

Климатический риск рассматривается как функция вероятности опасного гидрометеорологического явления и уязвимости производства сельскохозяйственных культур, подвергающегося воздействию опасных явлений и рассчитывается по формуле

$$R = p \cdot V, \quad (1)$$

где R –климатический риск; p –вероятность; V – уязвимость.

Принято, что оценка уязвимости территории зависит от соотношения биоклиматического потенциала территории и урожайности сельскохозяйственной культуры:

$$V = 1 - \frac{Y}{BCP}, \quad (2)$$

где Y – урожайность; BCP – биоклиматический потенциал.

Зона самых высоких рисков неурожаев яровой пшеницы (более 30%) охватывает территорию Саратовской области, высокие риски при выращивании яровой пшеницы в Самарской области – 26%. Средние риски недобора урожайности в Башкортостане (до 10%). За счет правильной агротехники (своевременность технологических операций, оптимизация севооборотов) можно снизить риски возделывания яровой пшеницы в Саратовской области на 9%, в Самарской области – на 2%. Внесение минеральных удобрений позволяет достичь дополнительно 5% снижения риска, что реализуется при средних дозах внесения N удобрений. При средних и низких рисках наиболее эффективным внесение удобрений оказалось в Нижегородской области и республике

Мордовия, где снижение составило 5–6%. Климатические риски при производстве озимой пшеницы на всей рассмотренной территории ниже соответствующих значений для яровой пшеницы. При средних рисках снижения урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае (12%) оптимизация агротехники позволяла снизить риск до низкого, а внесение оптимальной дозы азотных удобрений достичь уровня риска 2,5%. Внесение удобрений благоприятствовало реализации озимой пшеницей биоклиматического потенциала и позволяло достичь устойчивого снижения риска до среднего и низкого уровня (рис. 1–4).

Рис. 1. Пространственное распределение рисков недобора урожая озимой пшеницы. Расчеты на основе среднеобластной урожайности.

Рис. 2. Возможность снижения рисков недобора урожая озимой пшеницы. Расчеты на основе данных ведущихся опытов Геосети для контрольных вариантов.

Рис. 3. Возможность снижения рисков недобора урожая озимой пшеницы. Расчеты на основе данных ведущихся опытов Геосети для вариантов со средними дозами удобрений.

Рис. 4. Возможность снижения рисков недобора урожая озимой пшеницы. Расчеты на основе данных ведущихся опытов Геосети для вариантов с высокими дозами удобрений.

Относительная величина риска в контрольных вариантах опытов с озимой пшеницей снижалась по сравнению со среднеобластными дннными в среднем на 44%, что подтверждает роль соблюдения зональной технологии, севооборота, а также своевременности проводимых операций как адаптационных мер в условиях засухи. На вариантах с внесением средней дозы удобрений относительное снижение величины риска составило в среднем 78%, а высоких доз – 152% по сравнению со среднеобластными данными. Максимальные абсолютные величины снижения риска составили при его изначально высоком и среднем уровне 5-10%, а низком и очень низком – 1–3%.

Список литературы

Израэль Ю. А., Сиротенко О. Д. Моделирование влияния изменения климата на продуктивность сельского хозяйства России // Метеорология и гидрология. 2003. № 6. С. 5–17.

Павлова В. Н., Варчева С. Е. Анализ и оценка уязвимости и риска производства зерновых культур при современных изменениях климата в Калужском регионе // Труды регионального конкурса проектов фундаментальных научных исследований. Калужский государственный институт развития образования. 2016. Вып. 21. С. 246–251.

Павлова В. Н., Варчева С. Е. Оценка климатических рисков при производстве зерновых культур в Приволжском федеральном округе // Агрофизика. 2017. № 2. С. 1–8.

Романенков В. А., Сиротенко О. Д., Рухович Д. И., Романенко И. А., Шевцова Л. К,, Королёва П. В. Прогноз динамики запасов органического углерода пахотных земель Европейской территории России. М.: ВНИИА, 2009. 95 с.

Сиротенко О. Д., Романенков В. А,, Павлова В. Н., Листова М. П. Оценка и прогноз эффективности минеральных удобрений в условиях изменяющегося климата // Агрохимия. 2007. № 9. С. 26–33.

BIOCHAR IN GROWING MEDIA – AN OPTION TO REPLACE PEAT AND TO REDUCE THE PRESSURE ON PEATLANDS?

Merrit Shanskiy[1], Jürgen Kern[2]

[1]*Estonian University of Life Sciences, Tartu, Estonia;*

[2]*Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy, Potsdam*

Peat is used as a high quality substrate for growing media in horticulture. However, unsustainable peat extraction damages peatland ecosystems, which disappeared to a large extent in Central and South Europe. Furthermore, disturbed peatlands are becoming a source of greenhouse gases due to drainage and excavation. This study is the result of a workshop within the EU COST Action TD1107 (*Biochar as option for sustainable resource management)*, held in Tartu (Estonia) in 2015. The view of stakeholders were consulted on new biochar-based growing media and to what extent peat may be replaced in growing media by new compounds like carbonaceous materials from thermochemical conversion. First positive results from laboratory and greenhouse experiments have been reported with biochar content in growing media ranging up to 50%. Various companies have already started to use biochar as an additive in their growing media formulations. Biochar might play a more important role in replacing peat in growing media, when biochar is available, meets the quality requirements, and their use is economically feasible.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ, МИГРАЦИИ И ДЕЙСТВИЮ РАДИОНУКЛИДОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА КОМПОНЕНТЫ АГРОЭКОСИСТЕМ

В. В. Володин, Р. И. Мироненко, В. Г. Епимахов

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, г. Обнинск

Представлено описание базы данных (БД) «АРДЭКС», предназначенной для накопления, систематизации, обобщения и анализа информации по воздействию ионизирующих излучений (ИИ), миграции и влиянию радионуклидов (РН) и тяжелых металлов (ТМ) на компоненты агроэкосистем в модельных экспериментах и полевых исследованиях с учетом различных сопутствующих факторов.

The description of the database (DB) «ARDEKS» is designed for accumulation, systematization and analysis of information on the effects of ionizing radiation, migration, and the action of radionuclide's and heavy metals on the components of agro-ecosystems in model experiments and field studies, taking into account various confounding factors

При выполнении на современном уровне работ в разных областях агроэкологии и экотоксикологии все большее применение находят информационные технологии обработки данных, такие как системы управления базами данных, базы знаний, геоинформационные, информационно-справочные и информационно-поисковые базы данных (Удалова и др., 2012).

Научный экспериментально-информационный фонд является материальной основой научно-исследовательской деятельности. Помимо книг, журналов, тезисов, материалов конференций и рабочих совещаний существует огромный пласт неопубликованных документов – диссертаций, отчетов, аналитических обзоров и т. д. Наибольшую ценность из них представляют первоисточники – исходные данные для проведения экспериментов, порядок и условия проведения эксперимента и полученные результаты.

Во ВНИИРАЭ на протяжении многих лет проводятся экспериментальные исследования по изучению действия ионизирующих излучений, радионуклидов

и тяжелых металлов на растения, животных и микробоценозы (Мозолин и др., 2012). На определенном этапе возникла идея объединить и систематизировать разрозненные массивы информации путем создания баз данных по направлениям научных исследований:

- Миграция тяжелых металлов в системе «почва – сельскохозяйственные растения»;
- Миграция радионуклидов в системе «почва – сельскохозяйственные растения»;
- Миграция радионуклидов в системе «рацион – сельскохозяйственные животные»;
- Миграция тяжелых металлов в системе «рацион – сельскохозяйственные животные»;
- Воздействие тяжелых металлов на сельскохозяйственные растения;
- Воздействие тяжёлых металлов на сельскохозяйственных животных;
- Действие электромагнитных излучений разных диапазонов на сельскохозяйственные растения;
- Воздействие ионизирующих излучений на сельскохозяйственных животных;
- Воздействие тяжелых металлов на сельскохозяйственные зерновые культуры;
- Воздействие тяжелых металлов на почвенный микробоценоз;
- Воздействие ионизирующих излучений на почвенный микробоценоз;
- Воздействие ионизирующих излучений на сельскохозяйственные растения.

Представленные базы данных содержат сведения об условиях проведения научных исследований и количественное описание полученных экспериментальных данных. Уникальность и научная новизна БД подтверждается наличием свидетельств о государственной регистрации.

Несмотря на тематические различия, представленные базы данных имеют схожую структуру. Это позволило объединить их в единый информационный массив и создать комплексную многопользовательскую базу данных для повышения целостности данных и обеспечения доступа большего количества пользователей к представленной в них информации. Созданный программный продукт получил название БД «АРДЭКС» (Архив Данных Экспериментов). Он представляет собой компьютерную справочно-информационную систему информации по воздействию техногенных факторов на компоненты

агроэкосистем в модельных экспериментах и полевых исследованиях с учетом различных сопутствующих факторов.

В БД «АРДЭКС» предусмотрено три разных уровня доступа: пользовательский, операторский и административный.

- Пользовательский доступ дает возможность просматривать и отбирать необходимые данные. Предназначен для научных сотрудников, занимающихся планированием и проведением экспериментов, аналитиков, специалистов по обобщению и использованию научной информации, руководителей научных проектов.
- Операторский доступ позволяет вносить, редактировать, просматривать и отбирать данные без права изменения структуры БД. Предназначен для научных сотрудников, отвечающих за пополнение баз данных. Пополнение базы АРДЭКС происходит по мере появления новых или доступности архивных документов, соответствующих тематике исследования.
- Административный доступ дает возможность внесения любых изменений в совокупности данных и структуре БД «АРДЭКС». Данный режим позволяет осуществлять отслеживание входа пользователей, просмотр посещаемости базы данных и количества зарегистрированных пользователей, включение интерфейса и получение полного доступа к рабочим таблицам и формам операторов.

Для получения любого из указанных вариантов доступа требуется пройти авторизацию путем установления логина и пароля.

При создании «АРДЭКС» проведена работа по объединению, структурированию и приведению к общему виду всех записей перечисленных выше баз данных. Результатом является создание информационного массива, содержащего более 95 000 записей о результатах экспериментов по направлениям научных исследований, и специального раздела литературы, включающего более 1500 записей по литературным источникам, в том числе информацию об авторах, языке, названии, типе публикации и т. д. (рис. 1).

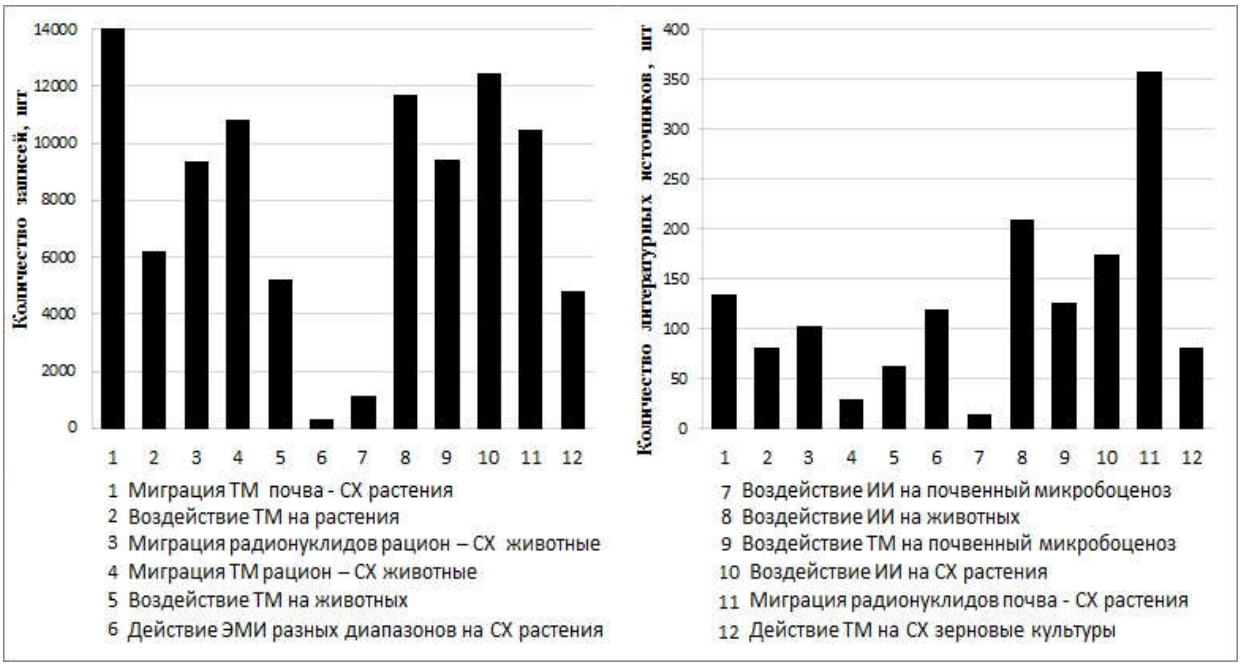


Рис. 1. Распределение записей и литературных источников БД «АРДЭКС» по направлениям исследований

Организация и структура базы предоставляют возможность быстрого поиска необходимых данных и их анализа. С указанной целью для пользователей БД АРДЭКС разработан достаточно удобный интерфейс, который значительно упрощает работу с базой данных.

На рис. 2 в качестве примера приведены распределение записей по факторам (РН, ТМ и ИИ), воздействующим на компоненты агроэкосистем, и диаграмма распределения записей экспериментальных данных, содержащих информацию о тяжелых металлах.

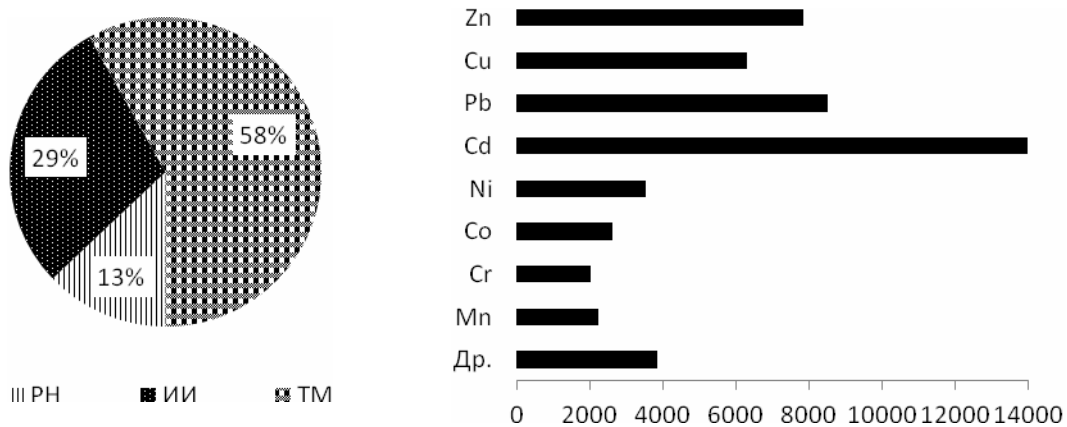


Рис. 2. Диаграмма распределения записей БД «АРДЭКС» по факторам (РН, ТМ и ИИ) и вторичная диаграмма распределения записей экспериментальных данных о тяжелых металлах

Технологическая составляющая БД «АРДЭКС» предоставляет пользователям современный поисковый и аналитический инструмент работы с большим объемом информации, дает возможность обновления БД с любой периодичностью, поиска, изучения документов, анализа и обобщения экспериментальной информации.

БД предназначена для научных сотрудников, занимающихся планированием и проведением экспериментов в областях радиобиологии и экотоксикологии, аналитиков, специалистов по обобщению и анализу научной информации, а также руководителей научных проектов.

Список литературы

Володин В. В., Мироненко Р. И., Епимахов В. Г. Многопользовательская база данных – архив данных экспериментов (АрДЭкс) // Сборник докладов Молодежной конференции с международным участием «Взгляд молодых ученых на современные проблемы развития радиобиологии, радиоэкологии и радиационных технологий», г. Обнинск, 7–8 сентября 2016 г. С. 84–87.

Мозолин Е. М., Саруханов В. Я., Спиридонов С. И., Спирин Е. В., Санжарова Н. И. База данных по действию ионизирующих излучений на сельскохозяйственных животных // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2012. Т. 21. № 2. С. 61–68.

Удалова А. А., Гераськин С. А., Дубынина М. А. База данных по действию ионизирующих излучений на растения: опыт создания и перспективы использования // Радиационная биология. Радиоэкология. 2012. Т. 52. № 5. С. 517.

АДАПТАЦИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА АГРОЦЕНОЗОВ К УСЛОВИЯМ АГРОЛЕСОЛАНДШАФТА НА БАЗЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Т. В. Волошенкова, Н. Н. Овечко

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», Волгоград

Разработана компьютерная модель для адаптации видового состава агроценозов к конкретным условиям произрастания. Принцип ее работы основан на всестороннем учете почвенно-климатических параметров исследуемой территории и оценке их соответствия требованиям основных сельскохозяйственных культур к среде обитания.

ADAPTATION OF THE SPECIES COMPOSITION OF AGRO-ECOSYSTEMS TO THE TERMS OF AGROFORESTRY LANDSCAPE BASED ON INFORMATION TECHNOLOGIES

T. V. Voloshenkova, N. N. Ovechko

FSBSI «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences», Volgograd

To increase the overall productivity of agro-forestry landscape the species composition of agro-ecosystem must be adapted to specific conditions of growing. This goal can be implemented using the authors developed a computer model. Its principle of operation is based on a comprehensive consideration of soil climatic parameters of the study area and assessment of their compliance with requirements of major crops to the environment. The result is determined by the species composition of plants, for which these conditions will be most comfortable. In addition, the model allows to establish the possibility of improving conditions in that case, if they are different from optimal.

Неуклонный рост населения планеты и связанный с ним возрастающий дефицит продуктов питания приводит к тому, что продовольственная безопасность страны становится основой ее политической и экономической независимости на международной арене. В данных условиях сельское хозяйство должно постоянно увеличивать свою производительность.

Одним из средств достижения указанной цели является оптимизация земледелия с использованием адаптивно-ландшафтного подхода и возможностей, предоставляемых современными информационными технологиями.

Разработка компьютерных программ для сельского хозяйства в последнее время осуществляется достаточно активно. На сегодняшний день созданы модели продуктивности отдельных культур, движения почвенных растворов (Полуэктов и др., 2006; Васенев, Черкасов, 2002), агроэкологической оценки

земель (Альт, Савченко, 1996; Альт и др., 2008; Добротворская и др., 2006), решены проблемы землеустройства и формирования систем земледелия (Васенев, Черкасов, 2002; Добротворская, 2016).

Вместе с тем, вопрос оптимизации видового состава агроценозов остается за пределами внимания, хотя он является составной частью разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия (Кирюшин, Иванов, 2005). Для его решения авторами разработана компьютерная модель, позволяющая отобрать сельскохозяйственные культуры, наиболее соответствующие почвенно-климатическому потенциалу рассматриваемого агролесоландшафта (Волошенкова, Овечко, 2017).

Принцип работы модели основан на детальном учете почвенно-климатических характеристик конкретного агролесоландшафта и сравнении их с требованиями основных сельскохозяйственных культур к условиям произрастания.

Сначала в модель вводится подробная информация, характеризующая климатические условия территории, – средние декадные и критические температуры воздуха в холодный и теплый периоды вегетации, вероятность повторения зим с данными абсолютными минимумами температуры воздуха, параметры снежного покрова, неблагоприятные явления в весенне-летние месяцы, количество осадков и др. (рис. 1).

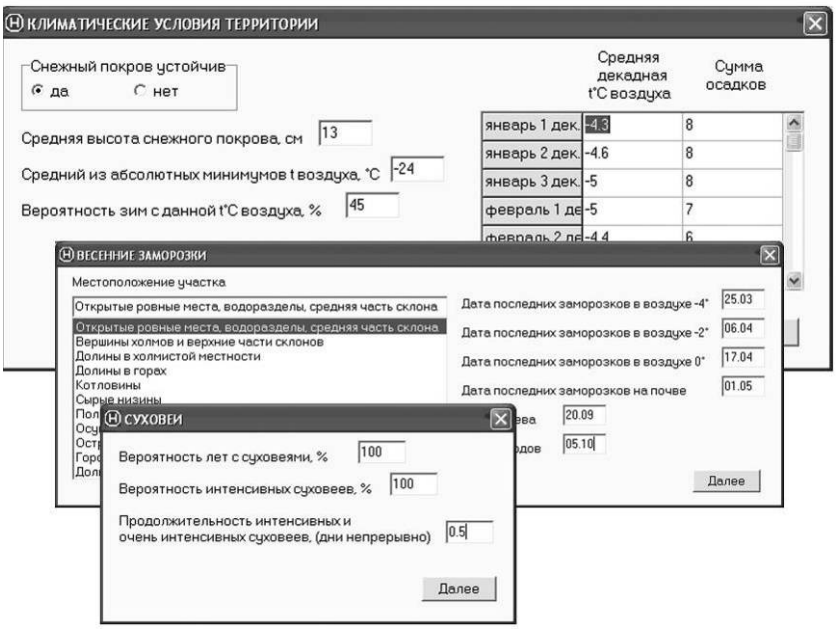


Рис. 1. Характеристика климатических условий территории

Затем программа запрашивает данные о почвенно-гидрологических условиях (привязка к рельефу, тип почвы, ее гранулометрический состав и

гумусность, подверженность дефляции и эрозии, количественные и качественные параметры засоления, солонцеватости, pH почв, грунтовые воды и их минерализация и еще ряд других показателей (рис. 2)).

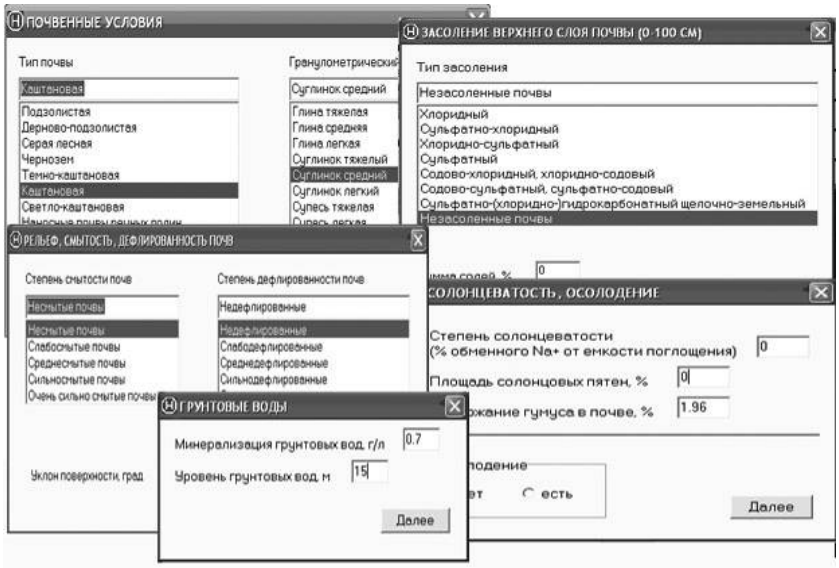


Рис. 2. Характеристика почвенно-гидрологических условий территории

На основе введенной информации проводится оценка соответствия почвенно-климатического потенциала агролесоландшафта требованиям каждой полевой культуры (теплообеспеченность, условия перезимовки и теплого периода вегетации, влагообеспеченность и параметры плодородия почв). В результате модель предоставляет ассортимент культур, для которых данные условия благоприятны, допустимы или неприемлемы.

Для идентификации модели были использованы данные полевых экспериментов, проводившихся ранее на базе сельскохозяйственных предприятий Благодарненского района Ставропольского края, а также материалы метеостанции г. Благодарный, агроклиматических справочников (1971), систем земледелия Ставропольского края (Никонов и др., 1980) и другие источники. Расчеты показали, что разработанная модель вполне адекватно отражает природные процессы и объекты. Ассортимент культур, районированных и выращиваемых в данной зоне, и ассортимент, предлагаемый моделью в результате анализа фактических почвенно-климатических характеристик исследуемой территории, совпадают.

Дополнительно был проведен анализ для разных агроклиматических районов Ставропольского края (IIIвБ и VдБ), различающихся по количеству осадков, температурному режиму и почвенным условиям (табл.).

Таблица. **Реализация модели для разных агроклиматических районов Ставропольского края**

Основной ассортимент культур	Оценка соответствия рассматриваемых условий требованиям с.-х. культур	
	район IIIвБ	район VдБ
Озимая пшеница	Д	Д
Озимая рожь	Д	Н
Озимый ячмень	Д	Д
Яровая пшеница	Д	Д
Яровой ячмень	Д	Д
Овес	Д	Д
Кукуруза	Д	Д
Просо	Д	Д
Сорго	Д	Д
Рис	Н	Н
Гречиха	Д	Д
Горох	Д	Д
Фасоль	Д	Н
Соя	Н	Н
Сахарная свекла	Д	Д
Картофель	Н	Н
Арбуз	Д	Н
Подсолнечник	Д	Д
Лен	Н	Н

*) Д – условия допустимы; Н – условия недопустимы для данной с.-х. культуры.

Как видно, в районе г. Ставрополя (район VдБ) в соответствии с почвенными условиями исключаются из рекомендуемого ассортимента такие культуры, как озимая рожь, фасоль, арбуз, что соответствует действительности. Кроме того, следует обратить внимание на то, что ни одна культура в рассматриваемых районах не находится в оптимальных условиях.

Таким образом, при разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия применение данной модели позволит сформировать севообороты из культур, которые могут наиболее полно реализовать почвенно-климатический потенциал конкретной территории и обеспечить максимальную продуктивность агроценозов без серьезных экономических и материальных затрат.

Список литературы

1. Полуэктов Р. А., Смоляр Э. И., Терлеев В. В., Топаж А. Г. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. СПб., Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2006. 396 с.

2. Информационно-справочные системы по оптимизации землепользования в условиях ЦЧЗ / Под ред. И. И. Васенева, Г. Н. Черкасова. Курск, 2002. 118 с.

3. Альт В. В., Савченко О. Ф. Комплекс информационно-экспертных систем по рациональному ведению сельскохозяйственного производства // Методы и технические

средства исследований физических процессов в сельском хозяйстве. Сб. науч. тр. РАСХН. Сиб. отделение. СибФТИ. Новосибирск, 1996. Ч. 1. С. 7–7.

4. Альт В. В., Колпакова Л. А., Боброва Т. Н., Добротворская Н. И. Компьютерная программа для разработки схемы землеустройства с использованием ГИС-технологий // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2008. № 9. С. 76–82.

5. Добротворская Н. И., Колпакова Л. А., Савченко О. Ф. Автоматизированное рабочее место агронома – интеллектуальный инструмент проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия // Материалы международной науч.-практ. конф. «АГРОИНФО-2006» 17–18 октября 2006 г. РАСХН. Сиб. отделение. Новосибирск. 2006. Ч. 1. С. 201–210.

6. Добротворская Н. И. Информационное обеспечение проектирования адаптивно-ланшафтных систем земледелия // Известия Оренбургского ГАУ. 2016. № 1 (57). С. 251–154.

7. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Методическое руководство / Под ред. В. И. Кирюшина и А. Л. Иванова. М., ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 784 с.

8. Волошенкова Т. В., Овечко Н. Н. Определение ассортимента наиболее продуктивных сельскохозяйственных культур в соответствии с природным потенциалом агроландшафта. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017615347. – Заявка № 2017610539. Дата поступления: 23.01.2017 г. Дата государственной регистрации: 12.05.2017 г. / Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем». Бюл. № 6. 2017. 1 с.

9. Агроклиматические ресурсы Ставропольского края. Л., Гидрометеорологическое изд-во, 1971. 237 с.

10. Система ведения сельского хозяйства Ставропольского края / Под ред. А. А. Никонова и др. Ставрополь: Кн. изд-во, 1980. 495 с.

ФРАКТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СЕТЕВОЙ ЭКССУДАЦИИ АМИНОКИСЛОТ РАСТЕНИЯМИ ПШЕНИЦЫ

Н. И. Воробьев[1], Я. В. Пухальский[1], А. А. Белимов[1], О. В. Свиридова[1], В. Н. Пищик[2]

[1]*ФГБНУ «ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии» (ВНИИСХМ);*

[2]*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)*

Корневая экссудация сахаров, оргкислот и аминокислот растениями обычно трактуется как результат избыточного перепроизводства в растениях данных веществ. Микроорганизмы, присутствующие в ризосфере растений, активно потребляют экссудаты и выделяют ауксины, которые стимулируют развитие растения. Поэтому естественно предположить, что при длительной эволюции микроорганизмы и растения имели реальную возможность точно настроиться друг на друга и сформировать упорядоченные сетевые структуры. В рамках сетевых структур возрастает эффективность взаимодействия микроорганизмов и растений, надежность функционирования микробно-растительных биосистем и их выживаемость в нестабильных условиях окружающей среды.

В сетевых структурах микробные компоненты представлены в определенной численности и видовом составе, а растения – определенным количественным спектром экссудатов. Сложность сетевых структур (числа сетевых узлов и дублирующих межкомпонентных связей) определяет реализацию необходимых биохимических процессов в биосистемах и независимость данных процессов от внешних условий. Поэтому количественные параметры конфигурации сетевых структур могут дать исчерпывающее представление об уровне организации внутренних процессов в микробно-растительных системах.

Количественная оценка уровня организации биосистемных процессов может быть проведена с помощью фрактальной модели. При этом фрактальная модель используется на этапе описания результатов графического анализа изображений экссудатов на фрактальном портрете. Фрактальный портрет

растительной экссудации строится таким же образом, как и фрактальный портрет микробного сообщества (Воробьев, 2014, 2016а, 2016в). На рис. 1А представлен фрактальный портрет экссудации аминокислот растениями пшеницы (с. Лига-1), на котором точки-аминокислоты расположены в соответствие с данным табл. 1.

Таблица 1. **Аминокислотные составляющие корневой экссудации у пяти сортов пшеницы (мкг на 1 г сухих корней)**

Сорт пшеницы	*Asp*	*Ser*	*Glu*	*Gly*	*His*	*Arg*	*Thr*	*Ala*
Ласка	74,5	190,8	53,2	12,9	170,3	26,5	30,0	31,5
Гром	58,2	128,9	33,5	11,9	85,9	10,7	22,1	10,3
Фортуна	37,7	144,0	36,0	5,9	66,5	8,7	22,1	5,8
Лига-1	27,2	37,9	12,0	6,3	29,8	5,1	5,2	1,8
Таня	32,5	113,5	21,0	1,4	52,4	10,3	10,9	7,2
Сорт пшеницы	*Tyr*	*Val*	*Met*	*Lys*	*Ile*	*Leu*	*Phe*	*Trp*
Ласка	31,5	47,3	5,6	4,1	31,2	50,2	66,6	34,3
Гром	17,2	39,8	0,8	0,8	34,1	47,2	30,9	9,3
Фортуна	8,7	29,1	1,1	4,2	28,8	33,5	19,5	24,9
Лига-1	2,3	8,8	0,5	1,7	7,0	10,0	12,9	12,6
Таня	10,2	14,9	1,9	2,8	12,2	16,5	18,3	9,7

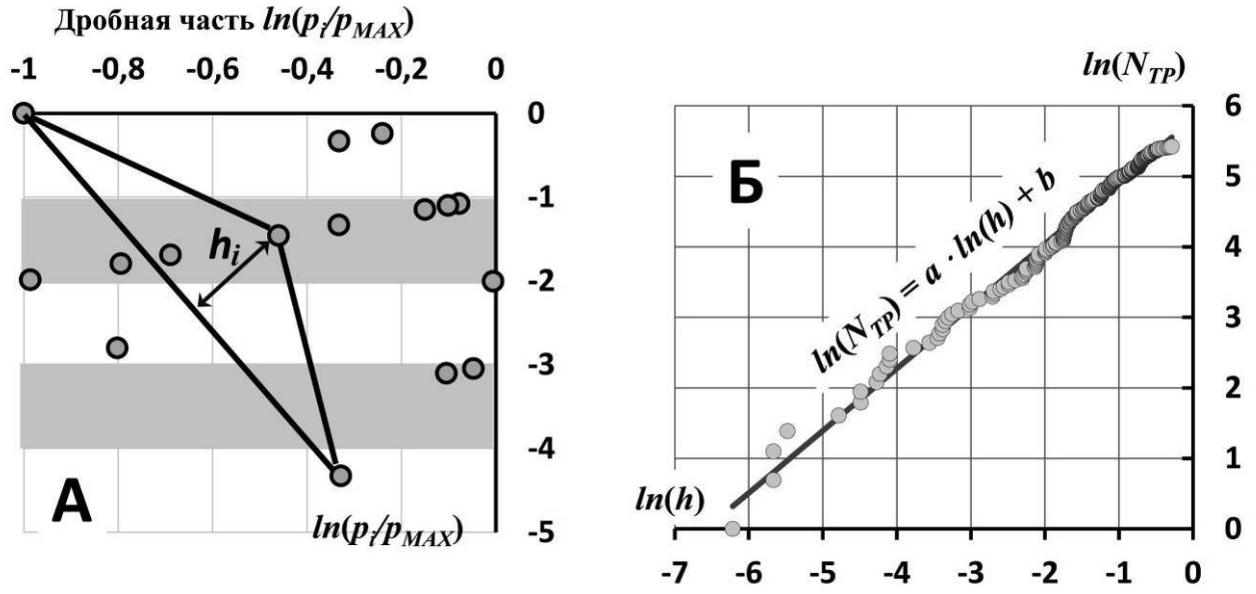


Рис. 1. Фрактальный портрет экссудации аминокислот растениями пшеницы (с. Лига-1) (А) и аппроксимация фрактальной моделью результатов графического анализа расположения аминокислот на фрактальном портрете (Б). p_i, p_{MAX} – доля аминокислоты с номером (i) в общем количестве аминокислот и доля доминирующей аминокислоты

Графический анализ расположения точек-аминокислот на фрактальном портрете (рис. 1А) сводится к подсчету количества треугольников, вершины которых совпадают с точками-аминокислотами, а целые части позволяют вычислить наименьшую высоту в данных треугольниках h_i. Фрактальной моделью (1) аппроксимируется зависимость числа построенных таким образом треугольников (N_{TP}), имеющих высоту $h_i \le h$, от величины h:

$$ln(N_{TP}) = a \cdot ln(h) + b, \quad (1)$$

где N_{TP} – число прямоугольников, имеющих наименьшие высоты $h_i \le h$, вершины которых совпадают с точками-аминокислотами, а целые части различаются логарифмом соответствующих долей аминокислот; a – постоянный коэффициент; b – индекс сетевой экссудации. Результаты проведенных графических построений треугольников на портрете экссудации аминокислот и аппроксимации результатов построений фрактальной моделью (1) приведены в табл. 2.

Таблица 2. **Параметры фрактальной модели сетевой экссудации аминокислот и заболеваемость фузариозом пяти сортов пшеницы**

Сорт пшеницы	*a*	*b*	Уровень заболеваемости фузариозом, баллы
Ласка	0,66	5,22	2,74
Гром	0,88	5,91	1,8
Фортуна	0,88	5,80	1,7
Лига-1	1,08	5,80	2,25
Таня	0,98	6,00	2
Коэффициент корреляции параметров модели с уровнем заболеваемости фузариозом	–0,47	–0,84	

В табл. 2 представлены параметры фрактальной модели экссудации аминокислот у пяти сортов пшеницы, что указывает на их различия по уровню организации внутренних процессов. На основании полученных данных (табл. 2) можно утверждать, что наибольший уровень организации наблюдается у сорта Таня, а наименьший – у сорта Ласка. Наряду с измерением экссудатов во ВНИИСХМ был проведен вегетационный опыт с определением уровня устойчивости тех же сортов пшеницы к заболеванию фузариозом (табл. 2). В

результате было обнаружено, что устойчивость сорта Таня выше, чем у сорта Ласка. На это же также указывает отрицательный коэффициент корреляции между индексом сетевой экссудации и уровнем заболеваемости растений пшеницы фузариозом.

Таким образом, более высокий индекс сетевой экссудации указывает на более высокий уровень организации и упорядоченности внутренних процессов в растениях, включая защитные реакции, которые позволяют растениям противостоять атакам фитопатогенов.

Список литературы

Воробьев Н. И., Проворов Н. А., Свиридова О. В., Пищик В. Н., Семенов А. М., Никонов И. Н. Фрактально-таксономический портрет и индекс сетевой организации почвенных микробных сообществ // Материалы всероссийского симпозиума «Современные проблемы физиологии, экологии и биотехнологии микроорганизмов». 24–27 декабря 2014, Москва, биологический факультет МГУ. М.: МАКС Пресс. 2014. С. 55.

Воробьев Н. И., Семенов А. М., Свиридова О. В., Пищик В. Н. Фрактальный анализ молекулярно-генетических данных и диагностика образования сетевых структур в почвенных микробных сообществах // Материалы Всероссийской научной конференции «Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления». Санкт-Петербург, 21–23.09.2016. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016а. С. 257–261.

Воробьев Н. И., Проворов Н. И., Пищик В. Н., Свиридова О. В. Использование элементов фрактального анализа в исследованиях сетевых структур почвенных микроорганизмов // Научные чтения по экологическому моделированию памяти профессора Александра Сергеевича Комарова. Пущино. 3.06.2016. 2016в. Интернет ресурс: http://www.ecomodelling.ru/conferences/memorials2016.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗАДАЧ

Д. К. Ву, В. В. Нгуен, О Я. Соленая

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП)

Беспилотные летательные аппараты активно начинают применяться для мониторинга угодий, составления картограмм урожайности земель и планирования зон внесения удобрений. Преимуществом мультикоптеров является вертикальный взлет и высокая разрешающая способность сенсоров. По результатам анализа существующих робототехнических решений в сельскохозяйственной отрасли представлена классификация выполняемых ими операций. Приведены примеры беспилотных летательных аппаратов, используемых для определения плодовитости риса с помощью анализа изображений на основе цветовой диаграмма листьев и оценки подверженных засухе участков почвы и водных ресурсов. Предложена концептуальная модель и осуществлена формальная постановка задачи управления группой гетерогенных сельскохозяйственных роботов.

Unmanned aerial vehicles are actively being used to monitor and map the yields of land and plan fertilization zones. The advantage of multicopters is vertical take-off and high resolution of sensors. Based on the analysis of existing robotic solutions in the agricultural sector, the classification of the operations is performed by the misgiven. Examples of realized unmanned aerial vehicles used to determine the fertility of rice using image analysis based on the color chart of leaves, the assessment of drought-prone soil are a sand water resources are given. A conceptual model is proposed and a formal statement of the task of managing a group of heterogeneous agricultural robots is made.

Актуальность внедрения робототехнических комплексов в аграрную отрасль вызвана социально-экономическими причинами и сокращением мировых ресурсов пресной воды (Набоков и др., 2015; Stocker и др., 2013). Беспилотные летательные аппараты активно начинают применяться для мониторинга угодий, составления картограмм урожайности земель и планирования зон внесения удобрений. Традиционные подходы дистанционного зондирования с размещением удаленных датчиков на башнях над полями сельскохозяйственных культур (тепловизионные, мульти- и гиперспектральные камеры, флуориметры и т. д.) имеют ограниченный радиус действия из-за фиксированного положения сбора данных. Другой традиционный метод дистанционного зондирования основан на использовании летательных аппаратов или спутников, но временное и пространственное разрешение существенно ограничивает их эффективность для

сельскохозяйственных оценок, поскольку изменения в растительности по отношению к окружающей среде весьма динамичны (Jones и др., 2014). Также на качество изображений, полученных со спутников или пилотируемых аппаратов, часто влияют погодные условия, поэтому на повторную съемку в подходящее время затрачиваются дополнительные временные и финансовые ресурсы.

Дистанционное зондирование на основе аэрофотосъемки с помощью БЛА в последние годы активно стало применяться благодаря техническому прогрессу, снижению затрат и размеров датчиков, развитию глобальной системы позиционирования, а также интеллектуальным системам программирования и управления полетом. Улучшенные параметры пространственного и временного разрешения аэрофотосъемки с помощью БЛА позволяют получить больший объем данных о состоянии листового покрова культур.

Начиная с 2000-х гг. БЛА все активнее применяются в гражданской сфере и, в частности, для целей точного земледелия. Изначально для сельскохозяйственных нужд использовались БЛА двух типов – вертолеты и самолеты с неподвижным крылом. NASA был разработан БЛА с неподвижным крылом RCATS/APV-3, который был использован для изучения виноградников в Калифорнии (Johnson и др., 2003).

Беспилотные вертолеты имеют более сложные системы управления полетом, но отличаются более низкой его высотой. Они способны перемещаться в любом направлении и зависать, поддерживая стабильное положение в полете. Данные вертолеты не нуждаются в специальных территориях для взлета и посадки, что имеет решающее значение для стандартных сельскохозяйственных полей. Один из последних БЛА вертолетного типа Phenocopter с полезной нагрузкой 1,5 кг может летать в течение 30 мин. и производить дистанционные измерения исследуемого района (Chapman и др., 2014).

На самолетах с неподвижными крыльями используются менее сложные системы управления полетом. За счет более длительного времени полета они способны охватить большую территорию, но их недостатками являются большая высота полета (и, как следствие, меньшее разрешение изображений), невозможность зависания, а также необходимость специальной взлетно-посадочной полосы (Zarco-Tejada et al., 2013).

Летательная платформа мультикоптер имеет летные характеристики, аналогичные вертолету, но при этом обладает большей стабильностью, маневренностью и не требует взлетно-посадочной полосы. Обычно мультикоптеры проектируются из легких прочных материалов (углеродное волокно, алюминий, стекловолокно, кевлар и др.) с 4, 6 или 8 двигателями в зависимости от требований к массе полезной нагрузки. Низкая стоимость и удобство применения способствовали быстрому распространению использования мультикоптеров для профессиональных и непрофессиональных целей. Мультикоптеры применяются фермерами для получения данных в режиме реального времени, диагностики состояния урожая и анализа участков, требующих полива.

Преимуществом мультикоптеров является вертикальный взлет и высокая разрешающая способность сенсоров. В добавление к бортовой видеокамере мультикоптеры могут быть оснащены и другими сенсорными средствами, например тепловизором, термометром, газовыми датчиками, гидролокаторами, датчиками скорости ветра, датчиками давления, инфракрасными и другими сенсорами.

Проведенный обзор БЛА, применяемых в аграрной отрасли, позволил выявить перечень наиболее важных решаемых операций, а также осуществить постановку задачи и установить концептуальную модель управления группой гетерогенных сельскохозяйственных роботов при обслуживании некоторого земледельческого пространства. При разработке модельно-алгоритмического обеспечения будет использован задел, полученный при выполнении исследований по модульной и облачной робототехнике (Левоневский и др.,

2017; Мотиенко и др., 2016; Ронжин и др., 2017), а также точному земледелию (Петухов и др., 2016; Сидорова и др., 2012).

Пусть имеется рабочее земледельческое пространство S, характеризующееся набором параметров $\langle H, P, G, C \rangle$, где $H = \{H_1, ...H_{i^H}\}$, $i^H \in \{1, ..., N\}$ – множество обрабатываемых угодий, $P = \{P_1, ...P_{i^P}\}$, $i^P \in \{1, ..., N\}$ – множество обрабатывающих сельскохозяйственных объектов, $G = \{G_1, ...G_{i^G}\}$, $i^G \in \{1, ..., N\}$ – множество объектов базирования и хранения робототехнических средств, $C = \{C_1, ...C_{i^C}\}$, $i^C \in \{1, ..., N\}$ – множество выращиваемых сельскохозяйственных культур. Также имеется множество $W = \{W_1, ...W_{i^W}\}$, $i^W \in \{1, ..., N\}$, описывающее возможные варианты подъезда/подлета робототехнических средств от территории базирования к обрабатываемой территории. Существует множество гетерогенных роботов $R = \{R_1, ...R_{i^R}\}$, $i^R \in \{2, ..., N\}$, используемых на данной территории. Необходимо решить задачу разработки методов и алгоритмов управления группой гетерогенных роботов R для обслуживания рабочего пространства S при наличии набора ресурсных ограничений L.

Разрабатываемые концептуальная модель и модельно-алгоритмическое обеспечение для управления группой гетерогенных роботов R при обслуживании рабочего пространства S также должно учитывать ресурсные ограничения L, в том числе время выполнения операций, имеющееся количество техники, включая роботизированную, минеральные и водные ресурсы, загрузку обрабатывающих объектов, безопасность траекторий движения техники и другие факторы.

Список литературы

1. Афанасьев Р. А., Ермолов И. Л. О перспективах роботизации точного земледелия // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. Т. 17. № 12. С. 828–833.

2. Левоневский Д. К., Ватаманюк И. В., Савельев А. И. Многомодальная информационно-навигационная облачная система МИНОС для корпоративного киберфизического интеллектуального пространства // Программная инженерия. 2017. № 3. С. 120–128.

3. Мотиенко А. И., Тарасов А. Г., Дорожко И. В., Басов О. О. Проактивное управление робототехническими системами спасения пострадавших // Труды СПИИРАН. 2016. Вып. 46. С. 174–195.

4. Набоков В. И, Скворцов Е. А, Саакян М. К, Скворцова Е. Г. Кадровые аспекты применения робототехники в сельском хозяйстве // Экономические науки. 2015. № 4 (31). С. 149–153.

5. Петухов Д. А., Чаплыгин М. Е., Свиридова С. А., Воронков В. Сравнительная оценка систем параллельного вождения // Агроснабфорум. 2016. № 1. С. 18–21.

6. Ронжин А. Л., Ватаманюк И. В., Станкевич Л. А., Шляхов Н. Е. О способах контактного соединения группы модульных роботов // Робототехника и техническая кибернетика. 2016. № 3 (12). С. 34–41.

7. Сидорова В. А, Жуковский Е. Е, Лекомцев П. В, Якушев В. В. Геостатистический анализ характеристик почв и урожайности в полевом опыте по точному земледелию // Агрохимия и плодородие почв. 2012. № 8. С. 879–888.

8. Шляхов Н. Е., Ватаманюк И. В., Ронжин А. Л. Обзор методов и алгоритмов агрегации роя роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. Т. 18. № 1. С. 22–29.

9. Якушев В. П., Петрушин А. Ф. Получение, обработка и использование данных дистанционного зондирования для мониторинга мелиоративного состояния сельскохозяйственных полей // Агрофизика. 2013. № 2 (10). С. 52–58.

10. Chapman S. C., Merz T., Chan A., Jackway P., Hrabar S., Dreccer M. F., Holland E., Zheng B., Ling T. J., Jimenez-Berni J. Pheno-copter: a low-altitude, autonomous remote-sensing robotic helicopter for high-through put field-based phenotyping // Agronomy. 2014. № 4. pp. 279–301.

11. Johnson L. F., Herwitz S., Dunagan S., Lobitz B., Sullivan D., Sly R. Collection of ultra-high spatial and spectral resolution image data over California vineyards with a small UAV. International Symposium on Remote Sensing of Environment, Honolulu, HI. 2003. November. pp. 10–14.

12. Jones H. G., Sirault X. R. Scaling of thermal images at different spatial resolution: the mixed pixel problem // Agronomy. 2014. № 4. pp. 380–396.

13. Stocker T. F., Qin D., Plattner G. K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. IPCC Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK/New York, NY, USA. 2013.

14. Zarco-Tejada P. J., González-Dugo V., Williams L. E., Suárez L., Berni J. A. J., Gold-hamer D., Fereres E. A PRI-basedwaterstressindexcombiningstructuralandchlorophylleffects: assessment using diurnal narrow-band air-borne imagery and the CWSI thermal index // Remote Sensing of Environment. 2013. № 138. pp. 38–50.

РЕАКЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ЕТ РФ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

Л. Ю. Новикова[1,2]

[1]*ФИЦ ВИР им. Н. И. Вавилова;*

[2]*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

Построены комплекс регрессионных моделей динамики хозяйственно ценных признаков культур ЕТ РФ в условиях изменения климата, а также динамическая модель температурной регуляции развития растения на примере винограда. Выявлена роль температурного предела 15°С в регуляции развития культур умеренного пояса. Предложены некоторые меры адаптации растениеводства к изменениям климата.

THE REACTION OF CROPS AT EUROPEAN PART OF RUSSIA ON CLIMATE CHANGE

L. Yu. Novikova

Federal Research Center the N. I. Vavilov

All-Russian Institute of Plant Genetic Resources;

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

A complex of regression models of the dynamics of economically valuable signs of the Russian Federation ET crops under conditions of climate change, as well as a dynamic model of the temperature regulation of the development of plants based on the example of grapes are built. The role of the temperature limit of 15°C in the regulation of the development of temperate cultures is revealed. Some measures to adapt crop production to climate change are suggested.

Основной комплекс моделей агрометеорологии был сформирован в 1990-м гг. XX века, однако с течением времени регрессионные и динамические агрометеорологические модели устаревают (Страшная, Русакова, 2009; Лебедева, Страшная, 2012). Изменения климата, начавшиеся в 1970-х гг., изменили соотношение факторов, воздействующих на культурные растения, а также появились новые методы, такие как анализ временных рядов (Елисеева и др., 2007). Целью данной работы является обобщение результатов создания комплекса моделей динамики хозяйственно ценных признаков сельскохозяйственных культур Европейской территории Российской Федерации (ЕТ РФ) в условиях изменения климата.

Материал и методы. Методика агробиологического скрининга коллекций ВИР позволила создать уникальную базу многолетних (10–58 лет)

наблюдений за хозяйственно ценными признаками 33-х сортов полевых сельскохозяйственных культур, используемых как стандарты при изучении коллекции ВИР на 6-ти станциях, и сопряженных с ними агрометеорологических показателей. Исследовались зерновые, лен, зернобобовые, капуста и картофель, а также многолетние ряды наблюдений за виноградом 71 сорта из коллекции ВНИИВиВ им. Я. И. Потапенко (Ростовская обл.). Были рассчитаны характеристики тепловлагообеспеченности периодов с температурами выше 5, 10, 15, 20°С (всего 72 характеристики). В процессе исследования использовались методы регрессионного анализа хозяйственно ценных признаков, в том числе в разностях, и объединенные модели сортов и культур (Елисеева и др., 2007). На основе выявленных закономерностей температурной реакции была построена динамическая модель развития растения на примере винограда.

Результаты. В период 1980–2014 гг. в семи исследованных пунктах ЕТ РФ наблюдался рост температур, в шести пунктах – увеличение количества осадков. Средняя скорость роста сумм активных температур выше 10°С на станциях составила 100–200°С/10 лет, скорость продвижения уровней теплообеспеченности на север – в среднем 1 градус широты/10 лет. Наиболее существенной реакцией сельскохозяйственных культур на изменения климата в 1980–2014 гг. оказалось ускорение созревания культур, выращиваемых вблизи северных границ зоны возделывания (зерновых, льна, зернобобовых, капусты в г. Пушкин, винограда в Ростовской обл., цветение картофеля в Мурманской обл.) (Новикова и др., 2013; Новикова и др., 2016; Новикова и др., 2017).

Исследованные культуры имели различную адаптивность к росту температуры. Корреляция продолжительности вегетации и средней за вегетацию температуры была сильной у ранних яровых зерновых и льна (средний коэффициент корреляции $r = –0,79$), а также винограда ($r = –0,74$); сильной и средней – у зернобобовых (бобы $r = –0,90$; соя, $r = –0,67$) и белокочанной капусты ($r = –0,69$), а у картофеля отсутствовала ($r = 0,02$).

Наибольшая зависимость темпа развития исследованных культур от температуры наблюдалась в интервале 10–20°С.

Были рассчитаны индивидуальные для сортов температурные минимумы вегетации (Шиголев, 1951). Сравнение коэффициентов вариации продолжительности вегетации, сумм среднесуточных и эффективных температур за вегетацию t-критерием Стьюдента для зависимых выборок показало, что у пшеницы, льна, винограда и зернобобовых вариабельность сумм среднесуточных температур ниже или не отличается достоверно от вариабельности сумм эффективных температур, а также ниже, чем вариабельность продолжительности вегетации. У картофеля наиболее стабильна продолжительность вегетации. У капусты продолжительность вегетации и суммы среднесуточных температур за вегетацию одинаково стабильны, а суммы эффективных температур варьируются в более значительной степени.

Был создан комплекс регрессионных моделей продолжительности вегетации, высоты растения, урожайности и показателей качества урожая (Новикова и др., 2013; Новикова и др., 2016; Новикова и др., 2017). Модели построены в разностях, т.е. для скоростей изменения исследуемых признаков от года к году в зависимости от скоростей изменения агрометеорологических показателей. Выявилось несколько универсальных предикторов, вошедших в различные регрессионные модели. Главным климатическим фактором, сокращавшим продолжительность вегетации культур на ЕТ РФ в последние десятилетия, был рост температур (выше 15°С – для зерновых, зернобобовых, капусты и картофеля; выше 20°С – для винограда). Увеличение количества осадков летом и продолжительности весеннего периода с температурами 10–15°С оказывало противоположное действие на продолжительность вегетации. Три указанных фактора определяют более 50% межгодовой изменчивости продолжительности вегетации зерновых, льна и винограда. Урожайность и показатели качества в значительной степени зависели от осадков и агротехники. В случае продолжения наблюдающихся тенденций в динамике

тепло-влагообеспеченности сортов прогнозируется дальнейшее климатообусловленное сокращение продолжительности вегетации и урожайности районированных в середине–конце XX в. сортов зерновых, льна и капусты. У зернобобовых влияние осадков может компенсироваться ростом температур, что приведет к увеличению продолжительности вегетации и урожайности. У винограда ожидается сокращение периода вегетации и рост урожайности. Можно ожидать повышения урожайности картофеля на ЕТ России при более раннем цветении и удлинении периода от цветения до уборки.

У винограда отмечена сильная корреляционная связь между датами начала распускания почек и цветения и датами перехода температур выше температурных пределов 10, 15, 20°С (Новикова, Наумова, 2016). Было сделано предположение, что фенофазы начинаются при достижении температурных минимумов 10, 15°С. Начало и полное созревание ягод, происходящие в основном при температуре выше 20°С, отстоят от цветения на постоянное количество суток. Модель была программно реализована, параметризована и показала высокую точность (ошибка составила 3–6 сут. для разных фенофаз).

Потепление способствовало продвижению к северу ареалов сортов и культур: переход температур выше 20°С в самый теплый месяц создал предпосылки для возделывания нута в Тамбовской обл. (Булынцев и др., 2017); рост сумм активных температур в Волгоградской обл. с 3200°С (1960-е гг.) до 3600°С (2009–2015 гг.) – для возделывания сортов винограда от ранних до средне–поздних с высоким содержанием сахара в ягодах и температурными потребностями до 3300°С (Новикова и др., 2016).

Изменение климата требует адаптации агротехнологий, в частности более раннего посева (посадки) культур, особенно чувствительных к яровизации, таких как овес (Novikova, Loskutov, 2016). Рост сумм активных температур в Новочеркасске (Ростовская обл.) с 3400°С (1961–1990 гг.) до 3800°С (2006–2015 гг.) создает предпосылки для выращивания в регионе средне-поздних и поздних сортов винограда с более высокими температурными потребностями до 3600°С (Наумова, Новикова, 2016).

Список литературы

1. Страшная А. И., Русакова Т. И. Агрометеорологические прогнозы: развитие, достижения, перспективы // Развитие сельскохозяйственной метеорологии в России. Обнинск, 2009. С. 131–190.

2. Лебедева В. М., Страшная А. И. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. 2. Книга 2. Обнинск, ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 216 с

3. Елисеева И. И., Курышева С. В., Костеева Т. В. и др. Эконометрика. М., Финансы и статистика, 2007. 576 с.

5. Новикова Л. Ю., Дюбин В. Н., Лоскутов И. Г. и др. Анализ динамики хозяйственно ценных признаков сортов сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Т. 173. СПб., ВИР, 2013. С. 102–119.

5. Новикова Л. Ю., Озерская Т. М., Булынцев С. В., Сеферова И. В., Вишнякова М. А. Влияние температур выше 15°С на продолжительность вегетации зернобобовых культур // Мат. межд. науч. конф. «Пути повышения эффективности использования генетических ресурсов зернобобовых в селекции», ВИР, Санкт-Петербург, 01–03 ноября 2016 г. СПб., 2016. С. 79–82.

6. Новикова Л. Ю., Киру С. Д., Рогозина Е. В. Проявление хозяйственно ценных признаков у сортов картофеля (*Solanum* L.) при изменении климата на европейской территории России // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 1. С. 75–83.

7. Шиголев А. А. Руководство для составления фенологических прогнозов (озимая рожь, озимая пшеница, яровая пшеница, плодовые культуры, древесные растения лесных насаждений). М.-Л., Гидрометеорологическое изд-во, 1951. 43 с.

8. Новикова Л. Ю., Наумова Л. Г. Температурные потребности фенологических фаз распускания почек и цветения винограда в Ростовской области // Плодоводство и ягодоводство России. 2016. Т. 46. С. 292–296.

9. Булынцев С. В., Новикова Л. Ю., Гриднев Г. А. Результаты изучения коллекционных образцов нута в условиях Тамбовской области // Научно- производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры». Орёл, 2017. № 1 (21). С. 9–17.

10. Новикова Л. Ю., Наумова Л. Г., Ганич В. А., Курапина Н. В., Гусев Д. Э. Сравнительный анализ хозяйственно ценных признаков сортов винограда в условиях Ростовской и Волгоградской областей // Виноградарство и виноделие. 2016. Т. 46. С. 11–15.

11. Novikova L., Loskutov I. Climate changes influence at oats vegetation in European part of Russia // Abstracts of oral and poster presentation. 10th international oat conference, 11–15 July 2016, SPb: N. I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resource (VIR). SPb., ООО «Р-КОПИ», 2016. pp. 195–196.

12. Наумова Л. Г., Новикова Л. Ю. Температурные потребности аборигенных донских сортов винограда в регионе происхождения // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2016. № 4. С. 10–13.

ОПАСНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И ДИНАМИКА ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ В БАССЕЙНАХ РЕК ВОЛГИ И ДОНА

В. Н. Павлова[1], P. Calanca[2], А. А. Карачёнкова[1]

[1]ФГБУ «ВНИИ сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСХМ»), Обнинск;

[2] Agroscope, Dept. Agroecology & Environment, Zurich, Switzerland

Растениеводство в России в значительной степени уязвимо к сезонным засухам и волнам тепла. Глобальное потепление, вероятно, увеличит уязвимость сельского хозяйства России и волатильность его продукции. В докладе рассматриваются вопросы, связанные с оценкой воздействий наблюдаемых изменений климата на продуктивность зерновых культур на территории бассейнов рек Волги и Дона.

EXTREME EVENTS AND DYNAMIC OF GRAIN PRORUCTIVITY IN MODERN CLIMATE WARMING: A STUDY IN VOLGA AND DON RIVER BASINS

V. Pavlova[1], P. Calanca[2], A. Karachenkova[1]

[1]National Research Institute of Agricultural Meteorology (NRIAM), Obninsk;

[2]Agroscope, Dept. Agroecology & Environment, Zurich, Switzerland

The role of weather conditions as a major yield-affecting factor is substantial in Russia (up to 90–95% in some areas). Crop farming in Russia is notably vulnerable to seasonal droughts and heat waves. This dependence on weather conditions results in variability (volatility) of crops production (IPCC, 2014, Diffenbaugh, Field, 2013; OECD, 2013).

The report addresses impacts of recent changes in climatic conditions on the water and thermal regime and the yield of grain crops in the basins of the Volga and Don rivers.

Agroclimatic conditions there were monitored. The monitoring was based on the Climate – Soil – Yield (CSY) imitation system using a large volume of aggregated meteorological and agrometeorological information. The monitoring includes the assessment of current anomalies and linear trends of indicators of heat and moisture availability of agricultural crops and productivity indicators.

The dynamics of the bioclimatic potential over the last decades was studied. A ten-day monitoring of the relation between agrometeorological conditions and crop yields formation was carried out in online mode for the years 2014, 2015 and 2016. The developed approach allows to provide both a comparative and updated assessment of the agroclimatic resources of the territory.

The proposed set of indicators and processing and visualization methods makes it possible to perform an operative quantitative and qualitative analysis of the agrometeorological conditions of the territory in the current year and to assess the anomalies relative to the preceding periods. The proposed approach also makes it possible to assess the influence of dangerous extreme events such as heat waves, droughts and arid phenomena on the productivity of grain crops.

This study is a contribution to the ERA.net RUS Plus Project EXTRA (Impact of EXTreme events and climate change on Russian Agriculture, economic implications and adaptation).

Объекты и методы

Исследование по оценке динамики продуктивности зерновых культур на территории бассейнов рек Волги и Дона в условиях современного потепления климата выполнено на основе имитационной системы «Климат – Почва – Урожай» (КПУ) (Сиротенко, 1991; Сиротенко и др., 2007; Павлова, Сиротенко, 2012). С помощью системы КПУ рассчитываются элементы водного, теплового и радиационного балансов посевов сельскохозяйственных культур, а также запасы влаги в почве и значительное число показателей тепло- и влагообеспеченности в динамике для любого пункта/года.

Входная информации включает данные сетевых метеорологических и агрометеорологических наблюдений (температуру воздуха и атмосферные осадки, дефицит влажности воздуха фенологические даты, измеренные запасы влаги в почве по слоям и др.). На территории бассейнов рек Волги и Дона расположено 264 метеорологических станций и постов сети Росгидромета. Карта-схема их расположения представлена на рис. 1.

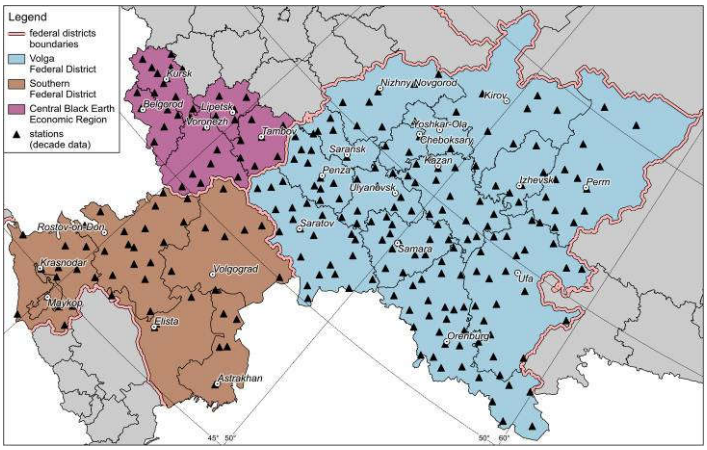


Рис. 1. Карта-схема расположения метеорологических и агрометеорологических станций и постов на территории бассейнов рек Волги и Дона.

Результаты и обсуждение

Имитационная система «Климат – Почва – Урожай» и большой объем агрегированной метеорологической и агрометеорологической информации позволяют проводить мониторинг агроклиматических условий на территории бассейнов рек Волги и Дона.

Тренды (скорости изменения) агроклиматических показателей

Мониторинг включает оценку текущих аномалий и линейных трендов (скоростей изменения) показателей тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, а также показателей продуктивности.

В качестве примера на рис. 2 представлены пространственное распределение средних значений суммы активных температур выше 10°С за период 1996–2015 гг. (рис. 2а) и скорость их изменения (°С/10 лет) (рис. 2б) на территории бассейнов рек Волги и Дона. Расчеты показывают, что современное потепление климата в бассейне рек Волги и Дона проявляется в значимом повышении летних температур практически по всей территории.

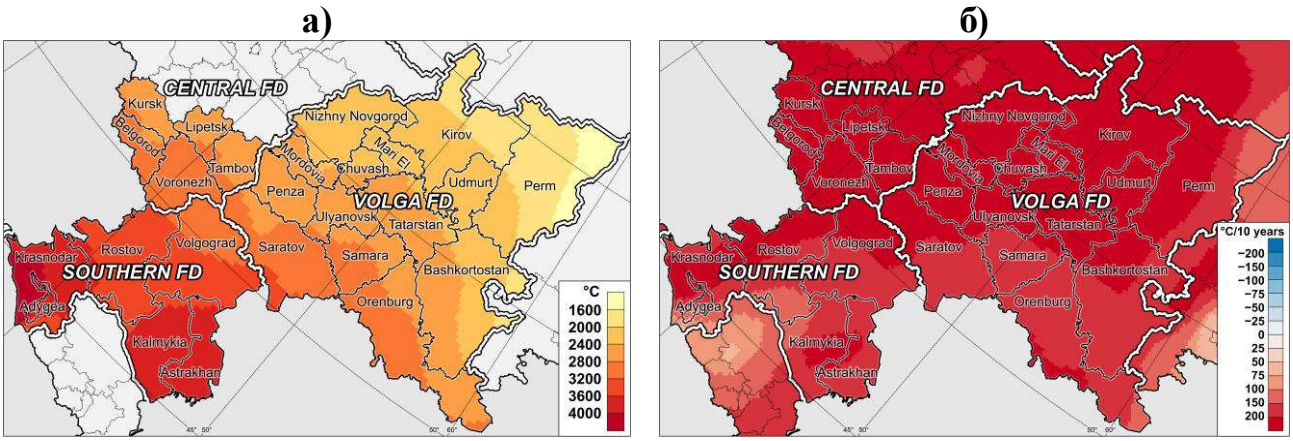


Рис. 2. Суммы активных температур выше 10°С:
(а) средние значения (°С) и (б) скорость их изменения (°С/10 лет) на территории бассейна рек Волги и Дона за период 1996–2015 гг.

Один из основных показателей режима увлажненности территории является гидротермических коэффициент Селянинова (ГТК). Рассчитаны средние значения ГТК за 1996–2015 гг. и оценки линейной скорости его изменения (тренд). Также выявлены отрицательные тренды увлажненности в бассейне рек Волги и Дона за последние десятилетия. При этом максимальные скорости иссушения наблюдаются на юге региона и в восточной части Саратовской и Волгоградской областей, а также в центральном районе Тамбовской области. Менее значительное иссушение почвы отмечается на севере и востоке рассматриваемой территории – в Кировской и Нижегородской областях, а также в Республиках Удмуртия, Мари-Эл и Башкортостан (за исключением юга республики).

Оперативный агроклиматический мониторинг

Разработана методика, позволяющая провести современную сравнительную оценку агроклиматических ресурсов земледельческой зоны. На ее основе может быть выявлено воздействие опасных природных явлений, таких как волны жары, засухи и засушливые явления, на продуктивность зерновых культур. В оперативном режиме проведен численный декадный мониторинг агрометеорологических условий формирования урожайности зерновых культур в 2014–2016 гг. Для визуализации результатов расчетов использованы алгоритмы и возможности геоинформационных систем Surfer и QGIS. Расчеты показали, что агрометеорологические условия 2015 г. года были достаточно благоприятными для роста и развития зерновых. Например, в Приволжском ФО урожайность 2015 г. была выше, чем в среднем за предшествующие пять лет (14.8 и 13.5 ц/га соответственно). В то же время Оренбургская, Самарская, Саратовская, Пензенская и Ульяновская области были охвачена засухой (рис. 3).

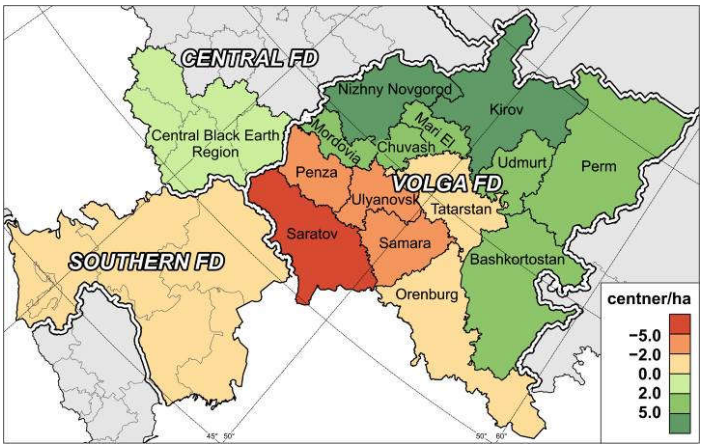


Рис. 3. Декадный мониторинг агроклиматических условий в системе КПУ в 2015 г. Отклонения уровня урожайности яровой пшеницы в 2015 г. относительно 2010–2014 гг.

Изменение продуктивности сельскохозяйственных культур

Большая часть территории бассейна рек Волги и Дона относится к зоне недостаточного или неустойчивого увлажнения. Для анализа рядов урожайности использованы данные Росстата. В табл. 1 представлены оценки линейных трендов рядов урожайности яровой и озимой пшеницы, рассчитанные за периоды 1976–2015 гг. и 1995–2015 гг. по трем федеральным округам – Центральному, Южному и Приволжскому. Анализ показывает, что наблюдаются устойчивые положительные тренды урожайности яровой и

озимой пшеницы. При этом следует отметить, что тенденция к росту урожайности зерновых культур в последнее двадцатилетие усиливается по сравнению со всем периодом глобального потепления. В Южном ФО, где значительные посевные площади заняты озимой пшеницей, положительные оценки тренда ее урожайности изменились от 1,9 до 6,1 ц/га/10 лет за периоды 1976–2015 гг. и 1995–2015 гг. соответственно, в черноземных областях Центрального ФО – от 2,5 до 7,2 3ц/га/10 лет (табл. 1). Приволжский федеральный округ чаще других территорий подвергается воздействию сильных и обширных засух, что приводит к значительной межгодовой изменчивости урожайности зерновых культур, и, как следствие, тренды урожайности здесь практически отсутствуют.

Таблица 1. **Оценки линейных трендов урожайности зерновых культур на территории трех федеральных округов ЕТ России: b – коэффициент линейного тренда (ц/га/10 лет), D% – доля дисперсии, объясняемая трендом.**

Федеральный округ, область, республика	Период							
	1976–2015 гг.				1995–2015 гг.			
	яровая пшеница		озимая пшеница		яровая пшеница		озимая пшеница	
	b	D%	b	D%	b	D%	b	D%
Центральный[1]	2.8*	31.1	2.5*	19.2	7.0*	45.0	7.2*	38.9
Южный	1.3*	19.2	1.9*	17.8	4.2*	50.0	6.1*	45.5
Приволжский	0.5	3.4	0.6	2.3	1.4	5.6	0.9	1.4

[1] Курская, Белгородская, Воронежская, Липецкая и Тамбовская области (см. рис. 1):
* значимость на 5%-м уровне.

Биоклиматический потенциал территории

Получены оценки биоклиматического потенциала территории и показателей агроклиматических условий на период 2011–2030 гг. по сценарию HAD CM3 (Hadley Center, UK) – вариант антропогенного воздействия RCP 4.5 (табл. 2). Очевидно, что адаптационные меры, направленные на использование растущих тепловых ресурсов (увеличение длины теплого периода года, повышение средней температуры за вегетационный период в пределах 1 °С), при практически неизменной увлажненности могут привести к росту биоклиматического потенциала на территории бассейнов рек Волги и Дона к 2030 г.

Таблица 2. **Изменения биоклиматического потенциала культур и агроклиматических показателей к 2030 гг. на территории трех федеральных округов. Сценарий HAD CM3, вариант антропогенного воздействия RCP 4.5.**

Федеральный округ	БКП, ц/га	Прирост БКП, %	Вегетационный период			ГТК, ед.	Сумма температур, °С	
			продолжительность, сут.	средняя температура, °С	сумма осадков, %		> 5°С	> 10°С
Центральный	7.9	14.6	13	0.7	16	0.01	300	302
Приволжский	5.9	12.0	16	1.0	15	0.00	392	371
Южный и Северо-Кавказский	1.5	3.2	9	0.7	16	0.04	281	320

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке РНФ (проект № 16-17-00063) и ERA.net RUS Plus (проект № 16-55-76006).

Список литературы

1. IPCC, 2013–2014. Fifth Assessment Report, Climate Change 2013–2014. Vol. 1–3. www.ipcc.ch.

2. Diffenbaugh N. S., Field C. B. 2013. Changes in Ecologically Critical Terrestrial Climate Conditions // Science. Vol. 341. pp. 486–492.

3. OECD, 2013. Agricultural Policy Monitoring and Evaluation. Ch. 19: Russia.

4. Сиротенко О. Д. Имитационная система климат-урожай в СССР // Метеорология и гидрология. 1991. № 4. С. 67–74.

5. Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., Павлова В. Н. Чувствительность сельского хозяйства России к изменениям климата, химического состава атмосферы и плодородия почв // Метеорология и гидрология. 1995. № 4. С. 107–114.

6. Павлова В. Н., Сиротенко О. Д. Наблюдаемые изменения климата и динамика продуктивности сельского хозяйства России // Труды ГГО им. А. И. Воейкова. 2012. Вып. 565. С. 132–151.

УПРАВЛЕНИЕ БИОПРОДУКТИВНОСТЬЮ АГРОЛЕСОЛАНДШАФТОВ НА ОСНОВЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОДХОДА

А. С. Рулев, О. В. Рулева, Н. Н. Овечко

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

(ФНЦ агроэкологии РАН)

Сущностью геопространственного подхода является форма существования геообъектов в трехмерном пространстве в пределах географической оболочки – совокупность отношений между геообъектами, расположенными в конкретном ландшафте, агроценозе, агроурочище, микроландшафте и развивающимися во времени. В перспективе развитие геопространственной парадигмы в лесомелиорации – это появление координатной трехмерной (3D) лесной мелиорации ландшафтов, в первую очередь с применением геопространственных данных (ГД) – информации, привязанной к конкретному местоположению объектов, в виде географических координат и топологий.

В роли слоев выступают тематические карты или космофотокарты, позволяющие проводить пространственный (геостатический) анализ конкретного объекта от геологии до формирования урожая сельскохозяйственных культур на конкретном поле или фермерском хозяйстве. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование представляют собой мощный инструмент для научного исследования пространственной неоднородности природно-антропогенных агролесокомплексов. Следующим шагом в управлении на основе геопространственной парадигмы является анализ экологического пространства на основе теории «мутной среды», позволяющий осуществлять переход в математическом моделировании к средним величинам, то есть замене истинных флуктуирующих величин статистически средними. Для удобства моделирования взаимодействия растительного сообщества, развивающегося под влиянием лесной полосы, и объяснения физической сущности данного явления применяется термодинамика неравновесных или необратимых процессов. Количественное описание неравновесных процессов при таком методе заключается в составлении уравнений баланса и феноменологических уравнений рассматриваемых процессов для элементов объемов на основе сохранения массы, импульса и энергии через градиенты термодинамических параметров, а также уравнения баланса энтропии. Для изучения биологических объектов, в том числе агроценозов и почвенного покрова, используются системный подход, математические модели и системы дифференциальных уравнений, основанных на эмпирических построениях. Управление биопродуктивностью на основе геопространственного подхода позволит предотвратить угрозу нестабильного деградационного развития агроландшафта и получить более стабильные урожаи сельскохозяйственных культур.

Геопространственная парадигма включает следующую триаду: «пластика мезо/микрорельефа – структура почвенного покрова – заполнение геопространства защитными лесными насаждениями». Однако это является двухмерным географическим представлением. Квинтэссенцией геопространственной парадигмы является понятие геопространства – формы

существования геообъектов и явлений в трехмерном пространстве в пределах географической оболочки. В лесомелиорации это – совокупность отношений между геообъектами, расположенными в конкретном ландшафте или на территории и развивающимися во времени (Рулев, 2016). В первую очередь, это связано с применением геопространственных данных (ГД) – информации о пространственном положении лесных полос и объектов сельскохозяйственного назначения, привязанной к конкретному местоположению объектов в виде географических координат и топологий. Все указанные объекты, расположенные на территории, в пределах которой проводятся исследования, находятся во взаимодействии между собой. В частности, местоположение объекта является фактором его индивидуализации, т. е. наличия специфических особенностей, по которым объект отличается от аналогичных по субстанциональным свойствам объектов. Другими словами, местоположение модифицирует и объекты, и процессы.

Идея управления процессами через технологии не является новой, однако на современном этапе развития современного общества управление биопродуктивностью агролесоландшафтов получает принципиально новое содержание. Система управления имеет три основных блока: геопространственный блок, анализ экологического пространства на основе теории «мутной среды», позволяющий осуществлять в математическом моделировании переход к средним величинам, то есть к замене истинных флуктуирующих величин статистически средними, и сам процесс моделирования на основе сохранения массы, импульса и энергии через градиенты термодинамических параметров, ведущих к закономерностям, обусловленным особенностями экосистемного пространства.

Экосистемный подход известен в экологии достаточно давно и используется при изучении совокупностей организмов и неживых компонентов среды, находящихся в тесной взаимосвязи. Указанные совокупности (экосистемы) имеют условные границы, определяемые круговоротом основных биогенных элементов, рассматриваемом в определенном пространственно-временном масштабе. В пределах экосистемного подхода можно различать структурные направления, занимающиеся изучением строения экосистем и их функционирования. В системе лесных полос межполосная клетка рассматривается как экосистема растительного сообщества с четко выраженными границами. В данном случае, фактором, постоянно

воздействующим на фитоценоз на протяжении всего периода вегетации (помимо климатических), являются лесные полосы, которые способствуют формированию сообщества, отличного от растений открытого пространства. При изучении межполосной экосистемы в рамках настоящего было установлено, что к растительному сообществу и агроценозам как к частному случаю фитоценозов при всей их сложности, динамичности развития самого сообщества и его составляющих, могут быть приложены подходы и методы оптики «мутных сред» (De Wit, 1965; Сысуев, 1986). Процессы, происходящие внутри ценозов и с их участием, находятся на стыке геофизики, химии и биологии, так как существует «единство ритмической структуры Солнечной системы, Земли и биологических систем как во временном, так и в пространственном аспектах» (Жирмунский, 1990). Для удобства моделирования взаимодействия растительного сообщества (агроценоза), развивающегося под влиянием лесной полосы, и объяснения физической сущности данного явления необходимо применить термодинамику, так как экосистема межполосного пространства относится к макроскопическим физическим системам.

Биологические объекты являются предметом изучения термодинамики неравновесных или необратимых процессов. В термодинамике неравновесных процессов системы, в которых протекают неравновесные процессы, рассматриваются как непрерывные среды, а их параметры состояния – как полевые переменные, то есть непрерывные функции координат и времени. Количественное описание неравновесных процессов при таком методе заключается в составлении уравнений баланса и феноменологических уравнений рассматриваемых процессов для элементов объемов на основе закона сохранения массы, импульса и энергии через градиенты термодинамических параметров.

Подход, описанный выше, позволяет в теоретическом плане разработать методологию, основанную на физических и биологических особенностях функционирования агроэкосистем и лежащую в основе управления биопродуктивностью агролесоландшафтов.

Для описания роста сельскохозяйственных культур за период вегетации была выведена формула:

$$H_P = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{1 + e^{a - b\tau}} + H_{\min}, \qquad (1)$$

где H_{min} – высота растения во время посева; H_{max} – максимальная высота растения; τ – время вегетации; e – основание натуральных логарифмов; a и b – константы, определяющие наклон, изгиб и точку перегиба кривой.

Для управления агрофитоценозами иногда достаточно знать прирост высоты растений на отдельно взятой фазе развития. Для этого от логистической функции берется первая производная:

$$H' + \left(\frac{H_{\max}}{1 + e^{a-b\tau}} \right) = -H_{\max} (1 + e^{a} \cdot e^{-b\tau})^{-2} \cdot (e^{a} \cdot e^{-b\tau}) =$$

$$= H_{\max} \cdot b \cdot e^{a} \cdot e^{-b\tau} (1 + e^{a} \cdot e^{-b\tau})^{-2} = \frac{H_{\max} \cdot b \cdot e^{a-b\tau}}{(1 + e^{a-b\tau})^{-2}} = \quad (2)$$

$$= H_{\max} \cdot b \cdot e^{a-b\tau} \cdot H_{\Delta}^{2}.$$

Для моделирования пространственной динамики высоты растений применялась экспоненциальная зависимость:

$$H_{\Delta} = H_{\Delta k} + a \cdot e^{bL_H}, \quad (3)$$

где H_{Δ} – максимальная высота кукурузы на различном расстоянии от лесной полосы; $H_{\Delta k}$ – высота на контроле; a, b – параметры уравнения; $L_н$ – расстояние от лесной полосы.

Для описания биомассы сельскохозяйственных культур за период вегетации в абсолютных единицах применялась формула:

$$M = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{1 + e^{a-b\tau}} + M_{\min}. \quad (4)$$

Для моделирования пространственной динамики продуктивности применялась экспоненциальная зависимость:

$$M = a \cdot e^{-bL_H}, \quad (5)$$

где M – элемент продуктивности; M_0 – элемент продуктивности при $L_H = 0$; M_k – максимальное значение элемента продуктивности без ЛП; a, b – коэффициенты; L_H – расстояние от лесной полосы.

Обобщенное уравнение имеет вид:

$$M = M_k + a \cdot e^{-b \cdot L_H}, \quad (6)$$

где

$$a = M_0 - M_k. \quad (7)$$

Деятельность ассимилирующей поверхности растений определяет величину урожая, которая зависит от размера листового аппарата, его количества и времени активной деятельности. Поэтому при исследовании динамики нарастания ассимилирующей поверхности особый интерес представляет ее площадь, размерами которой определяется количество поглощенной солнечной радиации, идущей на формирование хозяйственно ценной части урожая. С помощью метода математического моделирования при расчете динамики фотосинтетического потенциала в зоне влияния лесных полос было получено уравнение, которое позволило описать многолетние осредненные данные экспоненциальной зависимостью:

$$\Phi_{П} = \Phi_{\Delta} + a \cdot e^{-b \cdot L_H} \begin{vmatrix} L_H = 0; \Phi_{П} = \Phi_{\Delta} + a; \\ L_H = \infty; \Phi_{П} = \Phi_{\Delta}. \end{vmatrix} . \quad (8)$$

$$a = \Phi_0 - \Phi_k; \Phi_{\Delta} = \Phi_{ср} - \Phi_k . \quad (9)$$

где $\Phi_{П}$ – фотосинтетический потенциал, млн. м^2/га·дней; $\Phi_{ср}$ – средняя величина фотосинтетического потенциала на данном расстоянии от лесной полосы; Φ_0 – теоретический фотосинтетический потенциал; Φ_k – фотосинтетический потенциал на контроле; L_H – расстояние от лесной полосы, Н; a и b – коэффициенты.

Данный подход позволяет проводить учет нарастания биомассы по малым выборкам, которые были разработаны для масличных и зерновых культур. Согласно настоящему исследованию, морфометрические характеристики агроценозов сельскохозяйственных культур подчиняются закону нормального распределения, так как подавляющее большинство биологических признаков имеет симметричное распределение вариант, близкое к нормальному (Гойса, 1969; Рулева, 2014). Согласно неравенству Чебышева из теории вероятностей, «при любом типе распределения вариант вероятность отклонения последнего от основного закона нормального распределения, так называемого «правила трех сигм», составляет меньше чем 1/9 или равно этому числу. Следовательно, принимая неизвестное распределение вариант за нормальное, можно ошибаться лишь в 11 случаях из 100» (Зайцев, 1984). На основе данной методики были разработаны программы для ЭВМ «Определение

оптимального количества образцов пшеницы по главным стеблям в защищенных агрофитоценозах» и «Определение размера малой выборки масличных культур в зоне влияния лесных полос», на которые были получены свидетельства о государственной регистрации № 2016662088 и № 2016662346 (Рулева, Овечко, 2016).

Для изучения биологических объектов, в том числе агроценозов и почвенного покрова, используются системный подход, математические модели и системы дифференциальных уравнений, основанных на эмпирических построениях. Управление биопродуктивностью на основе геопространственного подхода позволит предотвратить угрозу деградационного развития агроландшафта и получить более стабильные урожаи сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Рулев А. С. Энтропийная характеристика агролесоландшафтов // Защитное лесоразведение, мелиорация земель, проблемы агроэкологии и земледелия в Российской Федерации. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию создания Всероссийского научно-исследовательского агролесомелиоративного института, Волгоград, 19–23 сентября 2016 г. Волгоград, ВНИАЛМИ, 2016. С. 222–226.
2. De Wit C. T. Photosynthesis of leaf canopies //Agric. Res. Rep. 1965. № 663. pp. 17–37.
3. Сысуев В. В. Моделирование процессов в ландшафтно-геохимических системах. М., Наука, 1986. С. 15–124.
4. Жирмунский А. В., Кузьмин В. И. Критические уровни в развитии природных систем. Л., Наука, 1990. 222 с.
5. Гойса Н. И., Рогаченко А. Д. О методике определения фенометрических и радиационных характеристик посевов кукурузы // Сб.тр. УкрНИГМИ. 1969. Вып. 84. С. 83–93.
6. Рулева О. В. Применение теории «мутной среды» для обоснования расчетов влияния лесных полос на прилегающие агроценозы // Известия нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 1. С. 65–69.
7. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984 7 с.
8. Рулева О. В., Овечко Н. Н. Определение оптимального количества образцов пшеницы по главным стеблям в защищенных агрофитоценозах // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. № 11. 2016. 1 с. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2016662088.
9. Рулева О. В., Овечко Н. Н. Определение размера малой выборки масличных культур в зоне влияния лесных полос // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. № 12. 2016. 1 с. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2016662346.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Н. Н. Семенова[1, 2], Г. И. Сухорученко[2], С. А. Волгарев[2],
А. С. Зациорский[1,2], О. В. Долженко[2]

[1]*Санкт-Петербургский Государственный Университет (СПбГУ);*

[2]*Всероссийский институт защиты растений (ФГБНУ ВИЗР)*

Рассматриваются динамические имитационные модели поведения пестицидов в агробиоценозе и их реализация в виде компьютерных систем. Разработаны компьютерные программы поведения пестицидов в некоторых частях агробиоценоза и программы, оценивающие их экологическую безопасность и эффективность.

Отмечаемое в последние годы увеличение объемов использования пестицидов разного фитосанитарного назначения в растениеводстве (в 2016 г. химические мероприятия были проведены на площади 87,0 млн. га. сельскохозяйственных угодий РФ) обеспечивает получение высокого хозяйственного и экономического эффектов, однако усиливает экологическую напряженность в данной сфере.

Это проявляется в повышении загрязнения почв и грунтовых вод агробиоценозов пестицидами различной химической природы и их остатками. Поэтому в условиях усиления техногенного загрязнения оценка его влияния на поведение фитосанитарных ксенобиотиков должна охватывать все регионы их интенсивного применения, так как протекающие при этом негативные процессы могут вызвать серьезные экологические нарушения в масштабе всей страны.

В связи с этим создание конструктивной системы эффективного мониторинга и последовательное его осуществление в целях недопущения загрязнения химическими ксенобиотиками как агробиоценозов, так и объектов природной среды (особенно в регионах интенсивного применения фитосанитарных препаратов) является одной из приоритетных задач при решении проблем современного рационального природопользования (Семенова, Новожилов, Волгарев, 2009).

Это предопределяет необходимость развертывания цикла теоретических исследований и целевых технологических разработок, направленных на

создание современных методов контроля и прогнозирования миграции и деградации пестицидов в различных средах, определения уровней загрязненности почвы, грунтовых вод и сельскохозяйственной продукции применяемыми препаратами и установления степени их негативного воздействия на полезную биоту агробиоценозов.

Специфика химических средств защиты растений (ХСЗР) по сравнению с применяемыми в качестве удобрений химикатами заключается в значительном разнообразии их регулярно обновляемого ассортимента. Сюда следует также отнести сложность и высокую стоимость аналитических методов по их определению в компонентах агробиоценоза. Все это создает трудности при непосредственной организации наблюдений за поведением пестицидов в почве конкретных агробиоценозов и требует новых унифицированных методов их определения. При помощи данных методов в сжатые сроки должна проводиться сравнительная оценка пестицидов по степени их экологической опасности с учетом региональной специфики. При этом используются ограниченный объем экспериментальных данных и относительно небольшой набор экотоксикологических параметров, а также разрабатываются прогнозы возникновения критических ситуаций с определенной степенью надежности (Семенова, Сухорученко, Волгарев, Долженко, Зациорский, 2015).

Пестицидный ксенобиотик вступает во взаимодействие со всеми компонентами агробиоценоза и в процессе миграции влияет на различные естественные экосистемы. Решение задачи количественного определения степени данного воздействия должно основываться на оценках времени сохранения и содержания действующего вещества препарата в объектах окружающей среды. Построение динамической математической модели с целью решения указанной задачи связано со значительными трудностями, заключающимися в адекватном описании множества процессов, происходящих в системе «пестицид – почва – растение». Однако другие методы изучения взаимодействий компонентов данной системы (например, физическое моделирование) являются еще более трудоемкими, и в то же время они не вполне отражают особенности поведения пестицидов, причем влияние

техногенного загрязнения на конечный результат моделирования определяется через влияние на параметры включенных в модель процессов.

Модели, основанные на фундаментальных исследованиях физических, химических и биологических процессов в системе «пестицид – почва – окружающая среда», в большинстве являются детерминированными. Авторами была разработана математическая динамическая модель поведения пестицидов в агробиоценозе, интегрирующая разнообразные аспекты их влияния на его компоненты. На данной основе была создана динамическая математическая модель, являющаяся ее малопараметрическим аналогом и включающая агрегированный индекс воздействия пестицидов на почву (с использованием локальных индексов, оценивающих опасность проникновения препаратов в грунтовые воды, их потенциальную и актуальную нагрузку на почву и влияние на естественные среды), входящий в интегральный индекс воздействия ксенобиотиков на основные компоненты агробиоценоза. Математическая модель является своего рода поршневой моделью распространения влаги и вещества по вертикальному профилю, допускающей аналитическое решение, что и позволяет получить указанные индексы (Сухорученко, Семенова, Волгарев, Долженко, 2013).

На основе данной математической модели была создана система компьютерной имитации динамики пестицидов в почве PESTINS-3, которая прошла государственную регистрацию (ВНТИЦ, 2004. № 50200401216). Она позволяет прогнозировать степень экологической опасности ряда пестицидов для почв агробиоценозов.

С использованием разработанной математической модели была также создана компьютерная программа PESTLOAD для оценки локальной экологической опасности пестицидов для агробиоценозов таких сельскохозяйственных культур, как пшеница и картофель. Электронные Версии 01 и 02 модели PESTLOAD были зарегистрированы в Институте научной информатики и мониторинга («Объединенный фонд электронных ресурсов «НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ») (№ 16038 от 30 июля 2010 г. и № 175179 от 11 ноября 2011 г.).

Данная программа позволяет оценивать степень загрязнения агробиоценозов химическими ксенобиотиками с последующим картированием территорий в масштабе региона на примере типичных агробиоценозов пшеницы Левобережья Волги (Саратовская область) и картофеля на Северо-Западе России (Ленинградская область) (Сухорученко, Волгарев, Семенова, Зациорский, Долженко, 2016).

В настоящее время в лаборатории агроэкотоксикологии ФГБНУ ВИЗР на основании разработанных ранее математических моделей создана компьютерная программа PESTOPTIMA, которая позволяет выявлять в современном ассортименте пестицидов препараты, характеризующиеся не только экологической безопасностью, но и высокой биологической эффективностью. Так, использование данной программы дало возможность установить, что среди инсектицидов, рекомендованных для борьбы с колорадским жуком на картофеле, наиболее экологически безопасным для указанной культуры и эффективным в борьбе с вредителем является препарат «Кораген» (д.в. хлорантранилипрол) из химического класса антраниламидов (Семенова, Сухорученко, Волгарев, Зациорский, 2016).

Список литературы

1. Семенова Н. Н., Сухорученко Г. И. Математическое моделирование в химическом методе защиты растений. в сборнике: агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления // Материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием). 2016. С. 271–275.

2. Сухорученко Г. И., Волгарев С. А., Семенова Н. Н., Зациорский А. С., Долженко О. В. Материалы к оценке оптимальности (по показателям экологической безопасности и биологической эффективности) проводимых мероприятий по химическому методу защиты сельскохозяйственных культур от вредителей-фитофагов (№ пат. 2016620253). Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. 2016. № 3.

3. Семенова Н. Н., Сухорученко Г. И., Волгарев С. А., Долженко О. В., Зациорский А. С. Компьютерное моделирование в химическом методе защиты растений // Математическое моделирование в экологии. Материалы Четвертой Национальной научной конференции с международным участием ЭкоМатМод-2015. Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН. 2015. С. 173–175.

4. Сухорученко Г. И., Семенова Н. Н., Волгарев С. А., Долженко В. И. Оценка степени экологической опасности пестицидов для агробиоценозов // Фитосанитарная оптимизация агроэкосистем Материалы III Всероссийского съезда по защите растений в 3-х томах. Всероссийский Научно-Исследовательский институт защиты растений (ВИЗР) / Под ред. В. А. Павлюшина. 2013. С. 510–513.

6. Семенова Н. Н., Новожилов К. В., Волгарев С. А. Имитационное моделирование в оценке экологической опасности пестицидов для почв агробиоценозов // Вестник защиты растений. 2009. № 3. С. 20–31.

EVALUATE IMPACT OF SOIL PHYSICAL PROPERTIES ON SOIL THERMAL PARAMETERS

A. Y. Mady[1,2], E. V. Shein

[1]*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Soil Physics and Reclamation Department, Moscow, Russia;*

[2]*Ain Shams University, Faculty of Agriculture, Soil Science Department, Cairo, Egypt*

E-mail: ahmed_mad@agr.asu.edu.eg

The aim of the work is to describe the behavior of soil thermal parameters (thermal diffusivity, thermal conductivity and heat capacity) under different values of soil moisture, and is to investigate the effect of some fundamentals of soil physical properties on thermal parameters. Thermal diffusivity at first increased rapidly with increasing water content then decreased at a slower rate. The relationship between thermal diffusivity and soil moisture was proposed by ∩ shaped curve using a quadratic equation. The thermal conductivity and soil heat capacity increase by increasing soil moisture. All thermal parameters increased with increasing soil bulk density, while decreased with increasing organic matter and soil porosity.

Introduction

Soil thermal parameters are playing an important role in many, chemical, biological, physical and environmental processes such as the dew, soil aeration, crop growth, soil CO_2 production (Bauer et al., 2012), ecosystem carbon sequestration and subsurface soil water evaporation (Sakai et al., 2011). Usually, the soil heat transport simulations are based on estimates of the soil thermal conductiv ity and soil thermal diffusivity as a function of the soil water content. Moreover (Votrubova et al., 2012) noted that the simulated soil thermal conditions are strongly affected by the root water uptake approximation. The literature contains many studies the influence of soil moisture content, bulk density, tillage system, salt concentration, and organic matter on soil thermal parameters (Ludynia, Orman, 2013). Thermal diffusivity is one of the important soil thermal parameters has a great effect on soil heat transfer. Thermal diffusivity $K=\lambda/Cv$ is defined as the ratio of the thermal conductivity (λ) to the volumetric heat capacity (Cv). The objective of the current work is therefore to describe the relationships between thermal parameters and some fundamentals of soil physical properties.

Material and Methods

The silt loam and silt clay loam soil representing major Agriculture in sod-podzolic soils of the Moscow region, Russia, Zelenograd field laboratory of Soil Science Institute. Soil thermal diffusivity (K_{exp}) was measured in the laboratory by the direct method under different values of soil moisture, using Kondratieff method according to (Shein, Karpachevskyi, 2007). The levels of soil moisture (Θ_v) were 0.02, 0.1, 0.2, 0.35, 0.4, 0.5, and 0.55, cm^3/cm^3. Particle Size Distribution was measured using Laser Diffraction method by Analysette-22. Organic matter was measured using Express analyzer AN-7529. Soil bulk density was determined by core method according to (Shein, Karpachevskyi, 2007).

Results and Discussion

Fig (1) shows that thermal diffusivity at first increased rapidly with increasing water content to reach the maximum, then decreased at a slower rate. The maximum value of (K_{exp}) was 9 (cm^2/h) at $\Theta_v = 0.4$ cm^3/cm^3, while the minimum value of (K_{exp}) was 4.37 (cm^2/h) at $\Theta_v = 0.02$ cm^3/cm^3. The reason of that water content increases thermal contact between soil particles and replaces the air, which has lower thermal conductivity than water and increases the specific heat between soil partials. But the thermal diffusivity increases more rapidly than the volumetric heat capacity, as a result of that decrease thermal diffusivity. We could describe the represented data in Fig (1) by ∩ shaped curve using a quadratic interpolation equation:

$$K(\Theta_v) = b1 + b2\ \Theta_v - b3\ \Theta_v^2,$$

where b1, b2 and b3 are the experimental approximated parameters that effect on thermal diffusivity; Θ_v is a fraction of volume soil moisture. This description differs from (Arkhangel'skaya et al., 2015) that described the relationship between thermal diffusivity and water content by S – shaped curves with a long gently sloped segment in the region of volumetric water content below 0.15 cm^3/cm^3, and the region of pronounced increase of thermal diffusivity in the water content has the range from 0.15 to 0.30–0.35 cm^3/cm^3.

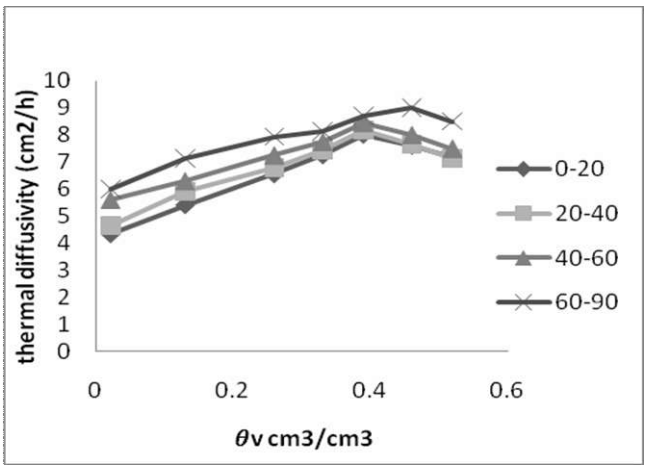


Fig. 1. Effect of soil moisture on thermal diffusivity.

Fig (2) introduces the relationship between soil moisture and each of thermal conductivity and soil heat capacity. The thermal conductivity and soil heat capacity increase by increasing soil moisture. Soil heat capacity Cv increases linearly with soil moisture, however thermal conductivity λ increases more rapidly than Cv at low soil moisture.

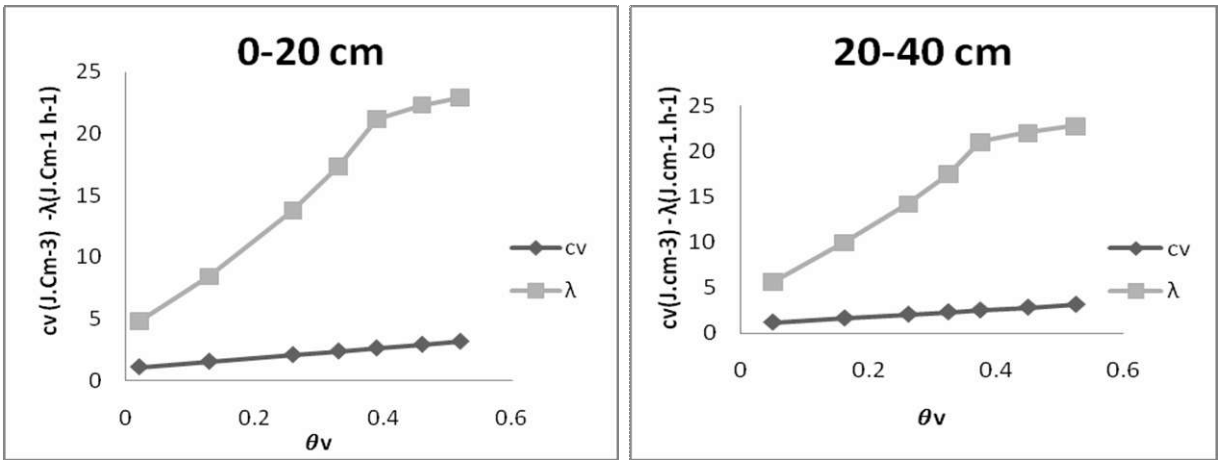
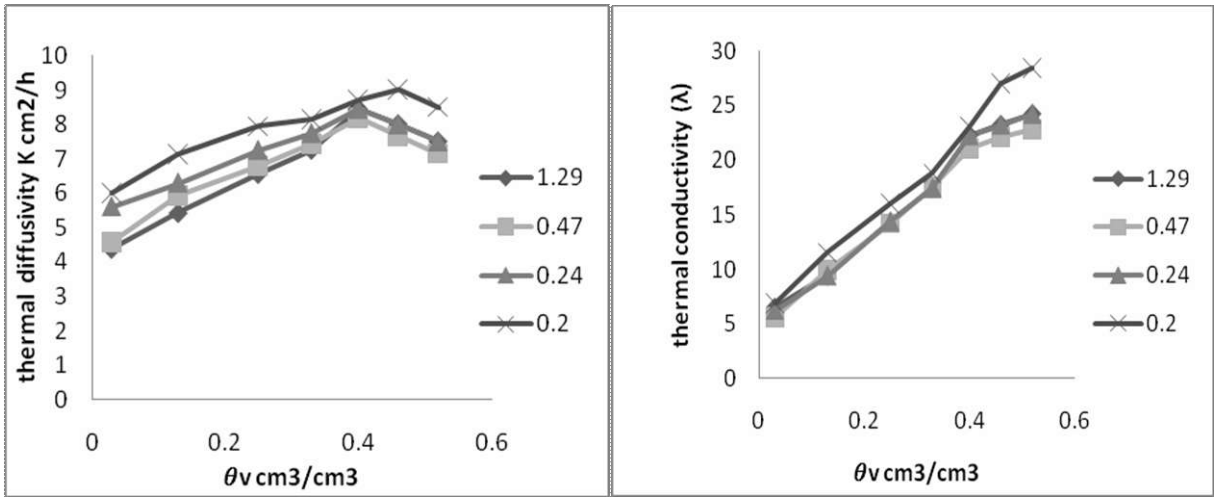


Fig. 2. Effect of soil moisture (Θ_v) on soil heat capacity Cv (J .cm-3 0c -1) and thermal conductivity λ (J.cm-1.h-1 0c-1) for soil layers 0–20 and 20–40 cm.

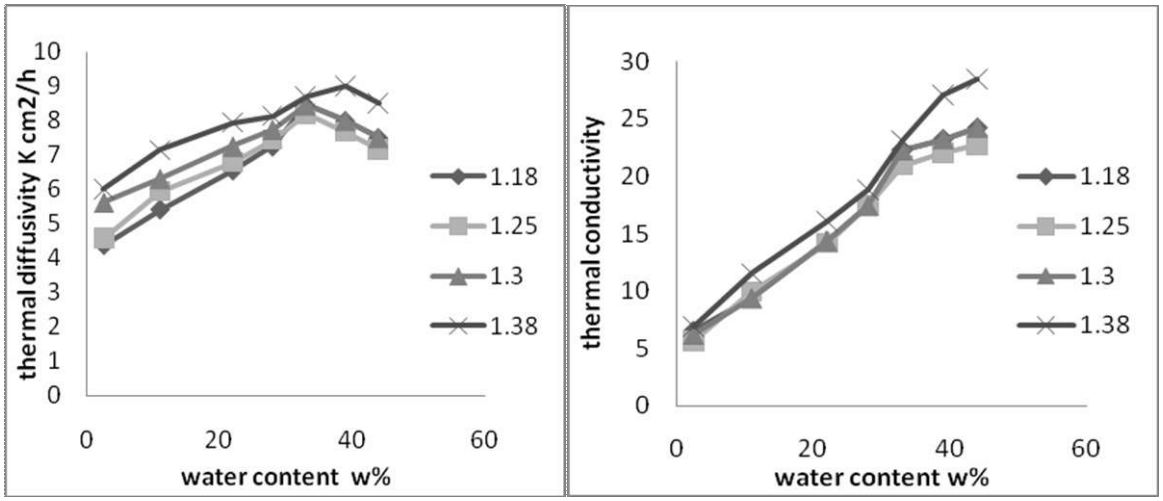
Fig (3) shows that the highest values of thermal diffusivity and thermal conductivity were at the lowest value of organic matter 0.2%, while the lowest values of thermal diffusivity and thermal conductivity were at the highest value of organic matter 1.29%. Fig (4) shows that the highest values of thermal diffusivity and thermal conductivity were at the highest value of soil bulk density 1.38 Mg/m^3, while the lowest values of thermal diffusivity and thermal conductivity were at the lowest value of soil bulk density 1.18 Mg/m^3. The increase soil bulk density leads to increase

conduction of heat between soil particles and thermal parameters (Arkhangel'skaya et al., 2015).



a b

Fig. 3. Effect of organic matter content (%) on thermal diffusivity (K, cm^2/h) – a, and an effect of organic matter on thermal conductivity (λ) – b, under different values of soil moisture.



a b

Fig. 4. Relationship (a) between soil bulk density and thermal diffusivity (K) and (b) – between soil density and thermal conductivity (λ) and water contents.

Conclusion

Soil physical properties are soil moisture, soil bulk density, particle size distribution and organic matter, have a great effect on thermal parameters. Thermal diffusivity at first increased rapidly with increasing water content then decreased at a slower rate. All thermal parameters increased with increasing soil bulk density (soil depth), while decreased with increasing organic matter and soil porosity.

References

Arkhangel'skaya T. A., Luk'yashchenko K. I., Tikhonravova P. I. Thermal Diffusivity of Typical Chernozems in the Kamennaya Steppe Reserve // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. № 2. pp. 177–182.

Bauer J., Weihermüller L., Huisman J. A., Herbst M., Graf A., Séquaris J. M., Vereecken H. Inverse determination of heterotrophic soil respiration response to temperature and water content under field conditions. Biogeochemistry. 2012. 108: 119–134.

Ludynia A., Orman L. Preliminary Tests of Thermal Conductivity of selected soil types. 1st Annual International Interdisciplinary Conference, AIIC 2013, 24-26April, Azores, Portugal. 2013. pp. 428–431.

Sakai M., Jones S. B., Tuller M. Numerical evaluation of subsurface soil water evaporation derived from sensible heat balance. Water Resources Research. 2011. 47: W02547.

Shein E. V., Karpachevskyi L. O. Theory and Methods of Soil Physics. Moscow, Izd. Grif i K, 2007 [in Russian].

Votrubova J., Dohnal M., Vogel T., Tesar M. On Parameterization of Heat Conduction in Coupled Soil Water and Heat Flow Modeling. Soil & Water Res. 2012. 7 (4): 125–137.

FILTER APPROACHES FOR SEMI-EMPIRICAL MODELING OF RUSSIAN CROP YIELDS INCREASE MODEL PERFORMANCE

F. Wechsung, C. Conradt, C. Gornott, B. Schauberger

Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK),

Telegrafenberg A31, 14473 Potsdam, Germany

E-mail: wechsung@pik-potsdam.de

We apply an existing semi-empirical modeling scheme that allows for the quantification of inter-annual yield anomalies. The anomalies are measured as inter-annual differences and modeled for maize, spring wheat and winter wheat. The model is applied to survey and remote sensing data in Russia. Performance of the models is measured using their out-of-sample correlation with observed data. In order to improve model performance, several filters are developed and applied on the different yield data sets.

Introduction

Crop models may serve different aims. They support the in-time management of crop production during the growing season, serve as tools in breeding and agronomic research, and allow for climate impact assessments. Besides that, they may also be used for in-time estimates of the expected mean crop yield in a region or country at or even before harvest. Reliable estimates might be beneficial for harvest management at farm and regional scale, as they allow a more efficient allocation of funds and resources. Sale and refinancing activities can be started earlier. Of particular importance are import and export planning, which may arrive at more just prices, since markets are known to work more efficient with more information. In sum, pre-harvest yield forecasts can decrease the vulnerability of farms and the regional economy to fluctuations in crop yield, which is of relevance particularly under climate change. We have recently developed and tested a semi-empirical crop model (Gornott and Wechsung, 2016) that allows for robust yield estimation. Its aptitude for modeling weather-induced yield variability and the near-term forecasting of yields up to two months before harvest was also shown at the global scale, including Russia (Schauberger, Gornott and Wechsung, 2017). Here, we present a refined approach and test it for maize, spring wheat and winter wheat.

The model is based on spatially distributed time series of crop yields. There are two distinct time series, either the results of surveys in administrative units or derivatives of a gridded satellite product. The original semi-empirical modeling approach estimates relationships between weather variables and crop yields at grid-

cell level. To this end, survey data are interpolated to the grid cells at 0.5° spatial resolution by intersecting grid cell and administrative maps. Crop yields are simulated for grid cells and then aggregated to the regional or country level, respectively. This estimation and prediction procedure is performed separately for the survey and the remote-sensing yield data. For each of them, two correlations are calculated with reported yields: a standard R^2 from the Pearson's linear correlation *r*, and an out-of-sample correlation where each year is subsequently stripped from the estimation data to receive a robust estimate of the model's predictive capacity. Simulated yields are compared with reported yields only at the aggregated level. In our revised scheme, we aim to improve the model performance by excluding selected grid cells from the parametrization with a panel data model. Here, we assume that (i) some basic units are more suitable than others to estimate the «true» relationship between weather variables and crop yield, and that (ii) the elimination of unsuitable basic units and its replacement by extrapolations from the more suitable basic units delivers a better model performance than the usage of the original, complete data set. The revised approach is tested for the harvest and the pre-harvest mode of the model. The harvest mode considers the weather fluctuation until harvest, the pre-harvest mode stops one or two months before, respectively.

Material and Methods

Model We applied an ordinary least squares (OLS) regression scheme based on the Cobb-Douglas production function with different model specifications. The function relates inter-annual changes of crop yields to a product of inter-annual changes of weather variables (equation 1). The natural logarithm linearizes all terms into a sum.

$$\log y'_t = \log \beta_0 + \sum_{j=1}^{J} \beta_j \log x'_{jt} + \log u'_t \text{, with } j = 1,\ldots,J \text{ and } t = 1,\ldots,M. \qquad \text{(eq. 1)}$$

Variables are yield (y), weather (x_j) and error term (u). Estimated coefficients are $\beta_{0,J}$ and denote intercept (β_0) and weather influences. All variables are provided per grid cell. Years are indexed with t. Anomalies are denoted with a prime ($'$). We calculated yield anomalies as first differences ($y'_t = y_t - y_{t-1}$) between adjacent years, thereby making an explicit time variable obsolete. We used two regression methods: STSM (Separate Time Series Model) and PDM (Panel Data Model). While STSM

estimates an independent model for each grid cell, the PDM parametrizes relationships across grid cells, allowing for spatial variation in mean yields with grid cell-specific fixed effects. More details on the model can be found in Gornott and Wechsung (2016) and Schauberger, Gornott and Wechsung (2017).We calculated an one-out-of-sample R^2 («R^2_{01}») by subsequently and separately stripping each year from the estimation data, estimating the model with the reduced data and eventually predicting yield anomalies for the stripped year with this reduced model. The R^2_{O1} thus indicates the model's capacity to project yields from weather data that have not been used for model training. After estimation yield anomaly time series (observed and one-out-of-sample predicted yield anomalies) were aggregated from grid cells or subnational regions to countries. Aggregation was carried out unweighted, i.e. treating each grid cell as equal. The correlation between the aggregated time series was used as an indicator of the model's performance.

Forecasting method. The model is applied to forecast yield anomalies during the growing season up to two months before harvest. We clipped the last one or two months, respectively, from the MIRCA2000-defined growing season and calculated all weather variables based on this reduced season. Afterwards the model was trained on the reduced weather data set, relating yield anomalies to weather anomalies observed up to one or two months before harvest. The one-out-of-sample performance of this reduced model is then a measure for its forecasting capacity.

Filter. We use the filters, as described in Table.

Climate data. We used AgMERRA climate data (Ruane et al., 2015) at 0.5° spatial and monthly temporal resolution. This data set provides minimum, maximum and average temperature, precipitation and shortwave radiation from 1980 to 2010. AgMERRA has specifically been designed for use in agricultural research focusing on the reproduction of both average and extreme values.

Yield data. We employed yield survey data from the Russian statistical service providing maize and wheat yields at GADM2 resolution (at the oblast level, two units below national; 22 oblasts in total were used). As gridded yield data we used Iizumi et al. (2013) from 1982 to 2006 (henceforth «GGYD» for «Gridded Global Yield Data»).The time frame of analysis is 1996–2010 for GADM2 and 1982–2006 for GGYD. We used the MIRCA2000 data at 0.5° spatial resolution for defining growing

seasons and spatially explicit land-use shares for each crop. Two different spatial mappings were performed: either the gridded climate and land-use data was mapped to GADM2 level, or the yield data was mapped to the 0.5° resolution of the climate data (about 50 km at the equator).

Table. **Filter types and thresholds used to test improvement of forecasts**

Name	Thresholds	Explanation
CV	0.1, 0.15, 0.2 (unitless)	An STSM was run, but only for spatial units that showed yield standard deviations over mean (CV) of at least the specified threshold
R2	0.5, 0.75 (unitless)	Two step filter: first, an STSM model was run to estimate weather influence on yields per spatial unit. Second, a PDM model was run where only those grid cells were considered that achieved an R^2 above the threshold.
SD	0.5, 0.75, 1.0 (t/ha)	An STSM was run, but only for spatial units that showed yield standard deviations (SD) of at least the specified threshold
Yl	2, 3, 4, 5, 6, 7 (t/ha)	An STSM was run, but only for spatial units that showed absolute yield levels of at least the specified threshold

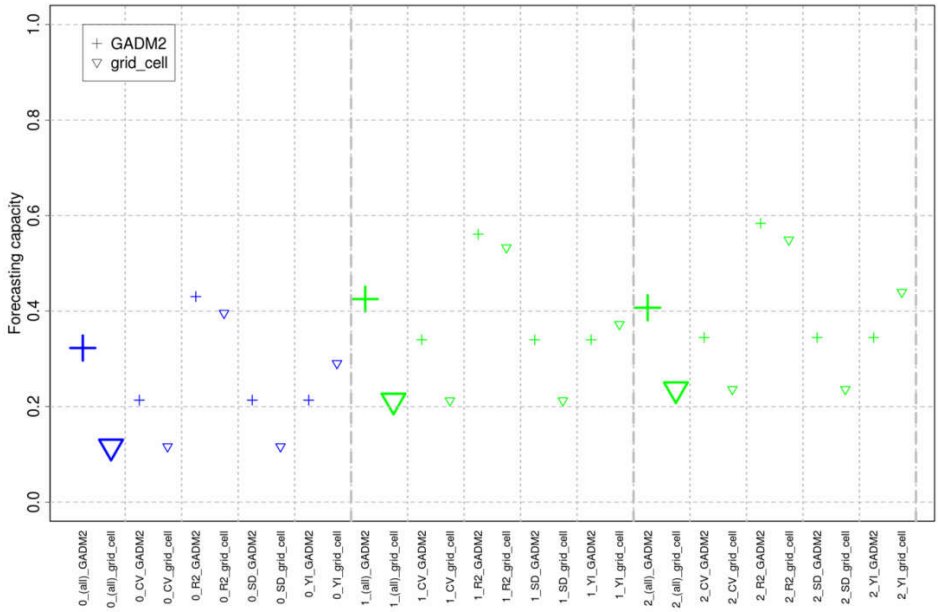


Fig. 1. Effect of filtering on the model forcasting capacity (out-of sample R^2) of aggregated maizeyields for Russia based on GADM2 and GGYD (grid_ cell). The model performance is displayed for three modes; full season (i.e. 0 months before harvest, in blue), 1-month-advanced and 2-month-advanced (green). Four filters are used; CV, R2, SD and Yl as described in table 1. Different symbols denote different filters spatial resolutions: while a '+' denotes calculation directly on oblast/GADM2 level, a triangle indicates calculation on grid cell level.

Results and Discussion

The model performance for maize (Fig.) increases from a basic level at about $R^2_{01} = 0.2$ in the full-season mode to levels between 0.2 and 0.4 for the model versions in the prediction mode (1-month-advanced, 2-month-advanced). This

indicates that the late season weather variability can be neglected when estimating inter-annual yield changes for maize. For spring wheat the result is similar. For winter wheat, a similar improvement of the forecasting capacity could not be found. The forecasting capacity remained stable for the 1-month-advanced version, but decreased for the 2-month-advanced version. Thus, the late season weather variability is more relevant for the winter crop winter wheat than the two summer crops maize and spring wheat. Only the R2 filter proved effective, and within that, it was more beneficial for GADM2 than the satellite-derived yield data (Fig. 1). The effects were similar for all crops except winter wheat with a negligible effect of the R2-filter on grid cell data. In summary, filtering of basic grid-scale data seems a promising technique for improving the performance of aggregated crop yield estimates using our semi-empirical modeling approach.

References

Gornott C., Wechsung F. Statistical regression models for assessing climate impacts on crop yields: A validation study for winter wheat and silage maize in Germany // Agricultural and Forest Meteorology. 2016. № 217. pp. 89–100.

Iizumi T., Yokozawa M., Sakurai G. et al. Historical changes in global yields: major cereal and legume crops from 1982 to 2006 // Global Ecology and Biogeography. 2013. № 23. pp. 346–357.

Ruane A. C., Goldberg R., Chryssanthacopoulos J. Climate forcing datasets for agricultural modeling: Merged products for gap-filling and historical climate series estimation // Agricultural and Forest Meteorology. 2015. № 200. pp. 233–248.

Schauberger B., Gornott C., Wechsung F. Global evaluation of a semi empirical model for yield anomalies and application to within-season yield forecasting // Glob Change Biol. 2017. https://doi.org/10.1111/gcb.13738.

EVALUATION OF SITE USING LIDAR TECHNOLOGY

Csiha Imre[1], Gálya Bernadett[2], Kovács Csaba, Riczu Péter[2], Tamás János[2]

[1]*National Agricultural Research and Innovation Centre – Forest Research Institute – Experimental Stations Püspökladány;*

[2]*University of Debrecen – Institute of Water and Environmental Management*

The amount of forest biomass product is determined by the site – the soil and climate – and the choice of tree species overall effect. In the forestry practice the knowledge of the site conditions are rely on the soil profile's (usually 2-meter-deep) field and laboratory investigation. The disadvantages of decades-old method are the high costs, the relative slowness and the uncertainty of site patches segregation. Increasing of a forest stand – primarily the height growth – reflects well the site conditions. Nowadays the rapid development of remote sensing and information technology help us to do site evaluation based on development of plants and their biomass product using a faster and more cost-efficient method. The aim of our research was drawing of production site qualification map, based on LiDAR images, which made in Püspökladány Farkasziget area (the plot area is situated in Eastern Hungary, continental climate, salt-affected soils area). The LiDAR (Light Detection and Ranging) is a large vertical and horizontal resolution laser scanner, which works by remote sensing method. During the working of LiDAR system, the surface geometry surveyed in 3D by the scanner. The points of soil sampling and sample tree places were designated, using the created map from the surface model. We are looking for a closer relationship between the site and biomass growth using soil examination data and dendrochronological analyzes.

Introduction

Sustainable theory in Hungarian forestry has been established for decades. Beside wood production, forests can be used for different aims (environmental protection, food safety, soil protection, recreation, etc.) (I1). Nowadays, the role of forests is increasingly appreciated, because of the carbon emission and decreasing the negative effects of climate changing (Führer et al., 2009).

Forest biomass is defined by the effect of terroir (soil and climate conditions) and chosen wood species (Csiha et al., 2016). Recognition the terroir, field and laboratory investigations of the soil profile on 2 meters provide information in forestry practice. Disadvantages of this method, which already goes back decades, are the cost conditions, the speed of data collection and uncertainty of discrimination of terroir patches.

The growing of trees in a forest is shown terroir conditions (Illés et al., 2014). The aim of our research, to elaborate a novel, large-scale evaluation of a forest terroir and work out correlations between terroir sand tree heights.

Nowadays, application of satellite images, airborne hyperspectral and airborne LiDAR remote sensing technology have widely spread.

For several years, dendromass-based terroir evaluation and tree height determination have been carried out by field surveys in National Agricultural Research and Innovation Centre, Forest Research Institute. New methods were elaborated for scouting correlation between biomass and terroir. Hybrid poplar clones and varieties were compared in the frame of this long-term experiment; beside this, tree spacing examinations were carried out. Based on growing of tree, GIS based terroir maps were created, which were ideal for dendro-chronological experiments.

Nowadays, next to use satellite imagery the airborne hyperspectral and LiDAR (Light Detection And Ranging) remote sensing technologies are becoming more widespread use for nature, environmental, forest, agriculture protection, conservation and monitoring and it is an effective tool for monitoring tree biomass production (Curran, 1981; Kale et al., 2002). Passive (hyperspectral) and active (LiDAR) remote sensing methods can acquire information about larger areas at the Earth's surface, without being in direct physical contact with the object area (Aggarwal, 2004).

Material and Methods

The pilot area is situated on the – Experimental Stations in Püspökladány, which is the part of the National Agricultural Research and Innovation Centre, Forest Research Institute. Start of the forestation of the so-called „Farkassziget" forest complex (Fig. 1.) was dated in 1924, since different kind of salt-effected soil types are founded in the Eastern Hungary. The whole area is about 400 hectares, of which 300 ha forest and 100 ha saline-sodic grassland. The effects of soil-forming and anthropogenic factors are emphasize on the research area (Tóth et al., 1972). The deepest part of the research areas can be detected meadow soil, higher areas solonetz and saline soils are varying and the highest parts of the area are meadow-chernozem soils. The anthropogenic forest stand structure in the research area is almost similar with natural oak-ash mixed forest on the Hungarian Great Plain (Alföld).

Fig. 1. The plot area.

The pilot area was surveyed by RIEGL LMS-Q680i airborne LiDAR system in the frame of ChangeHabitats2 international project. The aim of CHANGE HABITATS 2 is the initiation of a long lasting intersectoral and international network in the field of environmental monitoring between industry and academia. Its aim is to develop operable, time and cost-effective procedures, and (software) solutions for monitoring habitats using innovative airborne data acquisition techniques. The surveyed area more than 2400 ha, which was created by 14 flight lines. The point cloud contains 700 million of 3D points, which have X, Y and Z coordinates and laser intensity values for detecting reflectance features of terrain and other objects.

The raw point cloud was processed in different software environment (GlobalMapper 17, ENVI LiDAR 5.3, Surfer13, IDRISI Taiga). The raw database was LiDAR LAS 1.4 format, which was ideal for automated separation of point cloud based on the return time of laser pulses. This kind of LiDAR LAS format can be imported into a smaller group of GIS software. After data converting, based on the

laser return, LiDAR data was separated for ground, low, middle and high vegetation. In some cases, this automates separation method was not perfect, so after filtering mixing laser points were detected. ENVI LiDAR 5.3 software was ideal for effective separation. Based on point-neighborhoods this software separates different objects. In our research, a 24 km^2 area was cropped from the whole surveyed area. In the middle of the Farkasszíget, a 407 ha coherent (ca. 70 ha) forest complex was used for the experiment. On the selected area 75 forest parcels and 2 clearings were detected. The ages of forest parcels are varied (between 39 and 81 ages), the species are pedunculate oak (*Quercusrobur*). In order to compare the forests with different age, younger stands must have been increased the age of younger trees (Gál et al. 1986). Forest parcels were cropped and exported in GlobalMapper and the data processing was carried out in ENVI LiDAR. Knowing the variety of trees and the average height of trees, exact parameters were set in ENVI LiDAR in order to separate each tree automatically. Tree heights and diameter of canopy were saved in an ASCII file. Noises (birds, other reflective parts in the atmosphere) were filtered by the software.

LiDAR data was ideal for create a high-resolution surface model. This surface model was categorized based on the elevation. Tree elevation categories were created, which have represented the growing of trees. The highest 20% was good, the lowest 20% was bad and the 60% middle part was moderate category in the investigated forest parcel.

Results and Discussion

From the LIDAR data, different profile is created about the forming forest using Fugro Viewer software environment (Fig. 2.)

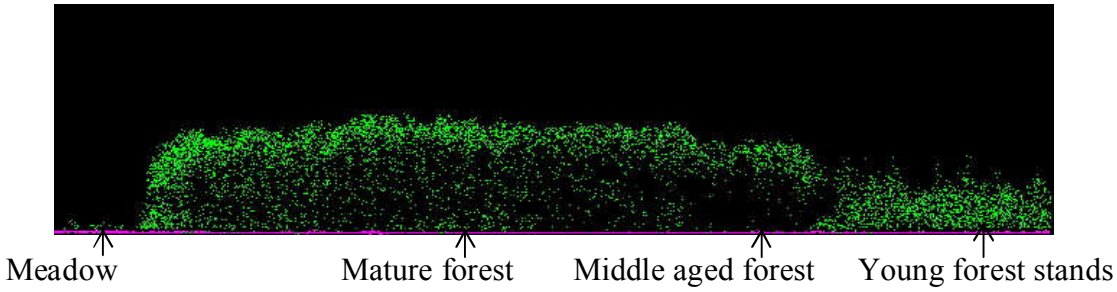


Fig. 2. Fugro Viewer, showing meadow and forest.

Height distribution graph of the forest stands with height correction is shown in the Figure 3.

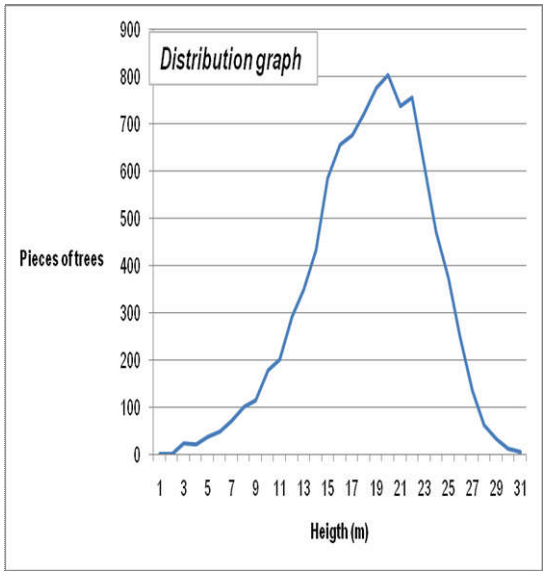


Figure 3. Diagram of tree height distribution.

As a result of the good, medium and bad distributions taking into account the minimum and maximum values the following ranges were created:

- good (upper 20%): between 27 m – 32 m;
- medium (middle 60%): between 9 m – 27 m;
- bad (lower 20%): between 3 m – 9 m.

Figure 4 shows the thematic elevation map in Surfer software.

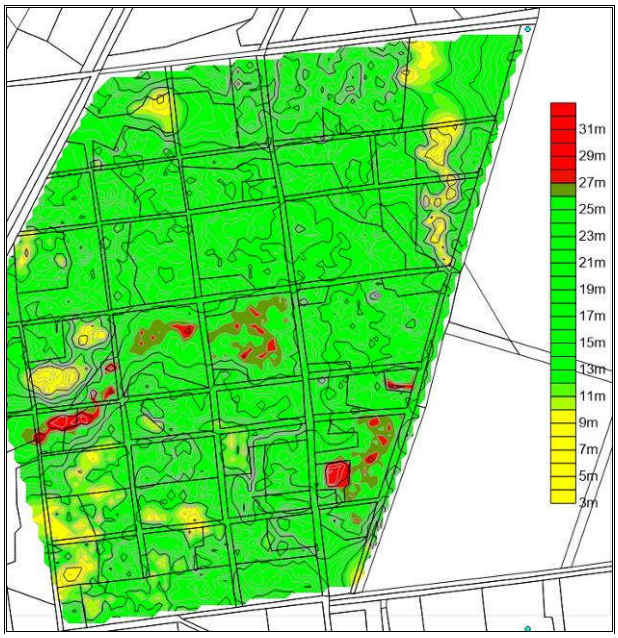


Fig. 4. Height thematic map – SURFER.

Conclusions and Suggestions

In the present study, the possibilities of forestry application of the LIDAR method were investigated, mainly the application of the site mapping. Huge data files were available that required for the processing more software and a «strong» IT background. Our research was limited to a part of Farkasszíget, because the goal was to develop the methodology. After the evaluation of the site, we would like to continue to examine this in the whole area. The mapping site map is a great help for the site explorers. The dendromass-based site map is suitable for evaluating complex properties of the site. The LIDAR database is also suitable for high resolution elevation modeling (DEM). In addition to the fact that the terrain conditions determine the development of the site conditions, using the created database can be further investigated the relationship between terrain and micro terrain and the site conditions. The LiDAR data should be appropriate for modeling the runoff conditions. Due to the location, closeness and terrain conditions, the Farkasszíget could be suitable for a habitat development and water replenishment project. By analyzing the elevation and runoff models, it is possible to determine the inlet and outlet points, the water retention locks, and possibly the amount of water and the level of flooding.

Further, using a newer LIDAR recording or recording a sample area with a Field Mapping, time observations can be made to change the forest stock's growth. LIDAR data can be used to analyze the levels in the forest through multi-level processing in the forest.

By further developing the process described in our research, it is possible to carry out the classification of the production sites in large areas. By accurately knowing the production site, it is possible to optimize the choice of tree species and the growing space, thus increasing the stock of the domestic forest estate's wood stock as well as in quantity and quantity, thus also the carbon storage capacity of the domestic forests.

Summary

The growth of trees and treestands in a given tree species is basically determined by the inevitable environment of trees, the site. The height of the trees – in addition to inherited properties – has a decisive effect on the site. These results when we know the biomass product of a tree stock, and we can more or less accurately deduce the goodness of the site. The most accurate knowledge of the site in forest management is of great importance. Based on recent research on the experimental station, it can be assumed that the height of the trees can be used to qualify the production sites. Advantage is that the height value is relatively easy to measure. However, since height depends on age, the classification of the place of production should therefore be determined taking into account the age. With the development of information technology and remote sensing, today we have opened the way for evaluation of the site based on the development of plants – biomass product. Nowadays, even in the process of methodological development, the process offers great opportunities for large scale site evaluations, Using LiDAR technology, it was possible to create a topography and surface model for large areas. By analyzing the surface model, with high resolution and coordinates, the height of the tree stock could be correctly determined. By doing so, the actual tree height gains – taking into account the age and height functions – we get the corrected elevation data required for the test. By categorizing them, it is possible to create a surface model that can be used to identify the points – in good and weak growth stocks – where future soil sampling and / or site explorations and penetrometer measurements will occur, possibly dendrochronological expanded by research. After the site and the laboratory evaluation of the soil samples, concrete relationships can be established – soil characteristics that influence the product of wood biomass, which are between the height of the site and the height of the tree.

Acknowledgments

The research was supported by EU Leonardo-AgroFE and EU FP7 Marie Curie Changehabitats 2 projects.

References

Aggarwal S. Principles of Remote Sensing / Sivakumar M. V. K., Roy P. S., Harsen K., Saha S. K. (eds.) Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology. World Meteorological Organisation. Geneva. 2004. pp. 23–38.

Bozsik É., Csiha I., Kovács Cs., Riczu P., Tamás J. LIDAR rendszer erdészeti alkalmazhatóságának vizsgálata szikes termő helyvíz forgalmának megismerésére, 4. 2015.

Csiha I., Kovács Cs., Riczu P., Tamás J. Tér informatikai módszerekre alapozott termőhely minősítés lehetőségei. 2016.

Curran P. J. Multispectral remote sensing for estimation of biomass and productivity / Smith H. (eds.) Plants and the Daylight Spectrum. New York Academic Press. 1981. pp. 65–69.

Führer E., Csiha I., Szabados I., Pödör Z., Jagodics A. Egy cseresfa állomány földfeletti és földalatti szerves-anyagának meghatározása. 2014. pp. 109–119.

Gál J. Új módszerek az erdők fatermésének meghatározás ára és előrejelzésére. Kandidátusi értekezés. 1986. pp. 79–82.

Illés G., Kollár T., Veperdi G., Führer E. A zalaifa állomány okmagassági növekedésének és fatermésének kapcsolata a termőhelyi tényezőkkel. 2014. pp. 77–89.

Kale M. P., Singh S., Roy P. S. Biomass and productivity estimation using aerospace data and Geographic Information System // Tropical Ecology. 2002. № 43 (1). pp. 123–136.

Kovács Cs. A LIDAR erdészeti alkalmazásának lehetőségei, Diplomaterv. 2017.

Patocskai Z., Bidló A., Kovács G., Heil B. Az erdészeti termőhelyi tényezők és a fatermő képesség közötti kapcsolat számszerű meghatározása. 2001. pp. 1–4.

Szeles J. A sótartalom területi modellezése Ágota-pusztán. 2015. pp. 12–14.

Tamás J. TÉRINFORMATIKA II. 2000.

Tóth B., Jassó F., Leszták J-né, Szabolcs I. Szikes ekfásítása. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1972.

VerőnéWojtaszek M. Fotointerpretáció és távérzékelés 3. 2010. pp. 15–16, 21–22.

I1: FAO ajánlások a fenntartható erdőgazdálkodás fejlesztéséhez, 2017.04.15. http://www.kormany.hu/hu/foldmuvelesugyi-miniszterium/elelmiszerlanc-felugyeletert-felelos-allamtitkarsag/hirek/fao-ajanlasok-a-fenntarthato-erdogazdalkodas-fejlesztesehez.

SPATIAL VARIABILITY AT FIELD SCALE – HOW DIFFERENT SOIL SENSING TECHNIQUES CAN IMPROVE THE RESOLUTION OF MODEL OUTPUTS

E. Wallor[1], A. Mizgirev[2], K. C. Kersebaum[1], R. Gebbers[3]

[1]*Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF),*

Institute of Landscape System Analysis, Müncheberg, Germany;

[2] *Martin-Luther-University Halle-Wittenberg,*

Department of Agricultural Business Operations, Halle (Saale), Germany;

[3] *Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy,*

Department of Engineering for Crop Production, Potsdam, Germany;

E-mail: evelyn.wallor@zalf.de

Precision farming based on soil information is restricted to the lack of rapid procedures mapping heterogeneous soil properties at field scale. In the present study, the output of different soil sensors was related to the results of conventional soil analysis at two fields. At one field, considerably varying in soil texture, sufficient regression models were derived that estimate the soil texture out of apparent electrical conductivity (EC_a) (R^2 = 0.71 to 0.87). At the second field, mapped gamma ray spectroscopy (γ) was highly correlated with texture fractions, plant available magnesium and total phosphorous. Correlation coefficients varied depending on fertilisation strategy.

Introduction

The natural and manmade in-field heterogeneity of soil properties considerably regulates the effect of soil fertility. Precision farming (fertilisation, soil tillage, irrigation) based on soil information requires detailed knowledge of the local soil inventory and deep understanding of soil processes. However, the fundamental problem of site-specific management is the lack of applicable methods for mapping soil attributes rapidly and flexibly. Soil sensing is a suitable instrument to derive the desired information. Together with the use of process-oriented models highly resolved data in the spatial and temporal dimension can be provided (e.g. yield, biomass production, nutrients balance). Thus, the connection of soil sensor systems and process-models leads to an improved understanding of the spatio-temporal processes in the plant-soil-system at field scale. To address this issue the project *I4S – Integrated System for Site-Specific Soil Fertility Management* has been launched.

Material and Methods

Study sites and sensor measurements

Within the scope of the I4S project several agricultural or rather experimental fields located across Germany were examined for the spatial variability of soil properties by sampling and analysing the soil conventionally in a regular grid adapted to the size of the specific field. Additionally, the fields were mapped by different sensor systems (e.g. γ, visNIR, EC_a, EC_r) and the relation between sensor output and adequate soil variables was proved (Figure 1 and 2). Currently, the aim is to derive soil variables that drive agro-ecosystem models and state variables to actualise the simulated states. The high spatial resolution of sensor output thereby ensures the spatial representation of e.g. nitrogen or water supply at any desired date. For details regarding the selected process-model see Kersebaum (2007). Temporary results of model outputs generated in the course of the *I4S* project are provided by Wallor *et al.* (2017).

Spatial analysis and statistics

For spatial analysis, statistical evaluation, and visualisation of the results we used the software *R* (Core Team R. 2014). For interpolation of punctual information, we applied the ordinary kriging method implemented in the *R* package *gstat* (Pebesma, 2004). Regression analysis between sensor output and observed soil properties we conducted with the packages *stats* and *MASS* (Venables and Ripley, 2002). For cross validation, the site-specific sample of soil observations was divided into testing data and validation data.

Results

The agricultural field Beckum was characterised by a high variability in soil texture reaching from loamy sand to clayey loam (Figure 1). Consequently, the range of EC_a values was wide varying between 22 ms m^{-1} and 92 ms m^{-1}. After assigning the measured EC_a values to the soil sampling points of the testing data, the subsequent regression analyses resulted in six regression models allowing for the estimation of sand and clay contents at three soil layers (Figure 2) (Wallor *et al.*, 2017). The cross validation of the regression models conducted with the restrained validation data verified the quality of the applied models (Table 1).

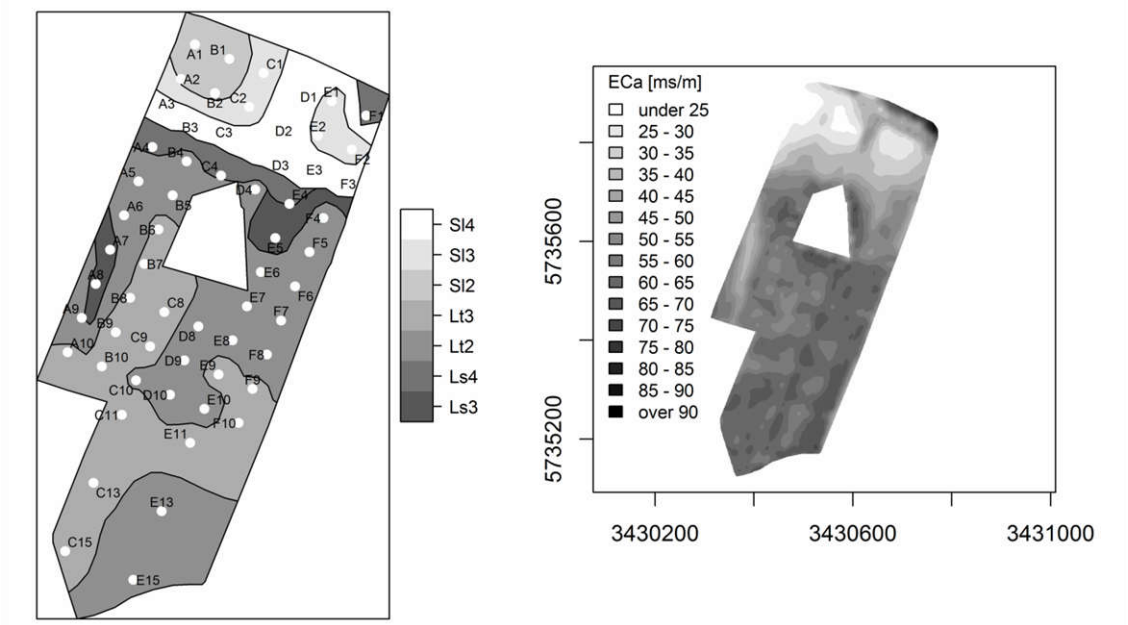


Fig. 1. The agricultural field Beckum (20 ha) located in North Rhine-Westphalia including soil sampling points and texture classes according to the German Soil Taxonomy (2005) (left) and the interpolated pattern of EC_a mapping (right).

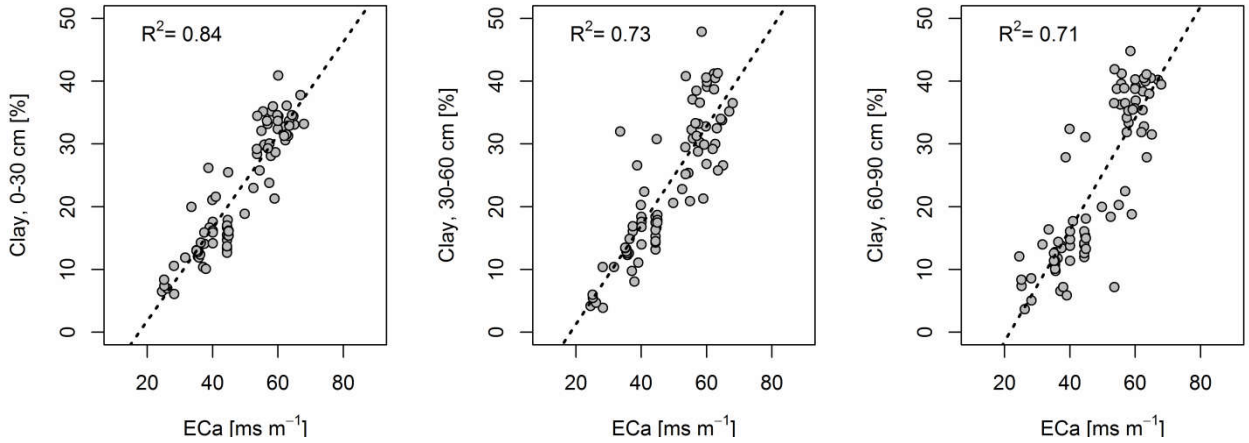


Fig. 2. Results of the linear regression models to derive the clay content of three different soil layers by using the EC_a mapping at the Beckum field.

Table 1. **Cross validation results of the regression models estimating the clay content at different soil layers from the EC_a mapping at the Beckum field; testing and validation data n = 40, respectively; mae = mean absolute error, rmse = root mean square error, me = mean difference, rbias = relative bias**

Texture	Depth [cm]	mae	rmse	me	rbias
Clay	0–30	2.877	3.783	0.346	1.40
Clay	30–60	4.136	5.529	–0.359	–1.40
Clay	60–90	4.953	6.251	0.250	1.00

At the experimental field Goerzig different fertilisation strategies and their impact on the soil nutrient status were tested (Figure 3). Although, soil texture varied less compared to the site Beckum, results of the γ mapping were highly correlated to the silt and sand contents observed in the topsoil (Table 2).

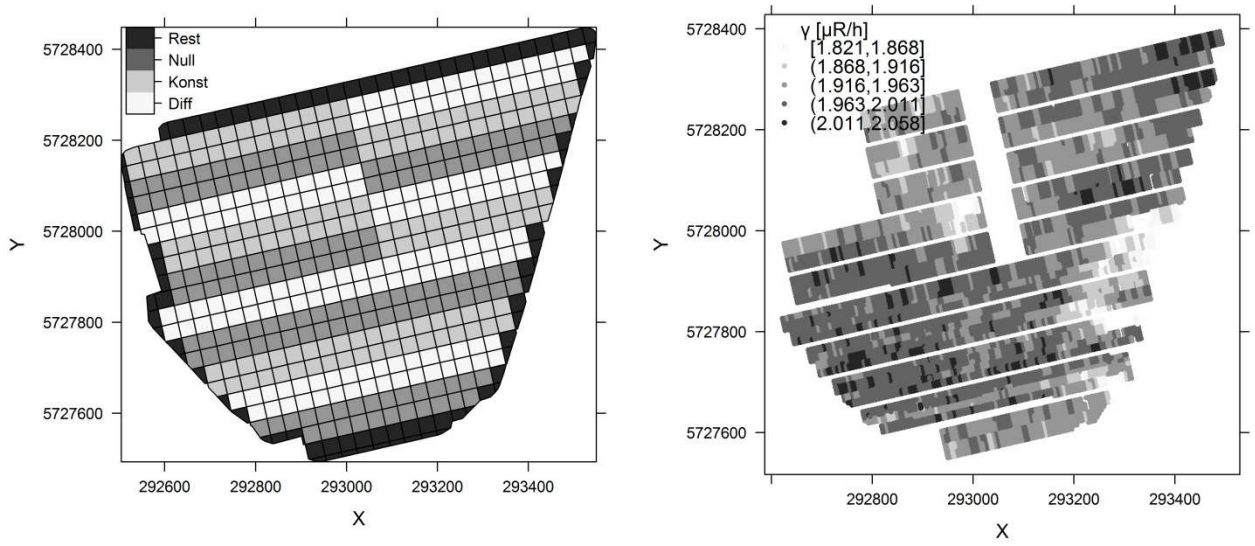


Fig. 3. The experimental field Goerzig (65 ha) located in Saxony-Anhalt showing variations of fertiliser application (left, Null = zero fertilisation, Konst = constant fertilisation, Diff = differentiated fertilisation according to the calculated annual demand) and the spatial pattern of γ mapping (right).

Considering the nutrient status best correlations were achieved between γ total counts, total phosphorous and plant available magnesium. The nutrient-related correlations varied considerably according to the fertilisation strategy practised separately on the field. When zero fertiliser was applied the correlation, coefficients were lowest.

Table 2. **Correlation coefficients (R^2) of selected soil variables and assigned total counts of the γ mapping at the Goerzig field sorted by fertilisation strategy**

Fertilisation/ Soil variable	P_{total}	pH	C_{org}	K_{DL}	Mg_{DL}	Clay	Sand	Silt
Diff	–0.337	–0.296	0.020	–0.111	0.421	0.284	–0.524	0.525
Konst	–0.384	–0.176	0.268	0.078	0.529	0.343	–0.581	0.567
Null	0.120	0.086	0.018	0.152	-0.076	0.165	–0.505	0.493

Discussion and Conclusions

In part, the presented results are preliminary. But we can conclude that variations in the soil nutrient status or rather in soil texture can be detected by the investigated soil sensors. It has to be examined to which extent these results are transferable to other field conditions and how agro-ecosystem modelling can benefit from these findings.

Acknowledgements

The authors thank the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for funding the I4S project.

References

Boden A. G. Bodenkundliche Kartieranleitung. German Soil Mapping Guide. Hannover. 2005.

Core Team R. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Austria, Vienna. 2014. URL http://www.R-project.org/.

Kersebaum K.C. Modelling nitrogen dynamics in soil–crop systems with HERMES // Nutrient Cycling in Agroecosystems. 2007. № 77 (1). pp. 39–52.

Pebesma E. J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package // Computers & Geosciences. 2004. № 30. pp. 683–691.

Wallor E., Kersebaum K. C., Lorenz K., Gebbers R. Connecting crop models with highly resolved sensor observations to improve site-specific fertilisation. Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA), 8:2. 2017. pp. 689–693.

Venables W.N., Ripley B.D. Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition Springer. New York, USA. 2002.

IT SOLUTIONS FOR MULTIPLE MODEL USE IN ACADEMIC AND PRACTICAL TOOLS FOR AGRICULTURE

Michael Berg-Mohnicke, Wilfried Mirschel

Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF),

E-mail: michael.berg@zalf.de, wmirschel@zalf.de, www.zalf.de

In the agricultural field, many kinds of models are used and we're striving to assemble them into ever more complex systems like Decision Support Systems; trying to assess climate change adaptation strategies or the impacts of land use change. While in the past these systems had to usually be built in a monolithic manner, the connected world of today enables us to rethink this approach. Following, we'll show how complex systems can be made more flexible by integrating models via message passing interfaces. Furthermore, building systems out of network connected and communicating models canimprove scientific cooperation between institutions and work-groups.

Introduction

In today's scientific landscape, but as well in practical agriculture, we're using all kinds of models to get information which would be otherwise hard to attain. Furthermore, we're striving to assemble them into ever more complex systems such as Decision Support Systems to understand and assess problems like climate change adaptation or the impacts of land use changes. An apparent problem which quickly arises is that our models have been, are being and most probably will be built using every kind of technology in existence. While it is possible to build larger systems out of homogeneous components in single programming languages using single programming frameworks at a given time, it is highly unlikely that these systems will survive a period of more than 5 or 10 years without major adaptations and still work as flawlessly as at their inception. Additionally, every system built and designed at a certain point in time will be constrained by the technologies and knowledge available at that time. Which means that even a perfectly designed system back then may be inappropriately designed now. So, the challenge is to find ways to build larger systems in a way that all kinds of models can be integrated and still be flexible enough to meet new needs and different kinds of technologies in the time ahead.

As example for the remainder of this paper should serve the LandCaRe-DSS (Wenkel et al., 2013) decision support system and the MONICA (Nendel et al., 2011) model.

The LandCaRe-DSS and the MONICA model, then and now

The LandCaRe-DSS was designed around 2007/2008 and has been built in the programming language C++ using the QT framework (QT, 2017). The LandCaRe

2020 (LandCaRe, 2017) project allowed to rewrite or adapt all models included into the DSS into C++. Some flexibility was gained by the then current QT framework version 4.4, which sported a 2D scene graph based framework for creating user interfaces (UI) which even allowed embedding traditional UI components. Additionally, QT 4.4 allowed the transparent inclusion of web content into the general UI, which together with the aforementioned possibilities allowed to create a flexible, direct GIS like user interface. Furthermore, the LandCaRe-DSS was designed from the ground up to utilize all available processors on the machine it is running on.

The MONICA model is a dynamic, process-based simulation model which describes transport and bio-chemical turn-over of carbon, nitrogen and water in agro-ecosystems. On daily time steps the most important processes in soil and plant are modelled mechanistically. It was created together with the LandCaRe-DSS and is one of the models available in the system. Currently MONICA is mainly used to run from small scale single plot studies up to large scale regional simulations, where millions of runs are needed.

Since 2007/2008 the computing landscape has changed quite a bit, the web has become more prevalent, cloud services are widespread, meaning on demand computing resources from dozens to thousands of computing nodes are in fact easily available, and even the Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF) has cluster computers which just recently (2016) have been upgraded to offer now 512 processing cores in total. The demand for computing resources is steadily increasing as the expectations rise of what a scientific study is supposed to accomplish or how big regions may get for models to operate on.

Traditionally applications for high performance computing are heavily customized to the infrastructure they run on. There are all kinds of frameworks, languages and methodologies to effectively and efficiently use all the resources offered (see for instance Hadoop Map Reduce (Hadoop, 2017), Apache Spark (Spark, 2017) or MPI (MPI, 2017) implementations). Nevertheless, it also should be possible to use today's available resources in generalized applications (e.g. the LandCaRe-DSS) or daily scientific use cases (e.g. scripted running of models on large datasets). One commonality in many high-performance systems today is that some kind of message passing infrastructure is being used. The shift in methodology is from being focused on control flow (how and when to do things) to data flow. Data flow means that we concentrate on the data travelling through a system and its transformation on

the way. An advantage of focusing on the data is that suddenly a system may fall apart into possibly concurrently working parts. Each of these parts may be running concurrently, either within a single machine or distributed to multiple machines. The remainder of the paper will showcase some simple examples and the benefits of the ZeroMQ (ZeroMQ, 2017) message passing library to the LandCaRe-DSS and the use of the MONICA model for cluster computing at the ZALF.

Messaging infrastructures and ZeroMQ

To implement dataflow between components of a system it is very helpful to use already existing libraries or even infrastructures. In general, a transport for the messages is needed and on top of that some form of protocol which defines the message format and the transfer rules. For our purposes, we chose the ZeroMQ library which offers a messaging solution which is available for many programming languages (C/C++, JAVA, Python, …), computer systems (Linux/Unix, Windows, Mac) and transports (inter-process, TCP, …), widely used and OPEN SOURCE.

With ZeroMQ the user chooses between a range of available messaging patterns. For the purpose of this paper only the request/response and the pipeline pattern are relevant. ZeroMQ provides the user with a simple way of getting to the core of messaging, sending messages and receiving them. Connecting components on a chosen transport and all the peculiarities around that is taken care of by the library.

Loose coupling of the models WEB-BEREST and MONICA within the LandCaRe-DSS

Some years ago, the need arose to couple the MONICA model to the core of the WEB-BEREST (Mirschel et al., 2014) system within the LandCaRe-DSS to try to more accurately estimate the irrigation water demand for crop rotations under climate change conditions. WEB-BEREST is a technologically updated and improved version of the irrigation management and advisory system BEREST90 (Wenkel and Mirschel, 1991). It consists of a separate web-based user interface part which communicates with a server component that is running the actual calculations. The server component is implemented in the programming language Clojure and runs on the JAVA virtual machine. MONICA and the LandCaRe-DSS on the other side are implemented in C++. An uncomplicated direct coupling of WEB-BEREST with MONICA in the LandCaRe-DSS wasn't desirable. To keep the clean separation

between the two models the ZeroMQ library's request/response pattern has been employed.

To fulfil its task MONICA is playing the role of the master process, steering WEB-BEREST. The coupling happened on the daily step basis, so after sowing of an irrigated plant, MONICA uses WEB-BEREST to decide if under current weather/plant/soil conditions irrigation is necessary. Therefore, MONICA must transfer the current soil-moisture and plant phenology state to WEB-BEREST. If irrigation is indeed necessary, WEB-BEREST will return the amount of irrigation water needed, MONICA will apply it and check back with WEB-BEREST a defined number of cycle days later.

In this case a simple request/response (client/server) pattern has been used, which also corresponds to classical remote procedure calls. Before MONICA can continue, it must wait for WEB-BEREST to finish. The MONICA model stayed integrated as before in the LandCaRe-DSS, but the implementation got extended to issue requests to WEB-BEREST via ZeroMQ's TCP transport. The server component of WEB-BEREST on the other side implemented the response part of the pattern. Because the LandCaRe-DSS used multiple MONICA threads a ZeroMQ proxy process has been used which distributes work among the connected WEB-BEREST worker processes. The setup can be seen in figure 1.

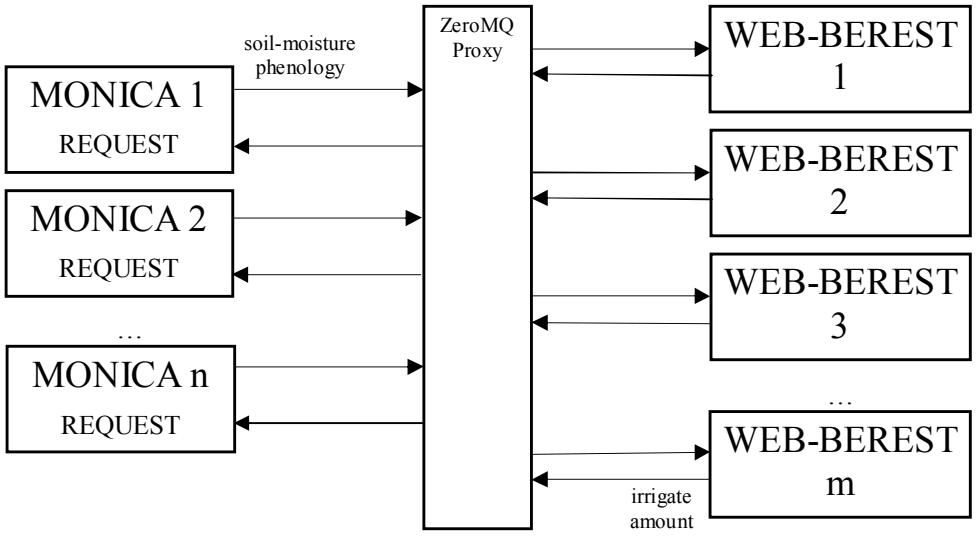


Fig. 1. ZeroMQ request/response pattern as used to couple n MONICAs to m WEB-BERESTs; a request blocks a MONICA thread until it receives a response from a WEB-BEREST thread (via work distributing proxy process).

Connecting Python scripts to MONICA workers on the ZALF cluster

One part of a modelers daily life consists of running models to conduct studies. In the recent years (e.g. model comparison) studies got increasingly more complex

and computationally intensive, so that every modeler must apply parallelization techniques to manage the demands in time. Our current approach regarding MONICA is to have a possibly large fleet of MONICA worker processes started and idling on the ZALFs cluster computers. We incorporate the ZeroMQ pipeline pattern, which means MONICA receives all data it needs for a single run via a message on an input channel, runs and outputs the run's results on a distinct output channel. We employ one ZeroMQ proxy process which distributes work amongst the connected MONICA worker processes and one to collect all the results and forward it for further processing. To the outside world it seems as if one very powerful MONICA exists which can execute jobs very fast.

Because scientific studies like model inter-comparisons need quite some flexibility in creating the input data for a model run and then even more flexibility in aggregating model results, we use Python scripts to do the job. For simplicity reasons, we use one script, we call the producer, to create the complete set of inputs MONICA needs for a single run and optimize that to be able to produce and send job messages as quickly as possible. A second script, the consumer, receives the results from the MONICA workers and implements the rules requested by the study design. Using Python scripts as producer/consumer the bottleneck is usually the Python (consumer) side so we currently only need to use about 70 MONICA worker processes for our projects with up to a few million runs to finish in 10-20 hours. In figure 2 our setup for cluster runs can be seen.

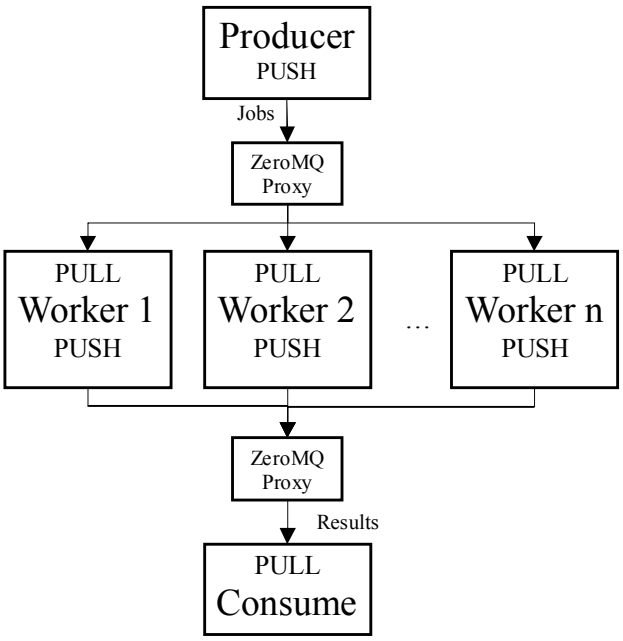


Fig. 2. ZeroMQ pipeline pattern used to send work from work producing Python script to n MONICA workers which send their result to Python consumer script (always via work distributing proxy processes).

Outlook and possible future developments

The previous sections tried to explain the motivation for using message passing infrastructures (like the ZeroMQ library). Message passing seems to be a good fit for todays distributed world and it seems unlikely that this will change in the future. Connecting systems using message passing creates a loose coupling between parts of a system and focusing on the flow of data especially makes it obvious where parallelism potential is within an application.

An often-used picture for data flow systems is that of a factory, where conveyor belts connect machines. Our models in a larger system, like a decision support system, might be these machines, the conveyor belts are the messaging channels used. No machine/model needs to care about anything besides its input (belt) and the output (belt). At times of single processor/single threaded programs one could argue that the performance tradeoffs were simply too large, even though there are arguments against this view. But in 2017 and beyond it seems highly unlikely that synchronized single threaded thinking will have a future. Our systems get ever more distributed and diverse, so is our software. We need to connect all these pieces together in a flexible but coherent way. Using just a simple library like ZeroMQ shows what can be gained by switching the view from control flow oriented thinking towards thinking about the data flowing through a system.

This is just the start, given the type of our work, a serious look at systems taking data flow seriously might be in order. Some experiments are underway to apply flow based programming (FBP, 2017) to our work on running MONICA on the ZALF cluster. Further benefits could be to make it easier for scientists or PhD students to process large amounts of data without having to dive deep into programming/scripting, but still yielding high performance and possibly easily maintainable programs.

One final aspect not yet mentioned is that in our connected world this approach to model coupling allows models to run basically everywhere. Thus, an institution which would like to foster the adoption of its models might simply make a bunch of them outside available as a service to be used by others. That way and if Open Source is being adopted as the default mechanism to share models (and their code) can lead to improved natural cooperation between institutions, the formation of communities and last but not least innovation in the field as it might offer new possibilities for

automated use of the models in complex systems and applications of a model the authors haven't even thought about.

References

Wenkel K. O., Mirschel W. BERSIM und BEREST 90 - Modelle zur Simulation der Bodenfeuchte und Evapotranspiration sowie zur operativen Beregnungseinsatzsteuerung im integrierten Landbau. In: Agrarinformatik (Informationsverarbeitung Agrarwissenschaft), Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 1991. Bd. 21: 349-360.

FBP (2017): http://www.jpaulmorrison.com/fbp/ (Retrieved 2017-06-13).

Hadoop (2017): http://hadoop.apache.org (Retrieved 2017-06-13).

Wenkel K.O., Berg M., Mirschel W., Wieland R., Nendel C., Köstner B. LandCaRe DSS – An interactive decision support system for climate change impact assessment and the analysis of potential agricultural land use adaptation strategies // Journal of Environmental Management. 2013. № 127. pp. 168–183.

LandCaRe. 2017. http://www.landcare2020.de (Retrieved 2017-06-13).

Nendel C., Berg M., Kersebaum K. C., Mirschel W., Specka X., Wegehenkel M. et al. The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics // Ecological Modelling. 2011. № 222. pp. 1614–1625.

MPI (2017): https://en.wikipedia.org/wiki/Message_Passing_Interface (Retrieved 2017-06-13).

QT (2017): https://www.qt.io (Retrieved 2017-06-13).

Spark (2017): http://spark.apache.org (Retrieved 2017-06-13).

Mirschel W., Klauss H., Berg M., Eisenhut K. U., Ißbrücker G., Prochnow A. et al. Innovative Technologien für eine effiziente Bewässerung im Pflanzenbau / Bloch R.; Bachinger J.; Fohrmann R.; Pfriem R. (Hrsg.) Land- und Ernährungswirtschaft im Klimawandel – Auswirkungen, Anpassungsstrategien und Entscheidungshilfen. oekomverlag, München. 2014. pp. 261-277.

ZeroMQ (2017): http://zeromq.org (Retrieved 2017-06-13).

МАССОВЫЕ РАСЧЕТЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АГРОЭКОСИСТЕМЫ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАЗЛИЧНОГО ВРЕМЕННОГО И ПРОСТРАНСТВЕННОГО МАСШТАБА

В. Л. Баденко, А. Г. Топаж, Е. Т. Захарова, С. А. Медведев

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

В работе описан метод оперативного сопровождения производственных посевов с использованием системы поливариантного расчёта динамических моделей продукционного процесса сельскохозяйственных культур – APEX. В докладе представлены результаты массовых расчетов урожайности яровой пшеницы для всех регионов России. Сведения о почвенных характеристиках, необходимых для модельных расчётов, были взяты из Единого государственного реестра почвенных ресурсов России. Оперативные суточные погодные метеоданные автоматически загружаются в систему APEX со специального Интернет-сервиса. Вся информация о погоде и почвенных характеристиках имеет географическую привязку, что позволяет осуществлять анализ результатов прогнозирования в виде тематических карт, которые также строятся внутри системы APEX за счет имеющихся в ее составе функций интеграции с ГИС-системами. В докладе также представлены технические подробности реализации описанных функций, включая обеспечение моделирования продукционного процесса с использованием погодных данных, которые формируются на основе нескольких альтернативных источников информации.

The article presents the method of operative tracking of crops using the system of polyvariant calculation of dynamic crop models APEX. The results of massive calculations of the spring wheat productivity for all regions of Russia are also presented. Information on the soil characteristics required for crop model calculations was taken from a Russian Soil Register. Operative daily weather data are automatically downloaded to the APEX system from a special Internet service. All information about weather and soil characteristics is geo-referenced, which make it possible to analyze the results of forecasting in the form of thematic maps in the APEX system using the functions of integration with GIS-systems included in the APEX. Weather data are formed on the basis of several alternative sources of information. Some technical details of the implementation of the described functions are also described in the article.

Адекватное обоснование новых адаптивно-ландшафтных и ресурсосберегающих агротехнологий и экологически устойчивых систем земледелия требует перехода от широко используемых регрессионных (статистически обоснованных) моделей к более точным и адекватным (физически обоснованным) имитационным моделям агроэкосистем (Топаж, 2016). Именно комплексная динамическая модель продукционного процесса должна стать интеллектуальным ядром нового поколения информационно-аналитических систем поддержки решений в земледелии (Топаж, 2014).

Широкому внедрению таких моделей препятствует отсутствие научно-обоснованных методов применения точечных имитационных моделей агроэкосистем для больших территорий (вплоть до уровня субъектов Российской Федерации и страны в целом) (Баденко и др., 2015). Разработка методов и универсальных технических решений для оперативного и долгосрочного прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных растений по территориям различного пространственного охвата (от отдельно взятого поля до целой страны) на базе массовых расчетов имитационной модели агроэкосистем в геоинформационной среде позволяет сформировать единый подход к информационно-аналитическому обеспечению задач поддержки решений, мониторинга агроландшафтов и производства сельскохозяйственной продукции на территории России (Баденко и др., 2014).

В работе представлены результаты усилий авторского коллектива по созданию универсальной масштабируемой информационно-аналитической системы динамического мониторинга и прогнозирования характеристик состояния сельскохозяйственной территории с последующим использованием ее для проведения серии компьютерных экспериментов с целью решения задач различного уровня управления в адаптивно-ландшафтном земледелии:

• макромасштабные расчеты: оценка потенциальной и мониторинг достижимой продуктивности основных сельскохозяйственных культур в масштабе страны для текущих условий и с учетом возможных климатических изменений;

• мезомасштабные расчеты: мониторинг продуктивности и экологической устойчивости агроландшафтов, а также модельный анализ и оптимизация агротехнологий в масштабе региона;

• микромасштабные расчеты: анализ эффективности технологий точного (координатного) земледелия в масштабе растениеводческого хозяйства или конкретного сельскохозяйственного поля.

Принципиальной особенностью предлагаемого подхода является то, что, несмотря на разный уровень управления и пространственной детализации, все перечисленные задачи решаются в единой методологии и подчиняются единым принципам, основанным на предлагаемой универсальной логике планирования,

проведения и анализа результатов многофакторного компьютерного эксперимента с динамическими моделями агроэкосистем (Казанцев, Медведев, 2015). В настоящее время приложение таких моделей к массовым пространственным расчетам для географически распределенных территорий зачастую ограничено доступностью данных, а также недостаточной мощностью используемых вычислительных средств. Предлагаемые методы интеграции динамических моделей агроэкосистем с географическими информационными системами (ГИС) направлены на устранение указанных ограничений (Медведев, Захарова, 2014). Более того, подобное объединение информационных систем и технологий разной функциональной направленности в перспективе предоставит уникальную возможность для изучения рассматриваемого явления (продукционного процесса сельскохозяйственного посева) одновременно во временной и пространственной развертке (Medvedev et al., 2015).

Вычислительная платформа и программная архитектура создаваемой информационно-аналитической системы мониторинга продуктивности сельскохозяйственных территорий должны позволить проводить макро-, мезо- и микромасштабные расчеты (то есть расчеты на уровне страны, региона, хозяйства или поля) с помощью выбранной модели в единой геоинформационной среде. При этом для всех уровней пространственного охвата используется одна и та же динамическая имитационная модель. Это является основным отличием предлагаемого подхода от аналогичных масштабируемых решений в области имитационного моделирования агроэкосистем, например от проекта LandCare-DSS (Wenkel et al., 2013). Для обеспечения модели входными данными с необходимым уровнем временной и пространственной детализации предлагается использование альтернативных источников и информационных сервисов в зависимости от текущего уровня управления (метеорологические порталы, электронные карты, автоматическая метеостанция, данные оперативного обследования и дистанционного зондирования посевов и т. п.). Дополнительным преимуществом развиваемого подхода, подразумевающего постоянное обновление доступной информации,

является возможность применения модели не только для расчетов за прошедшие периоды времени, но и для оперативного прогнозирования и модельного мониторинга состояния изучаемого объекта (сельскохозяйственного посева) непосредственно в ходе текущего вегетационного сезона. Для расчетов с долгосрочным горизонтом планирования в рамках данной методологии появляется возможность учесть изменения климата (Полуэктов и др., 2012).

С целью апробации разрабатываемых методов и технических решений в настоящее время проводится ряд вычислительных многофакторных экспериментов в среде «APEX-AGROTOOL» (Топаж и др., 2015). Они послужат для обоснования адаптивно-ландшафтных агротехнологий различного уровня пространственной детализации. На рисцнке представлены результаты оперативно-уточняющегося прогнозирования урожайности яровой пшеницы по регионам России. На тематической карте зелеными треугольниками отмечены точки, для условий которых проводились расчеты (всего 151 точка).

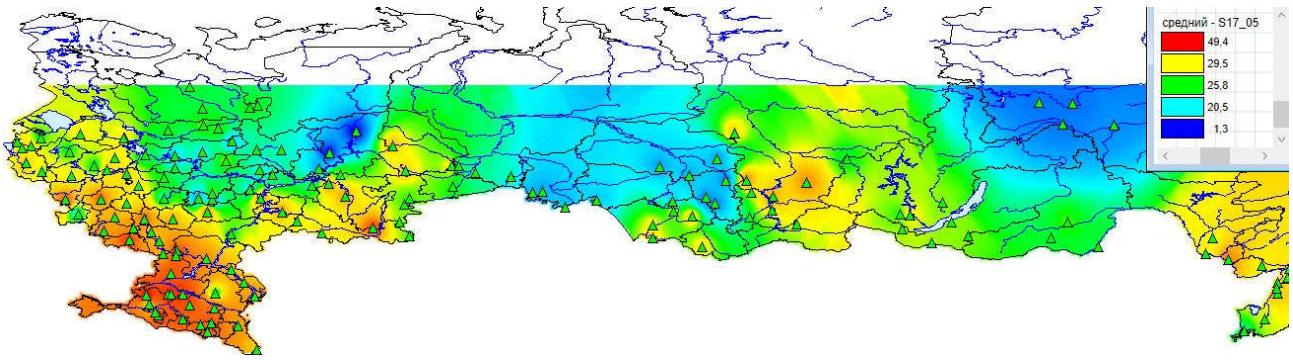


Рис. Результаты оперативного прогноза урожайности яровой пшеницы по регионам России (ц/га). Дата прогноза – 17 мая 2017 г.

Сведения о почвенных характеристиках, необходимые для модельных расчётов, были взяты из Единого государственного реестра почвенных ресурсов России. Оперативные суточные метеоданные в рамках расчетов по описываемой методологии автоматически загружаются в систему APEX с выделенного Интернет-сервиса, что дает возможность использовать посуточные метеоданные на заданное количество дней за прошедший период и прогноз погоды на ближайшие две недели. Вся информация о погоде и

почвенных характеристиках имеет географическую привязку, что позволяет представить результаты прогнозирования в виде тематических карт, которые также строятся внутри системы APEX за счет имеющихся в ее составе функций интеграции с ГИС-системами.

Список литературы

1. Топаж А. Г. От третьего к четвертому поколению математических моделей агроэкосистем // Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления. Материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием). СПб., 2016. С. 45–53.

2. Топаж А. Г. Динамические модели продуктивности: тупик или распутье? // Математические модели природных и антропогенных экосистем – сборник статей, посвященный памяти Ратмира Александровича Полуэктова. СПб., 2014. С. 48–69.

3. Баденко В. Л., Гарманов В. В., Иванов Д. А., Савченко А. Н., Топаж А. Г. Перспективы использования динамических моделей агроэкосистем в задачах средне- и долгосрочного планирования сельскохозяйственного производства и землеустройства // Российская сельскохозяйственная наука. 2015. № 1–2. С. 72–76.

4. Баденко В. Л., Иванов Д. А., Топаж А. Г. Информационное обеспечение агроландшафтных исследований // Информация и космос. 2014. № 4. С. 52–54.

5. Казанцев В. О., Медведев С. А. Разработка программного адаптера для системы поливариантного анализа динамических моделей продукционного процесса культурных растений // Прикладная математика и фундаментальная информатика. 2015. № 2. С. 131–134.

6. Медведев С. А., Захарова Е. Т. Перспективы использования имитационного комплекса «APEX-AGROTOOL» в задачах среднесрочного планирования сельскохозяйственного производства // Математические модели в теоретической экологии и земледелии. Материалы Международного семинара, посвященного памяти профессора Ратмира Александровича Полуэктова (Полуэктовские чтения). СПб., 2014. С. 104–107.

7. Medvedev S., Topaj A., Badenko V., Terleev V. Medium-term analysis of agroecosystem sustainability under different land use practices by means of dynamic crop simulation // IFIP Advances in Information and Communication Technology. 2015. V. 448. pp. 252–261.

8. Wenkel K. O., Berg M., Mirschel W., Wieland R., Nendel C., Kostner B. LandCaRe DSS – An interactive decision support system for climate change impact assessment and the analysis of potential agricultural land use adaptation strategies // Journal of Environmental Management. 2013. V. 127. pp. 168–183.

9. Полуэктов Р. А., Топаж А. Г., Якушев В. П., Медведев С. А. Использование динамической модели агроэкосистемы для оценки влияния климатических изменений на продуктивность посевов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2012. № 2. С. 7–11.

10. Топаж А. Г., Медведев С. А., Захарова Е. Т., Хлавинка П. Использование среды поливариантного анализа динамических моделей агроэкосистемы «APEX» для среднесрочного планирования в агроэкологии // ЭКОЛОГИЯ, ЭКОНОМИКА, ИНФОРМАТИКА. Сборник статей. В 3-х томах. Российский фонд фундаментальных исследований; Южный федеральный университет, Институт математики, механики и компьютерных наук им. И. И. Воровича; Институт аридных зон; Южный российский центр РАН. Ростов-на-Дону, 2015. С. 642–655.

ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

И. М. Михайленко, В. Н. Тимошин

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

Предложен подход к принятию агрономической службой управленческих решений по срокам весеннего сева и заготовки кормов из многолетних трав. Он базируется на методике оптимального оценивания параметров состояния посевов и почвенной среды по данным дистанционного зондирования Земли. На основе полученных оценок определяются критерии, позволяющие установить решающие правила. Предлагаемый подход имеет общеметодическое значение и может быть применен к другим подобным задачам.

The approach to acceptance of administrative decisions by agronomical service on terms of spring sowing and preparation of forages from perennial grasses is offered. It is based on the method of optimal estimation of the parameters of the crop state and soil environment according to the data of remote sensing of the Earth. On the basis of this estimates, criteria allowing to construct decision rules are determined. The proposed approach is of general significance and can be applied to other similar problems.

Введение

В современных системах оперативного мониторинга состояния сельскохозяйственных посевов широко используются данные дистанционного зондирования, получаемые при помощи космических и авиационных средств базирования мультиспектрального оборудования. В связи с этим большинство исследователей, специализирующихся на разработках систем мониторинга для сельского хозяйства, уделяет основное внимание методам оценивания продуктивного и фитосанитарного состояния посевов. Здесь широко используются различные индексы состояния, среди которых наибольшее распространение получил NDVI (Барталев и др., 2006; Лупян и др., 2009; Adams et al., 1999; Becker, 1987; Cho, 2006; Maselli et al., 2009). Однако при помощи указанных индексов можно получить только приблизительные экспертные оценки развития посевов, поэтому для принятия управленческих решений агрономической службой хозяйств они практически неприменимы. Здесь необходимы системы, с помощью которых можно получить физические оценки состояния посевов и почвенной среды, такие как общая величина биомассы на единицу площади и ее влажность, урожайность культур и физические

параметры почвы. Методика построения таких оценок представлена в работах (Михайленко и др., 2004; Михайленко, 2011; 2013). В то же время даже наличие таких оценок оставляет открытым вопрос о том, каким образом агрономическая служба будет принимать управленческие решения на их основе. Наиболее важными из них являются решения о сроках проведения весеннего сева и уборки урожая сельскохозяйственных культур.

Решения о сроках проведения весеннего сева

Решение о сроках проведения весеннего сева культур всегда принимается на основе информации о параметрах состояния почвы, среди которых наиболее важными являются ее температура и влажность, или влагозапас почвы в корнеобитаемом слое. В указанное время года поверхность почвенного покрова отрыта, и для оценивания температуры и влажности могут использоваться данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), получаемые с космических летательных аппаратов (Кондратьев, Тимофеев, 1978; Музылев и др., 2005; Соловьев и др., 2009; Barton, 1995; Becker, 1987, 1990). Методам дистанционного определения температуры поверхности почвы по данным измерений многоканальных радиометров AVHRR (спутники серий NOAA, MetOp и MODIS, спутники EOS-Aqua, Terra) посвящено достаточно большое количество исследований (Быховец и др., 2007; Соловьев и др., 2009; Тимофеев, Мартынов, 1996). При этом одними из основных инструментов для расчета вертикальных потоков влаги и тепла с покрытых растительностью участков поверхности являются разработанные с разной степенью детальности модели вертикального тепло- и влагопереноса в системе «почва – растительность – атмосфера» (SVAT) (Chevallier et al., 2000). При помощи программ, разработанных на основе указанных моделей, осуществляется тематическая обработка данных радиометров AVHRR/NOAA и MODIS/Terra, и пользователь имеет возможность получить оценки температуры поверхности почвы, не прибегая к самостоятельной обработке спектральной информации. При этом относительная СКО такой оценки находится в пределах 10–25% (Соловьев, Успенский, 2009; Zlinszky et al., 2015).

Определение влажности почвы, или ее влагозапаса, также является одной из возможностей, представляемых спутниковыми мониторинговыми системами. Наибольший интерес представляет система метеонаблюдений США с использованием спутника MetOp, дополняемая наземной наблюдательной сетью AmeriFlux. В ней реализуются синхронные спутниковые и наземные измерения влажности почвы. Измерение влажности осуществляется как в относительных (%), так и в объемных ($м^3/м^3$) единицах. В зависимости от вида и степени сухости местности относительная СКО оценки влажности находится в пределах 10–50% (Chevallier et al., 2000; Zlinszky et al., 2015).

Вполне очевидно, что при таком уровне ошибок прямое использование спутниковых оценок температуры и влажности почвы при принятии решений о сроках сева может привести к большим рискам потерь урожая. Поэтому актуально более точное оценивание указанных параметров с использованием данных измерений наземных метеостанций.

Для уменьшения ошибок, т. е. получения оптимальных оценок с учетом наземных измерений, потребуется динамическая модель для указанных параметров состояния почвы:

$$\begin{bmatrix} \dot{\vartheta} \\ \dot{w} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{22} \\ a_{21} & a_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vartheta(t) \\ w(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1(t) \\ f_2(t) \\ f_3(t) \\ f_4(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \xi_1(t) \\ \xi_2(t) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$t \in (0, T),\ \vartheta(0) = \vartheta_0, w(0) = w_0;$$

где ϑ – средняя температура поверхности почвы, °С; w – средняя влажность верхнего слоя почвы, %; f_1 – температура приземного слоя воздуха, °С; f_2 – уровень радиации окружающей среды, $Вт/м^2$; f_3 – интенсивность выпадающих осадков, мм; f_4 - скорость ветра в приземном слое воздуха, м/сек; ξ_1, ξ_2 – случайные ошибки моделирования, имеющие нулевые средние значения и ковариации d_1, d_2, $d_1 d_2$; a_{11}–a_{22}, c_{11}–c_{23} – параметры модели, оцениваемые по экспериментальным данным, $сут.^{-1}$.

Модель (1) дополняем спутниковой информацией ДЗЗ или данными косвенных оптических измерений состояния почвы, которые представим в следующем виде:

$$\begin{aligned} y_1(t) &= \vartheta(t) + e_1(t), \\ y_2(t) &= w(t) + e_2(t), \end{aligned} \tag{2}$$

где y_1, y_2 – спутниковые данные ДЗЗ по температуре и влажности почвы; e_1, e_2 – случайные ошибки спутниковых оценок, имеющие нулевые средние и ковариации σ_1, $\sigma_1\sigma_2$, σ_{22}.

Для построения алгоритма оптимального оценивания и прогнозирования температурно-влажностного состояния почвы модели (1) и (2) представим в канонической векторно-матричной форме:

$$\begin{aligned} \dot{\mathrm{Z}} &= \mathrm{A}\,\mathrm{Z}(t) + \mathrm{CF}(t) + \Xi(t), \\ \mathrm{Y}(t) &= \mathrm{Z}(t) + \mathrm{E}(t), \end{aligned} \tag{3}$$

где $\mathrm{Z}^{\mathrm{T}} = [z_1 \quad z_2], z_1 = \vartheta, z_2 = w$ – вектор тепло-влажностного состояния почвы; $\mathrm{cov}[\Xi] = \mathrm{D}$, $\mathrm{cov}[\mathrm{E}] = \mathrm{S}$ – матрицы ковариаций ошибок моделирования и измерения.

С учетом принятых обозначений алгоритм оценивания температуры и влажности почвы по данным ДЗЗ выглядит следующим образом (Де Гроот, 1974; Михайленко, 2011):

$$\begin{aligned} \dot{\hat{\mathrm{Z}}} &= \mathrm{A}\,\hat{\mathrm{Z}}(t) + \mathrm{CF(t)} + \mathrm{R(t)S^{-1}(Y(t) - \hat{Z})} \\ \dot{\mathrm{R}} &= \mathrm{D} + \mathrm{R(t)\,A^{T}} + \mathrm{AR(t) - R(t)S^{-1}\,R(t)}, \\ \hat{\mathrm{X}}(0) &= \mathrm{M}[\mathrm{X}_0],\ \mathrm{R}(0) = \mathrm{cov}[\mathrm{X}_0], \end{aligned} \tag{4}$$

где R –ковариационная матрица априорных ошибок оценивания.

На основании оценок (4) можно построить прогнозы тепло-влажностного состояния почвы на заданный интервал времени T относительно текущего момента времени t :

$$\begin{aligned} \dot{\mathrm{Z}}(T\,|\,t) &= \mathrm{A}\,\mathrm{Z}(T\,|\,t) + \mathrm{CF}(T), \\ \mathrm{Z}(t\,|\,t) &= \hat{\mathrm{Z}}(t), \end{aligned} \tag{5}$$

где $Z(t|t)$ – начальные условия прогнозирования, соответствующие текущей оценке, определяемой системой (4) на основе данных ДЗЗ; F(T) – прогнозы метеоусловий, полученные из системы Гидрометцентра РФ.

Решение о проведении весеннего сева должно приниматься одновременно по двум параметрам – температуре и влажности поверхностного слоя почвы. Самый простой возможный вариант заключается в выборе пороговых значений данных параметров, одновременное достижение которых будет служить индикатором такого решения. Именно таким образом поступают агрономы в настоящее время. Однако в силу коррелированности между собой данных параметров и влияния многих других неучтенных факторов выбор вышеуказанных пороговых значений не является очевидным. Возможны два пути решения данной проблемы. В первом случае может использоваться математическая модель прорастания семян и фаз начального развития растений в посеве. На основе такой модели можно поставить и решить задачу оптимального выбора начальных условий процесса развития посева. По степени сложности она будет аналогична задаче управления состоянием посева в течение всего вегетационного периода. Во втором случае можно прибегнуть к интеллектуализации управления путем формирования решения на основе специального решающего правила. Для этого может использоваться конкретный показатель удачности выбора параметров в непрерывной форме, например процент всхожести посевов, обозначаемый «v». Тогда функция, используемая в решающем правиле, имеет следующий вид:

$$\mathrm{v} = P^{\mathrm{T}}\,\hat{Z}(T|t), \tag{6}$$

а решение о сроках проведения сева будет приниматься следующим образом:

$$P^{\mathrm{T}}\,\hat{Z}(T|t) \geq \Delta \text{ (посев в момент } T\text{)}, \tag{7}$$

$$P^{\mathrm{T}}\,\hat{Z}(T|t) \lhd \Delta \text{ (нельзя сеять в момент } T\text{)}, \tag{8}$$

где Δ – заданное пороговое значение показателя всхожести (70–75%).

Решения о сроках уборки урожая

Такие решения особенно актуальны при управлении процессами заготовки кормов из многолетних трав. Здесь ошибки в принятии решения могут привести или к недобору урожая, или к потерям качества получаемого корма. Это обусловлено тем, что в процессе вегетации одновременно с нарастанием биомассы травостоя происходит потеря показателей ее качества. Поэтому весьма важен выбор удобного и актуального критерия, являющегося ориентиром для принятия решений. Для определения классности кормов из подвяленных трав обычно используются не качественные показатели, а различные производные величины. Наибольшее распространение среди них получила величина обменной энергии, которая вычисляется по следующим качественным показателям травостоя:

$$E(k,p)=0{,}82+237{,}5/k+0{,}07p \text{ (МДж/кг сух. вещества)}, \quad (9)$$

где k – процентное содержание клетчатки в сухом веществе; p – процентное содержание сырого протеина в сухом веществе.

В то же время качественные показатели готового корма влияют на его переваримость (усвояемость) животными. Данные показатели широко распространены за рубежом. Они оцениваются в процентах и могут быть определены следующей регрессионной зависимостью:

$$\pi(k,p) = b_0 + b_1 k + b_2 p + b_3 kp\,, \quad (10)$$

вид которой был установлен на основании обработки экспериментальных данных, полученных ФГНБУ ВНИИГРЖ (Санкт-Петербург – Пушкин).

При обосновании критерия оптимальности принятия решений по заготовке кормов (укосам) необходимо иметь ввиду, что целью всей системы кормозаготовки является получение заданной урожайности травостоя с требуемыми параметрами качества. С учетом ранее принятых обозначений формализованные варианты критерия имеют следующий вид:

$$I_1(T) = (m(T) - m^*)^2 + g_1(E(k,p|T) - E(k,p))^2\,, \quad (11)$$

$$I_2(T) = (m(T) - m^*)^2 + g_2(\pi(k,p|T) - \pi^*(k,p))^2\,, \quad (12)$$

где g_1, g_2 – весовые множители, посредством которых устанавливаются баланс между компонентами критерия и единая единица измерения критерия.

Тогда решающее правило определения сроков заготовки кормов выглядит следующим образом: если $I(T) \le \delta$, то провести укос; если $I(T) \rhd \delta$, то продолжить вегетацию.

Для решения поставленной задачи используются модели (Михайленко, Курашвили, 2008):

а) структуры биомассы

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{1м} \\ \dot{x}_{2м} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t)_{1м} \\ x(t)_{2м} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1(t) \\ f_2(t) \\ f_3(t) \end{bmatrix} \tag{13}$$

$$+ \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}, \; t \in (T_i, T_{i+1}),$$

$$\begin{bmatrix} y_{1м}(t) \\ y_{2м}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & \dfrac{100}{y_{1м}(t)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1м}(t) \\ x_{2м}(t) \end{bmatrix}; \tag{14}$$

или в символической векторно-матричной форме

$$\dot{\mathrm{X}}_{м} = \mathrm{AX}_{м} + \mathrm{C}_{м}\mathrm{F(t)} + \mathrm{B}_{м}\mathrm{U(t)}, \quad (15)$$

$$\mathrm{X}_{м}(0) = \mathrm{D}_{м1}\mathrm{W}(0),$$

$$\mathrm{Y}_{м}(\mathrm{t}) = \mathrm{H}_{м}(\mathrm{t})\mathrm{X}_{м}(\mathrm{t}). \qquad (16)$$

б) качественных показателей биомассы

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{1к} \\ \dot{x}_{2к} \\ \dot{x}_{3к} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}_{к} \begin{bmatrix} x(t)_{1к} \\ x(t)_{2к} \\ x(t)_{3к} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1(t) \\ f_2(t) \\ f_3(t) \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}, \quad t \in (T_i, T_{i+1}), \tag{17}$$

$$\begin{bmatrix} x_{1к}(0) \\ x_{2к}(0) \\ x_{3к}(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1(0) \\ w_2(0) \\ w_3(0) \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} y_{1к}(t) \\ y_{2к}(t) \\ y_{3к}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{100}{y_{2м}(t)} & 0 & 0 \\ 0 & \dfrac{100}{y_{2м}(t)} & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{100}{y_{2м}(t)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1к}(t) \\ x_{2к}(t) \\ x_{3к}(t) \end{bmatrix}, \quad (18)$$

или в символической векторно-матричной форме

$$\dot{X}_к = AX_к + C_к F(t) + B_к U(t), \quad (19)$$

$$X_к(0) = D_{к1} W(0),$$

$$Y_к(t) = H_к(t) X_к(t). \quad (20)$$

В блоке структуры биомассы состояниями являются $x_{1м}$, $x_{2м}$ – сырая и сухая надземная масса растений (кг на заданной площади). В блоке качественных показателей состояниями являются $x_{1к}$, $x_{2к}$ и $x_{3к}$ – масса клетчатки, легкорастворимых углеводов и сырого протеина в сухой массе растений (кг). Внешними возмущениями в обоих блоках являются: f_1 – среднесуточная температура воздушной среды, °С; f_2 – среднесуточный уровень радиации, Вт/(м^2·час.); f_3 – среднесуточный уровень осадков, мм; f_4=$x_{1п}$ – влагосодержание почвы. Возмущениями начальных условий являются: w_1 – содержание доступного азота в почве, г/кг; w_2 – содержание доступного калия, г/кг; w_3 – содержание доступного фосфора, г/кг.

Непосредственно наблюдаемыми величинами в блоке структуры биомассы были: $y_{1м}$ – общая надземная биомасса растений, кг/м^2; $y_{2м}$ – процентное содержание сухого вещества в общей биомассе; в блоке качественных показателей: $y_{1к}$, $y_{2к}$ и $y_{3к}$ – процентное содержание клетчатки, легкорастворимых углеводов и сырого протеина в сухом веществе соответственно.

Факторами управления в моделях (5) и (9) являются: $\mathbf{u_1}$ – содержание в почве доступного азота; $\mathbf{u_2}$ – влагосодержание почвы.

С учетом переменных приведенных моделей критерии принятия решений (3) и (4) будут иметь следующий вид:

$$I_1(T) = [(x_{1м}(T) + x_{2м}(T)) - m^*]^2 + g_1[E(y_{1к}, y_{3к}|T) - E^*(y_{1к}, y_{3к})]^2, \quad (21)$$

$$I_2(T) = [(x_{1м}(T) + x_{2м}(T)) - m^*]^2 + g_2[\pi(y_{1к}, y_{3к}|T) - \pi^*(y_{1к}, y_{3к})]^2. \quad (22)$$

Теперь осталось продемонстрировать, каким образом осуществляется дистанционное зондирование посева многолетних трав. Здесь на основе закона отражения света от неоднородной шероховатой поверхности, какой является поверхность посева, может быть использована следующая модель (в среднем по площади поля) (Михайленко, 2011, 2013):

$$z_1 = p_1 e^{-p_2(x_{1м} + x_{2м})} + \xi_1, \quad (23)$$

$$z_2 = p_3 e^{-p_4 x_{2м}} + \xi_2, \quad (24)$$

где z_1, z_2 – параметры отражения системы ДЗЗ в инфракрасном и видимом диапазонах; p_1–p_4 – параметры моделей; ξ_1, ξ_2 – случайные ошибки моделирования, имеющие нулевые средние значения и дисперсии d_1, d_2.

Экспоненциальная форма моделей ДЗЗ (23) и (24) неустойчива к процедуре идентификации, поэтому целесообразно разложить экспоненциальные функции в степенные ряды:

$$z_1 = p_{11} + p_{12}x_{1м} + p_{13}x_{2м} + p_{14}x_{1м}^2 + p_{15}x_{2м}^2 + p_{16}x_{1м}^3 + p_{17}x_{2м}^3 + \xi_1, \quad (25)$$

$$z_2 = p_{21} + p_{22}x_{1м} + p_{23}x_{2м} + p_{24}x_{1м}^2 + p_{25}x_{2м}^2 + p_{26}x_{1м}^3 + p_{27}x_{2м}^3 + \xi_2, \quad (26)$$

вводя векторы:

$$Z^{\mathrm{T}} = \begin{bmatrix} z_1 & z_2 \end{bmatrix},$$

$$\mathrm{W}^{\mathrm{T}}(\mathrm{X}_м) = \begin{bmatrix} 1 & x_{1м} & x_{2м} & x_{1м}^2 & x_{2м}^2 & x_{1м}^3 & x_{2м}^3 \end{bmatrix}$$

Представим модель в векторно-матричной форме:

$$\mathrm{Z} = \mathrm{P}^{\mathrm{T}}\mathrm{W}(\mathrm{X}_м) + \Xi. \quad (27)$$

Наличие модели динамики биомассы травостоя (15) и модели оптических измерений ДЗЗ (25, 26) позволяет получить оптимальные оценки структуры биомассы (Михайленко, 2011, 2013):

$$\dot{\hat{X}}_{м} = A\hat{X}_{м} + C_{м}F(t) + B_{м}U(t) + R(t)\frac{\partial W^{T}(\hat{X}_{м})}{\partial \hat{X}_{м}}S^{-1}(Z - W(\hat{X}_{м}))$$

$$\dot{R} = R(t)\,A_{м}^{T} + A_{м}R(t) - R(t)\frac{\partial W^{T}(P,\hat{X}_{м})}{\partial \hat{X}_{м}}S^{-1}\frac{\partial W(P,\hat{X}_{м})}{\partial \hat{X}_{м}}R(t), \qquad (28)$$

$$\hat{X}_{м}(0) = \hat{X}_{0м},\ P(0) = \mathrm{cov}[\hat{X}_{0м}],\ S = \mathrm{cov}[\Xi],$$

где $\hat{X}_{м}$ – оптимальная оценка состояния биомассы травостоя; R – матрица ковариаций априорных ошибок оценивания; $\mathrm{cov}[X_{0м}]$ – матрица ковариаций начальных условий в модели динамики состояния биомассы травостоя; $\mathrm{cov}[\Xi]$ – матрица ковариаций ошибок измерения оптических параметров.

Алгоритм принятия решений о проведении укосов на основании приведенных моделей включает в себя следующие шаги:

Шаг 1. Путем периодического (два раза в неделю) отбора проб растений и почвы с тестовых площадок оцениваются параметры динамических моделей структуры биомассы и ее качественных показателей (13)–(16). При этом площадь одной тестовой площадки обычно составляет 30–50 м^2, они отличаются друг от друга дозами весеннего внесения удобрений и величиной начальной влажности почвы. Это позволяет применить метод идентификации, основанный на пробном воздействии на объект исследования. При этом параметры моделей уточняются с каждым новым измерением, что обеспечивает их адаптацию к изменяющимся условиям.

Шаг 2. На основании периодического отбора проб растений с тестовых площадок и данных приземного дистанционного зондирования посевов (при котором оптические средства зондирования размещаются на сельскохозяйственных машинах или на стационарных мачтах) на тестовых площадках оцениваются параметры модели системы ДЗЗ – (27).

Шаг 3. После проведения 5–6 первых шагов идентификации математических моделей осуществляется переход к режиму принятия решений. Для этого посредством системы ДЗЗ, базирующейся на космическом или беспилотном летательным аппарате, в момент времени t осуществляется съемка травостоя посевов на полях, в отношении которых необходимо принимать

решение. В результате этого формируется среднее по площади поля значение вектора $Z(t)$, на основании которого посредством алгоритма (20) строится средний по полю вектор оценок параметров биомассы $\hat{X}_{м}(t)$. Данный вектор принимается в качестве начальных условий для краткосрочного (на 2–5 сут.) прогнозирования состояния биомассы. На основании оценки $\hat{X}_{м}^{T}(t)=\left[\hat{x}_{1м}(t) \quad \hat{x}_{2м}(t)\right]$ и измеренного на тестовой площадке вектора процентного содержания показателей качества $Y_{к}^{T}(t)=\left[y_{1к}(t) \quad y_{2к}(t) \quad y_{3к}(t)\right]$ посредством моделей связи массовых и качественных показателей травостоя (17) и (18) определяются начальные условия для прогнозирования параметров:

$$\begin{bmatrix} x_{1к}(t) \\ x_{2к}(t) \\ x_{3к}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\hat{x}_{2м}(t)}{100} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\hat{x}_{2м}(t)}{100} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\hat{x}_{2м}(t)}{100} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1к}(t) \\ y_{2к}(t) \\ y_{3к}(t) \end{bmatrix}.$$

Шаг 4. Посредством моделей (15–20) прогнозируются состояние биомассы и ее качественные показатели, а также значения критериев (13) и (14) до тех пор, пока не будет выполнено условие $I(T) \le \delta$ (проведение укоса).

На рис. 1 показаны графики процесса оптимального оценивания температуры и влажности поверхности почвы по данным ДЗЗ согласно модели (4). Здесь же представлена динамика функции всхожести посева (6). Из графиков видно, что в рассматриваемый период требуемый уровень всхожести (70%) наблюдается только в трёх случаях (на 13–15 сутки). На рис. 2 показано графическое представление принятия решения о сроках сева по прогнозным значениям показателя всхожести. Как видно из рисунка, решение принимается на вторые сутки после получения текущих оценок температуры и влажности поверхности почвы.

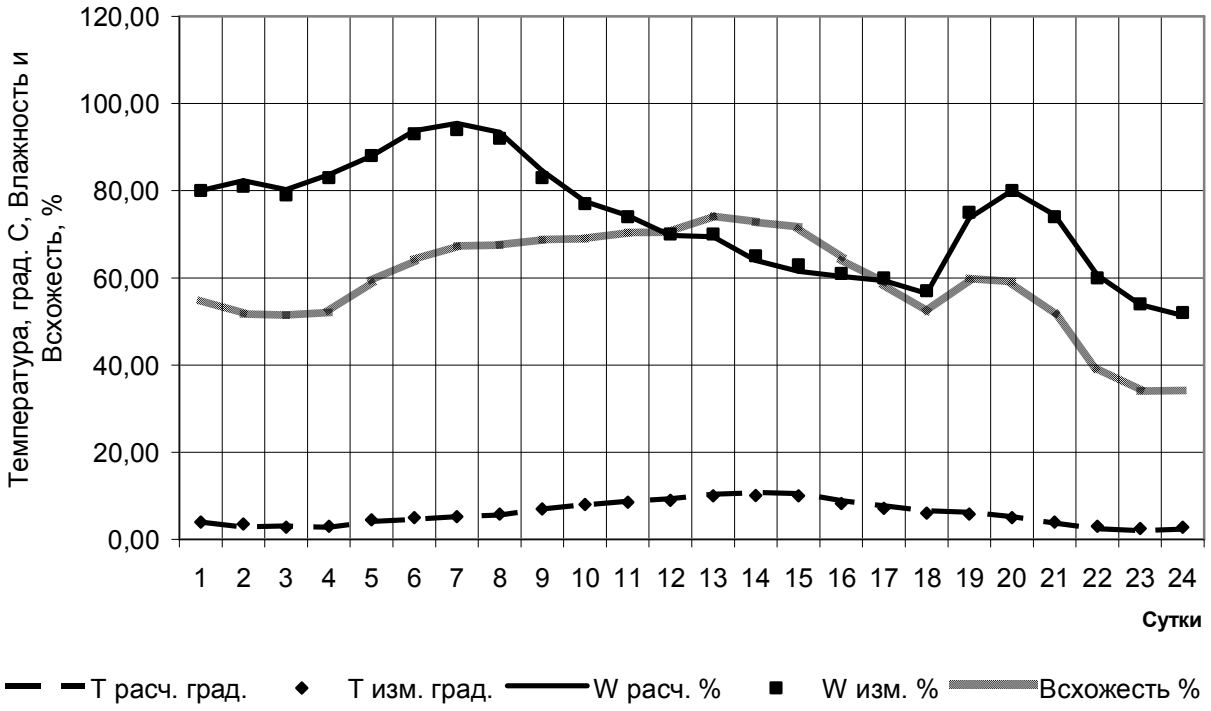


Рис. 1. Оценивание температуры и влажности поверхности почвы с расчетом критерия для принятия решения о сроках сева.

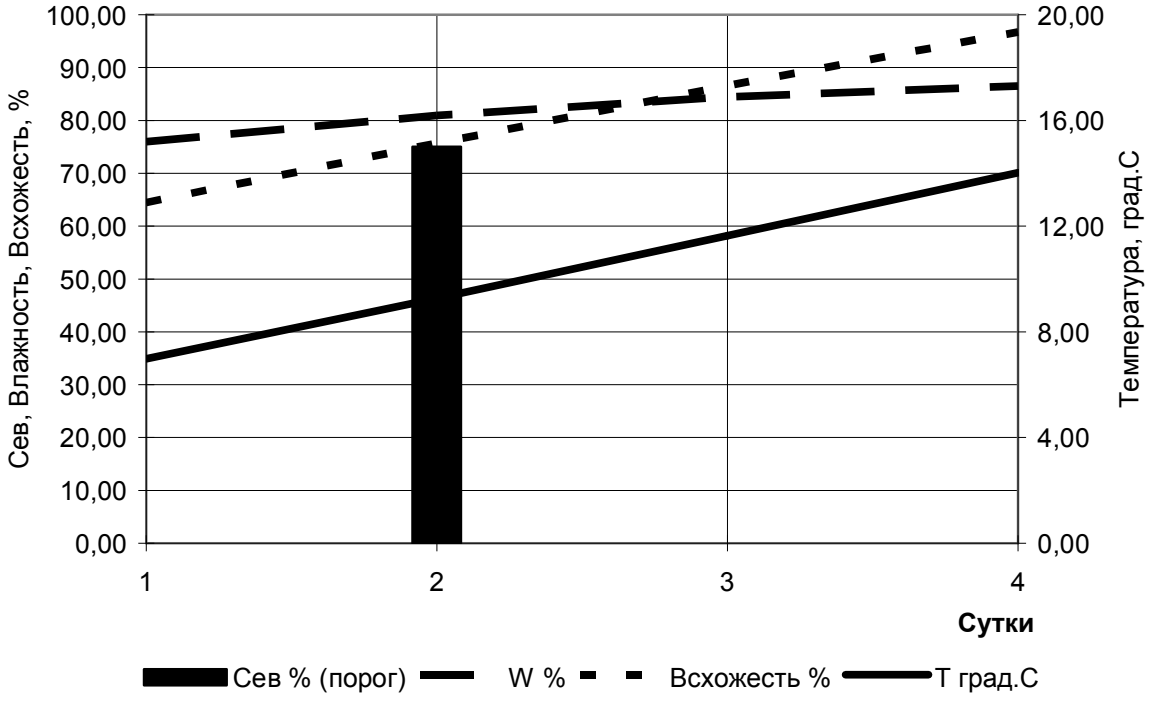


Рис. 2. Принятие решения о сроках сева по прогнозам температуры и влажности поверхности почвы.

Список литературы

Быховец С. С., Сороковиков В. А., Мартуганов Р. А. и др. История наблюдений за температурой почвы на сети метеорологических станций России // Криосфера Земли. 2007. Т. XI. № 1. С. 7–20.

Барталев С. А., Лупян Л. А., Нейштадт И. А. Метод выявления используемых пахотных земель по данным дистанционного зондирования со спутников // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. Вып. 3. Т. II. С. 271–280.

Де Гроот М. Оптимальные статистические решения. М., Мир, 1974. 491 с.

Кондратьев К. Я., Тимофеев Ю. М. Метеорологическое зондирование атмосферы из космоса. Л., Гидрометеоиздат, 1978. 280 с.

Лупян Л. А., Барталев С. А., Савин И.Ю. Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России // Аэрокосмический курьер. 2009. № 6. С. 47–49.

Михайленко И. М. Основные задачи оценивания состояния посевов и почвенной среды по данным космического зондирования // Экологические системы и приборы. 2011. № 8. С. 17–25.

Михайленко И. М., Курашвили А. Е. Прогнозирование состояния травостоя в системе управления качеством кормов в молочном животноводстве // Вестник РСХА. 2008. № 2. С. 10–13.

Михайленко И. М., Полуэктов Р. А., Якушев В. П. «Агромониторинг»: структура, функции, реализация // Доклады РАСХН. 2004. № 3. С. 66–68.

Музылев Е. Л., Успенский А. Б., Волкова Е. В., Старцева З. П. Использование спутниковой информации при моделировании вертикального тепло- и влагопереноса для речных водосборов // Исследование Земли из космоса. 2005. № 4. С. 35–44.

Соловьев В. И., Успенский С. А. Мониторинг температуры поверхности суши по данным геостационарных метеорологических спутников нового поколения // Исследования Земли из космоса. 2009. № 3. С. 79–89.

Тимофеев Ю. М., Мартынов А. А. Об определении температуры и излучательной способности поверхности суши из космоса // Исследования Земли из космоса. 1996. № 4. С. 12–17.

Adams M. L., Philpot W. D., Norvell W. A. Yellowness index: an application of spectral 2nd derivatives to estimate chlorosis of leaves in stressed vegetation // International Journal of Remote Sensing. 1999. № 20. pp. 3663–3675.

Becker F. The impact of spectral emissivity on the measurement of land surface temperature from satellite // Int. J. Rem. Sens. 1987. Vol. 8. pp. 1509–1522.

Chevallier F., Chedin A, Cheruy N., Mocrette J. J. TIGR-like atmospheric profile database for accurate radiative flux computation // Q.J.R. Meteorol. Soc. 2000. Vol. 126. pp. 777–785.

Cho M. A., Skidmore A. K. A new technique for extracting the red edge position for hyperspectral data: the linear extrapolation method. Remote Sensing of Environment. 2006. № 101. pp. 181–193.

Maselli F., Papale D., Puletti N., Chirici G., Corona P. Combining remote sensing and ancillary data to monitor the gross productivity of water-limited forest ecosystems // Remote Sens. Environ. 2009. № 113. pp. 657–667.

Mikhailenko I. M. Assessment of crop and soil state using satellite remote sensing data // International Journal of Information Technology & Operations Management. 2013. Vol. 1. № 5. pp. 41–52.

Zlinszky A., Heilmeier H., Balzter H., Czúcz B., Pfeifer N. Remote Sensing and GIS for Habitat Quality Monitoring: New Approaches and Future Research // Remote Sens. 2015. № 7(6). pp. 7987–7994. doi:10.3390/rs70607987 Editorial.

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

А. Г. Болотов[1], Е. В. Шеин[2]

[1]РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева;

[2]МГУ имени М. В. Ломоносова

В статье рассматривается организация распределенных сетей для решения задач мониторинга в агрометеорологии и агрофизике. Приведено описание созданного макетного образца агрофизической информационно-измерительной системы.

Задачу оперативного расчета динамики почвенной влаги Р. А. Полуэктов с соавторами (2003) относят к «вечным» проблемам физики почв. По их мнению, с учетом того, что стандартные методы оперативного измерения влажности почвы *on-line* отсутствуют, единственным надежным способом получения информации о процессах увлажнения и иссушения почвы в реальных условиях сельскохозяйственного поля является расчетный метод с использованием тех или иных математических моделей. Однако с появлением современных недорогостоящих информационно-измерительных систем экспериментальное измерение влажности почвы получило новое развитие. Также этому способствуют значительное сокращение со времен СССР системы агрометеопостов, имеющей очень изреженную сеть, а также возрастающая частота неблагоприятных метеорологических факторов, которая усиливает актуальность мониторинга агрометеорологических и агрофизических параметров сельскохозяйственного поля в режиме реального времени. По мнению авторов, наибольшую перспективу имеет применение совокупности современных программных математических пакетов моделирования тепловлагопереноса в почве и информационно-измерительных систем, позволяющих получать экспериментальные значения граничных условий. Такой подход позволяет получать агрометеорологическую и агрофизическую информацию с наименьшей погрешностью, а также минимизировать работы по экспериментальному обеспечению входных параметров (Болотов, 2017).

В работе рассматривается формирование распределенной сети автоматизированных агрометеопостов на основе так называемых «облачных» технологий. Авторами создан макетный образец, включающий все иерархические уровни информационно-измерительной системы – от датчика до

пользователя (клиента). В качестве первичного преобразователя выбран датчик влажности и температуры *SM3001* (КНР), который погружается в почву и может быть использован при долгосрочном мониторинге данных параметров в режиме реального времени. Напряжение питания датчика 5–24 *В*, диапазон измерения влажности 0–24% (регулируемый от 0 до 100%), погрешность измерения влажности почвы 2%, время измерения одна секунда, частота (FD) измерения 100 *МГц*. Установленный диапазон измерения влажности почвы обусловлен тем, что датчик предназначен для регулирования полива в промышленных ирригационных системах, и верхнее значение измеряемой влажности соответствует пределу оптимального увлажнения в суглинках. Измерительная схема расположена в герметичном неразборном водонепроницаемом корпусе с тремя измерительными стальными иглами-зондами. Диапазон измеряемых температур –40…85°С с точностью 0,1°С и погрешностью 0,5°С. Выходная информация может быть представлена в аналоговом виде через напряжение 0–2 *В*, 0–5 *В* или ток 0–20 *мА* в зависимости от конфигурации прибора. Также существует модификация прибора с цифровым интерфейсом *RS-485* на основе протокола *Modbus RTU*. Авторами был выбран последний вариант, т. к. он позволяет соединять датчики в единую сеть по двухпроводной линии (протяженность до 1000 *м*.), что весьма удобно при мониторинге температуры и влажности профиля почвы. Протокол связи датчика с мастером сети имеет стандартный формат команды: [Адрес устройства] [Код функции] [начальный адрес: 2 байта] [Длина данных: 2 байта] [Контрольная сумма CRC16: 2 байта]. Диапазон адресов устройств можно задавать в пределах 1–250. Передаваемые значения температуры и влажности можно масштабировать и проводить процедуру смещения данных при калибровке.

Для подключения датчиков по *GPRS*-каналу к облачному сервису *OwenCloud* использован сетевой шлюз *ПМ210* (компания «ОВЕН»). Для связи с приборами в *ПМ210* встроен интерфейс *RS-485*. Шлюз не требует дополнительной настройки и готов к использованию с облаком «из коробки». Условия эксплуатации – температура окружающего воздуха от -40 до +55°С. При запуске прибор инициализирует *GRRS*-соединение с использованием точки

доступа (*APN*), заданной пользователем или установленной по умолчанию. После установки *GPRS*-соединения прибор соединяется с сервером *OwenCloud* по доменному имени или по IP-адресу, установленному производителем. Если соединение с сервером не устанавливается с четырех попыток, шлюз перезагружается. После установки соединения прибор переходит в режим ожидания команд от сервера и передачи их в линию *RS-485*. При этом прибор получает данные из линии *RS-485*, запоминает их в буфере и передает на сервер *OwenCloud*. Автоматическая перезагрузка шлюза производится один раз в 12 часов, начиная со времени включения, кроме случаев, когда шлюз имеет активное соединение с сервером и производится передача данных. Облачный сервис *OwenCloud* предоставляет пользователям следующий функционал: сбор и хранение данных с приборов, отображение информации на графиках и таблицах, контроль аварийных ситуаций и аварийные уведомления. Важным свойством сервиса является отображение функционирующих приборов на карте, что позволяет оперативно получать агрофизические сведения об интересующем агроценозе.

Тестовые испытания созданного макетного образца агрофизической информационно-измерительной системы подтверждают правильность выбранного подхода. Приборы данной системы могут легко тиражироваться и при наличии подробной инструкции эксплуатироваться специалистами в области агрофизики и агрометеорологии. Рассматриваемая система может являться основой информационно-измерительной агрометеорологической сети.

Список литературы

1. Полуэктов Р. А., Опарина И. В., Терлеев В. В. Оперативный расчет и прогноз динамики почвенной влаги // Фундаментальные физические исследования в почвоведении и мелиорации. 2003. С. 241–244.

2. Болотов А. Г. Гидрофизическое состояние почв юго-востока Западной Сибири: дисс. … доктора биол. наук. М., МГУ им. М. В. Ломоносова, 2017. 351 с.

3. OWENCLOUD – Заголовок с сайта // https://owencloud.ru/site/login.

УДК 681.3 : 631.171 : 631.471

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ РОЛЬ В РАЗВИТИИ АПК СИБИРИ

В. В. Альт

Сибирский физико-технический институт

п. Краснообск Новосибирской области

т.8 383 3483552, E-mail: altviktor@ngs.ru

На основе единой взаимосвязи ресурсов сельскохозяйственного производства и их анализа показана главенствующая роль человеческого ресурса, обеспечивающая поступательное развитие зернового производства. Рост сельскохозяйственного производства обеспечивается использованием информационных технологий.

Ключевые слова: аграрное производство, растениеводство, ресурсы сельскохозяйственного производства, земля, растения, окружающая среда, социум, информационные технологии, техника.

INFORMATION TECHNOLOGIES AND THEIR ROLE IN ADVANCE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF THE SIBERIA

V. V. Alt

On the basis of uniform interrelation of resources of agricultural production and their analysis the predominating role of a human resource providing forward development of grain production is shown. Growth of agricultural production is provided with use of information technologies.

Key words: agrarian production, plant growing, resources of agricultural production, earth, plants, environment, society, information technologies, equipment.

Фридрих Август фон Хайек, один из выдающихся экономистов и философов XX века, лауреат Нобелевской премии 1974 г. Он утверждал, что основное знание «рассеяно» среди людей, каждый из которых обладает частицей этого знания. Хайек отвергает возможность наличия у каждого индивидуума полной информации – знание неизбежно частично. Поэтому в поведенческом аспекте в процессе принятия управленческих решений объективно неизбежны ошибки действий или решений.

Неизбежность неполной информации в аграрном производстве, науке и образовании у каждого из субъектов принимающих управленческие решения объективно связаны с полифункциональным характером объектов управления: окружающая среда, земля, растения, животные и машины.

Эти объекты можно представить как пять разновидностей ресурсов, которые взаимодействуют под воздействием ещё двух ресурсов – человеческого и финансового [1]. Всё это можно представить как восьмимерное пространство. При этом человек, как субъект, принимающий управленческие решения, ощущающий четырёхмерное пространство (ширина, длинна, высота и время), находясь в восьмимерном пространстве, чувствует определённый дискомфорт. В такой ситуации субъект, принимающий управленческие решения, вынужден принимать частные решения, сужая мерность пространства, полагая, что некоторые из ресурсов не существенны или безграничны. Это приводит к принятию человеком не полиоптимального решения вследствие неполного знания. Современное развитие информационных технологий в сельском хозяйстве характеризуется формированием и развитием агроинформатике, как системообразующей отрасли знаний в симбиозе с такими традиционными для сельскохозяйственной науки предметными отраслями как: агрохимия, почвоведение, земледелие, селекция, растениеводство, кормопроизводство, животноводство, зоотехния, ветеринария, механизация, электрификация, автоматизация и экономика.

Для наглядности анализа проведём его на примере растениеводческой отрасли в секторе зернового производства. В границах современной России производилось зерна: в 1913 г. – 50,5 млн. т; в 1937 г. – 70,4 млн. т; в 1953 г. – 48,2 млн. т; в 1963 г. – 62,8 млн. т; в 1979 г. – 84,8 млн. т; в 2008 г. – 108,2 млн. т; в 2010 г. – 61,0 млн. т.; 2016 г. – 119,1 млн. т.

Следует отметить, что 1913 г. был для сельского хозяйства благоприятным годом, как и 2008 г. В течение одного столетия производство зерна возросло более чем в два раза, а доля сельского населения сократилась примерно в три раза. Одновременно необходимо отметить, что в неблагоприятные для сельского хозяйства годы было собрано зерна: 1953 г. – 48,2 млн. т; 1963 г. – 62,8 млн. т; в 1979 г. – 84,8 млн. т; в 2010 г. – 61,0 млн. т [2]. Засухи в 1963 г., 1979 г. и 2010 г. были значительно более жесткими, чем в

1953 г., при этом валовый сбор зерна возрос более чем на 50% по сравнению с 1953 г.

Этот анализ будет не полный, если не рассмотреть современную динамику производства зерна и объёмов использования пашни. В качестве примера рассмотрим данные по Новосибирской области (табл. 1) [2].

Таблица 1. **Объемы производства зерна в Новосибирской области**

Показатель, среднее значение	1988–1992 гг.	2007–2011 гг.	Прирост, %
Площадь посева, тыс. га	1999	1637	–18
Валовый сбор, тыс. т	2668	3147	18
Урожайность, т/га	1,33	1,92	44

Пример Новосибирской области показывает, что, сравнивая пятилетки 1988–1992 гг. и 2007–2011 гг., видим: при сокращении пашни на 18%, валовый сбор зерна вырос на 18%, а урожайность увеличилась на 44%. Эффект роста производства зерна, прежде всего, достигнут благодаря более высокой урожайности районированных сортов сибирской селекции (в Новосибирской области сорта сибирской селекции занимают 95–99% зернового клина), технологической и технической перевооружённости сельскохозяйственного производства. В сельское хозяйство пришла более производительная техника. На зерновых полях работает широкозахватные машины и мощные тракторы, которые и позволили повысить производительность труда в зерновом производстве.

Рассмотрев три вида ресурсов – «земля», «растения» и «машины» в единстве и в системе производства зерна, становится очевидным, что у нас в Сибири объективно есть возможность удвоения производства зерна [3].

Однако, для реализации этой амбициозной цели необходимо подключение четвёртого ресурса «окружающая среда». С окружающей средой и её влиянием на урожай не считаться не возможно. Для решения этой задачи работают: синоптики – прогнозируют погоду, а технологи, мелиораторы, агрохимики и другие специалисты – создают влагосберегающие,

почвозащитные, адаптивноландшафтные и др. технологии выращивания зерновых культур.

Все эти четыре вида ресурсов могут быть объединены в единый производственный процесс и только «социумом», основой которого является человек и среда его обитания в настоящее время требует многостороннего и углублённого исследования с цель его роста и развития. Под средой обитания человека мы понимаем, все, что его окружает 24 часа в сутки в среде его существования – работа, отдых и досуг. Это: финансы, рынок, дом, дороги, коммунальные услуги, условия досуга и т.д. При рассмотрении теперь всех этих пяти (а полнее восьми, так как финансы тоже вошли в социум) ресурсов видна их мультикативная связь.

$$F(t) \equiv f_1(t) \times f_2(t) \times f_3(t) \times f_4(t) \times f_5(t), \quad (1)$$

где $F(t)$ – валовое производство зерна.

Выражение (1) позволяет не только описать процесс производства, но и предвидеть ситуации развития всего процесса в целом и в его ограничениях. Приведу несколько возможных решений если:

$f_1(t)$ – функционал «ресурс растение» устремится к нулю (это означает отсутствие культурных зерновых растений), то выражение (1) будет равно нулю не зависимо величины всех остальных ресурсов;

$f_2(t)$ – функционал «ресурс машины» устремится к нулю (это означает отсутствие в производственном процессе машин), то выражение (1) не будет равно нулю. Зерновое производство будет, но на уровне первобытнообщинного строя, а не шестого технологического уклада;

$f_3(t)$ – функционал «ресурс земля» устремится к нулю (это означает отсутствие пашни) то выражение (1) будет равно нулю не зависимо величины всех остальных ресурсов (здесь возможны возражения в части гидропоники, закрытого грунта, искусственного грунта и т.д. – не думаю, что в обозримой перспективе эти «заменители почвы» смогут стать основой товарного производства зерна;

$f_4(t)$ – функционал «ресурс окружающая среда» устремится к нулю (это означает отсутствие агроклиматических условий произрастания зерновых культур) то выражение (1) будет равно нулю только для тех зон, где возделывание зерновых культур невозможно. При этом нужно помнить, когда в конце XIX в. генерал И.И. Жилинский осуществлял гидротехническое строительство в Западной Сибири, он писал царю, что «… места здесь (это в Сибири) гиблые и зерно сюда нужно будет возить из России (то есть из европейской части России) …». Сегодня из Сибири зерно вывозят, в том числе и в европейскую часть России;

$f_5(t)$ – функционал «ресурс социум» устремится к нулю (это означает отсутствие человека в производственном процессе) то выражение (1) будет равно нулю. Хотя и трудно сегодня представить автоматический процесс производства зерна (без участия человека), даже в принципиальном математическом решении при трудностях описаний возможных ограничений.

Ресурс «социум» можно представить как совокупность двух видов ресурсов: человеческий и финансовый и они оба органично связаны. Оставим в стороне рассмотрение финансового ресурса, не потому что он не влияет на процесс производства зерна, а потому что он существует только в совокупности с человеческим ресурсом. Проведём анализ одного из главных ресурсов производства – человеческого ресурса. Динамика численности населения России приведена в таблице 2 [2].

Доля сельского населения России за период 1959–2012 гг. сократилась в два раза и достигла 26% от всего населения. Сокращение численности сельского населения, исчезновение деревень, социальная напряжённость и неудовлетворённость состоянием сегодняшней жизни в деревне (в абсолютно подавляющем большинстве деревень) привели к сокращению с 2001 по 2010 гг., работающих в сельскохозяйственных организациях примерно в пять раз (табл. 3) [4].

Анализ позитивных и негативных тенденций на селе в сфере изменений человеческого ресурса позволяет сделать вывод о хроническом дефиците на селе специалистов высокой квалификации среди рабочих, лиц с высшим и средне-специальным образованием.

На наш взгляд решение этой проблемы нужно рассматривать как одной из критических для России в целом в краткосрочной и среднесрочной перспективе на государственном уровне. Программа решения этой проблемы должна быть научно обоснована учёными всех специальностей и отражать пути её решения в целом по России и в обязательном порядке по каждому из субъектов федерации

Таблица 2. **Численность населения российской федерации**[1]

Годы	Все население, млн. человек	в том числе		В общей численности населения, процентов	
		городское	сельское	городское	сельское
1959	117,2	61,1	56,1	52,2	47,8
1970	129,9	80,6	49,3	62,1	37,9
1979	137,4	94,9	42,5	69,1	30,9
1989	147,1	107,9	39,2	73,4	26,6
2002	145,2	106,4	38,8	73,3	26,7
2010	142,9	105,3	37,6	73,7	26,3
2011	142,9	105,4	37,5	74	26
2015	146,3	108,3	38,0	74	26

1) Данные приведены: 1959 и 1970 гг. – по переписи на 15 января, 1979 г. – по переписи на 17 января, 1989 г. – по переписи на 12 января, 2002 г. – по переписи на 9 октября, 2010 г. – по переписи на 14 октября (предварительные итоги)

Таблица 3. **Количество занятых работников в сельскохозяйственных организациях**

	Годы				
	1990	1995	2000	2005	2014
Количество занятых работников в сельскохозяйственных организациях, тыс. чел.	9530	6539	4547	2613	1900

Оценивая производительность труда в зерновом производстве в 2007–2011 гг. по сравнению с 1985–1990 гг. следует констатировать рост производительности труда в пять раз. Для примера можно привести данные о затратах труда на производство центнера зерна пшеницы.

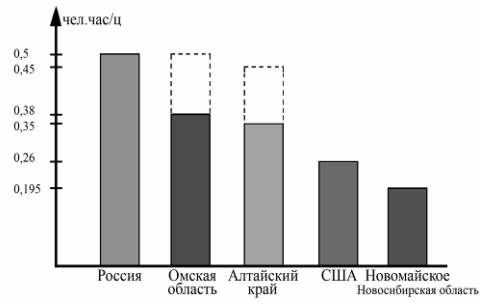


Рис. Производительность труда при производстве пшеницы по каждому из субъектов федерации

Одним из элементов в решении этой задачи являются информационные технологии. Информационные технологии – это, в определённом понимании, системные знания межотраслевого характера, направленные на создание

добавочной стоимости в отраслях, как на отраслевом, так и на межотраслевом уровнях [5, 6]. Предметные науки определяют перспективы развития конкретных отраслей и являются основными генераторами их развития и качественного роста. Информационные технологии в аграрной сфере должны создаваться не только с учётом диалектической общности объектов, но и с обязательным учётом перекрёстных взаимных связей и взаимовлияния этих объектов.

Определение информационной технологии как бы подспудно заранее предусматривает применение компьютера как средства реализации этих технологий и инструментария для обработки информации. Современный компьютер во всей совокупности программных и технических компонентов – это универсальный комплекс по решению математических, функциональных, информационных и натуральных (в виртуальном виде) моделей технологических процессов и объектов живой и неживой природы, позволяющий осуществить имитационное моделирование. Информационные методы, телекоммуникационные технологии и переход к широкомасштабному применению современных информационных систем в сферах науки, образования, производства и бизнеса обеспечивают принципиально новый уровень получения и обобщения знаний, их распространения и использования. Эти процессы можно характеризовать как смену парадигмы в профессиональном мировоззрении специалистов, связанную с нарастающими тенденциями интеграции информационного обеспечения научно-исследовательской, педагогической, производственной и коммерческой деятельности.

Нами предложена парадигма информационного обеспечения технологических процессов сельскохозяйственного производства [6]. Парадигма, как совокупность взглядов на решение какой – либо задачи на современном этапе развития, показывает пути и подходы к созданию измерительных приборов, измерительно-вычислительных комплексов, информационно-измерительных систем, баз данных и баз знаний, экспертных

систем и систем искусственного интеллекта. Парадигма охватывает всё многообразие информации, характеризующей объект: измерительная, эвристическая, в виде наблюдаемых переменных и знаний экспертов. Парадигмой предусматривается включение экспертных систем и систем искусственного интеллекта в состав управляющего звена путём выработки заключения для систем принятия управленческих решений (СПУР). Такой автоматизированный метод управления позволяет перейти к управлению технологическими процессами (в почве, растениях, животных, машинах, социально-экономических отношениях и т. д.) не по отклонению какого-то из параметров или группы параметров от принятой нормы, а в соответствии с функцией назначения объекта управления. Одновременно к объекту управления будут применены ограничения, накладываемые экологической обстановкой, сезонным характером работ, взаимным влиянием составляющих объекта, характером воздействия внешних факторов на объект управления.

В СибФТИ разработан ряд информационных моделей, которые используются при создании экспертных систем диагностики состояния посевов пшеницы, технического состояния тракторного двигателя и автоматизированной системы определения болезней, вредителей и сорняков злаковых колосовых Сибири, а так же они используются при создании баз данных сельскохозяйственного назначения.

Эмпирическая гипотеза о возможности единого информационного описания подтверждена при создании более чем 20 баз данных сельскохозяйственного назначения, разработанных в СибФТИ [6].

В настоящее время сотрудниками СибФТИ и президиума СО Россельхозакадемии разрабатывается интернет-ориентированная база данных инновационных разработок всех институтов отделения на глубину 10 лет [7]. В ней имеется информацию о сортах, машинах, средствах механизации, электрификации и технологиях (в растениеводстве, животноводстве, кормопроизводстве, кормоприготовлении, защите растений, биотехнологиях, механизации, ветеринарии и переработке сельскохозяйственной продукции).

База данных позиционируется как предметно-ориентированная, поисковая база данных в интернет-пространстве.

Список литературы

1. Альт В. В. Информационные технологии в инновационном развитии АПК Сибири/ Альт В. В. // Сельскохозяйственные машины и технологии. М.: ГНУ ВИМ, 2013. № 2. С. 20–23 ISSN 2073–7599.
2. Федеральная служба государственной статистики. ЦБСД. [Электронный ресурс] URL: http://www.gks.ru/.
3. Межрегиональная схема размещения и специализации сельскохозяйственного производства в субъектах Российской федерации Сибирского федерального округа: рекомендации / ФГБУН СФНЦА РАН. Новосибирск, 2016. 283 с.
4. Лачуга Ю. Ф., Кряжков В. М., Шевцов В. Г. Тракторный парк – базовый ресурс механизированного сельхозпроизводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2012. № 6. С. 4–11.
5. Губарев В. В. Концептуальные основы информатики : учеб. пособие: в 3-х ч. / В. В. Губарев // Сущностные основы информатики.Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. Ч.1. 149 с.
6. Альт В. В., Савченко О. Ф., Гурова Т. А. и др./ Под ред. В. В. Альт / Методические рекомендации. РАСХН. Сиб. отд-ние. СибФТИ. Новосибирск, 2005. 120 с.
7. Альт В. В. Информационное и приборное обеспечение сельскохозяйственного производства Мат. международной науч.-практ. конф. «Система технологий и машин для инновационного развития АПК России» / ГНУ ВИМ, 17–18 сентября 2013 г.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

В. А. Вигонт, А. Г. Топаж, Е. В. Захарова

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

Рассмотрение места и роли контура производства биогаза в цикле сельскохозяйственного производства растениеводческой продукции приводит к проблеме оптимизации этого производственного процесса. Для того, чтобы иметь возможность количественно оценить выход биометана в зависимости от используемого субстрата и регулярности его подачи/замены необходимо создание и развитие актуальных математических моделей. В докладе представлены результаты исследований авторов, направленные на модификацию и оптимизацию существующих стехиометрических моделей получения биометана из многокомпонентного растительного сырья. В качестве основного инструмента исследования была выбрана платформа мультипарадигменного имитационного моделирования AnyLogic.

Consideration of the place and role of the possible biogas production in the traditional food cropping systems leads to the problem of optimizing the digestion process in bioreactor. In order to be able to quantify the yield of biomethane depending on the substrate used and the regularity of its supply/replacement, it is necessary to create and develop the consistent mathematical models. The article presents the results of the authors' research intended for modifying and optimizing of existing stoichiometric models of biomethane production from multicomponent plant raw materials. The multi-paradigm simulation framework AnyLogic was chosen as the main research tool of the project.

Поиск альтернативных возобновляемых источников энергии уже давно рассматривается в качестве приоритетного направления развития промышленного и научного прогресса человечества. Важное место в этой сфере занимают технологии так называемой «зеленой энергетики», когда для производства топлива или прямого преобразования в тепловую энергию используется накопленная в результате фотосинтеза энергия, содержащаяся в биомассе высших растений. Побочным положительным эффектом внедрения биогазового контура в производственный процесс растениеводческого хозяйства может служить получение большого количества высококачественного сидерального удобрения, поскольку шлам, остающийся после анаэроного сбраживания в биореакторе, достаточно богат базовыми питательными соединениями и, в то же время, практически не содержит способных к прорастанию семян сорняков. Однако в условиях реального

севооборота имеющаяся зеленая биомасса, служащая сырьем для производства биогаза, может характеризоваться сильной неоднородностью состава, как в разные отрезки сельскохозяйственного производственного цикла, так и в конкретные моменты времени. И для того, чтобы включение контура производства биогаза в традиционный производственный цикл растениеводческого хозяйства было экономически и технологически оправданным, гипотетический реактор должен быть «всеядным» и обеспечивать эффективное и бесперебойное функционирование независимо от качества и степени разнородности одновременно потребляемых ресурсов. Для того, чтобы иметь возможность количественно оценить выход биометана в зависимости от используемого гетерогенного субстрата и регулярности его подачи/замены необходимо создание, развитие и детальное исследование адекватных математических моделей.

Ниже приводится описание подобной реализации, выполненной в среде многоподходного моделирования AnyLogic для модели технологического процесса анаэробного сбраживания неоднородной многокомпонентной растительной биомассы. Нами была взята за основу известная стехиометрическая модель производства биометана (Вавилин, 2010), произведена ее модификация для случая многокомпонентного сырья и продемонстрированы возможности современных оболочек и сред моделирования в задачах комплексного анализа и оптимизации изучаемого процесса.

Двухстадийная динамика трансформации исходного сырья в биогаз может быть в первом приближении описана следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений (Вавилин, 2008)

$$\begin{aligned} \frac{dW}{dt} &= -k \cdot W \cdot f_H(S) \; ; \quad W(0) = W_0 \\ \frac{dS}{dt} &= \gamma \cdot k \cdot W \cdot f_H(S) - \rho_M \cdot f_M(S) \cdot \frac{S \cdot B}{K_S + S} \; ; \quad S(0) = 0 \\ \frac{dP}{dt} &= Y \cdot (1 - \theta) \cdot \rho_M \cdot f_M(S) \cdot \frac{S \cdot B}{K_S + S} \; ; \quad P(0) = 0 \end{aligned} \quad , \qquad (1)$$

где W и S – концентрация исходного субстрата и продуктов гидролиза (жирных кислот); P – суммарный выход биогаза; k – константа скорости гидролиза; γ – коэффициент конверсии субстрата в жирные кислоты (стехиометрический коэффициент); ρ_M – максимальная удельная скорость метаногенеза в терминах утилизации биомассы летучих жирных кислот; K_S – константа полунасыщения в уравнении Моно для интенсивности метаногенеза; $1-\theta$ – доля субстрата, идущая на образование биогаза, Y – переводной коэффициент потока утилизации жирных кислот в единицы выхода конечного продукта (биогаза).

Общее уравнение динамики микробной биомассы описывается соотношением:

$$\frac{dB}{dt} = \theta \cdot \rho_M \cdot f_M(S) \cdot \frac{S \cdot B}{K_S + S} - K_D \cdot B \quad , \qquad B(0) = B_0 \qquad (2)$$

где K_D – коэффициент распада. Функции $f_H(S)$ и $f_M(S)$ описывают ингибирование реакций гидролиза и микробной ферментации жирными кислотами (Gerber, Span, 2008). Введение в модель функций ингибирования позволяет отразить наблюдающийся в реальности эффект «пробки», когда недостаток микробной биомассы или чрезмерное поступление субстрата приводит к тому, что реакция анаэробного сбраживания полностью тормозится промежуточным продуктом.

Наиболее естественной и «дешевой» модификацией этой стандартной модели может быть ее расширение на многокомпонентный случай, то есть учет неоднородности исходного сырья. Допустимо считать, что наиболее существенно эта неоднородность должна проявляться на стадии гидролиза, так как основное отличие разных видов растительного сырья проявляется именно в темпах его деструкции до легкоусвояемых полимеров, а дальнейшие трансформации идут уже над одними и теми же «смешавшимися в единый пул» продуктами гидролиза, генезис которых не имеет принципиального значения. Тогда элементарное расширение модели с целью учета многокомпонентного состава сырья получается путем замены скалярных величин в первом уравнении системы (1) на вектора и добавления операции суммирования по входным потокам продукта во второе уравнение этой системы.

Принципиальный момент работы биореактора – возможность постоянного возобновления исходного субстрата, то есть периодическая подгрузка на вход процесса новых партий сырья по мере его переработки в конечные продукты. Одновременно необходимо обеспечить также соответственное изъятие из реактора отработанной биомассы в виде отходов (шлама). Отражение этого технологического приема, то есть рециклизация процесса анаэробного брожения была учтена в имитационной модели путем введения в нее специального компонента – периодического триггера. Появление в исходной классической непрерывной поточно-балансовой формализации триггерной составляющей приводит к тому, что исследуемая модель приобретает черты как системно-динамического, так и дискретно-событийного подхода, то есть превращается в так называемую многоподходную или гибридную модель.

Для численного исследования построенной динамической системы ее образ был представлен в виде стандартной нотации модели системной динамики. Затем эта модель была реализована и детально исследована в серии простых имитационных и оптимизационных вычислительных экспериментов в специализированной среде многоподходного имитационного моделирования AnyLogic (Борщев, 2013). Проведенные исследования позволили отыскать наиболее эффективные параметры работы системы (частота и степень рециклизации сырья) как в дискретном, так и в непрерывном (проточном) режимах, когда биореактор функционирует как идеальный хемостат. Выборочные результаты экспериментов по анализу чувствительности различных рассмотренных критериев эффективности производственного процесса к параметрам рециклизации приведены на рис. 1.

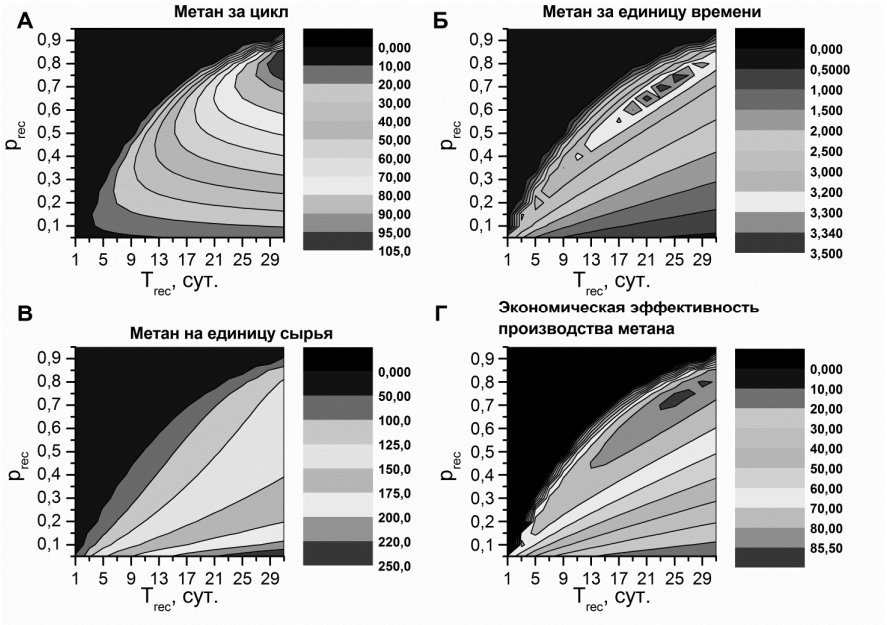


Рис. 1. Зависимости альтернативных критериев эффективности процесса производства биометена в реакторе анаэробного брожения от параметров режима рециклизации растительного сырья

Легко заметить, что в области невырожденных значений этих параметров наблюдается оптимум выбранных показателей, что соответствует наилучшим режимам работы модельного биореактора. При этом координаты областей оптимума оказываются крайне близки к «пропасти», соответствующей режиму «пробки». А так как пик гипотетической поверхности оптимума достаточно гладкий, то с практической точки зрения имеет смысл эксплуатировать реактор в области параметров, достаточно далеко отстоящей от бифуркационной границы. Это приведет к незначительным потерям экономической эффективности, но зато обеспечит устойчивую работу реактора без опасности срыва в полное прекращение процесса метаногенеза.

Список литературы

1. Вавилин В. А. Исследование анаэробной деградации органических отходов: опыт математического моделирования // Микробиология, т. 79, № 3, 2010, С. 352–359.

2. Вавилин В. А. Как эффективно получать биогаз? // Природа, № 11, 2008, С. 14–19.

3. Gerber M., Span R. (2008). An Analysis of Available Mathematical Models for Anaerobic Digestion of Organic Substances for Production of Biogas // In: Proc., Int. Gas Union Research Conf., French Gas Association, Neuilly-sur-Seine, France.

4. Борщев А. Как строить простые, красивые и полезные модели сложных систем // Сборник трудов шестой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2013)», Казань, 16–18 октября 2013 г., Изд. «Фэн» АН РТ, т. 1. С. 21–34.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В. В. Воропаев[1]; П. В Лекомцев[1,2],

А. В. Конев[1], Е. В Воропаева[1]

[1]ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);

[2]ФГБОУ ВО Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ)

В работе рассмотрены физиолого-агрохимические параметры, определяющие накопление сырого белка в зерне яровой пшеницы. Исследования проведены в период 2006–2011 гг. в полевых исследованиях на биополигоне ФГБНУ АФИ с трёмя сортами яровой пшеницы при возделывании ее по технологиям различной интенсификации. В результате проведенных исследований показано, что сортовые особенности проявляются не только в формировании уровня урожайности зерна, но и содержания сырого белка в нем. Параметры, которые определяют его накопление, также имеют сортовые особенности, что необходимо учитывать при внедрении новых сортов и технологий. Так, у сорта яровой пшеницы менее интенсивного типа – Ленинградская 97, в годы исследований, формирование урожая зерна и содержание сырого белка в нем, обусловлено в большей степени величиной реутилизации азотистых веществ из вегетативных органов, а у сортов интенсивного типа – Эстер и Красноуфимская 100 за счет поглощения азота корневой системой в период формирования и налива зерна. Тем самым при разработке технологического процесса в системе точного земледелия для сорта Ленинградская 97 планирование подкормок после цветения нецелесообразно, в отличие от сорта Эстер и Красноуфимская 100.

Яровой мягкой пшенице в решении проблемы продовольственной безопасности страны отводится одно из ведущих мест, поэтому увеличение её урожайности – главная задача сельхозпроизводителей. Роль высококачественного пшеничного зерна как продукта питания значительно повышается с ростом уровня жизни людей, потребности которого становятся все более разносторонними.

Продуктивность яровой пшеницы во многом зависит от уровня азотного питания растений. «Вся история земледелия свидетельствует о том, что главным условием высоких урожаев является обеспечение растений азотом», – подчеркивал выдающийся агрохимик Дмитрий Прянишников [15]. Только достаточное количество этого элемента может способствовать получению высококачественного зерна. Для производства зерна с высоким содержанием

сырого белка и сырой клейковины, дозы азотного удобрения должны дифференцироваться с учетом сортовых особенностей яровой пшеницы, а также пространственной неоднородности почв и их питательного режима.

Условия, материалы и методы научных исследований

Исследования проведены в полевых условиях биополигона Агрофизического института (Ленинградская область, Гатчинский район, деревня Меньково, северо-западная часть России) в период 2006–2011 гг. на дерново-слабоподзолистых супесчаных почвах с различным гидроморфизмом [5, 9, 10].

Агрохимическое обследование почв опытных участков показало, что содержание общего азота в почве составляет от 0,15–0,30%. Обеспеченность фосфором очень высокая и варьирует от 320 мг/кг до 720 мг/кг (по Кирсанову). Содержание калия высокое и очень высокое и составляет от 169 до 305 мг/кг (по Кирсанову). По величине pH почвы относятся к группе слабокислых или близких к нейтральным.

В опыте использовали семена яровой пшеницы сортов: Ленинградская 97 в качестве стандарта (по хлебопекарным качествам характеризуется как слабая пшеница. Урожайность до 36 ц/га), Эстер (сорт с высокой и стабильной продуктивность, с прекрасными хлебопекарными качествами зерна. Засухоустойчив, легко переносит жесткий климатический стресс. Ценная по качеству пшеница. Урожайность до 65 ц/га) и Красноуфимская 100 (сорт высокоотзывчив на внесение минеральных удобрений, отдача от которых составляет до 80–85%. Превышает другие сорта по полевой всхожести, весеннее-летней выживаемости растений, числу продуктивных стеблей на единицу площади, массе 1000 зерен. Обладает высокой степенью адаптации к почвенно-климатическим условиям. Сорт относится к ценным пшеницам. Урожайность до 70 ц/га) [3]. Норма высева – 5,5 млн. всхожих зерен на 1 га.

Дозы минеральных удобрений рассчитывали на запланированную урожайность зерна яровой пшеницы – 5 т/га с учетом количества питательных веществ по выносу, содержания элементов питания в почве и коэффициентов использования элементов из почвы.

Схема опыта включала в себя варианты по возделыванию яровой пшеницы по высокоинтенсивной технологии с равномерным (вариант – ВИ) и дифференцированным внесением средств химизации (вариант – ТЗ). В качестве контроля включен вариант возделывания яровой пшеницы по экстенсивной технологии ориентированный на использование естественного плодородия земли. Более подробно схема опыта и методические особенности дифференцированного внесения рассмотрены ранее в публикациях [2, 6, 7, 8, 13, 18–20].

Погодно – климатические условия в годы проведения исследований не способствовали получению высоких уровней урожайности зерна изучаемых сортов яровой пшеницы. За шесть опытных лет (рис. 1) период вегетации характеризовался повышенным количеством осадков и низкими среднесуточными температурами и только 2006 год был близким к оптимальному по ГТК (ГТК по Селянинову: для Ленинградской области – 1,9; для России – 1,7)

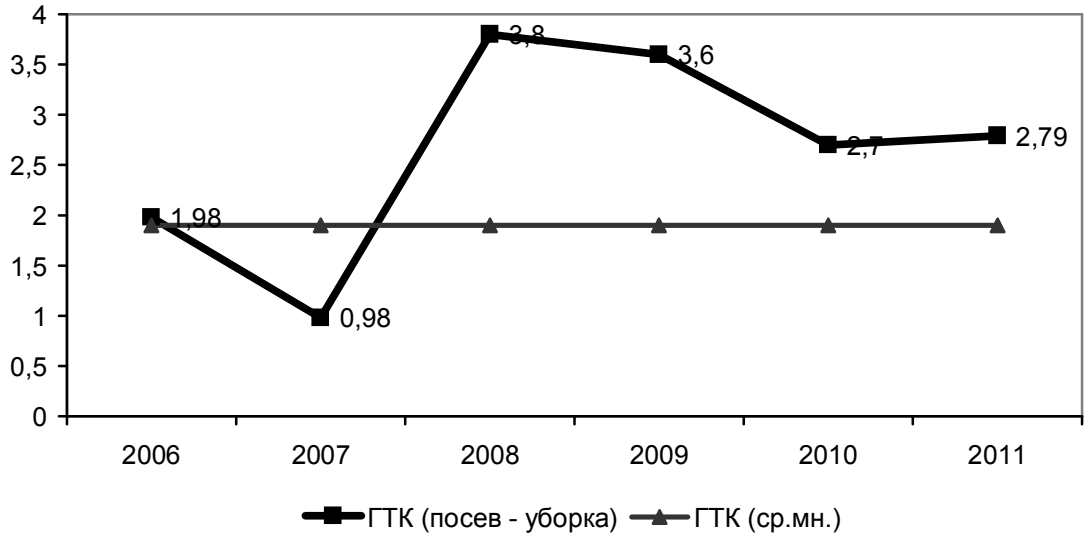


Рис. 1. Гидротермический коэффициент вегетационного периода в годы проведения опыта

Таблица 1. **Урожайность яровой пшеницы при различных уровнях интенсификации технологий, т/га**

Технология (фактор В)	Урожайность зерна по сортам (фактор А)												Среднее по (В)	+/– к конт-ро-лю	+/– к ВИ	+% к ВИ
	Ленинградская 97				Эстер				Красноуфимская 100							
	средняя за 2006–2008 гг.	+/– к контро-лю*	+/– к ВИ**	+% к ВИ	средняя за 2009-2011 гг.	+/– к контро-лю	+/– к ВИ	+% к ВИ	средняя за 2009-2010 гг.	+/– контро-лю	+/– к ВИ	+% к ВИ				
К	2,47	–	–	–	2,50	–	–	–	2,49	–	–	–	2,49	–	–	–
ВИ	3,11	0,64	–	–	3,57	1,07	–	–	3,80	1,31	–	–	3,49	1,00	–	–
ТЗ	3,90	1,43	0,79	25,4	4,03	1,53	0,46	12,9	4,74	2,25	0,94	24,7	4,22	1,73	0,73	20,9
Среднее по (А)	3,16	–	–	–	3,18	–	–	–	3,68	–	–	–	–	–	–	–
P (%) = 1,26 $НСР_{05}$ (АВ) = 0,22 $НСР_{05}$ В = 0,13 $НСР_{05}$ А = 0,14																

Примечание*:* * – прибавка за счёт интенсификации технологии;** – прибавка за счёт дифференциации применения минеральных удобрений и оптимизации азотного питания яровой пшеницы. К – экстенсивная технология; ВИ – высокоинтенсивная технология; ТЗ – высокоинтенсивная технология с дифференцированным применением минеральных удобрений.

Результаты исследований

Результаты проведенных исследований (табл. 1) показали, что независимо от погодно-климатических условий периодов вегетации и сортовых особенностей яровой пшеницы, дифференцированное внесение удобрений повышает урожайность зерна изучаемых сортов. Оптимизация азотного питания яровой пшеницы за счёт дифференцированного применения азотных удобрений позволила обеспечить прибавку урожая от 12,9% (сорт Эстер) до 25,4% (сорт Ленинградская 97). Наибольшая урожайность зерна отмечена у сорта Красноуфимская 100 – 4,74 т/га. Наибольший отклик на увеличение интенсивности технологии отмечался у сорта Красноуфимская 100, где использование современных технологий обеспечило прибавку урожайности зерна 52,6–90%. Следует отметить, что практически равный минимальный уровень урожая зерна (2,47–2,5 т/га), не зависимо от сортовых особенностей, получен при возделывании по экстенсивной технологии (контрольный вариант).

Кроме различия в урожайности зерна сортовые особенности проявляются в содержании общего N в зерне и, соответственно, сборе сырого белка (7, 18). Дифференцированное внесение азотных удобрений в период вегетации, в среднем за годы проведения исследований, увеличивало сбор сырого белка с гектара на 42,6% у сорта Ленинградская 97, на 34,9% у сорта Эстер и на 61,1% у сорта Красноуфимская 100, по сравнению с равномерным внесением средств химизации в высокоинтенсивном варианте (рис. 2).

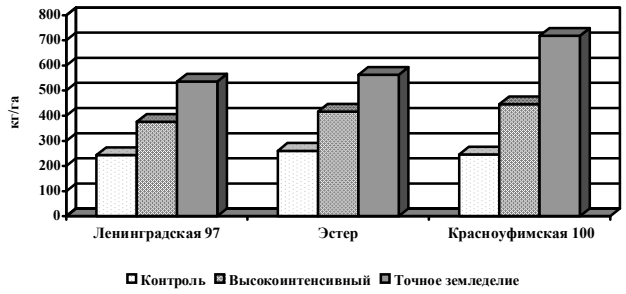


Рис. 2. Сбор сырого белка, кг/га сред. за годы проведения исследований

Отметим, что дифференцированное внесение удобрений позволило получить зерно, соответствующее по содержанию сырого белка первому классу качества, согласно ГОСТ 52554-2006 [5, 7].

Расчет величины факторов, определяющих накопление белка в зерне изучаемых культур, в основу которых положен принцип изменения содержания азота в вегетативной массе в фазу цветения, в зерне и соломе в фазу полной спелости [11, 12] показал, что в годы проведения исследований величина абсолютной реутилизации при возделывании сортов Ленинградская 97 и Эстер по экстенсивной и высокоинтенсивной технологии с равномерным внесением удобрений практически не различались.

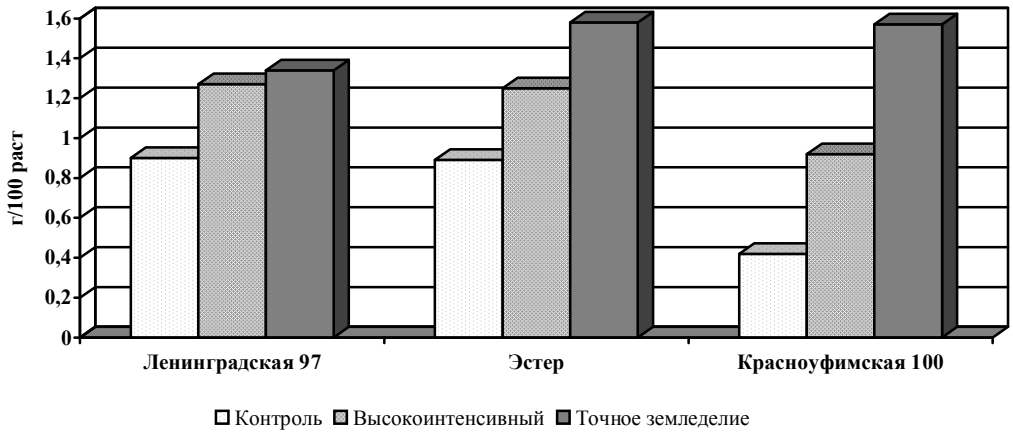


Рис. 3. Реутилизация азота, г/100 раст.

Сортовые особенности изучаемых сортов при возделывании по высокоинтенсивной технологии с дифференцированным внесением удобрений оказывали существенное влияние на величину абсолютной реутилизации азотистых веществ из вегетативных органов в зерно. Так, в сравнении с сортом Ленинградская 97, принятого в исследованиях как стандарт, дифференцированное внесение удобрений увеличивало величину данного показателя: сорта Эстер – 18% и Красноуфимская 100 на 26%. Возделывание сорта Красноуфимская 100 по экстенсивной и высокоинтенсивной технологии привело к снижению данного показателя на 53 и 27% (соответственно). Дифференцированное внесение удобрений у сортов интенсивного типа имело различный эффект, что привело к увеличению значения данного показателя на 71% у сорта Красноуфимская 100 и 26% у сорта Эстер (рис. 3).

Максимальная относительная реутилизация отмечена у сорта Ленинградская 97 при возделывании его по экстенсивной технологии (82,3%) (рис. 4). Усиление уровня интенсификации привело к снижению величины

данного показателя. Аналогичное явление отмечено и при возделывании сорта Эстер. Следует отметить некоторое снижение числовых значений величины относительной реутилизации у более интенсивного сорта Эстер по сравнению с сортом Ленинградская 97 (на 17–24%). Сорт Красноуфимская 100 отличался от ранее рассмотренных сортов по изменению величины относительной реутилизации под действием интенсификации технологии возделывания. Максимальные значения отмечены при возделывании данного сорта по интенсивным технологиям независимо от дифференциации внесения удобрений.

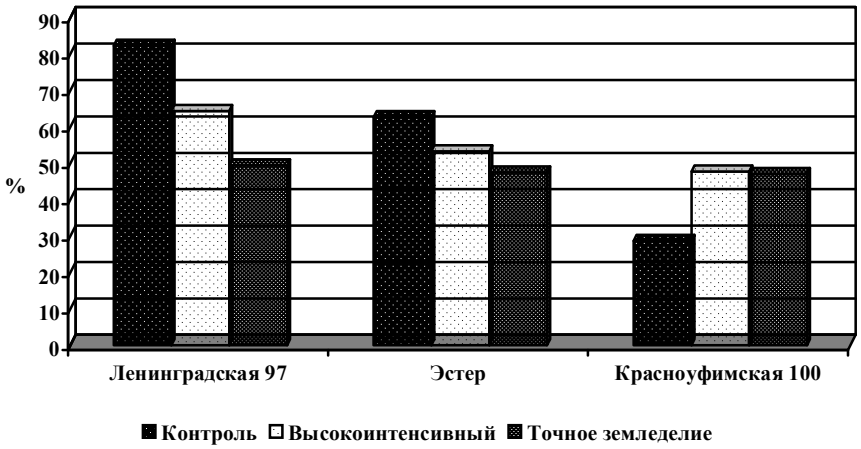


Рис. 4. Реутилизация азота, %

Следует отметить, что при дифференцированном внесении средств химизации в среднем за годы проведения исследований при дифференцированном внесении удобрений у всех изучаемых сортов отмечена практически равная величина относительной реутилизации азотистых веществ в зерно (47–49%).

Данные, приведенные на рис. 5 показывают, что интенсификация технологии возделывания яровой пшеницы сортов Ленинградская 97 и Эстер привело к увеличению абсолютного поглощения азота корневой системой в период формирования и налива зерна (на 0,51–1,18 и 0,56–1,31 г/100 раст. соответственно). При возделывании яровой пшеницы сорта Красноуфимская 100 только дифференцированное внесение удобрений привело к увеличению данного показателя (на 0,74 г/100 раст.).

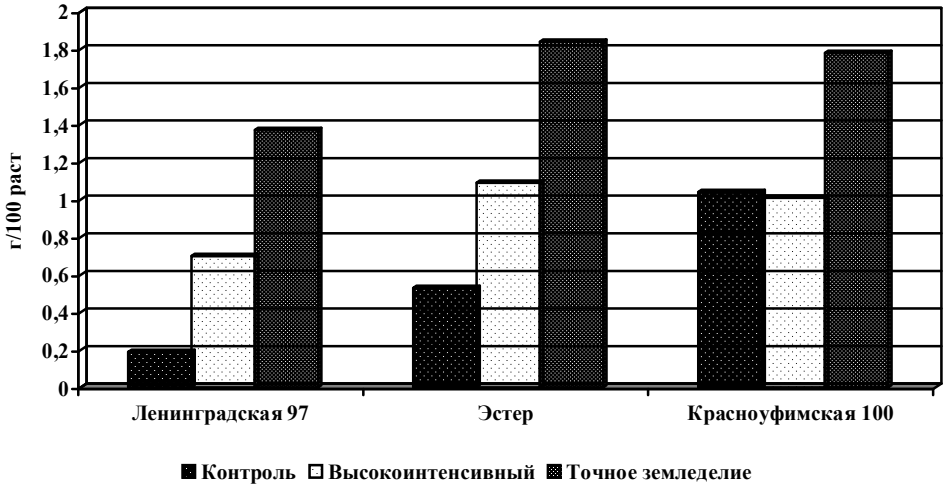


Рис. 5. Поглощение азота корневой системой, г/100 раст.

Следует отметить, что усиление уровня интенсификации только у сорта Ленинградская 97 привело к возрастанию относительного поглощения азота корневой системой в период формирования и налива зерна (рис. 6). Сорта яровой пшеницы интенсивного типа Эстер и Красноуфимская 100 показали противоположные результаты, так при возделывании по экстенсивной технологии, у сорта Эстер отмечена минимальная величина относительного поглощения азота корневой системой в период формирования и налива зерна, а у сорта Красноуфимская 100 – максимальная. Усиление уровня интенсификации у этих сортов привело к увеличению (на 25%) величины относительного поглощения азота корневой системой в период формирования и налива зерна у сорта Эстер и снижению на 26% у сорта Красноуфимская 100. При возделывании по интенсивным технологиям данных сортов различий от способа (дифференциации) внесения удобрений не отмечено. Следует заметить, что, независимо от технологии возделывания, у сорта Красноуфимская 100 в годы проведения исследований отмечена максимальная величина относительного поглощения азота корневой системой в период формирования и налива зерна среди изучаемых сортов.

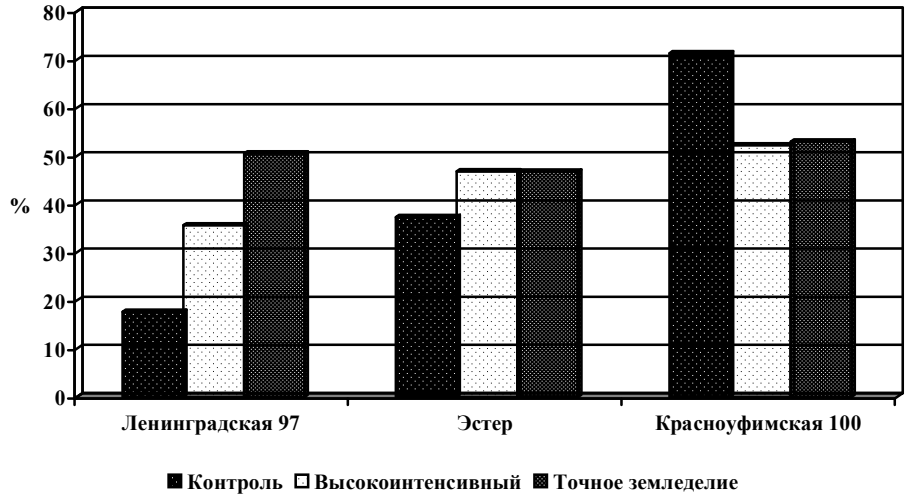


Рис. 6. Поглощение азота корневой системой, %

Известно [11, 12], что основной физиологической причиной, определяющей уровень накопления белка в зерне, является количество азотистых веществ, приходящееся на единицу массы зерна или «Показатель обеспеченности зерна азотом» (Поз. N.) Расчет величины данного показателя (рис. 7) показывает, что усиление уровня интенсификации увеличивает его значение только у двух из изучаемых сортов (Ленинградская 97 и Эстер). У сорта Красноуфимская 100 максимальная обеспеченность зерна азотом отмечена при возделывании по экстенсивной технологии. Следует отметить, что сорт Красноуфимская 100 в годы проведения исследований, не зависимо от технологии возделывания, характеризовался максимальными значениями показателя Поз. N среди изучаемых сортов.

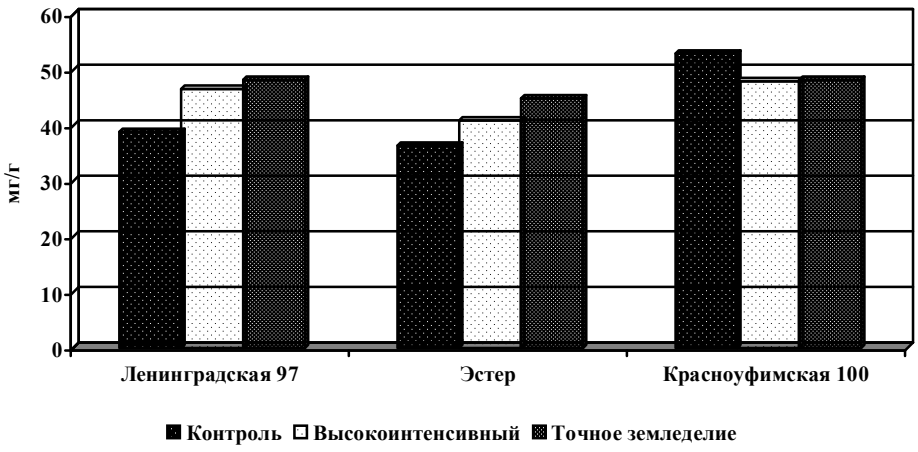


Рис. 7. Показатель обеспеченности зерна азотом Поз. N, мг/г

Заключение

Проведенные исследования показали, что при разработке земледельцем системы удобрения яровой пшеницы в высокоинтенсивных технологиях дозы, сроки и способы внесения азотного удобрения должны определяться с учетом сортовых особенностей.

Так, у сорта яровой пшеницы менее интенсивного типа – Ленинградская 97, в годы исследований, формирование урожая зерна и содержание сырого белка в нем, обусловлено в большей степени величиной реутилизации азотистых веществ из вегетативных органов, а у сортов интенсивного типа – Эстер и Красноуфимская 100 за счет поглощения азота корневой системой в период формирования и налива зерна. Тем самым при разработке технологического процесса в системе точного земледелия для сорта Ленинградская 97 планирование подкормок после цветения нецелесообразно, в отличие от сорта Эстер и Красноуфимская 100.

Сорт яровой пшеницы Красноуфимская 100 в проведенных исследованиях характеризовался формированием большего уровня урожайности зерна и большей отзывчивостью на новые подходы к дифференцированному внесению удобрений (24,7%) в отличие от сорта Эстер (12,9%), а также большей стабильностью уровня урожайности в неблагоприятные по погодно-климатическим условиям годы возделывания.

Таким образом, при внедрении системы точного земледелия выбор более интенсивного сорта позволяет получать больший уровень урожайности зерна и больший сбор сырого белка с ед. площади.

Список литературы

1. Балашов Е.В., Моисеев К.Г., Рижия Е.Я., Бойцова Л.В., Гончаров В.Д., Зинчук Е.Г., Бучкина Н.П. Комплексная система мониторинга агрофизического состояния почв на основе результатов почвенного картирования и исследования эмиссии парниковых газов // Агрофизика. 2013. № 4 (12). С. 1–11.

2. Воропаев В.В., Лекомцев П.В., Якушева О.И. Управление продуктивностью и качеством зерна яровой пшеницы на фоне почвенной неоднородности / Методическое и экспериментальное обеспечение адаптивно – ландшафтных систем земледелия. СПб.: ПИЯФ РАН, 2007. С. 214–227

3. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию Том 1. Сорта растений (Официальное издание) // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации и ФГБУ «Госсорткомиссия». М., 2012. С. 483

4. ГОСТ Р 52554-2006. ПШЕНИЦА. Технические условия. Издание официальное. М.: Стандартинформ, 2006. С. 15

5. Зинчук Е.Г., Моисеев К.Г. Исследования почв Меньковского филиала ФГБНУ Агрофизического научно-исследовательского института // В сборнике: «Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия». Сборник докладов научно-практической конференции с Международным участием Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В. В. Докучаева». 2016. С. 114–115.

6. Иванов А.И., Иванов И.А., Якушев В.В., Лекомцев П.В., Воропаев В.В., Конашенков А.А., Баева С.С., Иванова Ж.А., Панова Г.Г., Пономарева Л.В., Степанова О.А., Цветкова Н.П., Ермаков Е.И. Рекомендации по применению технологий агрохимических, агробиологических и реабилитационных мероприятий. СПб, 2009. С. 208

7. Лекомцев П.В. Научно-методическое обеспечение управления продукционным процессом яровой пшеницы в системе точного земледелия// автореферат диссертации Издательство: Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН (Санкт-Петербург), 2015. 48 с.

8. Лекомцев П.В., Матвеенко Д.А. Оптимизация внесения азотных подкормок по оптическим характеристикам посевов яровой пшеницы // Известия СПбГАУ. 2011. № 24. С. 62–67.

9. Моисеев К.Г., Зинчук Е.Г. Крупномасштабная почвенная карта Меньковского филиала агрофизического института Россельхозакадемии // Агрофизика. 2014. № 3 (15). С. 8–17.

10. Моисеев К.Г., Рижия Е.Я., Бойцова Л.В., Зинчук Е.Г., Гончаров В.Д. Корректировочные работы по крупномасштабному почвенному картографированию Меньковского филиала Агрофизического института Россельхозакадемии // Агрофизика. 2013. № 1 (9). С. 30–36.

11. Павлов А.Н. Результаты исследований физиологических основ минерального питания растений / Тр. ВИУА. М., 1990. С. 3.

12. Павлов А.Н., Синицын С.С. Методические рекомендации по определению физиологических показателей для отбора высокобелковистых генотипов пшеницы и других злаковых культур. М., 1986. 11 с.

13. Пермяков Е.Г., Комаров А.А. Использование метода функциональной диагностики в хозяйствах Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского аграрного университета. 2013. № 32. С. 65–71.

14. Программа и методика исследований в Географической сети опытов по комплексному применению средств химизации в земледелии М.: ВИУА, 1990. 187 с.

15. Прянишников Д. Н. Избранные сочинения: в 4 т. / Д. Н. Прянишников. М.: АН СССР, 1951–1955. Т. 3: Агрохимия / [отв. ред. Н. А. Максимов]. 1952. 630 с.

16. Семенов В.М. Образование «экстра»-азота в удобряемых почвах и его роль в питании растений / В. М. Семенов // Агрохимия. 1999. № 8. С. 5–13.

17. Соколов О.А., Семенов В.М Методология оценки азотного питания сельскохозяйственных культур // Агрохимия, 1994. № 9. С. 137–149.

18. Якушев В. В. Точное земледелие: Теория и практика. СПб., 2016. 308 с.

19. Якушев В.П., Лекомцев П.В., Первак Т.С., Воропаев В.В. Анализ экономической эффективности возделывания яровой пшеницы в системе точного земледелия // Агрофизика. 2016. № 1. С. 43–52.

20. Якушев В.П., Лекомцев П.В., Петрушин А.Ф. Точное земледелие: опыт применения и потенциал развития // Информация и космос. № 3. 2014. С. 50–57.

ОЦЕНКА ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ ПО БИОПРОДУКТИВНОСТИ ПОСЕВОВ

Е. А. Дунаева

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Целью данной работы было провести косвенную оценку обеспеченности водными ресурсами сельских территорий с использованием данных дистанционного зондирования Земли и агрогидрологического моделирования. Анализ проведен для полей ФГБУН «НИИСХ Крыма» Красногвардейского района Республики Крым за период 2015–2016 гг. Результаты апробации показали сходимость полученных данных агрогидрологического моделирования (ArcSWAT) для ряда однолетних культур. Адаптация модели к агропочвенным и физико-географическим условиям территории позволит моделировать условия биопродуктивности территории в разные по водообеспеченности годы и получать осредненные оценки потенциального уровня устойчивого развития.

The purpose of this work was to make an indirect assessment of the water availability of rural areas using Earth remote sensing data and agrohydrological modeling. The analysis was carried out for the fields of FSBSI "RIAC" Krasnogvardeysky district of the Republic of Crimea for the period 2015-2016. The results of the approbation showed the convergence of the obtained agrohydrological modeling data (ArcSWAT) for a number of annual crops. Adapting the model to the agro-soil and physiographic conditions of the territory will allow modeling the bioproductivity conditions of the territory in different water availability years and obtaining average estimates of the potential level of sustainable development.

Оценка водообеспеченности территории может быть проведена различными методами, в том числе, одним из показателей в условиях богарного земледелия является биопродуктивность посевов, которая, при достаточном наличии питательных веществ в почве и высокой технологии земледелия, становится основным лимитирующим фактором роста растений, т. е. представляет отклик растения на условия произрастания.

И если данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) являются признанным и эффективным инструментом картирования биопродуктивности (Lu, 2006; Лупян и др., 2014), использование агрогидрологического моделирования в данном контексте имеет гораздо меньшее распространение, хотя, в задачах связанных с анализом изменения климата они распространены достаточно хорошо (Попович, 2013; Попович, 2015). К одной из таких моделей относится SWAT (Neitsch et al., 2010), в настоящее время апробированная в большинстве регионов мира (Bressiani, 2015; Francesconi, 2016). Хотя разработчиками данной модели являются департамент сельского хозяйства

(USDA Agricultural Research Service, США) и Техасский Университет (Texas A&M University, США), при ее использовании на локальном уровне возникает целый ряд проблем/особенностей, решение которых позволит задействовать данный инструментарий на уровне отдельных полей, севооборотных участков, границ сельского поселения или районов.

Особенностью модели SWAT является ее ориентация на бассейновый принцип анализа, при использовании которого, особенно при применении многолетних рядов данных наблюдаются элементы автокалибрации, в т.ч. при моделировании стока.

Для апробации модели SWAT и оценки эффективности ее использования в Крыму после прекращения водозабора на полуостров по системе Северо-Крымского канала для моделирования водообеспеченности сельских территорий проведено сравнение ряда расчетных выходных параметров модели с данными ДЗЗ и материалами наземных наблюдений. Применение модели на локальном уровне существенно увеличивает зависимость точности результатов моделирования от достоверности исходных данных, а также требует более тщательной регионализации параметров модели, включая:

– картирование землепользования по годам на уровне полей и полевых участков;

– создание гео-баз данных характеристик почвогрунтов;

– уточнение баз данных (БД) динамики развития сельскохозяйственных культур и параметров технологий их возделывания;

– создание 3D моделей локальных участков поверхности.

Проведенная апробация модели SWAT по данным возделывания отдельных сельскохозяйственных культур в 2015, 2016 гг. на полях ФГБУН «НИИСХ Крыма» (Клепининское сельское поселение, Красногвардейский район, Крым) показала неплохую сходимость для ряда культур, например, суданская трава 97,6 и 107,9 ц/га и подсолнечник 18,9 и 20,5 ц/га, в 2015 и 2016 гг. соответственно. SWAT позволяет моделировать не только актуальную (без учета потерь при уборке) урожайность, но и потенциальную в данных

условиях, т.е. такую урожайность, уровень которой может быть достигнут в случае, когда растение полностью обеспечено элементами питания и водными ресурсами. Вместе с тем, существенное отличие актуальной урожайности, которая при богарной системе земледелия в условиях засушливого климата при высоком уровне агротехнологии в первую очередь определяется уровнем водообеспеченности, позволяет оценить процент снижения урожая за счет недостатков технологии или обеспеченности удобрениями.

Адаптация пространственных агрогидрологических моделей (SWAT) к агропочвенным и физико-географическим условиям территории крымского полуострова позволит моделировать условия биопродуктивности территории в разные по водообеспеченности годы и получать осредненные оценки потенциального уровня его устойчивого развития.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект № 16-35-00059 мол_а

Список литературы

1. Lu D. The potential and challenge of remote sensing based biomass estimation. International Journal of Remote Sensing, 27 (2006), p. 1297–1328. DOI: 10.1080/01431160500486732

2. Лупян Е. А., Барталев С. А., Толпин В. А., Жарко В. О., Крашенинникова Ю. С., Оксюкевич А. Ю. Использование спутникового сервиса ВЕГА в региональных системах дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014. Т. 11. № 3. С. 215–232.

3. Попович В. Ф. Використання агрогідрологічних моделей щодо оцінки водозабезпеченості зрошувальних модулів з метою визначення пріоритетів модернізації та реконструкції зрошувальних систем / В. Ф. Попович // Вісник НУВГП / Серія: Технічні науки, 2013. Вип. 1(61). С. 33–40. ISSN 2306-5478.

4. Попович В. Ф. Учет влияния возможных тенденций изменения климата на водообеспеченность территории // Научная дискуссия: гуманитарные, естественные науки и технический прогресс. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. 2015. С. 51–54.

УДК: 631.58:551.5

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ПРЕЦИЗИОННОМ ОПЫТНОМ ДЕЛЕ

Е. П. Митрофанов, В. П. Якушев

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

Введение

В настоящее время для эффективного решения широкого круга задач точного земледелия и экологии всё более перспективным и актуальным становится применение данных дистанционного зондирования (ДДЗ) Земли. В качестве носителей такой информации могут выступать как космические снимки, так и аэрофотоснимки. Методы обработки ДДЗ позволяют проводить оперативное обнаружение чрезвычайных ситуаций на сельскохозяйственных полях (Янников и др., 2012), осуществлять оценку состояния посевов и систем мелиорации (Якушев и др., 2010; Петрушин и др., 2016; Bure, Mitrofanova, 2017), управлять урожайностью (Лекомцев, 2015) и т. п. Основным преимуществом дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является возможность быстрого сбора данных с высокой информативностью их значений. ДЗЗ особенно подходит для мониторинга больших территорий, используемых в сельском хозяйстве. В ближайшие 10–20 лет благодаря развитию технологий в нашей стране существенно расширится применение беспилотных авиационных и околоземных космических систем. Возникнет новый глобальный сетевой рынок информационных, логистических и иных услуг, предоставляемых средствами и методами ДЗЗ. Благодаря развитию ГЛОНАСС снизятся стоимость и массогабаритные показатели устройств местоопределения различных объектов на Земле. Повысятся точность, детализация и актуальность пространственных данных. На смену картографическим придут трехмерные пространственные данные, создаваемые и актуализированные преимущественно автоматическим способом. Повысятся также возможности сбора и обработки ДДЗ, одновременно с увеличением

потребности по проведению регулярной аэрофотосъемки из-за ужесточения требований по важности пространственных данных для задач точного земледелия.

Наряду с использованием ДДЗ в задачах оценки состояния посевов и мелиоративных систем, определения стрессовых условий для развития экогенетических и физиологических механизмов регуляции продукционного процесса растений средства и методы ДЗЗ можно эффективно применять в опытном деле. Материалы аэрофотосъемки позволяют повысить оперативность получения натурных данных, снизить материальные расходы и трудозатраты на проведение исследований, ускорить производство НИР, а также повысить достоверность и полноту информации за счет оптимизации сроков и условий съемки. Особенность ДДЗ заключается в том, что аэрофотоснимки позволяют анализировать значительные площади экспериментальных посевов, что при наземных исследованиях практически невозможно. Эффективность проведения полевых опытов с помощью ДДЗ подразумевает получение информации в нужный момент, а для этого пока наилучшим решением является использование беспилотных летательных аппаратов. Далее кратко рассмотрим некоторые возможности ДЗЗ в полевых исследованиях.

Выбор земельного участка под размещение делянок опыта. По классической методике Доспехова Б. А. земельный участок, предназначенный для закладки опыта, должен отвечать нескольким основным требованиям: типичность или репрезентативность, а также однородность его почвенного покрова, обеспечивающая достаточную точность результата опыта (Доспехов, 1979). Выделить однородный участок часто бывает довольно трудно, необходимо тщательно изучить его историю, провести почвенное обследование, внимательно изучить рельеф, засоренность и другие параметры.

Без изучения почвы нельзя говорить о типичности опыта, почва опытного участка должна быть однообразной. В современных условиях результаты почвенных обследований обрабатываются и хранятся с применением геоинформационных систем. В последнее время наряду с классическим

обследованием почв, выполняемым с помощью почвенных разрезов, начали применяться методы классификации почв на основе ДДЗ.

Однако каким бы детальным ни было почвенное обследование, оно не может выявить микропестроту почв. Поэтому очень важно наблюдать за состоянием культурной или дикой растительности будущего опытного участка в течение нескольких лет. Такое наблюдение позволяет выявить, где расположены пятна с наиболее бедной и плодородной почвой. Для осуществления таких наблюдений эффективным средством является применение ДДЗ.

В наших исследованиях для получения ДДЗ был использован квадрокоптер «Геоскан 401», оснащенный двумя фотокамерами для съемки в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра. Высота полетов составляла в среднем 75 метров, пространственное разрешение снимков составляла 2 сантиметра на пиксель. Среднее количество фотоснимков за один пролет над опытным полем – 200–250 снимков. Периодичность полетов составила 7–10 дней в течение года. Полученные данные обрабатывались с помощью специализированного программного обеспечения. Сшивка и выравнивание осуществлялись в программе Agisoft PhotoScan. Тематическая обработка и выделение однородных участков поля производилось в программах QGis и Erdas Imagine.

На рис. 1 представлен пример выделения однородных зон одного и того же поля с помощью аэрофотоснимков, полученных в разные временные периоды. Классификация однородных зон проводилась с помощью алгоритма ISODATA (Итерационный алгоритм автоматической организации анализа данных). На рисунке видно, что существуют различия в выделенных зонах, однако можно выделить зоны их пересечения, такой подход представляется наиболее целесообразным для выбора участка, предназначенного для закладки прецизионного опыта с удобрениями.

На рис. 2 представлен результат пересечения этих аэрофотоснимков, на иллюстрации также выделены четыре кластера, которые являются

пересечением соответствующих однородных зон за рассмотренные три периода времени. Соответственно, закладку опытов целесообразно проводить на данных участках, т. к. присутствующая там однородность представляется более устойчивой в динамике.

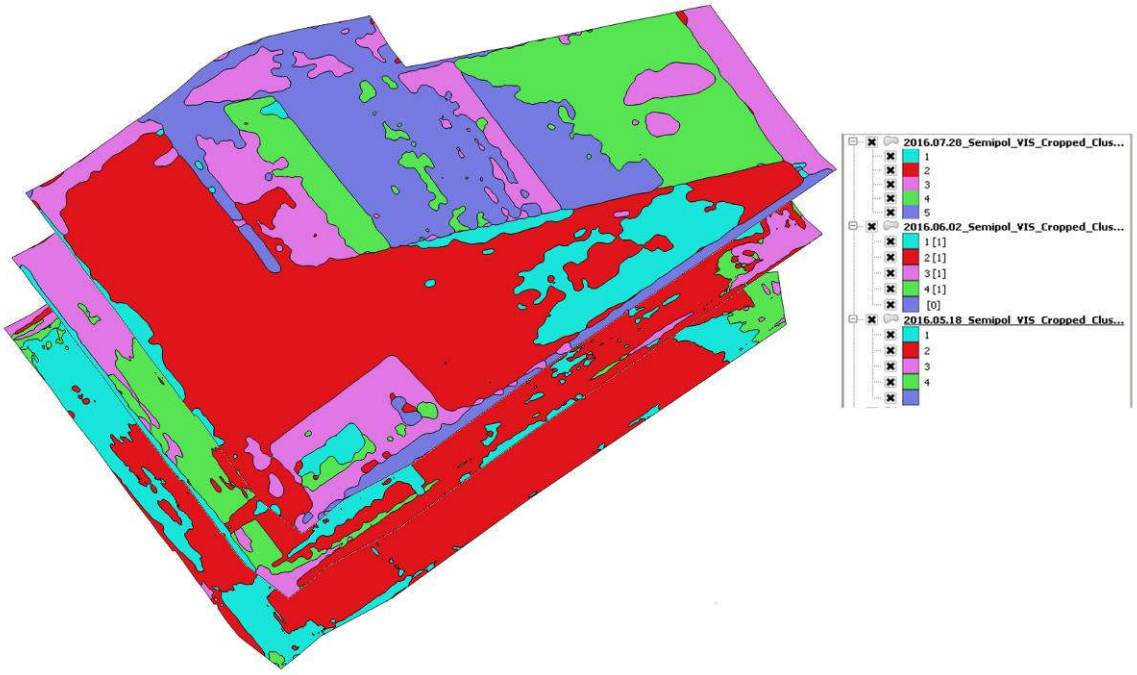


Рис. 1. Пример выделения однородных зон поля (4 кластера) за три временных периода

В качестве альтернативного подхода к почвенному обследованию сельскохозяйственного поля и выделения однородных зон в Агрофизическом институте применяется специальный мобильный комплекс для точного земледелия, состоящий из движителя (автомобиль Нива), автоматического почвенного пробоотборника, спутниковой системы позиционирования (GPS), бортового компьютера и программного обеспечения. Методика обследования поля с помощью этого комплекса состоит из следующих основных этапов:

- вначале комплекс объезжает поле и сохраняет в памяти бортового компьютера полученный контур с точностью GPS-приемника;
- затем на созданный контур накладывается сетка, разбивая таким образом обследуемое поле на элементарные участки;
- на следующем этапе производится отбор проб на каждом элементарном участке, при этом пробоотборник делает 10-15 уколов на участке, останавливаясь при каждом уколе;

- далее проводится агрохимический анализ полученных проб в лаборатории;
- на заключительном этапе полученные данные обрабатываются с помощью специальных ГИС-программ.

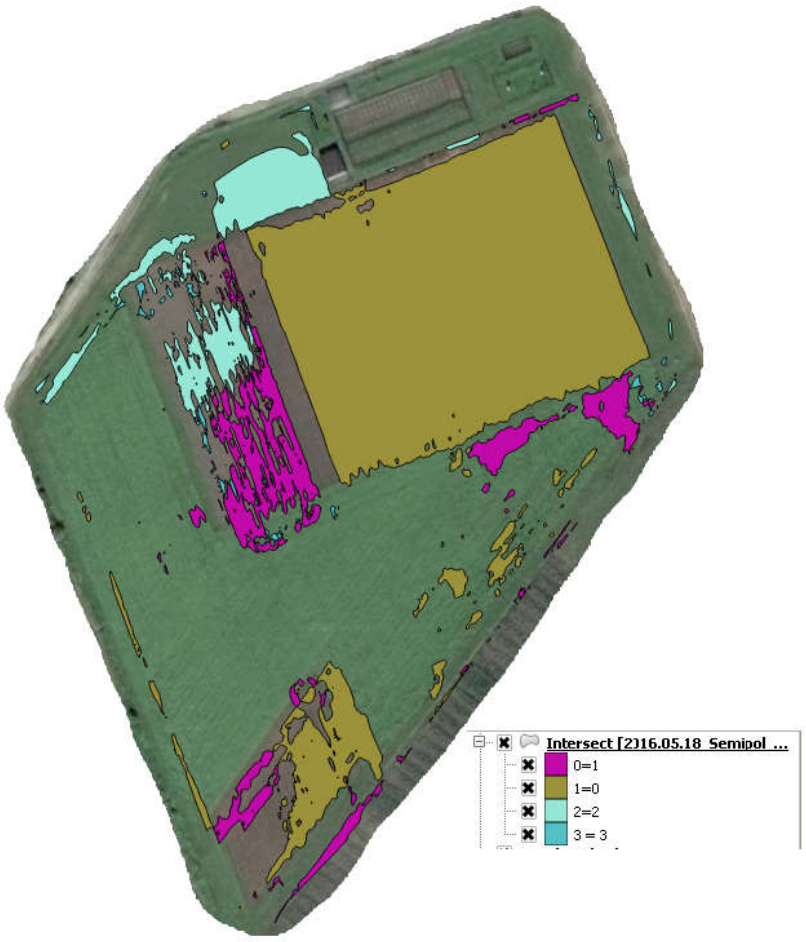


Рис. 2. Результат пересечения аэрофотоснимков с выделенными однородными зона за три временных периода (4 кластера)

Следовательно, для выделения однородных зон и выбора земельного участка под размещение делянок опыта более перспективным представляется использование беспилотных летательных аппаратов, позволяющих проводить анализ оперативно и с меньшими трудозатратами.

Совершенствование методики проведение полевых опытов с агрохимикатами при возделывании сельскохозяйственных культур

Физиологическое состояние агрофитоценоза является интегральным показателем, позволяющим провести комплексную оценку всего почвенно-растительного комплекса, что осуществляется при оценке состояния посева

контактными и дистанционными методами. Известно, что если дефицит питательных элементов, воды и действие других стрессоров не ограничивают рост растений, между нетто-продуктивностью и показателями емкости фотосинтетической системы существует тесная связь. В этом случае прогноз нетто-продуктивности с высокой точностью может быть сделан по величине соответствующих спектральных индексов.(Yakushev, Kanash, 2017)

В используемой Агрофизическим НИИ методике по проведению полевых опытов с агрохимикатами и при осуществлении комплексного мониторинга состояния почвенно-растительных систем ключевая роль отводится тестовым площадкам на каждом сельскохозяйственном поле и тестовым полигонам в различных почвенно-климатических районах РФ. Методика закладки и использования тестовых площадок для оценки физиологического состояния посевов, а именно обеспеченности культурных растений элементами питания, ранее апробированная на полях Меньковского филиала АФИ (Якушев и др., 2010; Матвеенко и др., 2012; Лекомцев, 2015), может быть усовершенствована за счет изложенного выше подхода. В частности, возможность более оперативно выделять устойчивые однородные зоны по продуктивности, позволяет более точно определить координаты на поле, где целесообразнее закладывать тестовые площадки для проведения прецизионного опыта с удобрениями.

Таким образом, методы получения и обработки ДДЗ в полной мере могут найти свои применения для проведения полевых экспериментов. При этом такие методы позволяют автоматизировать решение подобных задач точного земледелия, снизить материальные расходы и трудозатраты, а также обеспечить оперативность получения результатов.

Список литературы

Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.

Лекомцев П. В. Научно-методическое обеспечение управления продукционным процессом яровой пшеницы в системе точного земледелия. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. СПб.: АФИ, 2015.

Матвеенко Д. А. и др. Дифференцированное внесение азотных удобрений по результатам аэрофотосъемки посевов яровой пшеницы // В сборнике: Тенденции развития агрофизики в условиях изменяющегося климата, СПб. 2012. С. 527–530.

Петрушин А. Ф., Митрофанов Е. П., Митрофанова О. А. Цифровая модель рельефа местности для мониторинга мелиоративных сооружений // В сборнике: Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления, СПб. 2016. С. 47–451.

Якушев В. П. и др. Теоретические и методические основы выделения однородных технологических зон для дифференцированного применения средств химизации по оптическим характеристикам посева (практическое пособие). СПб: АФИ, 2010. 59 с.

Янников И. М. и др. Применение беспилотных летательных аппаратов при разведке труднодоступных и масштабных зон чрезвычайных ситуаций // Вектор науки ТГУ, № 3(21), 2012. С. 49-53.

Bure V. M., Mitrofanova O. A. Analysis of aerial photographs to predict the spatial distribution of ecological data // Contemporary engineering sciences, V. 10, no. 4. 2017. P. 157–163.

Yakushev V., Kanash E., Rusakov D., Blokhina S. Specific and non –specific changes in optical characteristics of spring wheat leaves under nitrogen and water deficiency // Pecision Agriculture (ECPA) 2017, 8:2, pp. 229–232.

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ РАДАРНОЙ И ОПТИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

А. Ф. Петрушин, Е. П. Митрофанов

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

Как правило, безоблачные космические снимки оптического диапазона на территорию Северо-западного региона, за вегетационный период, доступны в конце весеннего периода и в начале осени. В летний период высокая облачность препятствует получению снимков. В статье рассмотрена возможность использования данных радарной космической съемки в случаях, когда нет возможности получить снимки оптического диапазона с космических аппаратов по причине высокой облачности.

Введение. Европейское космическое агентство (European Space Agency ESA) 3 апреля 2014 года дала старт программе глобального мониторинга окружающей среды и безопасности «Коперник» [1] запуском первого спутника Sentinel-1A. 25 апреля 2016 года был запущен второй спутник этой серии Sentinel-1B. Эти спутники интересны тем, что ведется непрерывное круглосуточное сканирование поверхности земли в С-диапазоне 5,405 ГГц, с интервал повторения 6 дней.

Основное преимущество радарной космической съемки перед мультиспектральной заключается в том, что результаты съемки не зависят от облачности и времени суток. Для осуществления сканирования земной поверхности, радарный спутник посылает импульс высокой мощности, а затем принимает отраженный сигнал в разной поляризации.

При мониторинге состояния сельскохозяйственных угодий, необходимо наличие оперативной информации о состоянии объекта и среды его обитания, что бывает недоступно для мультиспектральных спутников по причине высокой облачности. Как правило, для зоны Северо-Запада России, безоблачные мультиспектральные снимки доступны в поздневесенний и раннеосенний периоды, а основной период, когда необходима информация о состоянии посевов – это период вегетации начала лета, когда возможно скорректировать развитие растений. Для радиолокационных спутников облачность не является помехой и информация доступна после пролета

космического аппарата (КА), но возникает другая проблема – это интерпретация получаемой космической информации. На основе мультиспектральной информации с КА, возможно построение карт распределения вегетационных индексов, которые уже достаточно изучены и широко применяются в практике [2]. По радиолокационной информации возможно выделение однородных зон на поле, с дальнейшей их калибровкой по доступной мультиспектральной информации за предыдущие периоды.

Получение данных радиолокационных данных Sentinel-1. Результаты сканирования земной поверхности КА Sentinel-1 находятся в открытом доступе на сайте Copernicus Open Access Hub [3]. Результаты съемки доступны в сыром виде (RAW) и предварительно обработанные SLC (single look complex), GRD (ground range detected). Уровень обработки SLC представляет собой комплексные радиолокационные данные (которые содержат и амплитуду, и фазу сигнала), представленные в проекции наклонной дальности. Обработка GRD — амплитудное (амплитуда на радиолокационном изображении является аналогом яркости на снимках видимого диапазона) радиолокационное изображение, трансформированное в проекцию наземной дальности.

Портал Copernicus Open Access Hub, после бесплатной регистрации, позволяет выбрать интересующую территорию, период съемки и уровень обработки, после чего имеющиеся в архиве данные можно беспрепятственно скачать для дальней обработки.

Обработка данных Sentinel-1. Основным недостатком радиолокационных снимков является их сильная зашумленность и автоматическая дешифровка невозможна, без предварительного удаления этих помех. Поэтому на первом этапе к изображению применяются фильтры, сглаживающие изображение. Параметры фильтрации подбираются таким образом, чтобы не потерять уровень детальности и получить удовлетворительный результат. После фильтрации проводится операция выделения однородных зон на исследуемом объекте.

Сопоставление результатов радиолокационной и мультиспектральной съемок. В качестве объекта исследований использовались земли ЗАО «Гомонтово», Волосовский район Ленинградской области. На территорию этого хозяйства доступны безоблачные снимки мультиспектральных КА на следующие даты: 13.04.2016 (Landsat-8), 07.05.2016 (Sentinel-2), 13.05.2016 (Landsat-8), 24.05.2016 (Sentinel-2), 03.07.2016 (Sentinel-2), 22.08.2016 (Sentinel-2).

Снимки радиолокационного КА sentinel-1 доступны на следующие даты: 10.04.2016, 22.04.2016, 28.05.2016, 09.06.2016, 21.06.2016, 03.07.2016, 15.07.2016, 27.07.2016, 08.08.2016, 20.08.2016, 01.09.2016, 13.09.2016.

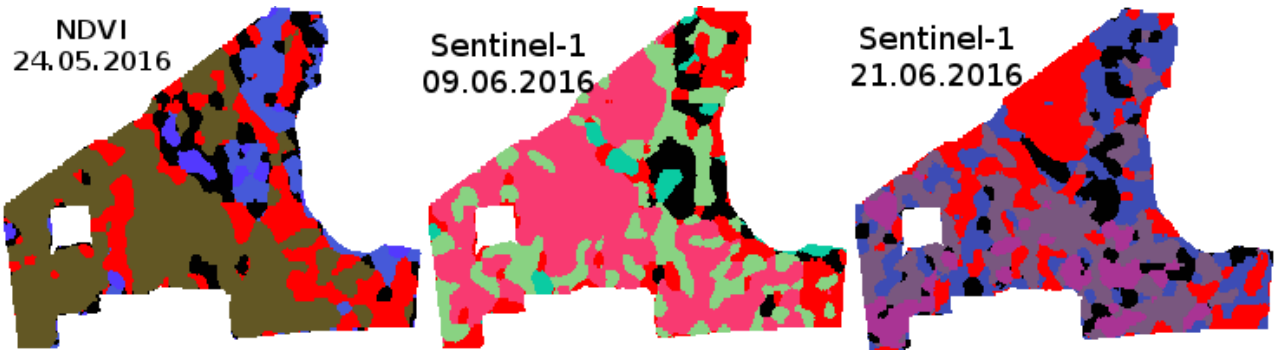


Рис. 1. Зоны неоднородности

Из доступных снимков мультиспектрального диапазона видно, что за летний период, когда необходима периодическая информация о состоянии посевов, доступна только одна дата 03.07.2016. Для получения актуальной информации о состоянии посева за июнь месяц на интересующий контур, нами рассчитывался вегетационный индекс NDVI по данным КА Sentinel-2 (24.05.2016), выделялись зоны неоднородности методом кластеризации ISODATA. Затем этим же методом, по данным радарной съемки на даты 09.06.2016 и 21.06.2016 так же выделялись зоны неоднородности. Как видно на рисунке 1, за июнь месяц зоны неоднородности изменились, но не кардинально. Откалибровав снимок радиолокационной съемки по данным NDVI мультиспектральной съемки, его возможно использовать для принятия управленческих решений по дифференцированному возделыванию сельскохозяйственных угодий.

Таким образом, проведенное исследование показывает, что при отсутствии мультиспектральных снимков на интересуемую территорию по причине облачности, возможно использование радиолокационных данных, при условии их калибровки по доступным данным за предыдущие даты.

Список литературы

Copernicus / Europe's eyes on Earth. URL: http://www.copernicus.eu/

Якушев В.П., Лекомцев П.В., Матвеенко Д.А., Петрушин А.Ф., Якушев В.В. Применение дистанционного зондирования в системе точного земледелия // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 1. С. 23–25.

Copernicus Open Access Hub. URL: http://scihub.copernicus.eu/dhus/

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИБОРОВ N-ТЕСТЕР™ И GREENSEEKER™ НА ПОСЕВАХ ЯРОВОЙ ТРИТИКАЛЕ

А. В. Пасынков[1], Е. Н. Пасынкова[2]

[1]*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»;*

[2]*Северо-Западный центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения*

E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

В начальный период вегетации (кущение) более точно (по величине R^2) урожайность зерна яровой тритикале связана с величиной NDVI (GreenSeeker™), в фазу трубкования – оба прибора показали практически одинаковую точность, а в фазу цветения – преимущество осталось за N-тестером™. Однако сравнительно короткий период наблюдений не позволяет сделать однозначных выводов о более высокой эффективности того или иного прибора.

THE EFFICIENCY OF THE DEVICES N-TESTER™ AND GREENSEEKER™ ON CROPS OF SPRING TRITICALE

A.V. Pasynkov[1], E.N. Pasynkova[2]

[1]*Agrophysical Research Institute;*

[2]*Northwest Center for interdisciplinary Research of food supply problems*

An urgent task is further improvement of methods of complex diagnostics of mineral nutrition of plants with the aim of their balance in plants during the growing season for the formation of a high yield with the desired biochemical composition. Currently there are several methods of plant diagnostics: visual, biometric – physiological, chemical, functional diagnostics, and remote. For the aim of remote diagnostics in the field, the largest spread is currently getting fitted N-tester™ (firm Jara) and GreenSeeker™.

The efficiency of the devices N-tester and the GreenSeeker were studied in the seeds of spring triticale varieties «Grebeshok» in a field experiment conducted on sod-podzolic, sandy loam soil in 2015 and 2016. In the scheme of the experiments included control (without any nitrogen) and with increasing doses of nitrogen fertilizers (N30, N60, N90, N120, N150 and N180) made prior to sowing.

Hydrothermal conditions of the spring-summer vegetation period in the first year experience favored, and in the second year were not conducive to forming a high level of yield of grain of spring triticale. Grain yield ranged from 18.2 in the control variant to 49.1 kg/ha in the variant with the introduction of N180 and the average experience was 31.1 kg/ha. With higher doses of nitrogen showed a steady downward trend of increases grain yield compared with the previous dose.

At the tillering stage, more precise (at largest R^2) grain yield of spring triticale linked to the value of NDVI, in the phase of shooting – both devices gave almost the same accuracy as in the phase of flowering – the advantage remained for the N-tester. However, the relatively short observation period does not allow to make unambiguous conclusions about the greater efficiency of one or another device.

Актуальной задачей является дальнейшее совершенствование методов комплексной диагностики минерального питания растений с целью их

сбалансированности в растениях в период вегетации для формирования высокого (или экономически оправданного) урожая с желаемым биохимическим составом. Растительная диагностика – это определение обеспеченности растений элементами минерального питания по их содержанию во всем растении или его индикаторных органах. В настоящее время известны несколько методов растительной диагностики: визуальный, биометрико – физиологический, химический, функциональной диагностики, дистанционный. Визуальный метод диагностики основан на видимых признаках недостатка или избытка элементов минерального питания, а биометрико-физиологический – на определении размера растения, количества и величины его органов, темпах их образования, в результате чего дается заключение о состоянии растения. Химический способ растительной диагностики подразделяется на тканевую и листовую. При тканевой диагностике определяют содержание неорганических соединений (чаще всего нитратов) в тканях растений, а при листовой – во всем растении или в его листьях определяют общее (валовое) содержание элементов питания. Так как листовая диагностика – это количественный метод, то он является более точным, чем метод тканевой диагностики, который в настоящее время практически не применяется. Сущность листовой диагностики заключается в том, что для нормального роста, развития и формирования урожая растения должны иметь определенную концентрацию (содержание) элементов минерального питания в основные фазы роста и развития (Методические указания …, 1984; Методическое руководство …, 1988; Церлинг, 1990; Державин, 1992; Научные основы …, 2000]. Так как листовая диагностика проводится в основные фазы вегетации, включая фазу полной спелости, то, установив фактическое содержание элементов питания в эти фазы, можно определить потребность растений в элементах, используя достаточно широкий спектр методов их расчета (Айдаров, Завалин, 2017). Еще один метод растительной диагностики – метод диагностики функционального состояния растений, объединяющий два процесса, происходящих в растении: фотосинтеза и минерального питания. Известно, что сахара являются

промежуточным звеном в процессе фотосинтеза из которых в растении образуются углеводы, а также жирные кислоты и глицерин (из которых в дальнейшем синтезируются жиры). Из сахаров также синтезируются органические кислоты, которые, присоединив аммиак, превращаются в аминокислоты, из которых в последующем синтезируются белки. Отмеченное выше позволяет оценивать сахара как важнейший показатель биохимического состава и физиологического состояния вегетирующих растений (Ленинджер, 1985; Измайлов, 1986). Определяя одновременно в динамике сумму сахаров, элементов минерального питания (в частности, азота) и накопление сухой надземной массы, можно не только проводить диагностику функционального состояния растений, но и прогнозировать величину урожая, а также его минеральный и биохимический состав (Пасынкова, Завалин, Пасынков, 2013).

Еще один способ диагностики – дистанционный, который используется для оперативного наблюдения за состоянием посевов с.-х. культур. При его использовании растения и их ткани не разрушаются. Недостаток метода – его невысокая разрешающая способность (Точное сельское хозяйство …, 2009).

Для целей дистанционной диагностики в полевых условиях наибольшее распространение в настоящее время получают приборы N-тестер™ (фирма Jara) и GreenSeeker™. Принцип действия прибора N-тестер основан на тесной зависимости между содержанием хлорофилла и азота в растении, что позволяет по интенсивности окраски листьев определить потребность растений в азоте в период вегетации и установить дозу азотной подкормки. Прибор GreenSeeker позволяет определять величину NDVI (Normalized Difference Vegetation Index или «нормализованный относительный индекс растительности») непосредственно в посевах с.-х. культур (Точное сельское хозяйство …, 2009).

Эффективность приборов N-тестер и GreenSeeker изучалась на посевах яровой тритикале сорта Гребешок (совместной селекции ВИР им. Н. И. Вавилова и Владимирского НИИСХ) в полевом опыте, проведенном на дерново – подзолистой, супесчаной почве Меньковского филиала АФИ в 2015–2016 гг. В схему опытов включены контрольный вариант (без внесения азота) и

варианты с возрастающими дозами азотных удобрений (N30, N60, N90, N120, N150 и N180), внесенных до посева. Повторность опытов – трехкратная.

Весенне-летний период вегетации в 2015 г. характеризовался как засушливый с пониженными температурами в первую, теплый и засушливый – во вторую половину вегетации (ГТК цветение – полная спелость 0,91). Второй год проведения исследований был засушливый с пониженными температурами в начальный период вегетации (ГТК посев – кущение 0,51), прохладный с избыточным увлажнением в вегетативный (ГТК кущение – трубкование и трубкование – цветение 1,91 и 2,47 соответственно), а также в репродуктивный период (ГТК цветение – полная спелость 2,36). То есть, складывающиеся гидротермические условия весенне-летнего периода вегетации во второй год не благоприятствовали формированию высокого уровня урожайности зерна.

Так, в годы проведения исследований урожайность зерна яровой тритикале варьировала в пределах 18,2 в контрольном варианте до 49,1 ц/га в варианте с внесением N180 и в среднем по опыту составила 31,1 ц/га (табл. 1).

Таблица 1. **Урожайность зерна яровой тритикале (ц/га) и показания приборов**

Показатель	Урожайность	N-тестер™ (ед. прибора)	GreenSeeker™ (NDVI)
min…max	18,2…49,1	376…826	0,28…0,83
Сред.	31,1	585	0,62

С повышением доз азота наблюдалась устойчивая тенденция к снижению прибавок урожайности зерна по сравнению с предыдущей дозой. Аналогичным образом изменялась и окупаемость 1 кг азотных удобрений зерном: ее величины снижались с возрастанием доз азота, внесенных до посева.

Анализ зависимостей урожайности зерна от показаний прибора N-тестер по фазам вегетации показал как отсутствие значимых зависимостей в начальный период вегетации (фаза кущения), так и наличие в оба года проведения исследований (2015 и 2016 гг.) прямых средних (фаза трубкования) и тесных (фаза цветения) зависимостей (табл. 2). Анализ зависимостей урожайности зерна от величины NDVI (GreenSeeker™) по фазам вегетации показал значимую отрицательную зависимость в фазу кущения, среднюю

положительную – в последующий период вегетации (трубкование) и наличие значимой нелинейной зависимости в фазу цветения. Так, в фазу цветения с возрастанием величины NDVI от его минимальных величин (наблюдающихся в оба года проведения опыта на фоне без внесения азота) урожайность зерна ярового тритикале возрастает. Однако при каждом последующем увеличении NDVI рост урожайности замедляется и, достигнув точки экстремума (NDVI = 0,65), урожайность зерна начинает снижаться.

Таблица 2. **Зависимости урожайности зерна яровой тритикале (Y, ц/га) от показаний приборов дистанционной диагностики (ед. прибора) (X); n = 14**

Y / X	**ФВ**	Уравнение регрессии	r	R^2
Урожайность / N-тестер™	К	$Y = 68{,}941 – 0{,}078X$	–0,429	0,184
		$Y = 300{,}423 – 1{,}094X + 0{,}001X^2$	–	–0,100
	Т	$Y = –77{,}775 + 0{,}183X$	0,557*	0,311
		$Y = 201{,}138 + 0{,}606X – 0{,}0004X^2$	–	0,187
	Ц	$Y = –74{,}157 + 0{,}142X$	0,852*	0,726
		$Y = 392{,}174 – 1{,}171X + 0{,}001X^2$	–	0,267
Урожайность / GreenSeeker™	К	$Y = 62{,}292 – 73{,}378X$	–0,627*	0,391
		$Y = 70{,}556 – 114{,}111X + 48{,}034X^2$	–	0,282
	Т	$Y = – 136{,}081 + 211{,}493X$	0,617*	0,381
		$Y = 237{,}295 – 755{,}174X + 624{,}271X^2$	–	0,272
	Ц	$Y = 1{,}820 + 46{,}595X$	0,160	0,026
		$Y = –1974{,}510 + 6159{,}709X – 4713{,}386X^2$	**ТЭ** = 0,65	0,196*
GreenSeeker™ / N-тестер™	К	$Y = –0{,}025 + 9{,}173X$	0,596*	0,355
		$Y = 1{,}658 – 0{,}006X + 48{,}034X^2$	–	0,285
	Т	$Y = 0{,}337 + 7{,}659 \cdot 10^{-4}X$	0,797*	0,635
		$Y = –2{,}792 + 0{,}011X – 9{,}128 \cdot 10^{-6}X^2$	ТЭ = 603	0,717*
	Ц	$Y = 0{,}437 + 2{,}877X$	0,503	0,253
		$Y = –1{,}302 + 0{,}005X – 3{,}417 \cdot 10^{-6}X^2$	–	0,343

n = 14 – общее число наблюдений; **ФВ** – фаза вегетации: К – кущение, Т – трубкование, Ц – цветение; 0,557* – значимо при $p < 0{,}05$; **ТЭ** = точка экстремума

Итак, в фазу кущения более точно (по величине R^2) урожайность зерна яровой тритикале связана с величиной NDVI, в фазу трубкования – оба прибора дали практически одинаковую точность, а в фазу цветения – преимущество осталось за прибором контактного действия (N-тестер).

Исследование зависимостей величин NDVI (GreenSeeker™) с показаниями прибора N-тестер™ по фазам вегетации показало, что в начальный период развития растений яровой тритикале (кущение) между ними существует значимая средняя положительная зависимость (табл. 2). В фазу трубкования данная зависимость является более тесной, чем в предыдущую

фазу и более точно (по величине R^2) описывается уравнением параболы (второго порядка) с точкой экстремума, находящейся в пределах полученных экспериментальных данных. В фазу цветения каких-либо значимых зависимостей величин NDVI с показаниями прибора N-тестер не обнаружено. Необходимо отметить, что сравнительно короткий период наблюдений (два года) не позволяет сделать однозначных и корректных выводов о более высокой эффективности того или иного прибора.

Список литературы

1. Методические указания по комплексной диагностике азотного питания озимых зерновых культур. М.: Колос, 1984. 48 с.
2. Методическое руководство по использованию принципов системного подхода в агрохимических исследованиях закономерностей действия удобрений. М.: ВАСХНИЛ, ВИУА, 1988. 72 с.
3. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1990. 235 с.
4. Державин Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. М.: Колос, 1992. С. 97–147.
5. Научные основы и рекомендации по диагностике и оптимизации минерального питания зерновых и других культур / под ред. Н. З. Милащенко. М.: Агроконсалт, 2000. 100 с.
6. Айдаров И.П., Завалин А.А. Обоснование потребности сельскохозяйственных растений в азотных удобрениях в системе комплексных мелиораций земель // Агрохимия, 2017. № 5. С. 56–65.
7. Ленинджер. Основы биохимии / пер. с англ. М.: Мир, 1985. Т. 2. С. 683–713.
8. Измайлов С.Ф. Азотный обмен в растениях. М.: Наука, 1986. С. 59–75.
9. Пасынкова Е.Н., Завалин А.А., Пасынков А.В. Содержание сахаров и общего азота в яровой пшенице по фазам вегетации как диагностические показатели функционального состояния растений // Достижения науки и техники АПК, 2013. № 1. С. 8–11.
10. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture) / под общ. ред. Шпаара Д., Захаренко А.А., Якушева В.П. СПб. – Пушкин, 2009. 397 с.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЕВОВ ПШЕНИЦЫ

В. М. Буре, Е. В. Канаш, О. А. Митрофанова

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

В данной работе предложен подход к анализу колориметрических характеристик посевов пшеницы с различным набором качественных показателей для последующей оценки состояния растений на любом участке сельскохозяйственного поля.

In this paper, an approach is proposed to analyze the colorimetric characteristics of wheat crops with a different set of qualitative indicators for the subsequent assessment of the state of plants in any part of the agricultural field.

Введение

В настоящее время для эффективного решения востребованных задач, связанных с точным земледелием и экологией, всё чаще используются различные методы статистического анализа данных: бинарная регрессия (Якушев, Буре, Парилина, 2015), кригинг (Буре, Митрофанова, 2016), построение калибровочных кривых (Митрофанова, Буре, Канаш, 2016) и т. д.

В данной работе представлен подход к анализу колориметрических характеристик посевов пшеницы с различными качественными показателями с помощью аэрофотоснимков, основанный на классических методах статистики. Для интерпретации параметров цвета используется цветовая модель CIELAB.

Объекты и методы

Объектом исследования является опытное сельскохозяйственное поле, расположенное на территории филиала Агрофизического института в д. Меньково Ленинградской области. Для проведения анализа использовались наземные снимки (рис. 1) и аэрофотоснимки (рис. 2). Аэрофотосъемка проводилась с помощью автоматизированного беспилотного летательного аппарата Геоскан-401 (квадрокоптер), позволяющего получать изображения посевов в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах высокого качества. Собранный с помощью специального программного обеспечения Agisoft PhotoScan в формате Geotiff ортофотоплан сельскохозяйственного опытного поля содержит все тестовые площадки для проведения исследования.

Рис. 1. Пример наземного снимка тестовой площадки посевов пшеницы

В качестве исходных данных для проведения анализа выступают колориметрические характеристики L, a, b посевов на тестовых площадках, представляющих собой небольшие участки поля с известными наборами качественных показателей растений. В данной работе рассмотрен следующий эксперимент: заложены 168 площадок с известной дозой азота (0, 60, 90 кг действующего вещества на 1 га), а также с известными наборами качественных показателей. Всего в опыте было сформировано три группы качественных показателей посевов, каждая с двумя вариантами: размер зерна (крупные, мелкие), наличие сорняков (есть сорняки, без сорняков), нормы высева (6 млн на 1 га, 5 млн на 1 га). Таким образом, всего было сформировано 8 вариантов набора качественных показателей. Целью эксперимента является анализ существования линейной зависимости между цветом посевов и дозой азота с учетом различных качественных показателей.

Рис. 2. Пример аэрофотоснимка тестовых площадок посевов пшеницы

Результаты и их обсуждение

Колориметрические характеристики представляются в виде единой величины, условно названной обобщенной характеристикой цвета (generalized color characteristics) C_{Lab}, которая рассчитывается по формуле:

$$C_{Lab} = \alpha L + \beta_1 a + \beta_2 b,$$

где коэффициенты $\alpha \geq 0$, $\beta_1 \geq 0$ и $\beta_2 \geq 0$ подбираются эмпирически для каждого аэрофотоснимка посева, обеспечивая максимально выраженную линейную связь между дозой азота и характеристикой цвета на тестовых площадках, причем

$$\alpha + \beta_1 + \beta_2 = 1.$$

Для решения задачи были построены восемь уравнений линейных регрессий (для каждого набора качественных показателей), причем в качестве необходимого условия обеспечения наиболее выраженной линейной связи выполнялось следующее выражение:

$$\max_{(\alpha,\beta_1)} \min_{i=1,\ldots,8} R_i^2(\alpha,\beta_1),$$

где R_i^2 – коэффициенты детерминации построенных линейных регрессий.

Таким образом, для каждого набора коэффициентов строились уравнения линейных регрессий, вычислялись коэффициенты детерминации и осуществлялся поиск максимина.

В результате проведенного эксперимента были получены восемь линейных регрессий, статистически значимые в целом. Примечательно, что коэффициент α при составляющей цвета L оказался равен нулю. Это может быть вызвано ошибками во время закладки опыта (тестовые площадки были заложены в разное время).

Заключение

Предложенный подход к анализу колориметрических характеристик посевов пшеницы позволит в дальнейшем оценивать состояние растений на всем поле, при этом возможны различные уровни информированности: на поле заложены тестовые площадки, имеется набор наземных проб в определенных

точках поля и т. п. Однако следует повторить рассмотренный эксперимент, исключив при этом ошибки при закладке тестовых площадок.

Список литературы

Буре В. М., Митрофанова О. А. Прогноз пространственного распределения экологических данных с применением кригинга и бинарной регрессии // Вестник СПбГУ. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2016. Вып. 3. С. 97-105.

Митрофанова О. А., Буре В. М., Канаш Е. В. Математический модуль для автоматизации колориметрического метода оценки обеспеченности растений азотом // Вестник СПбГУ. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2016. Вып. 1. С. 85-91.

Якушев В. П., Буре В. М., Парилина Е. М. Бинарная регрессия и ее применение в агрофизике. СПб: АФИ, 2015. 36 с.

СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ-ЗАДАНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРЕЦИЗИОННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

В. М. Буре[1], А. В. Конев[2]

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет;*

[2]*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)*

В рамках статьи расмотрим статистику индекса ошибок, возникающую в операции азотных подкормок при применении сельскохозяйственной техники с разными параметрами пространственной дифференцации. Дозы азотных подкормок определялись на основе данных аэрофотосъемки с применением индекса NDVI. В ходе работы были проанализированы 54 снимка яровой пшеницы. В среднем аэрофотоснимки имеют пространственное разрешение 7–10 см на пиксель. Снимки были предварительно обработаны в специализированном программном обеспечении для получения пространственного распределения значений индекса NDVI (рис. 1).

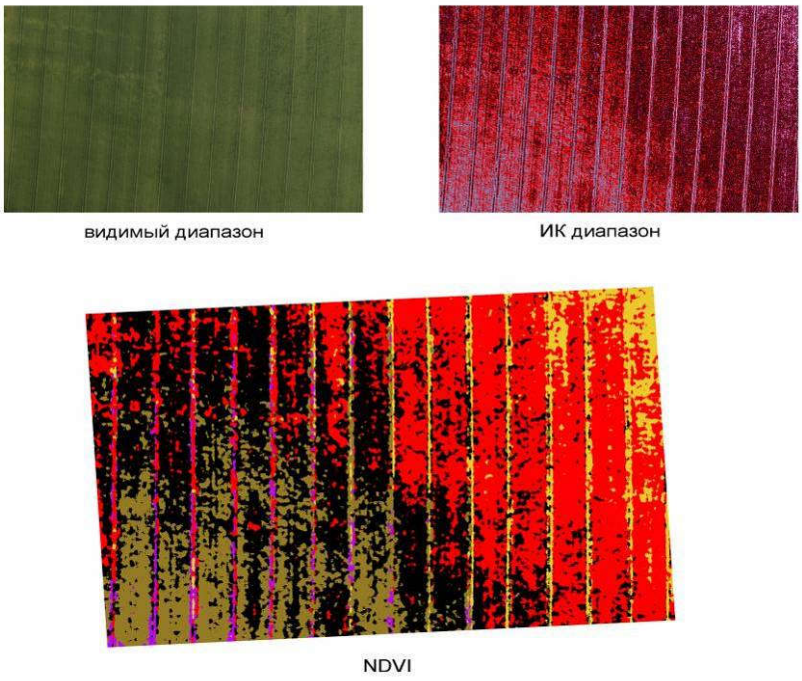


Рис. 1. Построение пространственного распределения NDVI

Методика. При реализации технологий точного земледелия используемая техника накладывает очевидные технологические ограничения на

площадь элементарных участков, которые могут обрабатываться как однородные участки.

Пусть b – ширина захвата рабочего органа сельскохозяйственной техники, осуществляющей технологическую операцию, в метрах; v – скорость движения машины в м/с; t_0 – время в сек, в течение которого осуществляется изменение режима работы обрабатывающего устройства; d – средняя ошибка геопозиционирования, тогда площадь элементарного участка вычисляется по формуле

$$s = (b + d)\bullet(v\bullet t_0 + d), \quad (1)$$

площадь s является площадью участка, внутри которого не может быть изменен режим обработки почвы.

Назовем s площадью минимальной технологической зоны. Для вычисления s в данном исследовании технические параметры брались на примере используемой нами техники – опрыскивателя и разбрасыватея AMAZON. В этом случае площадь участка ограниченного характеристиками разбрасывателя оказалась равной 16×30 м.

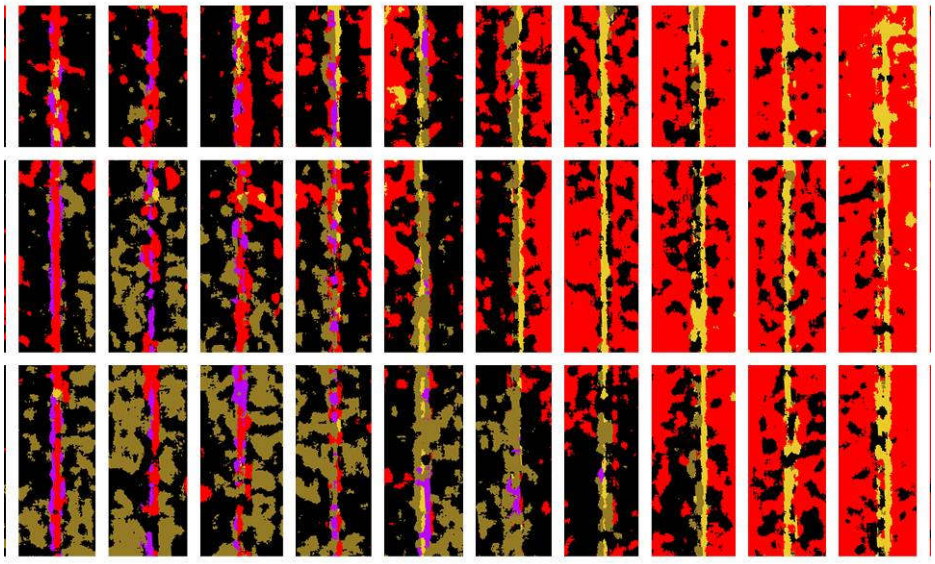


Рис. 2. Расположение минимальных технологических зон

Индекс ошибок технологической операции вычисляется для данной конкретной машины и конкретной операции, конечно, его значение может зависеть от маршрута движения. В исследовании при построении карт заданий мы придерживались уже существующих на поле траекторий технологических

полос, что соответствует практическим подходам реализации агротехнологических операций. В соответствии с этим требованием стандартная карта-задание будет содержать совокупность участков размером 16*30м, центральная ось которых совпадает с ранее заложенными технологическими полосами (рис. 2).

По методике точного земледелия в каждой минимальной технологической зоне вычисляется среднее значение аттрибутвной информации, в нашем случае аттрибутивной информацией будет значение индекса NDVI в каждом пикселе обрабатываемого снимка.

Под индексом ошибок прецизионной операции примем среднее линейное отклонение, выражаемое формулой (2)

$$\bar{d} = \frac{\Sigma|x_i - \bar{x}|}{n}, \qquad (2)$$

где x_i – значение индекса NDVI в каждом пикселе сснимка, входящим в минимальную технологическую зону

Результаты и обсуждение. Рассмотрим как изменяется индекс ошибок при изменении площади минимальных технологических зон. Очевидно, что чем меньше минимально возможная площадь обработки, тем меньше будет и индекс ошибки. Предельным случаем с нулевой ошибкой является индивидуальная обработка каждого отдельного растения, в этом случае карта-задание по сути принимает вид исходного аэрофотоснимка с пространственным разрешением 7–10 см/пиксель. В рамках исследования в качестве базовой возьмем площадь s равную 16×30 м и последовательно будем изменять площадь минимальных технологических зон от ½ s до пределов целого поля.

По методике точного земледелия при проведении азотных подкормок каждому значению индекса NDVI ставится в соответствие доза азотных подкормок. Для придания экономического смысла исследованию введем следующую зависимость, которая в среднем соответствует практике проведения азотных подкормок с использованием аэрофотоснимков посевов яровой пшеницы (табл. 1).

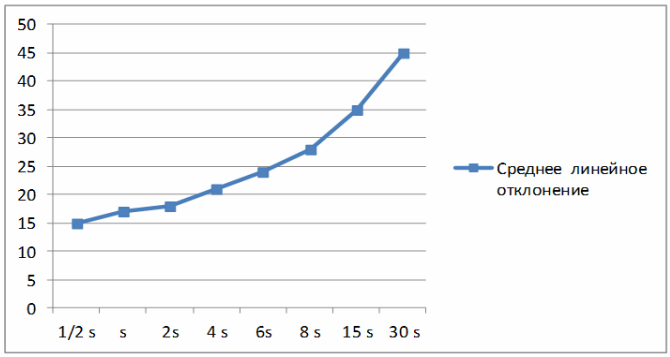
Таблица 1. **Зависимость доз азотных подкормок от значений индекса NDVI**

ndvi	доза подкормок кг/га
0,81	0
0,77	20
0,73	40
0,69	60

При анализе 54 снимков яровой пшеницы была накоплена статистическая информация об изменении индекса ошибок, представленная в таблице 2.

Таблица 2. **Зависимость индекса ошибок от площади минимальных технологических зон**

Площадь минимальной технологической зоне	Среднее линейное отклонение *1000
1/2 s	15
S	17
2s	18
4 s	21
6s	24
8 s	28
15 s	35
30 s	44



Полученные результаты могут быть использованы в оценке экономической эффективности технологий точного земледелия. В среднем по статистике обработанных снимков значения ошибок составляли:

– для традиционного, усредненного для всего поля подхода – 47;

– для прецизионной обработки с базовыми параметрами техники S – 17. С учетом зависимостей доз внесения, соответствующим таблице 1 имеем:

Таблица 3. **Экономия удобрений при проведении прецизионных подкормок**

	Среднее линейное отклонение	Масса избыточно внесенных удобрений кг д.в./га
Традиционный подход	47	11,75
Прецизиионный подход	17	4,25
	разница, кг/га	**7,5**

Таким образом, сумма экономии удобрений за счет применения прецизионной техники с параметрами S на операции азотная подкормка

составляет по анализированным снимкам в среднем 500 руб./га. Кроме этого, как следует из формулы (2), на участках поля с низким значением NDVI при усредненном подходе растениями будет недополучено минерального питания в средней дозе 7,5 кг/га, что приведет к снижению урожайности и качества зерна.

Список литературы

J. N. Paoli, B. Tisseyre, O. Strauss, A. B. McBratney A technical opportunity index based on the fuzzy footprint of a machine for site-specific management: an application to viticulture // Precision Agriculture.2010. Vol. 11, p. 379–396/

Wei Sun, Brett Whelan, Alex B. McBratney, Budiman Minasny An integrated framework for software to provide yield data cleaning and estimation of an opportunity index for site-specific crop management // Precision Agriculture. 2013. Vol. 14, pp. 376–391/

Якушев В. П., Буре В. М., Якушев В. В. Стохастическое моделирование в земледелии // Агрофизика. 2011. № 1, С. 5–13.

АДАПТАЦИОННАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА И УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВЕННЫХ АГРЕГАТОВ

Н. В. Верховцева[1], Е. В. Шеин[1,2], Е. Ю. Милановский[1,2], О. А. Амельянчик[1]

[1]Факультет почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова,

119191, Москва, Ленинские горы;

[2]Почвенный институт имени В. В. Докучаева,

125009, Москва, Пыжевский пер., 7

При помощи метода газовой хроматографии-масс-спектроскопии определялись химические маркеры микроорганизмов, входящих в состав микробоценоза агрегатов. В ядре агрегата доминируют микроорганизмы, продуцирующие (Clostridium, Eubacterium, Ruminococcus) и использующие (железоредукторы, денитрификаторы, сульфатредукторы, метаногены) водород. При нарушении почвенных структур происходит ориентированное движение бактерий, направленное на воссоздание экологически оптимальных условий их жизнедеятельности, чем определяется пластичность сообщества и устойчивость агрегатов.

ADAPTIVE PLASTICITY OF MICROBIAL COMMUNITY AND STABILITY OF THE SOIL AGGREGATES

N. V. Verhovtseva[1], E. V. Shein[1,2], E. Yu. Milanovsky[1,2], O. A. Amelyanchik[1]

[1]Faculty of Soil Science of the Moscow State University named after M.V. Lomonosov

Leninskie Gory, Moscow, 119191;

[2]Soil Science Institute named after V. V. Dokuchaev,

7, Pyzhevskyi per., Moscow, 125009

Chemical markers of microorganisms forming part of the microbocenosis of aggregates were determined using the method of gas chromatography-mass spectroscopy. Microorganisms that produce (Clostridium, Eubacterium, Ruminococcus) and use (hydrogen reducers, denitrifying agents, sulfate reductors, methanogens) the hydrogen dominate in the core of the aggregate. When the soil structures are disturbed, an oriented movement of bacteria aimed at recreating the ecologically optimal conditions for their vital activity, which determines the plasticity of the community and the stability of the aggregates.

Поверхность твердой фазы почвы оказывает весьма существенное влияние на взаимодействия, биодоступность и пространственное распределение растворенных веществ и газов в почве. Физические и химические свойства, прежде всего амфифильность поверхности твердой фазы, во многом определяют транспорт, сорбцию/десорбцию растворенных веществ и многочисленные почвенные процессы. Основным фактором формирования гидрофобно-гидрофильных свойств почвы является органическое вещество (ОВ) почвы. Его образование связано, прежде всего, с микроорганизмами, точнее с их консорциумами, формирующимися в почве и в отдельных агрегатах.

Целью работы было определение микробного состава сообществ агрегатов разного размера, который определяет устойчивость агрегатов, в черноземной почве.

Методом газовой хроматографии – масс-спектроскопии определялись химические маркеры микроорганизмов, входящих в состав микробоценоза агрегатов. По основной гипотезе, микробоценоз агрегатов обладает достаточной пластичностью, определяющей пространственное распределение микроорганизмов в агрегате. Данные факторы функционирования микробоценоза (пластичность и пространственная устойчивость) определяют устойчивость агрегатов, в том числе их устойчивость в воде.

Проводился сравнительный анализ микробоценозов агрегатов с диаметром $< 0{,}002$ и 1–2 мм и вмещающего их чернозема типичного. В результате анализа было установлено, что в целом в сообществе агрегатов доминируют анаэробные виды. Исследование анаэробной составляющей микробного сообщества агрегатов диаметром 1–2 мм проводилось путем посева BACTEC PLAS на селективную среду в анаэробных флаконах (США), в которых газовая фаза состоит из углекислого газа и молекулярного азота в соотношении 1:1. В результате такого эксперимента была установлена возможность размножения консорциума анаэробных микроорганизмов в среде углекислого газа и азота, который способен продуцировать смесь летучих

жирных кислот, спирта, а также газообразных продуктов, таких как CO_2, H_2, и молекул воды в качестве конечных продуктов метаболизма, являющихся, в свою очередь, органическими субстратами и энергетическими источниками для вторичных анаэробов. С ними во взаимодействии находятся факультативно анаэробные виды, располагающиеся ближе к поверхности почвенных частиц. Сравнительное изучение анаэробных видов в ядрах водопрочных агрегатов и вмещающей их почве выявило наличие в ядре размером < 0,002 мм четырех дополнительных видов анаэробов (два вида клостридий – первичные анаэробы, а также железоредукторы и сульфатредукторы – вторичные анаэробы). Концентрация клостридий в ядрах водопрочных агрегатов в 10–17 раз превышает таковую во вмещающей почве. Из вторичных анаэробов численность железоредукторов в два раза превышает количество сульфатредукторов, что может косвенно свидетельствовать о термодинамической регулируемости в размножении определенных анаэробных видов: процесс, обеспечивающий большее количество энергии, более предпочтителен по сравнению с процессом, обеспечивающим меньшее количество меньше энергии.

Аэробные виды бактерий, относящиеся к актинобактериям (микобактерии и родококки, способные к ветвлению на твердых субстратах и имеющие гидрофобную поверхность), создают гидрофобный поверхностный барьер, повышающий водоустойчивость почвенных агрегатов.

С учетом вышеизложенного микробное сообщество агрегата можно представить в виде функционирующего микробного сообщества (рис.). В ядре агрегата доминируют микроорганизмы как продуцирующие (I), так и использующие (II) водород. К (I) относятся виды рода *Eubacterium*, которые способны из глюкозы или пептона образовывать смесь кислот, в том числе масляной и уксусной, с видимым выделением H_2, и восстанавливать нитрат, тем самым подготавливая исходный источник энергии для жизнедеятельности анаэробных денитрификаторов. К образованию смеси кислот, этанола, а также газообразных продуктов (CO_2 и H_2) способен и другой анаэробный вид,

представленный в достаточно большом количестве, – *Ruminococcus*. Однако данный вид не обладает способностью к нитратредукции. Значительный вклад в накопление масляной, изомасляной и изовалериановой кислоты вносят бутиривибрии, а уксусной и пропионовой – пропионовые бактерии.

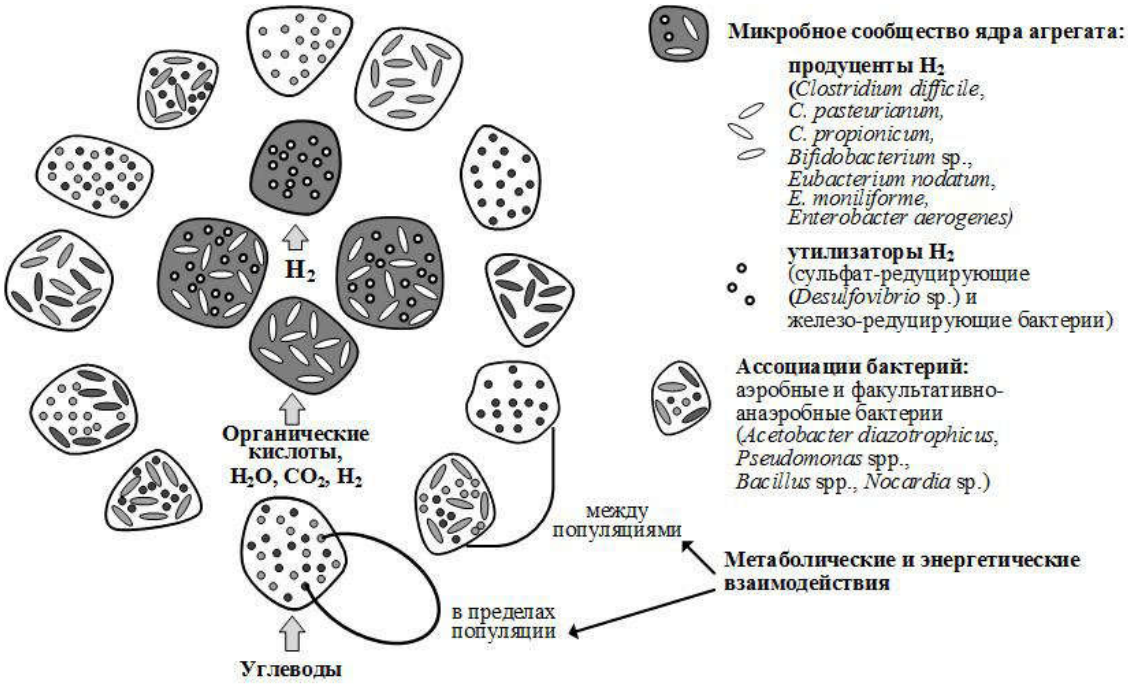


Рис. Схематическое представление архитектуры водостойкого агрегата

Ряд перечисленных жирных кислот и этанола являются органическими субстратами, а H_2 – источником энергии для развития денитрификаторов, железоредукторов и сульфатредукторов, которые функционируют в строгой термодинамической последовательности зоны окислительно-восстановительного потенциала (Заварзин, 2003). Особый интерес представляют данные о высоком содержании железоредукторов в ядрах водопрочных агрегатов. Данные бактерии участвуют в процессе анаэробного восстановления Fe^{+3} и, следовательно, в изменении окислительно-восстановительных условий внутри агрегата, а также в формировании физико-химических условий агрегативной устойчивости.

Аэробный процесс переработки ЛЖК может происходить до полной минерализации (до CO_2 и H_2O), что не способствует накоплению специфического органического вещества. В данном процессе принимают участие аэробные гидролитики – микроскопические грибы, актиномицеты и

аэробные бактерии группы псевдомонад. Промежуточные продукты их окислительного метаболизма являются, по-видимому, сигнальными метаболитами между клетками в популяциях микроорганизмов, а также между разными популяциями в ассоциациях, консорциумах и, наконец, в микробных сообществах, образующих почвенный агрегат. Описаны различные механизмы бактериального таксиса, основанные на генетических, биохимических, физиологических и экологических подходах (Завальский; 2001; Parkinson, Kofoid, 1992). Учитывая контекст настоящего исследования и те результаты, которые были получены при рассмотрении распределения анаэробных и аэробных видов микроорганизмов в микробном сообществе агрегатов, можно говорить об ориентированном движении популяций бактерий в направлении изменения градиента Eh, а также акцепторов и доноров электронов при нарушении почвенных структур. Предполагается, что клетки бактерий способны к измерению указанных градиентов, они «помнят», какой уровень экологически оптимален для их жизнедеятельности, и целенаправленно стремятся к возвращению в благоприятные условия. При объединении в сбалансированное сообщество в процессе быстрого формирования почвенных агрегатов существенными становятся также взаимодействия между популяциями. Здесь, по-видимому, существенное значение также имеют субстрат-субстратные сигналы их метаболитов. В контексте эволюционного биохимического генезиса почв можно говорить о «памяти» почв относительно ее основных структурных единиц, которые сохраняют свою агрегативную устойчивость благодаря тому, что населяющие ее микроорганизмы «запоминают» условия их адаптированного эколого-трофического местообитания.

Список литературы

Завальский Л. Ю. Хемотаксис бактерий // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7. № 9. С. 23–29.

Заварзин Г. А. Лекции по природоведческой микробиологии. М., Наука, 2003. 348 с.

Parkinson J. S., Kofoid E. C. Communication modules in bacterial signaling proteins // Annu. Rev. Genet. 1992.V. 26. pp. 71–112.

МИКРОТОМОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПОЧВ

А. В. Дембовецкий[1], Е. В. Шеин[1], Е. Б. Скворцова[2], К. Н. Абросимов[2], К. А. Романенко[2]

[1]*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва;*

[2]*Почвенный институт им. В. В. Докучаева, Москва*

Рассматриваются возможности компьютерной томографии при изучении порового пространства почв: 2D и 3D визуализация порового пространства и морфологическая диагностика почв, расчет количественных характеристик пор, сравнительный анализ распределения пор по размерам, исследование процессов набухания – усадки и промораживания – оттаивания.

MICROTOMOGRAPHIC RESEARCH OF THE SOIL PORE SPACE

A. V. Dembovetsky[1], E. V. Shein[1], E. B. Skvortsova[2], K. N. Abrosimov[2], K. A. Romanenko[2]

[1]*Faculty of Soil Science, Moscow State University, Moscow;*

[2] *Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow*

The paper considers the possibilities of computed tomography in the study of the soil pore space: 2D and 3D visualization of pore space and morphological diagnostics of soils, calculation of pore quantitative characteristics, comparative analysis of pore size distribution, study of swelling processes – shrinkage and defrosting – thawing.

До недавнего времени данные о форме, ориентации и взаимном расположении пор и агрегатов получали в основном морфологическими методами, анализируя почвенные шлифы и сколы с помощью оптических и электронных микроскопов, но с развитием технологий большую популярность в почвоведении приобрел метод рентгеновской томографии.

Цель данной работы заключалась в том, чтобы продемонстрировать основные достижения и новые знания в области компьютерной томографии (КТ) при изучении порового пространства некоторых российских почв.

Томография представляет собой послойную визуализацию внутреннего строения различных объектов. Наибольший интерес для почвоведов представляет рентгеновская микротомография высокого разрешения, при которой источник излучения (микрофокусная рентгеновская трубка) просвечивает объект, а рентгеновская цифровая фотокамера получает его

теневые проекции. На основе сотен проекций, полученных под разными углами при вращении объекта, компьютер реконструирует набор виртуальных сечений, что позволяет осуществлять реконструкцию двумерных и трехмерных изображений. Все данные поступают на компьютер, где с помощью специализированных программ CTAn и CTVol можно просматривать томографические снимки, делать различные сечения по всем направлениям, редактировать и получать количественную информацию (порозность, геометрию пор, количество пор и др.) и объемные характеристики, в том числе отдельных пор.

На многочисленном фактическом материале продемонстрировано, что 3D модели порового пространства хорошо иллюстрируют структурные различия почвы. На рис. 1 показаны 3D модели порового пространства агродерново-подзолистых почв, которые отражают неоднородность сложения горизонтов почв, сочетание зоогенных зон и пластинчатой структуры в горизонте AEL, наличие плоскостей раздела между крупномерными плитчатыми структурными элементами в горизонте BT1, выявляют обилие тонких биогенных каналов в горизонте BT2. В горизонте BEL большинство пор с округлыми срезами представляют собой изолированные или связанные тонкими каналами пузырьки. Напротив, в горизонте BC пузырьковые поры присутствуют единично, практически все поры с округлыми срезами являются современными или реликтовыми ходами корней.

Одно из достоинств метода томографии заключается в возможности сканирования образцов при разной влажности почвы, что позволяет исследовать различные аспекты набухания и усадки почвенной массы. Так, в одном из опытов микромонолиты из разных горизонтов дерново-подзолистой почвы были отсканированы на микротомографе SkyScan 1172 при полевой влажности, капиллярном насыщении почвы и в воздушно-сухом состоянии (Skvortsova et al., 2015). Сравнение показало, что во всех генетических горизонтах в процессе набухания и усадки происходит уменьшение содержания тонких биогенных каналов. Установлено, что с усадкой происходит

уменьшение количества пор и порозности по всем горизонтам. Исключение составляет горизонт BEL, где широко представлены крупные пузырьковые поры, устойчивые к набуханию и сжатию.

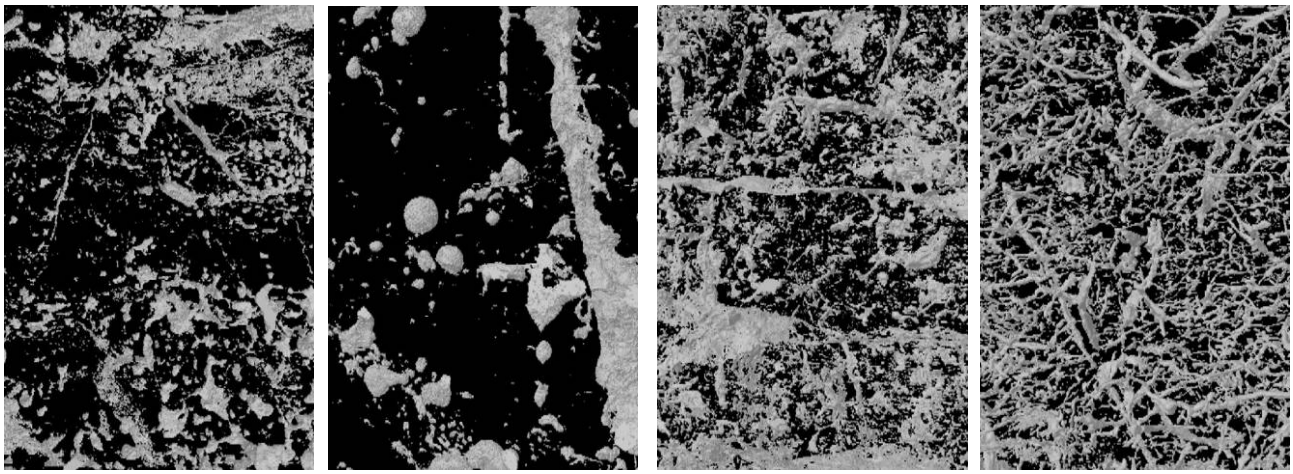


Рис. 1. 3D реконструкция порового пространства дерново-подзолистой почвы.

Конструкция современных томографов подразумевает ограничение объектов по размеру и доступных разрешений. Так, некоторые макротомографы позволяет исследовать цилиндрические монолиты диаметром 10 см и высотой 100 см с разрешением 100 мкм/пиксель. Универсальный микротомограф Bruker SkyScan 1172 допускает исследование образцов диаметром от 5 см до 1–2 мм, при этом по мере уменьшения размера образца увеличивается детальность анализа. Максимальное разрешение 0,6 мкм/пиксель доступно для самых мелких образцов. Поэтому для получения полной информации о поровом пространстве почвы следует проводить съемку от макро- (профильный уровень) до микроуровня (агрегатный уровень).

Лимит разрешений микротомографа при сканировании почвенных монолитов диаметром 3 см с разрешением 16,8 мкм/пиксель позволяет анализировать только макропоры крупнее 100 мкм. Область более тонкой пористости остается за пределами данного разрешения, поэтому для изучения таких пор необходимо уменьшать образец. Рассмотренное ограничение особенно актуально при сравнении микротомографических данных о порах с данными классической физики почв. На рис. 2 показаны распределения объемов пор по размеру, полученные при помощи методов микротомографии и

рассчитанные по основной гидрофизической характеристике (ОГХ) (Шеин и др., 2016). С учетом принятого разрешения 16,8 мкм/пиксель будет корректным сравнение только средних и правых частей графиков. В области макропор два различных метода дают сходные кривые распределения объемов пор по размерам. Однако при этом фактические данные, полученные с помощью микротомографа и методом ОГХ, могут существенно различаться для разных горизонтов почвы, причем томографические данные показывают более существенную разницу между горизонтами. В настоящее время вопрос о том, какой метод наиболее полно отражает поровое пространство почвы, остается открытым.

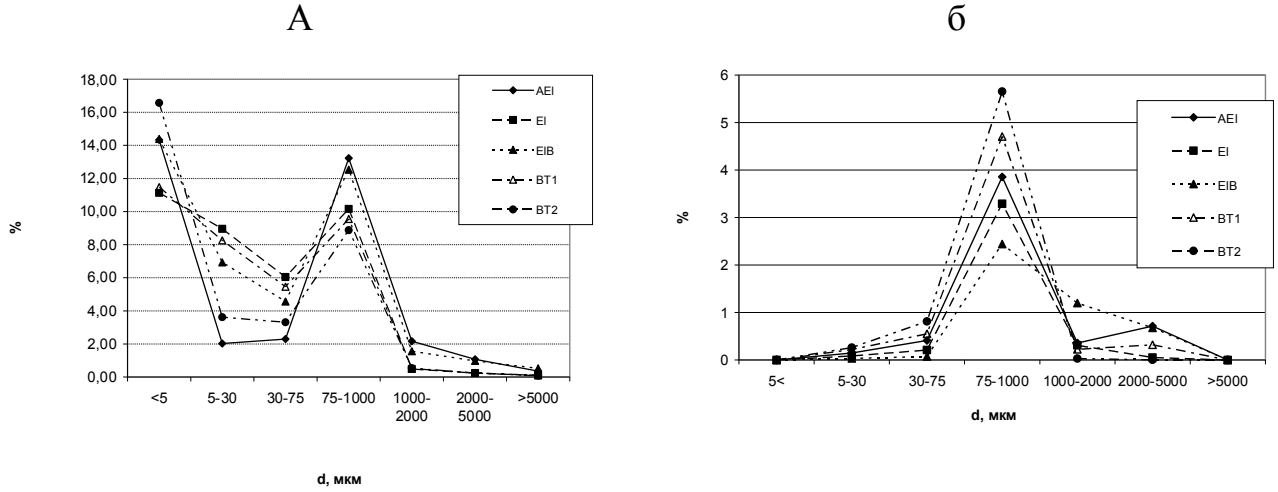


Рис. 2. Сравнение распределения пор по размерам по данным, полученным методом водной порозиметрии (а) и методом микротомографии (б).

Не менее актуальными являются микротомографические исследования процессов замерзания и оттаивания почвы. Микротомографические исследования порового пространства в лабораторном эксперименте по многократному замораживанию и оттаиванию различных почв показали, что при фронтальном промораживании основная часть ледяных трещин формируется в верхней части образца. В цилиндрических образцах d = 8 мм и h = 10 мм зона активного трещинообразования имеет толщину от 1000 до 2000 мкм. Многократное промораживание способствует разрушению почвенных микроагрегатов.

В заключение следует отметить, что перспективы использования томографического метода в почвоведении весьма многообразны: формирование

базы данных о 3D строении почв России; разработка классификации и диагностики структурного состояния почв; математическое описание и моделирование почвенной структуры; анализ и моделирование физических процессов в почвах – оструктуривания, набухания – усадки, промерзания – оттаивания; анализ биологических процессов в почвах – распространения корней, зоогенного агрегирования, жизнедеятельности почвенной мезофауны; определение гидрофизических свойств почв в микро- и макромасштабах; выявление связи между строением почвы и процессами влаго- и массопереноса.

Благодарности

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 16-04-00949, № 16-04-01111.

Список литературы

1. Шеин Е. В., Скворцова Е. Б., Дембовецкий А. В., Абросимов К. Н., Ильин Л. И., Шнырев Н. А. Распределение пор по размерам в суглинистых почвах: сравнение микротомографического и капилляриметрического методов определения // Почвоведение. 2016. № 3. С. 344–354.

2. Skvortsova E. B., Shein E. V., Dembovetsky A. V., Abrosimov K. N., Shnyrev N. A., Gerke K. M., Romanenko K. A., Skvortsov A. B. A study of loamy soil's microstructural changes during swelling and shrinkage using x-ray microtomography // Proceedings International Conference «Applied Ecology: Problems, Innovations» ICAE-2015 7-10 May, 2015 Tbilisi – Batumi. Tbilisi. 2015. pp. 105–109. ISBN 978-9941-0-7644-2.

АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАШТАНОВЫХ КАРБОНАТНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АНАТОЛИИ (ТУРЦИЯ)

Г. В. Харитонова[1], Е. В. Шеин[2], С. А. Ерол[3], Ф. С. Кот [4], Е. Ю. Милановский[2], Н. С. Коновалова[5], С. Ершахин[6], Ф. Ер[7], Ф. Д. Микайылов[8], Е. В. Харитонов[1]

[1]*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия;*
[2]*Факультет почвоведения МГУ, г. Москва, Россия;*
[3]*Высший образовательный колледж Чумра университета Сельджук, Турция;*
[4]*Технион, Израильский институт технологии, Хайфа, Израиль;*
[5]*Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия;*
[6]*Факультет лесного хозяйства, кафедра почвоведения и экологии университета Чанкыры Каратекин, Турция;*
[7]*Колледж прикладных наук, университет Сельджук, Турция;*
[8]*Сельскохозяйственный факультет университета Сельджук, Турция*

Глинистая фракция, морфология и состав микроагрегатов каштановых карбонатных тяжелосуглинистых почв (Haplic Kastanozems Chromic, WRB, 2006) на аллювиальных карбонатных породах исследовались методами рентгеновской дифрактометрии, сканирующей микроскопии и энерго-дисперсионного анализа. Глинистая фракция характеризуется высоким содержанием кальцита, а также доминированием иллита и иллит-смектита. Благоприятные агрофизические свойства (высокая фильтрация, водоустойчивость и порозность) данных почв с низким содержанием органического вещества связаны с процессами микроагрегации.

AGROPHYSICAL PROPERTIES OF CENTRAL ANATOLIA CALCAREOUS KASTANOZEMS (TURKEY)

G. V. Kharitonova[1], E. V. Shein[2], S. A. Erol[3], F. S. Kot[4], E. U. Milanovskiy[2], N. S. Konovalova[5], S. Erşahin[6], F. Er[7], F. D. Mikayilov[8], E. V. Kharitonov[1]

[1]*Institute for Water and Environmental Problems, FEB RAS, Khabarovsk, Russia;*
[2]*Faculty of Soil Science, Moscow State University, Moscow, Russia;*
[3]*Çumra Higher Educational College, University of Selcuk, Turkey;*
[4]*Technion–Israel Istitute of Technology, Haifa, Israel;*
[5]*Institute of Tectonics and Geophysics, FEB RAS, Khabarovsk, Russia;*
[6]*Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Cankiri Karatekin University, Turkey;*
[7]*Çumra College of Applied Sciences, University of Selcuk, Turkey;*
[8]*Department of Soil Science, University of Selcuk, Turkey*

The clay fraction, morphology and composition of microaggregates of chestnut carbonate heavy loamy soils (Haplic Kastanozems Chromic, WRB, 2006) on alluvial carbonate rocks have been studied by X-ray diffractometry, scanning microscopy and energy-dispersion analysis. The clay fraction is characterized by a high content of calcite, as well as the dominance of illite and illite-smectite. Favorable agrophysical properties (high filtration, water resistance and porosity) of these soils with a low content of organic matter are associated with microaggregation processes.

Аллювиальные карбонатные почвы составляют основу пахотного фонда Центральной Анатолии. При орошении они активно используются в сельском хозяйстве. Исследования по оценке агрофизического состояния орошаемых почв района Чумра (Центральная Анатолия, Турция) позволили выделить ряд их важных агрофизически ценных свойств и особенностей (Шеин и др., 2014). Исследуемые почвы при тяжелом гранулометрическом составе, низком содержании органического вещества и отсутствии агрегатов агрономически ценных размеров имеют высокую пористость и характеризуются устойчивостью поровой структуры и водопроводящих путей. Возможно, это связано с их повышенной микроагрегированностью, которая, в свою очередь, определяется минералогическим составом почв – их минеральным скелетом и тонкодисперсными фракциями. Цель данной работы заключалась в анализе структуры аллювиальных карбонатных почв на микроуровне.

Почвенный разрез был заложен на опытном участке сельскохозяйственного факультета университета Сельджук (г. Конья). Почвы опытного участка – каштановые карбонатные на аллювиальных отложениях, орошение капельное. Для анализа были взяты образцы из верхней части профиля на глубину промачивания почвы при капельном орошении – гор. А пах (слой 0–5 см) и В1 (слой 40–50 см).

Анализ минералогического состава показал, что верхняя часть профиля аллювиальной карбонатной почвы (до глубины 50 см) характеризуется высоким содержанием карбонатов, представленных кальцитом, и близким распределением как каркасных, так и слоистых минералов. Содержание кальцита достигает 25%. Содержание каркасных минералов (кварц и полевые шпаты) не превышает содержания слоистых (36 и 39% соответственно). Высокое содержание в почвах слоистых минералов определяет их тяжелый гранулометрический состав почв: содержание песка, пыли и глины составляет 1, 54 и 45% соответственно. В составе илистой фракции преобладают иллиты (43–49%) – минералы ненабухающей фазы. Содержание смектитов невелико (4–6%), при этом содержание илллит-смектитов достигает 30%. По-видимому,

процессы иллитизации, характерные для почв аридных территорий, приводят к существенному повышению содержания иллит-смектитов и снижают способность почв к набуханию.

Согласно РЭМ анализу, исследуемые почвы при отсутствии агрегатов агрономически ценных размеров характеризуются высокой микроструктуренностью. В гор. $A_{пах}$. в наибольшем количестве представлены микроагрегаты размером 100–200 мкм. В гор. B1 при меньшем содержании органического вещества число микроагрегатов снижается, меняется их форма и уменьшается размер наиболее представительной фракции до 25–100 мкм. Микроагрегаты имеют остроугольную форму, они являются рыхлыми, менее прочными. Кальцит сосредоточен микроагрегатах, вне микроагрегатов он встречается единично.

Таким образом, каштановые карбонатные агропочвы (Чумра, Центральная Анатолия, Турция) почвы характеризуется высоким содержанием глинистых минералов, которые определяют их тяжелый гранулометрический состав, и педогенного кальцита. В составе илистой фракции преобладают иллиты и иллит-смектиты, содержание смектитов невелико. Высокие фильтрационные свойства почв обусловлены процессами иллитизации их илистой фракции и микроагрегации твердой фазы почв педогенным кальцитом (Mermut, Arnaud, 1981; Kovda et al., 2003).

Список литературы

1. Шеин Е. В., Ерол С. А., Милановский Е. Ю., Верховцева Н. В., Микайылов Ф. Д., Ер Ф., Ершахин С. Агрофизическая оценка аллювиальных карбонатных почв района Чумра (Центральная Анатолия, Турция) // Почвоведение. 2014. № 7. С. 837–841.

2. Kovda I. V., Wilding L. P., Drees L. R. Micromorphology, submicroscopy and microprobe study of carbonate pedofeatures in a Vertisol gilgai soil complex. South Russia // Catena. 2003. V. 54. pp. 457–476.

3. Mermut A. R., Arnaud R. J. St. A study of microcrystalline pedogenic carbonates using submi-croscopeic techniques // Can. J. Soil Sci. 1981. V. 61. pp. 261–272.

ПЕРЕДВИЖЕНИЕ ВЛАГИ В ПОЧВЕ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

Т. А. Гурова[1], М. С. Зверьков[2]

[1]*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);*

[2]*Коломенский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»*

Многочисленные исследования подтвердили высокую точность и эффективность расчета режимов орошения с помощью моделей влагопереноса. Наибольшее распространение среди них получили зависимости на основе выражения Л. Ричардса. В статье рассматривается применение математической модели Л. Ричардса для описания процесса передвижения влаги при капельном орошении. На основе проведенного обзора литературы выбрана математическая модель для дальнейших исследований.

Numerous studies have confirmed the high accuracy and efficiency of calculating irrigation regimes using moisture transfer models. The dependencies based on the expression of L. Richards are the most widespread among them. The article considers the application of the mathematical model of L. Richards for describing the process of moisture migration during drip irrigation. Based on the review of the literature a mathematical model has been selected for further researches.

В Федеральной целевой программе «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014−2020 годы» поставлена задача экономии воды. Решение указанной задачи предполагается осуществить за счет проведения мероприятий, направленных на повышение коэффициента полезного действия мелиоративных систем и внедрение микроорошения и водосберегающих аграрных технологий, одной из которых является капельное орошение.

Данный способ полива получил широкое распространение в Израиле, США, Бразилии, Испании, Мексике, Великобритании, Нидерландах, Германии и ряде других стран (Гурова, Зверьков, 2010). Так, в Египте с помощью капельниц орошаются не только сельскохозяйственные земли, но и городские газоны и клумбы. В Японии капельное орошение получило наибольшее распространение при поливе культур закрытого грунта (Irrigation…, 1999). Весьма активно данный метод полива используется в Индии, где его применение поддерживается правительством страны (Drip …, 1994).

Капельное орошение является локальным способом полива. Точность и эффективность регулирования водного режима определяется частыми и как можно меньшими нормами полива. Однако несмотря то, что в последнее время

появилось большое количество работ (Бхандари, 2013; Ашраф, 2011; Бурмистрова, 2013 и др.), связанных с определением сроков и норм полива, а также посвященных распределению влаги в почве, использование результатов данных исследований на практике вызывает у аграриев множество затруднений. Определение оросительных норм основано на установлении суммарного водопотребления, которое, в свою очередь, определяется по величине эвапотранспирации, дефицитам влажности воздуха, испарению с открытой водной поверхности с поправкой на культуру, радиационному балансу и др. (Олексич, Скрипчинская, 1981; Rains, 1981). При составлении плана поливов капельным способом в гумидных зонах наибольшее распространение получили способы расчета водопотребления, основанные на измерении влажности, например с помощью тензиометров. При этом весьма важное значение приобретает правильное размещение датчиков для измерения влажности, поскольку при капельном орошении увлажняется не вся поверхность почвы. Размер и форма увлажняемой зоны зависят от механического состава почвы, поливной нормы и других факторов. Поэтому универсальных критериев для размещения приборов, измеряющих влажность, не существует. Обычно они размещаются на различных глубинах в пределах корнеобитаемого слоя почвы (Bucks et al., 1981; Howell et al., 1981).

Урожайность и режим орошения сельскохозяйственных культур во всех работах, посвященных данному вопросу, связывают с определенным диапазоном наименьшей влагоемкости (НВ) почвы (Бхандари, 2013; Ашраф, 2011; Бурмистрова, 2013). Для расчета поливной нормы m в России наиболее часто используется зависимость А. Н. Костякова (Мелиорация…, 1999; Терпигорев, Зверьков, 2012; Современные…, 2010), которая для условий капельного орошения имеет следующий вид:

$$m = 100\, H\rho(\theta_{НВ} - \theta_{min})A_{nt}, \quad (1)$$

где H − глубина увлажнения, м; ρ − плотность расчетного слоя почвы, т/м^3; $\theta_{НВ}$ − наименьшая влагоемкость от массы абсолютно сухой почвы, д. ед.; θ_{min} −

влажность почвы перед поливом, д. ед.; A_{nt} − площадь увлажнения под одним растением, м^2.

Зависимость (1) предполагает постоянное наблюдение за влажностью почвы, что обуславливает необходимость организации исследовательской работы или мониторинга влажности. Однако Л. Поспишилова (1989) отмечает, что наблюдения за передвижением влаги с помощью балансового метода при капельном орошении является затруднительным. Аграриев интересует вопрос об объеме воды, в котором ее следует подавать растениям на поле. При отсутствии инженеров-мелиораторов сельхозпроизводители не имеют возможности применять данные рекомендации и вынуждены самостоятельно устанавливать режим подачи воды. Эффективность использования систем капельного орошения при этом снижается.

Основные принципы расчета суммарного водопотребления не зависят от способа подачи воды. Однако при его определении для капельного орошения возникает необходимость во введении поправочных коэффициентов, зависящих от формы и величины зоны увлажнения (Ионова, Бойко, 1985). Существует обоснованная теория влагопереноса. Сложные дифференциальные зависимости данной теории легко решаются при помощи ЭВМ. Можно предположить, что если геометрия контура увлажнения известна, то определение объема воды, в котором ее необходимо подать каждому растению, не вызовет затруднений.

В целом движение жидкости при неполном насыщении почвы можно описать законом Дарси. Многочисленные исследования доказали высокую точность и эффективность расчета режимов орошения с помощью моделей влагопереноса. Наиболее распространенной зависимостью для решения задачи переноса влаги является выражение Л. Ричардса (1931):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[rk(h)\frac{\partial h}{\partial r}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[k(h)\frac{\partial h}{\partial z} + k(h)\right], \qquad (2)$$

где θ − объемная влажность почвы, см^3/см^3; h − напор почвенной влаги, см; t − время, с; r − горизонтальная координата контура увлажнения, см; z −

вертикальная координата контура увлажнения, см; k − коэффициент влагопроводности, см/с.

Выражение (2) применительно к капельному орошению использовалось в исследованиях X. Li с соавт. (2015), M. M. Kandelous с соавт. (2010), И. П. Айдарова и А. А. Алексашенко (1985) и др.

А. И. Голованов разработал двумерные математические модели для описания гидрогеологических и геохимических процессов в геосистемах, представленных катенами, т. е. цепочками сопряженных фаций с разным режимом увлажнения (Абдель-Азим, 2010). В ряде исследований в качестве дополнительного параметра учитывается функция отбора влаги из почвы корнями растений S.

Основной целью моделирования является создание оптимальных условий в корнеобитаемой зоне почвы с исключением оттока влаги в глубинные слои почвы и, возможно, в грунтовые воды. При этом необходимо учитывать, что в процессе полива между почвой и водой устанавливаются различные физические и физико-химические взаимодействия (Гурова, Зверьков, 2010; Современные…, 2010), которые могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на агрогеосистему в целом (Зверьков, 2012). При исследовании распределения влажности почвы вокруг капельниц P. R. Victor и G. A. Clark (1991) установили, что продолжительность капельного орошения на супесчаных почвах не влияет на горизонтальное распределение влаги, а влажность в радиусе 15 см от капельниц однороднее и выше, чем в радиусе 30 см. Объяснение данных фактов представлено в работе Е. В. Шеина (2002). При капельном поливе на поле остаются увлажненные и неувлажненные участки или междурядья, в которых почва постепенно иссушается. Поступающая при орошении влага не течет в сторону сухих участков, а интенсивно проникает в глубинные слои почвы. В таких случаях для расчета режима орошения используется выражение (1). Также в подобных случаях может произойти вторичное засоление почвы, так как происходит деформация предполагаемого контура увлажнения из-за неэффективного распределения

влаги. Предупредить данную проблему, по мнению Е. В. Шеина, возможно при использовании математических моделей переноса влаги, которые позволяют рассчитывать контур увлажнения для различных типов почв.

Список литературы

1. Гурова Т. А., Зверьков М. С. О влиянии капельного орошения на почвы // Научные основы экологии, мелиорации и эстетики ландшафтов: материалы конференции. Тула: Гриф и К, 2010. С. 189−192.
2. Irrigation in Asia in figures: FAO Water Reports. Rome. 1999. 236 p.
3. Drip irrigation in India. New Delhi: INCID. 1994. pp. 1, 75−79, 85, 130−141.
4. Бхандари Б. Б. Капельное орошение репчатого лука на аллювиальных почвах юга Непала: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02. М., 2013. 22 с.
5. Ашраф Е. М. Е. Обоснование режимов капельного орошения земляники на дерново-подзолистых почвах: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02. М., 2011. 20 с.
6. Бурмистрова А. Ю. Регулирование водного режима почвы при капельном орошении плодовых питомников в Нечерноземной зоне: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук: 03.02.13, 06.01.02. М., 2013. 24 с.
7. Олексич В. Н., Скрипчинская Л. В. Определение суммарного водопотребления и величины оросительных норм интенсивных садов и виноградников на территории Молдавской ССР при капельном орошении // Регулирование использования воды в народном хозяйстве. М., 1981. С. 44−54.
8. Rains D. Water and water management technology // Advances Food Producing Systems Arid Semiarid Lands. 1981.pp. 421−427.
9. Bucks D. A., Nakayama F., Gilbert R. Principles, practices and potentialities of tricke (drip) irrigation // Advances in Irrigation. 1981. V. 1. pp. 219−298.
10. Howell T., Bucks D. A., Chesness J. L. Advances in trickle irrigation: challenges of the 80's // The proceedings of the 2nd Nat. irrigation symp., October, 20−23, 1980. Univ. of Nebraska, Lincoln. St. Joseph. Mich. 1981. pp. 69−94.
11. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: Справочник / Под ред. Б. Б. Шумакова. М., Колос, 1999. 432 с.
12. Терпигорев А. А., Зверьков М. С. Методики расчета параметров режима капельного орошения // Сборник научных докладов IV Международной (VIII Всероссийской) конференции молодых ученых и специалистов «Инновационные технологи и экологическая безопасность в мелиорации». Коломна: Инлайт, 2012. С. 121−128.
13. Григоров М. С. и др. Современные перспективные водосберегающие способы полива в Нижнем Поволжье: монография. Волгоград: ИПК ФГОУ ВПО Волгоградская ГСХА «Нива», 2010. 244 с.
14. Поспишилова Л. Передвижение воды в почве при дождевании и капельном способе полива: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 06.01.03. М., 1989. 28 с.
15. Ионова З. М., Бойко С. И. Основные достижения в применении капельного полива. М., АГРОИНФОРМ, ВАСХНИЛ, 1985. 68 с.
16. Richards L. Capillary conduction of liquid in porous media // Physics. 1931. V. 1. pp. 318–333.
17. Li X., Shi H., Simunek J., Gong X., Peng Z. Modeling soil water dynamics in a drip-irrigated intercropping field under plastic mulch // Irrigation Science. 2015. V. 33. pp. 289−302.
18. Kandelous M. M., Simunek J. Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS-2D // Agricultural water management. 2010. V. 97. pp. 1070−1076.

19. Айдаров И. П., Алексашенко А. А. Теоретические и экспериментальные исследования влагопереноса при внутрипочвенном и капельном орошении // Оптимизация процессов комплексного мелиоративного регулирования: сб. науч. тр. М., 1985. С. 3−12.

20. Абдель-азим М. М. Совершенствование методов расчета капельного орошения плодовых культур в условиях Египта: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 06.01.02. М., 2010. 24 с.

21. Victor P. R., Clark G. A. Uniformity of soil moisture in microirrigated plastic mulched beds // Soil and Crop Sci. Soc. of Florida. Proc. 1991. V. 50. pp. 9−12.

22. Зверьков М. С. Капельное орошение на пойменных землях // Природообустройство. 2012. № 4. С. 23−26.

23. Шеин Е. В. Почвенные парадоксы // Природа. 2002. № 10. С. 23−35.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАТЧИКОВ WATERMARK ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В ПОЧВАХ

М. П. Волокитин[1], В. Е. Остроумов[2]

[1]*Институт фундаментальных проблем биологии РАН (ИФПБ РАН);*

[2]*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (ИФХиБПП РАН)*

В статье сравниваются данные о содержании влаги в почве, полученные при помощи весового метода и методики, основанной на измерении давления влаги в стандартном теле (гипсовый датчик Watermark). Установлено, что датчики влажности Watermark могут быть использованы для мониторинга содержания воды в почве в области влажностей от наименьшей влагоемкости до влажности, близкой к влажности завядания растений.

THE POSSIBILITY OF USING OF WATERMARK SENSORS FOR SOIL MOISTURE MONITORING

M. P. Volokitin[1], V. E. Ostroumov[2]

[1]*Institute of Basic Biological Problems, RAS;*

[2]*Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, RAS*

The purpose of this research is to compare the data on moisture content in the soil, obtained using a weighting method and a technique based on measurement of the moisture pressure with Watermark gypsum sensor. It is revealed that Watermark humidity sensors can be used to monitor the water content in the soil in the humidity range from the lowest moisture capacity to the humidity close to the wilting point of plants.

В последнее время отмечается повышение интереса к непрямым методам измерения почвенной влаги, которые базируются на определении параметров, находящихся в тесной связи с влажностью почвы. В основном они предназначены для управления поливами возделываемых культур в орошаемом земледелии. Вместе с тем, предпринимаются попытки адаптации указанных датчиков к непосредственному мониторингу влажности почвы, поскольку общепринятый весовой метод представляется трудоёмким, малооперативным и сложно автоматизируемым (Егиазарян, Кобелян, 2009).

В данной работе сравнивался весовой метод измерения влажности с методикой, основанной на измерении электрического сопротивления эталонного материала. Исследования проводились при помощи распространенного датчика влажности почвы Watermark (производитель Irrometer Company, Inc, Riverside, CA). В нем используется электрическое сопротивление гипса, по которому определяется значение «всасывающего давления почвы». Датчик прокалиброван изготовителем так, что давление

почвенной влаги измеряется в сантибарах. В соответствии с инструкцией по использованию датчика, диапазон измерения «всасывающего давления» измеряется от 0 (насыщенная влагой почва) до 200 сантибар (опасно сухая почва). Фактическое показание датчика, полученное в результате измерений почвы с содержанием влаги меньше влажности завядания (< 9%), составляет 239 сантибар, за которым следует категория, обозначаемая как drysoil.

Исследования по установлению взаимосвязи между потенциалом почвенной влаги и влажностью почв проводились в полевых и лабораторных условиях. Наблюдательная площадка располагается в верхней приводораздельной части пологого склона юго-восточной экспозиции в зоне питания левых притоков р. Оки (серая лесная почва среднесуглинистого состава). На поле в разрезах рядом с датчиками, установленными на глубинах 20, 50 и 90 см, сплошным методом отбирались образцы почвы для определения влажности весовым методом. После установления равновесия между датчиками и почвой снимались показания прибора. Впоследствии полученные данные по влажности почв и соответствующие указанным влажностям показания датчика были сгруппированы по генетическим горизонтам. Необходимость такой группировки объясняется тем, что гумусовый и иллювиальный горизонты существенно различаются по своим физико-химическим и водно-физическим свойствам.

Полученные данные показывают, что для гумусового горизонта характерна большая вариабельность получаемых данных (рис. 1). Так, в гумусовом горизонте луговой почвы объёмная влажность варьировалась от 38,4% до 19.9%, что соответствовало показаниям датчика 0 и 103 сантибара. В иллювиальном горизонте влажность не опускалась ниже 24,3% (при максимальной влажности, равной 34,3%). При данных влажностях показания прибора составляли 88 и 1 сантибар. Верхний горизонт подвергается более частому иссушению, а содержание влаги в отдельные периоды снижается до значений, близких к влажности завядания растений. Электрические датчики сопротивления недостаточно точны при измерении в ненасыщенной зоне и обычно характеризуют только качественные показатели матричного потенциала. Циклы увлажнения-иссушения приводят к ослаблению гидравлического контакта между датчиком и макроструктурой почвы. В системе появляется воздух, который оказывает заметное влияние на точность показания электрического датчика сопротивления. Для уменьшения эффекта

данного негативного явления необходима установка нескольких датчиков, что особенно важно при измерениях в верхнем горизонте почвы.

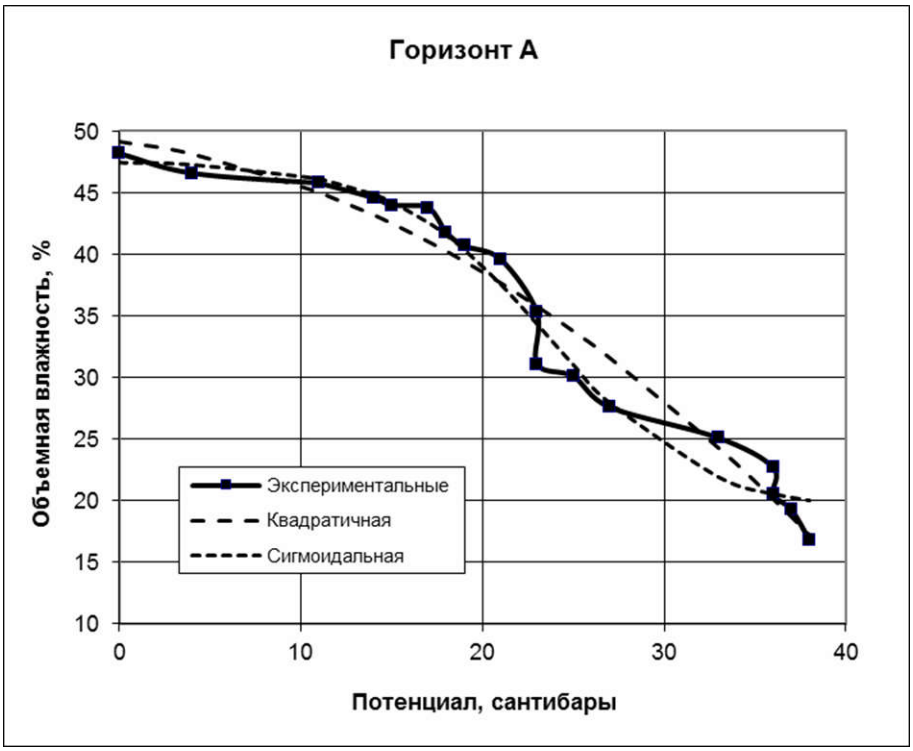


Рис. 1. Зависимость измеряемого потенциала почвенной влаги от влажности гумусового горизонта серой лесной почвы

В иллювиальном горизонте (рис. 2.) поток почвенной влаги осуществляется практически непрерывно по тонким капиллярам (Мичурин, 1975). На основании проведенных полевых исследований предложены уравнения расчёта влажности почв в зависимости от давления почвенной влаги (табл.).

При измерении влажности почвы, промерзшей в зимний период, датчик ведет себя так же, как и при измерении в летний период интенсивного иссушения почвы. По мере перехода влаги из жидкого состояния в твёрдое показания датчика закономерно возрастают, вплоть до крайнего значения, равного 239 сантибарам. С 25.01. по 15.02.2012 г. давление почвенной влаги в гумусовом горизонте серой лесной почвы лесного фитоценоза увеличилось с 4 до 60 сантибар, а влажность соответственно уменьшилась с 38,1% до 20,7%. К началу стока произошло оттаивание почвы, и давление почвенной влаги снизилось до 20 сантибар (26,1%). Однако полного оттаивания почвы к пику стока не произошло, а межагрегатные поры ещё оставались заполненными льдом.

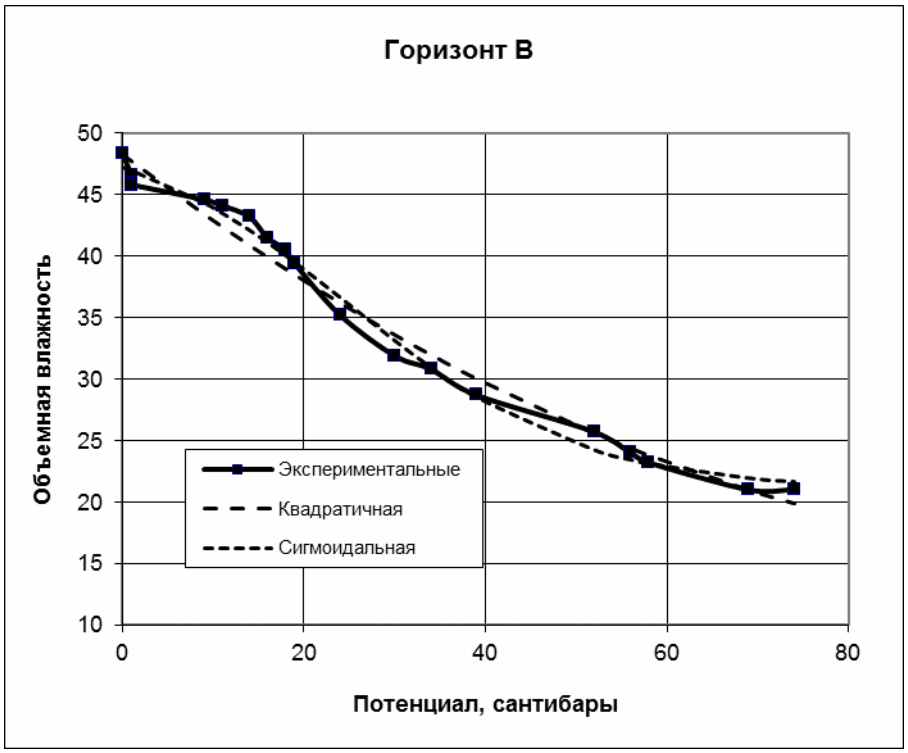


Рис. 2. Зависимость измеряемого потенциала почвенной влаги от влажности иллювиального горизонта серой лесной почвы

Полученные данные позволили сделать вывод, что при таянии снега влага не будет впитываться в почву, а пойдет на сток, что впоследствии было подтверждено. Сток в 2012 г. оказался самым сильным за весь период наблюдений с 2003 г. при довольно высоком запасе воды в снеге, который составил 129 мм.

В лабораторном эксперименте установлено, что датчик давления почвенной влаги характеризуется определенной инерционностью. При полном капиллярном насыщении серой лесной почвы из иллювиального горизонта датчик не сразу среагировал на потерю воды при иссушении образца.

Первое показание датчика отмечено при снижении капиллярной влагоёмкости с 44,1% до 41,7%. Вероятно, это связано с тем, что при капиллярном насыщении происходит заполнение и межагрегатных пор водой, на которую поверхностные силы не действуют. Далее показания датчика закономерно возрастали до величины в 85 сантибар (19,8%), после которой значения возрастали резко. Следовательно, объёмная влажность, равная 19,8%, является критической влажностью, ниже которой при помощи рассматриваемого датчика уже затруднительно получить достоверные данные о содержании воды в почве.

Таблица. **Уравнения и значения коэффициентов для описания зависимости влагосодержания W (весовой метод) от давления почвенной влаги p, измеренного с помощью датчиков Watermark**

Горизонт А1		Горизонт В	
Функция квадратичная			
$W = ap^2 + bp + y_0$			
A	–0.1824	A	–0,5605
B	–0.0173	B	–0,0024
y_0	49,1653	y_0	48,2485
Функция сигмоидальная			
$W = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{p - p_0}{b}\right)}$			
A	28,5286	A	29,8056
p_0	–4,2545	p_0	12,6568
p_0	23,6227	p_0	25,1637
y_0	19,0584	y_0	20,9893

Проведенные исследования показали, что датчики влажности Watermark могут быть использованы для мониторинга содержания воды в почве в области влажностей от наименьшей влагоемкости до влажности, близкой к влажности завядания растений.

Список литературы

1. Егиазарян Г. М., Кобелян В. С. Динамика потенциала влажности почв и его применение при проектировании капельного орошения // Агрономия и агроэкология. 2009. № 4. С. 93-98.

2. Мичурин Б. Н. Энергетика почвенной влаги Л.: Гидрометиздат, 1975. 140 с.

РЕГУЛИРОВАНИЕ АГРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПОД ПОСЕВОМ КУКУРУЗЫ, ВЫРАЩИВАЕМОЙ ПО ЗЕРНОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Е. А. Дёмин

ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»

Междурядная обработка, проведенная в фазу 8–9 листа, способствовала поддержанию благоприятной плотности сложения пахотного слоя. В вариантах без междурядной обработки плотность сложения 0–30 см в фазу цветения кукурузы была на 15% выше, чем при ее проведении. Установлено положительное влияние междурядной обработки на структурно-агрегатный состав почвы. Медурядная обработка обеспечила прибавку урожая зерна кукурузы на 0,3–0,8 т/га.

Inter-row treatment carried out in the phase of 8–9 sheet, contributed to the maintenance of a favorable density of the arable layer. In variants without inter-row processing, the addition density of 0-30 cm in the flowering phase of maize was 15% higher than when it was carried out. The positive effect of inter-row processing on the structural-aggregate composition of the soil has been established. Inter-row treatment ensured the increase of corn grain yield by 0.3–0.8 t / ha.

Кукуруза является одной из самых распространенных культур в мировом земледелии и занимает лидирующее место по валовому сбору зерна. Ее посевные площади в мире составляют 129,3 млн. га. Зерно кукурузы обладает высокими кормовыми достоинствами: питательность 1 кг зерна составляет 1,34 кормовых единиц, что на 25% выше, чем у основных зернофуражных культур Северного Зауралья (Еремина, Дёмин, 2016).

Кукуруза способна давать урожай до 10 т/га зерна и до 70 т/га зеленой массы. Получение таких высоких урожаев возможно лишь при соблюдении правильных агротехнических приемов и подборе наиболее продуктивных гибридов совместно с научно-обоснованной системой удобрений (Казакова, 2015). Кукуруза – пропашная культура с особыми требованиями к физическим свойствам почвы. Она хорошо развивается на почвах с отличным структурно-агрегатный составом и низкой плотностью сложения. Для получения высоких урожаев необходима плотность сложения почвы не более 1,0–1,2 г/см^3. Кукуруза лучше других культурных растений потребляет почвенную влагу, чему способствует большая корневая система, развитие которой зависит от структуры и сложения почвы (Магомедов и др., 2015). Ухудшение агрофизических свойств почвы затрудняет развитие корневой системы кукурузы, что уменьшает потребление воды и питательных веществ и

негативно отражается на развитии растений и получении планируемых урожаев (Евдокимова и др., 2016).

Почвы лесостепной зоны Тюменской области из-за своеобразного гранулометрического состава часто формируют плотную почвенную корку, что ухудшает их физические свойства (Еремин, 2014). Плотность пахотного слоя основных почв Тюменской области варьируется в пределах от 1,0 до 1,5 г/см^3 в зависимости от типа почв и приема их обработки. Как отмечают Д. И. Еремин, Д. В. Еремина и Ж. А. Фисунова, уплотнение верхнего слоя почвы происходит уже к концу июня. Это негативно отражается на движении воды в почве и воздухообмене в период активной вегетации растений (Еремин и др., 2009).

Проведение междурядной обработки в период вегетации кукурузы разрушает почвенную корку, тем самым улучшая воздушный и водный режимы почвы. Улучшение аэрации способствует активизации аэробной микрофлоры, что, в свою очередь, улучшает пищевой режим кукурузы.

Цель исследования заключалась в изучении влияния междурядной обработки кукурузы на агрофизические свойства пахотного слоя чернозема выщелоченного.

Исследования проводились на территории сельскохозяйственного предприятия ЗАО «Центральное» Заводоуковского района Тюменской области. Схема опыта предусматривала варианты: 1. Контроль (естественный агрофон); 2. NPK 4,0 т/га ($N_{80}P_{60}K_{60}$); 3. NPK 5,0 т/га ($N_{110}P_{80}K_{80}$); 4. NPK 6,0 т/га ($N_{150}P_{100}K_{100}$), а также варианты с междурядной обработкой (МО) и без междурядной обработки.

Осенью после уборки предшественника проводилась отвальная обработка почвы плугами с предплужниками на глубину 23–25 см. Боронование проводилось весной по физически спелой почве в два следа боронами БЗСС-1,0. Удобрения вносились на планируемую урожайность сеялками СЗП-3,6 перед предпосевной культивацией, которая проводилась при помощи культиватора КПС-4. Сев осуществлялся при помощи сеялок точного высева СУПН-8А с междурядьем 70 см и нормой высева 70 тыс. семян на гектар. Междурядную обработку проводили культиватором КМН-4,2 в фазу 8–9 листа

на глубину 3–4 см. В опыте высевался гибрид кукурузы Ладожский-148 (ФАО 150).

Почва – чернозем сильновыщелоченный, маломощный, тяжелосуглинистый, сформировавшийся на карбонатных лессовидных суглинках. Морфологические признаки и основные свойства характерны для почв юга Тюменской области (Eremin, 2016). Плотность почвы определяли методом Качинского в 12-кратной повторности, структурно-агрегатный состав – методом сухого просеивания. Статистическая обработка результатов осуществлялась с использованием программы Excel.

Результаты исследований. Перед закладкой опыта коэффициент структурности почвы находился в пределах от 2,3 до 2,7 ед., что характеризовало почву как хорошо оструктуренную (табл. 1). Однако уже к фазе 8–9 листа кукурузы хотя почва и оставалась в категории хорошо оструктуренной, но $К_{стр}$ уменьшался до1,7–1,9 ед. В период от фазы 8–9 листа до цветения кукурузы структура почвы не изменилась – отклонения были в пределах $НСР_{05}$. Однако уже к периоду уборки коэффициент структурности снизился во всех вариантах до 1,4 ед. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность до 6,0 т/га зерна кукурузы не оказало влияния на структурное состояние выщелоченного чернозема.

Таблица 1. **Влияние междурядной обработки кукурузы на коэффициент структурности ($К_{стр}$) пахотного слоя (МО)**

Варианты (фактор А)	Фазы развития (фактор В)			
	перед посевом	фаза 8–9 листа	цветение	уборка
Контроль	2,6	1,8	1,9	1,5
NPK на 4,0 т/га	2,7	1,7	1,8	1,4
NPK на 5,0 т/га	2,4	1,9	1,7	1,5
NPK на 6,0 т/га	2,6	1,7	1,8	1,6
$НСР_{05}$ по фактору А=0,3; по фактору В=0,3; АВ=0,4				

Проведение междурядной обработки почвы в фазу 8–9 листа кукурузы способствовало улучшению структурно-агрегатного состояния почвы. Коэффициент структурности возрос до 2,6–3,0 ед., что на 27–40 выше, чем в варианте без междурядной обработки (табл. 2). Улучшение структурного состояния почвы в указанных вариантах объясняется тем, что междурядная

обработка кукурузы в данный период способствовала разрушению глыбистой фракции почвы и улучшению водного режима. До фазы цветения в указанных вариантах происходило незначительное ухудшение структурного состояния почвы, что объясняется ее особенностью. К периоду уборки структура почвы в вариантах с применением междурядной обработки кукурузы не изменилась, значения были в пределах $НСР_{05}$. Однако структура почвы относительно варианта без применения междурядной обработки почвы была выше на 0,3 0,6 ед. Таким образом, проведение междурядной обработки кукурузы в фазу 8 9 листа способствует улучшению структурно-агрегатного состояния чернозема выщелоченного в посевах кукурузы.

Таблица 2. **Коэффициент структурности пахотного слоя при выращивании кукурузы без междурядной обработки**

Варианты (фактор А)	Фазы развития (фактор В)			
	перед посевом	фаза 8–9 листа	цветение	уборка
Контроль	2,3	3,0	2,3	2,1
NPK на 4,0 т/га	2,6	2,7	2,2	1,9
NPK на 5,0 т/га	2,3	2,6	2,2	1,8
NPK на 6,0 т/га	2,7	2,7	2,1	1,9
$НСР_{05}$ по фактору А = 0,4; по фактору В = 0,3; АВ = 0,4				

Как отмечает А. Э. Панфилов, для хорошего роста кукурузы необходима плотность в пределах 1,0–1,2 г/см^3 (Панфилов, 2012). В настоящем исследовании плотность пахотного слоя почвы (0–30 см) перед посевом находилась в пределах 0,9–1,0 г/см^3 (табл. 3). До появления всходов плотность почвы не изменилась, отклонения были в пределах $НСР_{05}$.

Таблица 3. **Плотность сложения почвы при выращивании кукурузы, г/см^3**

Плотность сложения в посевах кукурузы, 2016 год										
Слой	перед посевом		всходы		8–9 лист		цветение		уборка	
	без МО	МО	без МО	МО	без МО	МО	без МО	МО	без МО	МО
0–10	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	0,9	1,2	1,1	1,2	1,2
10–20	0,9	0,9	1,0	1,0	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
20–30	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,3	1,3	1,2
30–40	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

Междурядная обработка (МО) – $НСР_{05}$ по фактору А = 0,1;
Фазы развития – фактор В = 0,1; фактор АВ = 0,1.

До фазы 8–9 листа кукурузы плотность почвы в слое 10-20 см увеличилась до 1,2 г/см^3. Изменения плотности почвы в других слоях не

наблюдалось. Проведенная междурядная обработка обеспечила снижение плотности почвы в слое 0-10 см, где разница составила 0,2 г/см^3, $НСР_{05}$ = 0,1. Снижение плотности почвы в указанный период обеспечивало улучшению аэрации корнеобитаемого слоя, что положительно влияло на питательном режиме кукурузы. В более поздние сроки междурядная обработка кукурузы не оказала значительного влияния на плотность почвы, значения были в пределах $НСР_{05.}$

В проведенном опыте на естественном агрофоне было получено 3,7 т/га зерна, внесение минеральных удобрений позволило увеличить урожайность до 4,9 т/га. Проведение междурядной обработки в фазу 8–9 листа обеспечило повышение урожайности зерна кукурузы на 0,3–0,8 т/га (рис.), $НСР_{05}$ = 0,2 вне зависимости от доз внесенных минеральных удобрений.

По мнению автора, прибавка урожая в вариантах с планируемой урожайностью до 4,0 т/га зерна кукурузы была получена за счет улучшения аэрации и водного режима почвы, что повлияло на улучшение питательного режима кукурузы. На высоком агрофоне МО обеспечила наибольшую прибавку урожайности зерна, которая составила 0,8 т/га. Это произошло за счет улучшения агрофизических свойств почвы, поскольку посевы кукурузы были обеспечены питанием на протяжении всей вегетации.

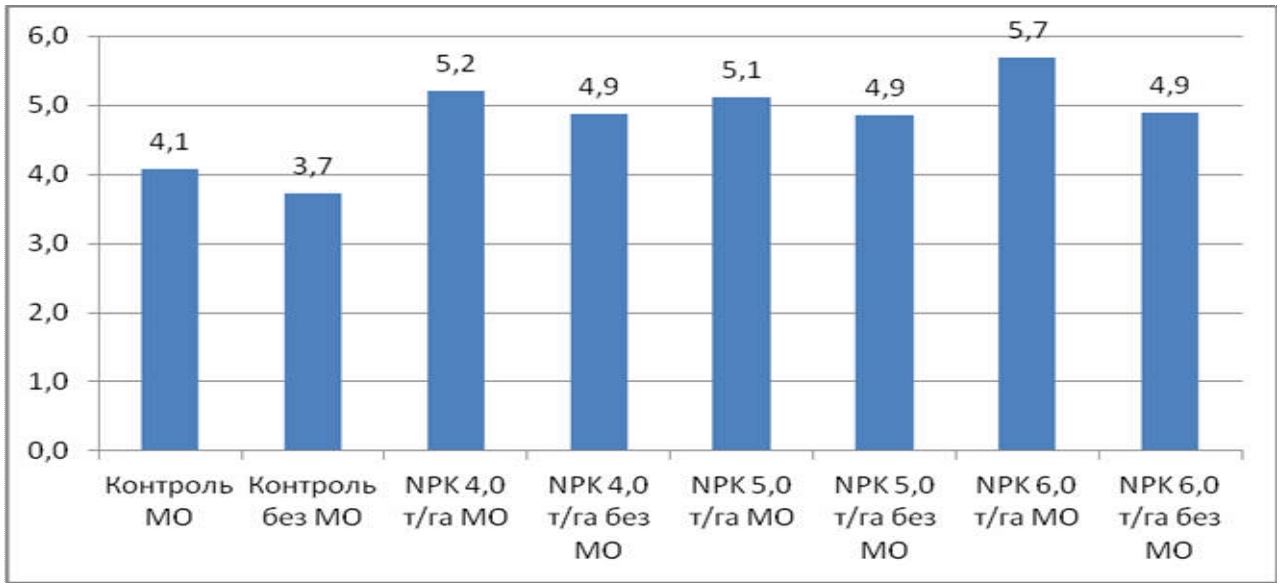


Рис. Влияние минеральных удобрений на урожайность кукурузы

Выводы

1. Междурядная обработка кукурузы, проведенная в фазу 8–9 листа, способствовала улучшению структурно-агрегатного состояния почвы, ее положительное действие наблюдалось вплоть до уборки. $К_{стр}$ в период уборки составлял 1,8–2,1 ед., тогда как в вариантах без ее проведения – 1,4–1,6 ед.

2. Междурядная обработка оказала положительное влияние на изменение плотности почвы под кукурузой. Разница с вариантами без междурядной обработки в фазу цветения составила до 13%, к фазе уборки ее эффект снижался.

3. Междурядная обработка почвы под посевами кукурузы в фазу 8–9 листа обеспечила увеличение урожайности зерна на 0,3–0,8 т/га при $НСР_{05} = 0,2$.

Список литературы

1. Еремина Д. В., Дёмин Е. А. Агроэкономическое обоснование выращивания кукурузы на зерно в лесостепной зоне Зауралья // Агропродовольственная политика России. 2016. № 12 (60). С. 27–30.

2. Казакова Н. И. Органогенез и продукционный процесс кукурузы в Зауралье. Челябинск, ЧГАА, 2015. 132 с.

3. Магомедов Н. Р., Мажидов Ш. М., Магомедов Н. Н. Влияние приемов обработки на агрофизические, агрохимические свойства почвы и продуктивность кукурузы в условиях орошения Терско-Сулакской подпровинции // Горное сельское хозяйство. 2015. № 3. С. 68–71.

4. Миллер Е. И., Рзаева В. В., Миллер С. С. Влияние основной обработки почвы на засоренность и урожайность кукурузы в северной лесостепи Тюменской области // Сборник статей II Международной научно-практической конференции. МЦНС «Наука и Просвещение». 2016. С. 182–186.

5. Еремин Д. И. Агрогенное изменение гранулометрического состава при распашке чернозема выщелоченного в лесостепной зоне Зауралья // Вестник красноярского государственного аграрного университета. 2014. № 8. С. 34–36.

6. Еремин Д.И., Еремина Д. В., Фисунова Ж. А. Физические свойства выщелоченных черноземов северного Зауралья в условиях длительного сельскохозяйственного использования // Аграрный вестник Урала. 2009. № 4 (58). С. 49–51.

7. Eremin D. I. Changes in the content and quality of humus in leached chernozems of the Trans-Ural forest-steppe zone under the impact of their agricultural use // Eurasian soil science. 2016. V. 49. № 5. pp. 538–545. DOI: 10.1134/S1064229316050033.

8. Панфилов А. Э. Проблемы и перспективы выращивания кукурузы на зерно в Зауралье // АПК России. 2012. Т. 61. С. 115–119.

КУЛОНОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОЙ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОВОЩЕВОДСТВА

В. Н. Зеленков[1], А. А. Лапин[2], С. С. Литвинов[1]

[1]*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства», д. Верея, Московская область;*

[2]*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань*

В настоящей работе рассматриваются экспериментальные данные по разработке метода определения суммарной антиоксидантной активности растительных образцов с использованием кулонометрического определения данного интегрального показателя химического состава растений при помощи электрогенерированных галогенов.

COULOMETRIC METHOD FOR THE DETERMINATION OF THE TOTAL ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PLANT SPECIMENS AND ITS APPLICATION TO VEGETABLE PRODUCTION

V. N. Zelenkov[1], A. A. Lapin[2], S. S. Litvinov[1]

[1]*FSBRE Institute of Vegetable Crops, Vereya, Ramensky district, Moscow region, Russia;*

[2]*Kazan State Power Engineering University*

The paper considers experimental data on the development of a method for determining the total antioxidant activity of plant samples using the coulometric determination of this integral index of the plants chemical composition using electrogenerated halogens.

Актуальной проблемой в растениеводстве является научный поиск путей получения новых сортов растительных культур с высокими значениями антиоксидантной активности с целью обеспечения потребностей пищевой, фармацевтической и косметической промышленности биологически активным сырьем для производства новых видов функциональных продуктов лечебно-профилактической направленности. Изучение антиоксидантных свойств биологических материалов и разработка объективного и надежного экспресс-метода определения суммарной антиоксидантной активности (САОА) растений является одной из актуальных проблем количественной оценки их физиологического потенциала. Термин «антиоксидантный статус растений», впервые введенный авторами (Лапин, Зеленков, 2006, 2007), объединяет характеристики какого-либо вида растения по синтезу и накоплению в

различных частях растения веществ-восстановителей, образующихся как в процессе жизнедеятельности, так и поступающих из внешней среды и способных активно взаимодействовать со свободными радикалами.

Существует множество обобщенных показателей, которые используются в том числе для оценки объектов окружающей среды. К ним относятся химическое (ХПК) и биохимическое (БПК) потребление кислорода, перманганатная и бихроматная окисляемость, общее содержание органического углерода, тяжелых металлов, фенольный индекс, общее содержание углеводородов в почве и др. (Воронцов, Пацовский, Никанорова, 2009; Лапин, Зеленков, Романова. 2008).

Термин «суммарная антиоксидантная активность» основан на обобщенных показателях для растений. Он включает в себя совокупность всех веществ экзогенного и эндогенного происхождения, выделенных через экстракцию высушенных растений (или их частей), вступающих в реакцию со свободными радикалами, сгенерированными на электродах. Это можно фиксировать по проходящему току в измерительной ячейке, связанной с регистрирующим прибором, с последующим пересчетом количественных показателей, выраженных в кулонах, на их эквивалент в относительных величинах массы известного антиоксиданта – рутина (или других аналогов) в мг или г рутина на 100 г а.с.о. (абсолютно сухого исследуемого образца).

Один из вариантов такого подхода был ранее разработан авторами и стандартизован в варианте методики выполнения измерений суммарной антиоксидантной активности биологических материалов методом гальваностатической кулонометрии на приборной базе универсального прецизионного кулонометра «Эксперт-006», разработанного и серийно выпускаемого НПК ООО «Эконикс-Эксперт» (г. Москва, № 23192-02 в Госреестре средств измерений РФ). Методика выполнения измерений в приложении к растительным объектам ранее изложена в различных публикациях (Лапин, Романова, Зеленков, 2011; Зеленков, Лапин, 2013).

В работе (Зеленков, Марков, Лапин и др., 2010) показаны возможности нового стандартизованного метода по скринингу растений для определения показателей их САОА при изучении закономерностей изменений антиоксидантного статуса в зависимости от погодных условий их вегетации в природе.

Анализ измерений САОА для семи различных овощей позволил распределить их по присущему им антиоксидантному статусу в диапазоне количественных значений САОА вне зависимости от сорта и технологий выращивания. Так, анализ данных САОА по 14-ти сортообразцам огурца, 11-ти сортам перца, 21-му сорту/гибриду томатов, 30-ти сортам/гибридам моркови, 20-ти вариантам условий выращивания одного сорта свеклы, 12-ти сортам/гибридам капусты и 9-ти сортам/гибридам топинамбура установил их расположение относительно уровней значений их максимумов и минимумов количественных значений САОА в определенных диапазонах (рис. 1).

Как видно из приведенных данных, для овощей каждого вида существует определенный диапазон количественных значений САОА, характеризующий овощи одного вида по антиоксидантному статусу, значения которого лежат в области определенного диапазона значений САОА.

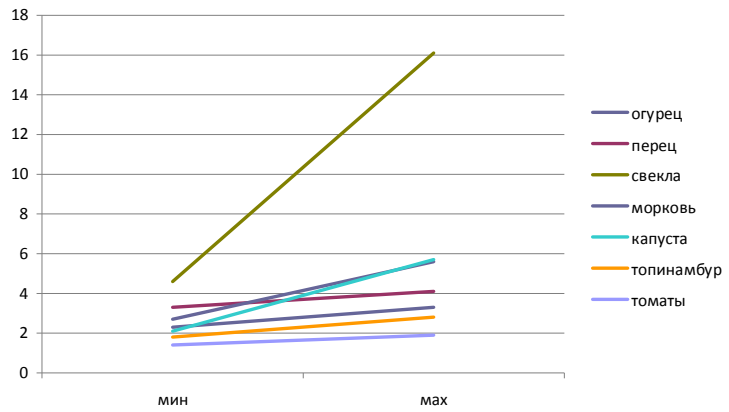


Рис. 1. Значения САОА г рутина в 100 г а.с.о образцов овощей

Исследованные овощи можно расположить по возрастанию их антиоксидантного статуса в следующей последовательности: томаты – топинамбур – капуста – перец – капуста – морковь – свекла.

Как видно из рис. 1, использование различных агротехнических приемов выращивания и применение удобрений существенно расширяет диапазон САОА свеклы, что свидетельствует о высоком потенциале лабильности растения по активизации фотосинтеза биологически активных веществ, проявляющих антирадикальную (антиоксидантную) активность.

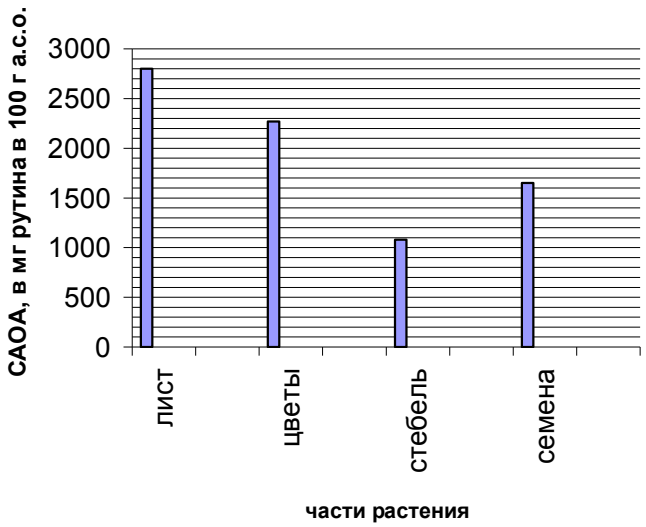


Рис. 2. САОА (мг рутина на 100 г а.с.о.) частей растения нуга абиссинского российского сорта Липчанин (ВНИИ рапса, г. Липецк) в фазу цветения (воздушно-теневая сушка) и его семян

Исследования САОА первого отечественного сорта нуга Липчанин (ВНИИ рапса г. Липецк) продемонстрировали возможности использования метода для характеристики биологического потенциала растения масличной и кормовой направленности при интродукции и селекционном отборе. Как видно из рис. 2, показатели САОА для разных частей нуга характеризуют высокий потенциал растения по синтезу веществ с антиокислительными (антирадикальными) свойствами и накоплению их в различных частях растения. Это может позволить проводить целенаправленную селекционную работу по получению новых сортов нуга с повышенной антиоксидантной активностью семян в качестве сырья для пищевой промышленности и зеленой массы для кормопроизводства.

Таким образом, кулонометрический метод определения суммарной антиоксидантной активности растений и их антиоксидантного статуса позволяет использовать новые возможности для изучения интродукции новых

для России растений, проведения селекции и исследования закономерностей физиологии развития как сельскохозяйственных овощных культур, так и растений в природе.

Список литературы

Лапин А. А., Зеленков В. Н. Применение антиоксидантного статуса в фитотерапии // Материалы научно-практической конференции «Фитотерапия, биологически активные вещества естественного происхождения в современной медицине» (14–15 декабря 2006 г., г. Черноголовка). Черноголовка, Редакционно-издательский отдел ИПХФ РАН, 2006. С. 146–153.

Лапин А. А., Зеленков В. Н. К вопросу определения антиоксидантного статуса растений // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: Сборник научных трудов. Вып. 14. М., РАЕН, 2007. С. 43–52.

Воронцов А. М., Пацовский А. П., Никанорова М. Н. Возможности применения озонохемилюминесценции для оценки содержания органических веществ в природной воде // Водные ресурсы. 2009. Т. 37. С. 25–32.

Лапин А. А., Зеленков В. Н., Романова Н. Г. Определение антиоксидантной активности плодово-ягодного сырья и чайных напитков методом гальваностатической кулонометрии: Научно-методическое пособие. М., РАЕН, 2008. 42 с.

Лапин А. А., Романова Н. Г., Зеленков В. Н. Применение метода гальваностатической кулонометрии в определении антиоксидантной активности различных видов биологического сырья и продуктов их переработки: Учебное пособие. Изд-во РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2011. 197 с.

Зеленков В. Н., Лапин А. А. Суммарная антиоксидантная активность. Методика выполнения измерений на кулонометрическом анализаторе. МВИ-01-00669068-13. ВНИИ овощеводства Россельхозакадемии, 2013. 19 с. Свидетельство ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Тамбовской области» аттестации МВИ № 25/01.00240-2008 от 08.05.2013.

Зеленков В. Н., Марков М. В., Лапин А. А., Козаева Л. Т. Компоненты растительного покрова Тамбовской области и их антиоксидантный статус. М.: РАЕН, 2010. 122 с.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ НАНОКРЕМНЕЗЕМ – ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ БОРЬБЫ С ГРИБНЫМИ ПАТОГЕНАМИ ТОМАТА В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

В. Н. Зеленков[1], К. Л. Алексеева[1], В. В. Потапов[2]

[1]ФГБНУ ВНИИ овощеводства, Московская область, Раменский район, дер. Верея;

[2]НИГТЦ ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

В работе приведены экспериментальные данные по влиянию наночастиц кремнезема гидротермального происхождения на развитие мучнистой росы томата (возбудители *Oidium neolycopersici* Kiss, *Oidiopsis sicula*) при естественном поражении растений гибрида F_1 Островок. Опыт проводился в трехкратной повторности в условиях теплицы с использованием делянок по 5 м^2. Через три дня после появления первых признаков болезни растения были обработаны водным золем гидротермального нанокремнезема с концентрацией 0,05% по твердой SiO_2 путем опрыскивания. В качестве контрольных вариантов проведены обработки растений чистой водой и стандартным препаратом Алирин-Б с рекомендуемой концентрацией 0,1%, который разрешен к применению и широко используется в условиях закрытого грунта. Вторую обработку делянок с опытными и контрольными растениями провели через 15 дней после первой обработки.

Результаты проведенных испытаний показали, что по сравнению с применением стандартного препарата для мучнистой росы (Алирин-Б) использование золя гидротермального нанокремнезема позволило существенно снизить развитие заболевания в несколько раз (с 11,4% до 3,8% после первой обработки и с 28,6% до 4,7% после второй обработки) при степени развития заболевания в контроле 33,3% и 61,9% (через 15 и 30 дней соответственно). При этом биологическая эффективность применения гидротермального нанокремнезема после второй обработки растений томата составила 92,4% по сравнению с 53,7% для стандартного препарата (Алирин-Б).

HYDROTHERMAL NANOSILICA AS A PROMISING BASIS FOR THE CREATION OF A NEW TECHNOLOGY TO COMBAT FUNGAL PATHOGENS OF GREENHOUSE TOMATO

V. N. Zelenkov[1], K. L. Alekseeva[1],V. V. Potapov [2]

[1]The Federal State Budgetary Scientific Organization «All-Russian Research Institute of Vegetable Growing»;

[2]Scientific-Research Geotechnological Center of Russian Academy of Sciences

The paper presents experimental data on the effect of hydrothermal nanosilica on the powdery mildew pathogen (Oidium neolycopersici Kiss, Oidiopsis sicula). The natural leaf spoil by the fungal population on the tomato cultivar F1 Ostrovok (Island) has been studied using 5 m^2 greenhouse plots in threefold repetition. Three days following the first signs of disease, the fruiting tomato plants were treated by spraying an aqueous zol of hydrothermal nanosilica with a concentration of 0.05% calculated by solid SiO_2. Treatment of plants by pure water as well as by standard 0,1% Alirin-B drug, recommended for use and widely accepted in greenhouses were carried out as control

variants. The second treatment of experimental and control plants was carried out 15 days after the first.

The above-mentioned tests showed that in comparison with a standard drug for powdery mildew treatment (Alirin-B) the use of zol hydrothermal nanosilica significantly reduced the development of the disease namely several times (from 11.4% to 3.8% after the first treatment and from 28.6% to 4.7% after the second treatment). In that time, the control extent of disease was 33.3% and 61.9% (after 15 and 30 days, respectively). The biological efficacy of hydrothermal nanosilica on the tomato plants after the 2nd treatment achieved 92.4% compared with 53.7% for the standard drug (Alirin-B).

Мучнистая роса (возбудители *Oidium neolycopersici* Kiss, *Oidiopsis sicula*) поражает томаты во второй половине вегетационного периода и вызывает раннее старение и отмирание листьев нижнего яруса. Особенно сильное развитие заболевания отмечается при сухой и жаркой погоде, а также при недостаточном поливе. В результате поражения мучнистой росой происходят ослабление растений томата, сокращение площади ассимиляционной поверхности и снижение урожая (Ахатов и др., 2006). В наибольшей степени поражаются неустойчивые гибриды.

Из химических средств защиты томата от мучнистой росы для применения в РФ разрешены следующие фунгициды:

– Байлетон, СП (1–2,5 л/га) – ингибирует синтез эргостерина в клеточных мембранах возбудителя;

– Квадрис, СК (0,8–1 л/га) – ингибирует процесс переноса электронов в митохондриях грибов, блокирует дыхание;

– Строби, ВДГ (0,2–0,3 л/га) – аналогичный механизм действия.

Химические методы защиты имеют известные недостатки – загрязнение окружающей среды и накопление остаточных количеств пестицидов в продукции, появление устойчивых рас возбудителя и снижение эффективности обработок, ухудшение условий труда в теплицах.

Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется биологическим методам защиты растений, предусматривающим применение биофунгицидов. Они разрабатываются на основе как живых культур микроорганизмов-антагонистов, так и продуктов их жизнедеятельности. Механизм действия данных препаратов основан на антагонистической активности штаммов-продуцентов и токсическом действии входящих в их состав антибиотиков. В большинстве они являются альтернативой химическим препаратам, позволяют подавлять развитие патогенов и не оказывают негативного влияния на

окружающую среду. Основной недостаток биофунгицидов заключается в невысокой биологической эффективности.

Разработка способов защиты томата от мучнистой росы, обеспечивающих высокую эффективность биологического действия и экологическую безопасность технологии при применении препарата на основе природного сырья, является весьма актуальной в настоящее время, особенно для условий защищенного грунта.

В данной работе был исследован водный золь гидротермального нанокремнезема в качестве возможного нового средства в борьбе с мучнистой росой томата.

Гидротермальный нанокремнезем (ГНК) получали посредством мембранных технологий и концентрирования растворенного в природных термальных водах кремнезема, который за счет реакций поликонденсации ортокремниевой кислоты переходит в наноразмерные формы в водной природной среде. Технологии получения ГНК описаны в работах (Потапов, Зеленков и др., 2006; Потапов, Зеленков и др., 2010).

Обработку растений томата проводили путем их опрыскивания водной дисперсией гидротермального нанокремнезема рабочей концентрацией 0,05% в условиях теплицы ВНИИ овощеводства. При испытаниях использовался гибрид томата F_1 Островок. Площадь учетных делянок 5 $м^2$, повторность опыта трехкратная.

Поражение листьев томата мучнистой росой происходит в фазу плодоношения. Первые признаки болезни были отмечены на листьях томата 12.08.2016 г. Через три дня после проявления болезни растения были обработаны водным золем гидротермального нанокремнезема с концентрацией 0,05% по твердой SiO_2. В качестве контроля проводилась обработка растений томата чистой водой, а в качестве эталона использовался стандартный препарат Алирин-Б, который разрешен к применению и широко используется в условиях закрытого грунта. Концентрация рабочего раствора Алирина-Б составляла 0,1% в соответствии с инструкцией по применению.

Вторую обработку делянок с опытными и контрольными растениями провели через 15 дней после первой обработки (30 августа 2016 г.).

Учет развития болезни проводился по стандартной методике (под ред. Долженко, 2009). Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Если в контроле к 15 сентября степень развития болезни составила 61,9%, то у обработанных растений были поражены только отдельные нижние листья, степень развития болезни не превышала 4,7%, а биологическая эффективность составила 92,4%.

По сравнению с использованием стандартного препарата против мучнистой росы (Алирин-Б) применение золя гидротермального нанокремнезема позволяет существенно снизить развитие заболевания в несколько раз (с 11,4% до 3,8% после первой обработки и с 28,6% до 4,7% после второй обработки). При этом биологическая эффективность применения гидротермального нанокремнезема после второй обработки растений томата составила 92,4% по сравнению с 53,7% для стандартного препарата (эталон).

Таблица. **Биологическая эффективность гидротермального нанокремнезема против мучнистой росы томата**

Вариант	Концентрация рабочих растворов препаратов, %	Степень развития мучнистой росы, %	Биологическая эффективность обработки препаратами, %
на 15-е сутки после 1-й обработки			
1.Золь ГНК	0,05	3,8	88,6
2.Алирин-Б (эталон)	0,1	11,4	65,8
3.Контроль (обработка водой)	–	33,3	–
на 15-е сутки после 2-й обработки			
1.Золь ГНК	0,05	4,7	92,4
2.Алирин-Б (эталон)	0,1	28,6	53,7
3.Контроль 1 (обработка водой)	–	61,9	–

Таким образом, в результате проведенных исследований установлена высокая биологическая эффективность золя гидротермального нанокремнезема против мучнистой росы томата и продемонстрирована принципиальная возможность его использования в качестве экологически безопасного средства защиты растений от грибных болезней.

Список литературы

Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / Под ред. В. И. Долженко. СПб., ВИЗР, 2009. 378.

Потапов В. В., Зеленков В. Н., Кашпура В. Н., Горбач В. А., Мурадов С. Н. Получение материалов на основе нанодисперсного кремнезема гидротермальных растворов. М., РАЕН, 2010. 296 с.

Потапов В. В., Зеленков В. Н., Горбач В. А., Кашпура В. Н., Мин Г. М. Извлечение коллоидного кремнезема из гидротермальных растворов мембранными методами. М., РАЕН, 2006. 228 с.

УДК 631.962:574.24

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТЬИЧНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ТРАНСПИРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОБИЛЬНОГО ПОЛЕВОГО АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Л. В. Козырева, И. Л. Максенкова, А. В. Доброхотов

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

Важным регулятором углеродного и водного обмена растений является устьичная проводимость. Расчет данного параметра необходим для моделей фотосинтез — транспирация, а также для оценки роста и развития растений в экосистемах. Проводимость устьиц зависит от многочисленных факторов окружающей среды, которые регулируют степень открытости устьиц и оказывают влияние непосредственно на процесс транспирации. Устьичная проводимость связана с понятием устьичного сопротивления, которое является значительным фактором при изучении устьичной регуляции.

В данной работе проведены экспериментальные исследования устьичного сопротивления и его реакции на интенсивность транспирации на конкретных сомкнутых посевах сельскохозяйственных культур. Приведены и апробированы методы расчета устьичной регуляции суммарного испарения (транспирации) по данным, собранным автоматизированным мобильным полевым агрометеорологическим комплексом (АМПАК). Полевые эксперименты проведены на посевах ячменя и рапса Меньковской опытной станции и на опытных участках Агрофизического института с культурами ячменя и амаранта. Установлена изменчивость интенсивности транспирации в зависимости от применения удобрений и от типа растений C_3 и C_4.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF STOMATAL REGULATION OF TRANSPIRATION USING DATA FROM AUTOMATED MOBILE FIELD AGROMETEOROGICAL EQUIPMENT

L. V. Kozyreva, I. L. Maksenkova, A. V. Dobrokhotov

Agrophysical Research Institute

An important factor of carbon and water change is stomatal conductance. Calculation of this parameter is necessary for photosynthesis – transpiration models and for estimation of plant growth and development. Stomatal conductance is linked to stomatal resistance term that represents considerable factor in studying of stomatal regulation. Stomatal conductance dependents on many environment conditions that affect not only on stomatal openness degree but also on transpiration process.

The paper presents the data on experimental researches of stomatal resistance and its response on transpiration rate on specific dense agricultural crops. The methods for calculation stomatal regulation of evapotranspiration using data derived from automated mobile field agrometeorogical equipment (AMFAE) have been described and evaluated. The field observations took place on sowing of barley and rapeseed in Menkovo and on Agrophysical research institute studying area with barley and amaranth. The difference of transpiration rate from fertilized area and from not fertilized area is shown. The difference of transpiration rate from different canopy type of C3 and C4 is revealed.

Введение. Важным регулятором, определяющим изменение ширины устьиц, а также, соответственно, углеродный и водный обмен у растений, является устьичное сопротивление. Проводимость устьиц меняется в зависимости от многочисленных факторов окружающей среды, таких как солнечная радиация, температура воздуха, дефицит влажности воздуха и почвы, скорость ветра, концентрация CO_2 около растительной поверхности. Кроме того, величина устьичной проводимости зависит от фазы развития растений, от агрометеорологических факторов предыдущего дня, вегетационного сезона и т. д. Для выполнения точного расчета транспирации важно проводить непрерывные измерения устьичной проводимости. В настоящем исследовании временной шаг измерений метеоданных равен 90 сек. Зависимость устьичной проводимости и сопротивления от температуры и атмосферного давления воздуха описана в работе (Blonquist et al., 2009). При этом устьичное сопротивление (сопротивление растительности, r_s) (с/м) конвертируется через устьичную проводимость (g_s) (моль/м^2 с) соотношением (1):

$$r_s = \frac{\rho_{Mol}}{g_s}, \tag{1}$$

где ρ_{mol} – молекулярная плотность воздуха (моль/м^3), через которую оценивается влияние давления (P) и температуры (T) окружающего воздуха. Формула (2) для расчета представлена ниже (Campbell, Norman, 1998):

$$\rho_{mol} = 44.6 \frac{P}{101.3} \frac{273.15}{T}. \tag{2}$$

Методы расчета растительного сопротивления. Существуют различные методы определения устьичного сопротивления. Авторами (Todorovic, 1999; Alves, Pereira, 2000) предложен метод определения суммарного устьичного сопротивления (r_s), в котором посев рассматривается как «большой лист». Модель апробирована в исследовании (Ефимов и др., 2009) на поле ячменя (Меньковская опытная станция, Ленинградская область,

59°41′N, 30°13′E). Метеорологические данные для расчетов в настоящем исследовании были получены из автоматизированного мобильного полевого агрометеорологического комплекса (Козырева и др., 2016). Для расчета устьичного сопротивления можно воспользоваться программным обеспечением, разработанным в Агрофизическом институте (Ефимов, Козырева, 2010).

На рис. 1 показано распределение устьичного сопротивления на сомкнутой поверхности ячменя в дневное время, рассчитанное по формулам (Ефимов, Козырева, 2010).

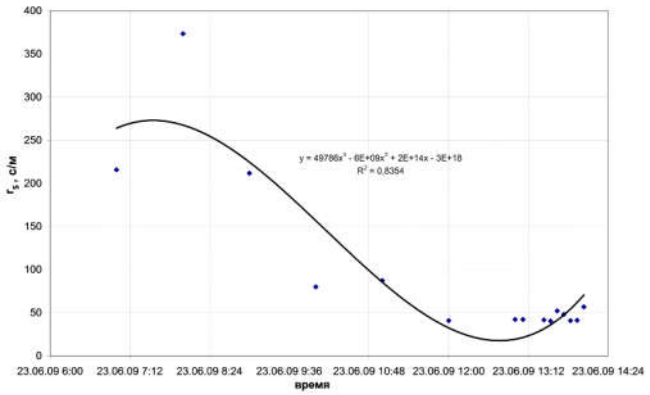


Рис. 1. Устьичное сопротивление на поле ячменя в стадии колошения (МОС, 23.06.2009.)

Реальное суммарное испарение определяется на поле с конкретной культурой. В Агрофизическом институте разработана методика определения реального суммарного испарения с выбранным временным шагом в режиме реального времени (Ефимов, Козырева, 2009). Для расчета реальной эвапотранспирации предложено использовать формулу Пенмана – Монтейса (Allen et al., 2007) с величинами аэродинамического сопротивления переносу потока турбулентного тепла и суммарного растительного сопротивления (устьичного и кутикульного сопротивления).

Для исследования влияния устьичного сопротивления на величину реального суммарного испарения над растительной поверхностью были проведены полевые эксперименты. Измерения метеорологических параметров были проведены автоматизированным мобильным комплексом (АМПАК) (Ефимов, Козырева, 2009) в 2014 г. на удобренных и неудобренных участках поля с яровым рапсом сорта Оредеж-4.

Расчет устьичного сопротивления был проведен на двух участках рапса по формуле (3) (Berni et al., 2009; Jackson et al., 1981):

$$r_s = \frac{r_a\left(e_s - e_a\right)}{\gamma\left(\left(r_a \frac{Rn_c}{\rho c_p}\right) - \left(T_s - T_a\right)\right)} - r_a, \quad (3)$$

где T_s – радиометрическая температура растительной поверхности (°C); T_a – температура воздуха на высоте 2 м (°C). На рис. 2 видно, как увеличивалось устьичное сопротивление в середине дня на неудобренном участке, то есть устьица закрывались, в то время как на удобренном участке они оставались открытыми весь день.

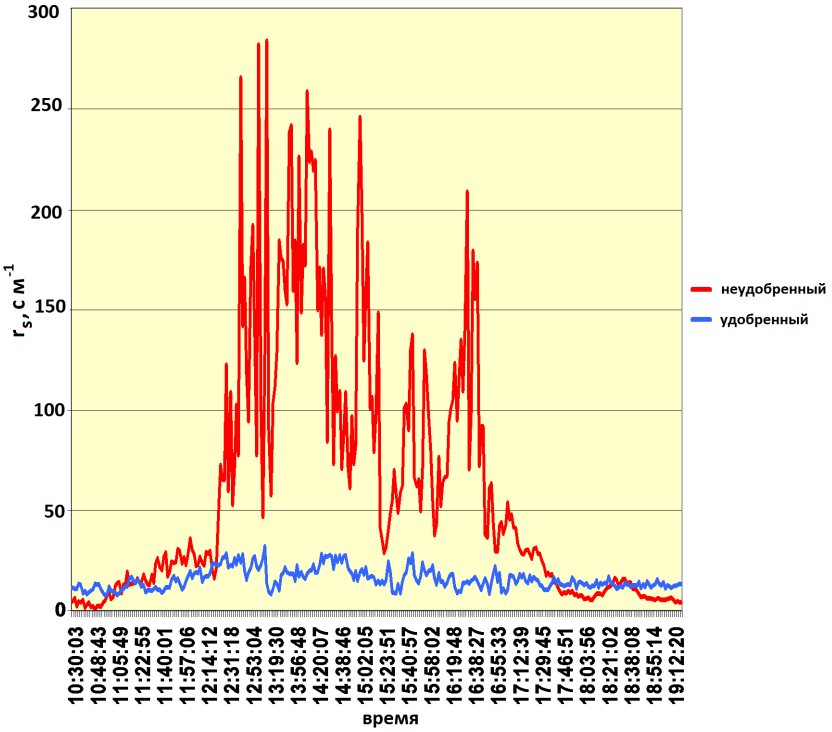


Рис. 2. Устьичное сопротивление рапса на удобренном (NPK) и неудобренном участках (с/м) 06.07.2014. на Меньковской опытной станции Агрофизического института (МОС АФИ), (59°41′N, 30°13′E)

Сумма реального испарения над удобренным полем с рапсом составила 6,9 мм, над неудобренным участком – 4,5 мм.

В 2015 г. был проведен полевой эксперимент на участках Агрофизического института (60°0′N, 30°22′E) на посевах с различным типом фотосинтеза – ячмень (C_3 культура) сорта Ленинградский и амарант (C_4 культура) сорта Крепыш (Доброхотов и др., 2016). Оценка сопротивления

поверхности проведена по формуле (3). Распределение полученных устьичных сопротивлений с растительных поверхностей ячменя и амаранта представлено на рис. 3.

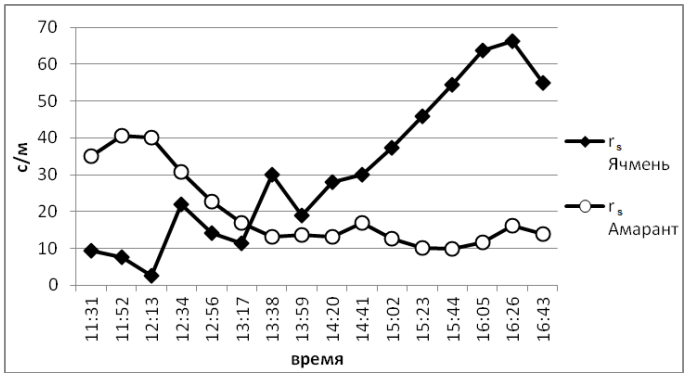


Рис. 3. Суммарное сопротивление поверхности (r_s) ячменя и амаранта (21.07.2015.)

Выводы. Установлена реакция устьичной проводимости посевов на изменение параметров окружающей среды. Устьичная регуляция транспирации растений является величиной, от которой зависит массообмен между листовой поверхностью и окружающей средой. Использование методов точной оценки параметров и микроклимата конкретных посевов позволит рационально применять агромелиоративные приемы и строить достоверные модели продуктивности конкретных сельскохозяйственных культур.

Список литературы

Доброхотов А. В., Хомяков Ю. В., Козырева Л. В., Ситдикова Ю. Р., Вертебный В. Е. Экспериментальные исследования взаимосвязи между транспирацией и ассимиляцией CO_2 в посевах C_3 и C_4 культур // Агрофизика. 2016. № 1. С. 24–1.

Козырева Л. В., Доброхотов А. В., Ситдикова Ю. Р., Ефимов А. Е. Методика оценки составляющих водного и теплового балансов в системе «почва – растение – приземный слой воздуха» с учетом стратификации приземного слоя, неоднородности подстилающей поверхности с использованием данных дистанционного зондирования земли и наземной калибровки автоматизированным мобильным полевым комплексом (АМПАК). СПб., 2016. 47 с.

Ефимов А. Е., Козырева Л. В. Программа для обработки экспериментальных полевых данных и вычисления агрометеорологических параметров фитоклимата сельскохозяйственного поля. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2010616625, 5 окт. 2010 г.

Ефимов А. Е., Козырева Л. В. Мобильный агрометеорологический информационно-измерительный комплекс. Сибирский физико-технический институт аграрных проблем // Информационные технологии, системы и приборы в АПК: материалы IV Международной научно-практической конференции «АГРОИНФО-2009». Сибирский физико-технический институт аграрных проблем СО Россельхозакадемии. 2009. С. 276–277.

Ефимов А. Е., Козырева Л. В., Кочегаров В. Ф. Определение явного и скрытого потоков тепла с использованием градиентных измерений температуры и влажности воздуха на поле // Материалы Второй научно-практической конференции / Под ред. А. Д. Клешенко, И. Г. Грингофа. 2010. С. 380–391.

Allen R. G., Tasumi M., Trezza R.. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (metric)-model // J. of irrigation and drainage engineering. 2007. pp. 380–393.

Alves I., Pereira L. S. Modelling surface resistance from climatic variables // Agric. Water Manag. 2000. № 42.3. pp. 371–385.

Blonquist Jr., Norman J. M., Bugbee B. Automated measurement of canopy stomatal conductance based on infrared temperature // Agricultural and Forest Meteorology. 2009. № 149.12. pp. 2183–2197.

Campbell G. S., Norman J. M. 1998. An Introduction to Environmental Biophysics. Springer-Verlag, New York, NY, USA.

Berni A. J., Zarco-Tejada G. Sepulcre-Cantó E., Fereres F. Villalobos. Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery // Remote Sensing of Environment. 2009. № 113. pp. 2380–2388.

Jackson R. D., Idso S. B., Reginato R. J. Canopy temperature as a crop water stress indicator // Water Resour. Res. 1981. № 17.4. pp. 1133–1138.

Todorovic M. Single-layer evapotranspiration model with variable canopy resistance // J. Irrig. And Drain. Eng. 1999. № 125.5. pp. 235–245.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПОЧВ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ВЛАГИ

К. Г. Моисеев

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

В работе представлен расчет дифференциальной пористости и основной гидрофизической характеристики (water retention curve) ветви иссушения для агрозема текстурно-дифференцированного среднесуглинистого Ленинградской области. Расчет был проведен при помощи независимого метода определения мультифрактальной размерности порового пространства на основе эффекта Харста при нестационарной фильтрации влаги через образец почвы (грунта).

DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF THE SPASE PORE OF SOIL AT THE FILTRATION OF WATER

K. G. Moiseev

Agrophysical Research Institute,

14, Grazhdanskyi pr., St. Petersburg, Russia

The paper presents the calculation of the differential porosity and the basic water-retention curve of the desiccation branch for agrozem of the texture-differentiated medium loamy of the Leningrad Region. The calculation was carried out using an independent method for determining the multifractal dimension of the pore space on the basis of the Harst effect under nonstationary moisture filtration through a sample of soil (soil).

В настоящее время в гидрофизике почв для решения практических задач, связанных с мелиоративными расчётами, расчетами оросительных норм и экологических рисков, широко используются математические модели гидрофизических функций. Исследователи стремятся повысить физическую обоснованность таких моделей и точность расчётов, тем самым снизив их вероятностное наполнение.

Перенос влаги в почве является основой всех гидрофизических почвенных процессов, поэтому центральное место в создаваемых функциональных моделях почв занимает функция влагопроводности. От качества определения данной функции зависят адекватность и точность моделей гидрофизических функций, а также расширение возможностей управления средой обитания растений. На протяжении десятилетий исследования указанного вопроса создано множество моделей, аппроксимирующих экспериментальные данные (Чайлдс, 1973; Мичурин, 1975;

Mualem, 1976; Судницин, 1979; van Genuchten, 1980; Воронин, 1984; Терлеев, 2005; Левковский и др., 2008; Šimunek et al., 2008; Mualem et al., 2009; Судницин и др., 2009; Шеин, 2010; Terleev et al., 2010; Терлеев и др., 2017).

Для верификации расчётных моделей функции влагопроводности достаточно исследовать в лаборатории основную гидрофизическую характеристику почв, или функцию водоудержания (ОГХ – water retention curve).

Попытки решения задачи априорного вычисления ОГХ предпринимаются с 1931 г., когда Л. Р. Ричардс получил уравнение влагопереноса в ненасыщенной водой области капиллярно-пористых тел (van Genuchten, 1980; Левковский и др., 2008; Терлеев и др., 2017). Трудность уравнения Ричардса заключается в том, что оно не имеет точного аналитического решения. Решение, в частности, возможно, если при помощи того или иного экспериментального метода или теоретически удастся определить (рассчитать) распределение пор по размерам – дифференциальную пористость почвы (ДПП).

В данной работе предлагается к рассмотрению метод определения мультифрактальной размерности порового пространства на основе эффекта Харста, возникающего при нестационарной фильтрации влаги через почвы (грунты). Например, переход от линейного режима Дарси к нелинейному режиму в процессе фильтрации очень сильно зависит от распределения пор по размерам (Гийом и др., 1991). На начальных стадиях данного процесса в относительно короткое время фильтрация воды через капиллярно-пористые тела (почвы) почти всегда является нестационарной. Не случайно ГОСТ 25584-90 требует определения коэффициента фильтрации в условиях установившейся фильтрации. Однако затухание автокорреляционной функции нестационарного процесса фильтрации для разных почв и, соответственно, различных почвенных структур происходит в разное время. Нестационарная фильтрация влаги через почву представляет собой процесс, зависимость объемного расхода жидкости от времени, для которого дисперсия $DX_t = t^{2H}, t \geq 0; 0 \leq H \leq 1$ (t – период времени) – периодическая функция (сигнал), спектр которой расходится при низких частотах (Найденов и др., 2000; Петровский, 2015).

На рис. 1 отображен асимптотический характер нестационарной фильтрации влаги через почву, то есть наличие эффекта Харста. Физически эффект Харста – это временное усиление водоотдачи на выходе из почвенной колонки при неизменном напоре влаги на входе в почву. Графически эффект Харста – это возникновение вторичных пиков на экспоненте фильтрации (рис. 1.) Пунктирная линия на рис. 1 в общем виде показывает, как выглядела бы кривая фильтрации при отсутствии эффекта Харста.

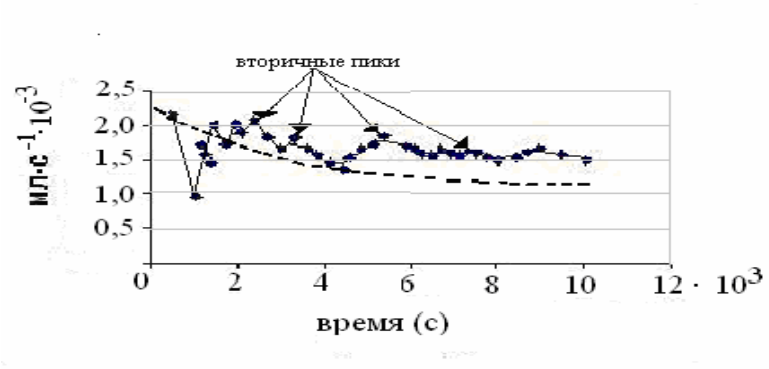


Рис. 1. Эффект Харста при нестационарной фильтрации влаги через образец среднесуглинистой почвы, текстурный горизонт (Bg)

Наличие эффекта Харста при фильтрации влаги через почву позволяет определить фрактальную размерность порового пространства почв как топологического объекта на основе фрактального анализа временного ряда в зависимости объемного расхода влаги от времени, измеренного в процессе исследования фильтрации воды через почву. Построенный временной ряд объёмного расхода влаги (рис. 1.) анализируется методом линейных систем фрактального анализа. Данный метод позволяет вычислить величину фрактального декремента. На основании величины фрактального декремента вычисляется мультифрактальная размерность почвенной структуры данного образца почвы. Методика вычислений фрактального декремента и мультифрактальной размерности временных рядов методом линейных систем изложена в работах Старченко (2005), Моисеева с соавт. (2014), Моисеева (2015), Чекиной (2015). Фрактальная размерность представляет собой сумму эвклидовой размерности двумерного пространства и фрактального декремента, так как фрактальная размерность объема капиллярно-пористой среды всегда меньше размерности трехмерного пространства (объема, E = 3 (Моисеев и др., 2014)).

ДПП рассчитывается на основе величины мультифрактальной размерности структуры почвы. Расчет по фрактальной модели доли объёма пор, занятых категориями гравитационной (поры инфильтрации) и капиллярной влаги, осуществляется по соотношениям (Тихомиров и др., 2011):

$$P_G = \frac{3-D}{r_{G\max}} \cdot \left(\int_{r_{\min}}^{r_{\max}} r_G^{\,2-D} \right), \; P_K = \frac{3-D}{r_{K\max}} \cdot \left(\int_{r_{\min}}^{r_{\max}} r_K^{\,2-D} \right), \qquad (1)$$

где P_G – объем пор инфильтрации; $r_{G\max}$ и $r_{G\min}$ - наибольший и наименьший радиусы пор инфильтрации; P_K – объем капиллярных пор; $r_{K\max}$ и $r_{K\min}$ - наибольший и наименьший радиусы капиллярных пор; D – мультифрактальная размерность.

Достаточно сложным остается вопрос определения граничных условий расчётов, то есть нахождения максимального и минимального радиуса пор капиллярно-пористого тела (почвы) при данном его сложении. Согласно формуле Жюрена, существует зависимость между давлением влаги и радиусом почвенных капилляров. В течение многолетних изучений данного вопроса разными исследователями установлены границы эффективных диаметров почвенных пор, эквивалентные давлению почвенной влаги (выраженному в см. вод. ст.), соответствующему размерам различных категорий пор. Так, нижняя граница размера пор принята за 0,0002 мм - это эквивалентный диаметр пор согласно максимальному давлению 15 атм. (pF = 5,2) в методике экспериментального определения ОГХ методом пресса. Область гравитационной влаги в почве начинается при размере пор от 0,033 мм. Область размеров пор от 0,0002 мм до 0,033 мм в почве обычно занята капиллярной влагой. Нижняя граница размера пор для области гравитационной влаги, таким образом, также определена. Необходимо установить максимальный радиус пор для категории гравитационных пор при данном сложении капиллярно-пористого тела (почвы).

Установить максимальный и минимальный размеры гравитационных пор возможно по данным анализа агрегатного состава почв. Агрегатный состав почвы определяется методом сухого рассева по общепринятой методике. Методика изложена в монографии Вадюниной и Корчагиной (1986).

Теоретический расчет максимального и минимального размера гравитационных пор производится по известным геометрическим соотношениям регулярной модели структуры почв (Мичурин, 1975). Средневзвешенный радиус агрегатов почвы умножается на коэффициенты 0,73, и 0,41 для наибольшего и наименьшего радиуса «гравитационных» пор соответственно. Величину наибольшего и наименьшего возможного диаметра пор инфильтрации при данном сложении почвы получают удвоением результатов расчётов.

При установленных или заданных границах размеров пор инфильтрации вне зависимости от определенной мультифрактальной размерности порового пространства почв расчет фрактальным методом объёма категорий пор всех размеров не должен вызывать особых затруднений. Такой расчёт был осуществлен для почвы по соотношениям (1). Для рассчитанного распределения пор по размерам анализируемых капиллярно-пористых сред (почв) можно использовать логнормальное распределение. Метод апробирован в 2015–2016 гг. на образцах почв различного гранулометрического и агрегатного составов (из Ленинградской и Псковской областей РФ (Петровский, 2015)).

Необходимо проверить правомочность и эффективность данного расчета, а, следовательно, возможность определения мультифрактальной размерности капиллярно-пористого тела на основе исследования эффекта Харста, возникающего во фрактальных структурах при просачивании через них влаги. Такая проверка может быть осуществлена, если определить распределение пор по размерам капиллярно-пористого тела каноническим методом (по кривой ОГХ) и сравнить результаты расчётов, полученных различными методами.

Ветвь иссушения ОГХ определяли методом пресса в диапазоне рабочих давлений от 0,1 до 15 атм., что соответствует диапазону размера пор от 3 до 0,0002 мм. Расчеты ДПП по фрактальным моделям произведены в меньшем диапазоне размера пор (от 0,44 мм до 0,0002 мм). Кроме того, опыт показал, что вычисление объема гравитационных пор по фрактальной модели лучше сопоставляются с определением объема пор для области гравитационной влаги методом ОГХ, если объём области гравитационной влаги определять суммарно, не подразделяя данный объём на категории по размеру пор. Результаты

вычислений ДПП по фрактальной модели (формулы 1) и по ОГХ в виде зависимостей объема от логарифма размера пор представлены на рис. 2.

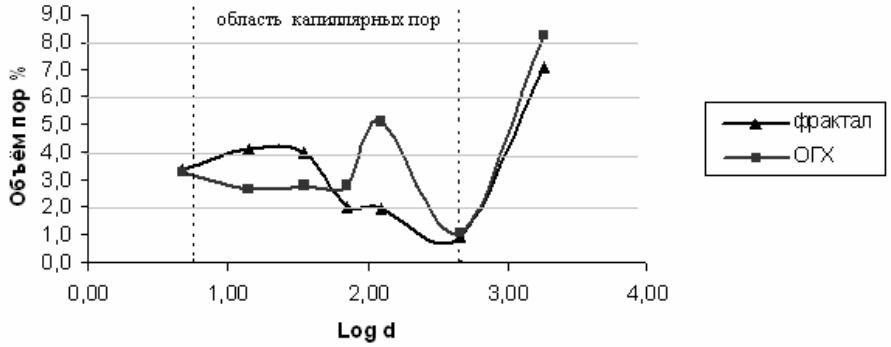


Рис. 2. Вычисленная и экспериментально измеренная дифференциальная пористость почв

Необходимо проверить статистическую значимость расхождения результатов расчётов и измерений. Проверка осуществлена при помощи критерия непараметрической статистики Манна-Уитни (аналогичного параметрическому критерию Стьюдента). Вычисленное значение U-критерия Манна-Уитни равно 31,5. Критическое значение U-критерия Манна-Уитни при заданной численности сравниваемых рядов данных (выборок) составляет 13, $31.5 > 13$ (Таблицы…). Следовательно, различия выборок статистически незначимы (уровень вероятности – $p > 0,05$).

На основе ДПП, рассчитанной по мультифрактальной размерности почвенной структуры, была рассчитана ветвь иссушения ОГХ. Результаты расчётов представлены на рис. 3. Вычисленное значение U-критерия Манна-Уитни равно 39. Критическое значение U-критерия Манна-Уитни при заданной численности сравниваемых рядов данных составляет 17, $39 > 17$ (Таблицы…), следовательно, различия выборок статистически незначимы ($p > 0,05$).

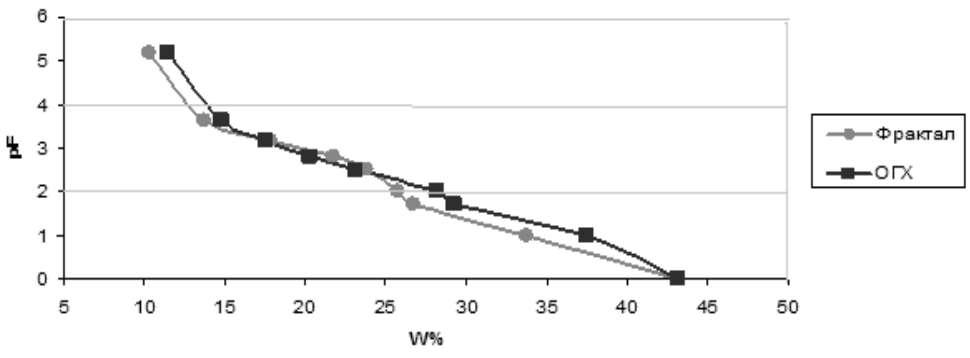


Рис. 3. ОГХ (water retention curve), вычисленная по фрактальной модели и измеренная экспериментально (ветвь иссушения)

Из статистического анализа следует, что метод определения фрактальной размерности почвенной структуры и расчёта ДПП на основании исследования характера фильтрации через почвенный образец вполне оправдан. Метод адекватен, а определение его точности и надежности является задачей дальнейших исследований. Кроме того, с большой долей уверенности можно утверждать, что посредством исследования нестационарной фильтрации влаги (если наблюдается эффект Харста во время фильтрации) можно определять ОГХ капиллярно-пористых сред (почв).

Выводы

Предложен и апробирован алгоритм расчета ДПП по фрактальным моделям. Вычисление ДПП по фрактальным моделям на основании исследования фрактальной перколяции влаги через почву показывает сходимость результатов с результатами расчета ДПП каноническим методом по экспериментально измеренной ОГХ ветви иссушения. Это, возможно, позволит в будущем формулировать ОГХ как первообразную функции дифференциальной влагоёмкости почвы.

Проведенные исследования позволяют верифицировать расчётные модели функции влагопроводности при помощи расчета ДПП и затем расчета ОГХ на основании определения параметров почвенной структуры методами теории фракталов**.**

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-04-01473а.

Список литературы

Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв: учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М., Агропромиздат, 1986. 486 с.

Гийом Э., Митеску К. Д., Юлен Ж.-П., Ру С. Фракталы и перколяция в пористой среде // Успехи физических наук. 1991. Т. 161. № 10. С. 121–128.

Левковский Е. В., Губер А. К. Расчет дифференциальной пористости на основе свойств твердой фазы почвы // Вестник оренбургского государственного университета. 2008. № 4 (85). С. 108–113.

Мичурин Б. Н. Энергетика почвенной влаги. Л., Гидрометеоиздат, 1975. 140 с.

Моисеев К. Г. Фракталы: анализ временных рядов в агрофизике // Сборник докладов заседаний Санкт-Петербургского отделения общества почвоведов им. В. В. Докучаева. «2015 – International year of soils». СПб., Изд-во ООО «ВВМ», 2015. С. 3–13.

Моисеев К. Г., Гончаров В. Д. Модель почвенной структуры в фильтрационных исследованиях // XLII Неделя науки СПбГПУ: материалы Научно-практической конференции с международным участием «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе». СПбГПУ, 2014. С. 216–219.

Найдёнов В. И., Кожевникова И.А. Эффект Харста в Геофизике // Природа. 2000. № 1. С. 3–11.

Петровский Р. С. Выпускная работа бакалавра по направлению «Природообустройство и водопользование». Электрон. б-ка. СПбГПУ. 2015. URL: http://elib.spbstu.ru/dl/2/6843.pdf/view (дата обращения: 25.12.2016.).

Старченко Н. В. Индекс фрактальности и локальный анализ хаотических временных рядов: дисс. … канд. физ.-мат. наук. М., МИФИ, 2005. 122 с.

Судницин И. И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. М., МГУ, 1979. 254 с.

Таблицы критических значений статистических критериев. http://statexpert.org/articles (дата обращения: 10.04.2017.).

Терлеев В. В. Математическое моделирование в почвенно гидрологических и агрохимических исследованиях (учеб. пособие). СПб., Изд-во Политехнического университета, 2005. 104 с.

Терлеев В. В., Миршель В., Баденко В. Л., Гусева И. Ю. Усовершенствованный метод Муалема – Ван Генухтена и его верификация на примере глинистой почвы Бейт Нетофа // Почвоведение. 2017. № 4. С. 457–467.

Тихомиров В. П., Горленко О. А., Измеров М. А. Протекание через фрактальную пористую среду // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 4 (3). С. 879–883.

Чайлдс Э. Физические основы гидрологии почв. Л., Гидрометеоиздат, 1973. 247 с.

Чекина М. Д. Математическое моделирование задач геофильтрации в почвогрунтах с фрактальной структурой на многопроцессорных вычислительных системах // Известия ЮФУ. 2015. Технические науки. С. 242-251.

Шеин Е.В. Гидрология почв: этапы развития, современные тенденции, ближайшие перспективы // Почвоведение. 2010. № 2. С.175–185.

Genuchten W. Rien, van. Calculating the unsaturated hydraulic conductivity with a new closed form analytical model // SSAJ. 1980. V. 44, № 5. P. 353–355.

Mualem Y. A. New model for predicting hydraulic conductivity of unsaturated porous media // WRR. 1976. V. 12, № 3. pp. 1020–1022.

Mualem Y., Beriozkin A. General scaling rules of the hysteretic water retention function based on Mualem's domain theory // European journal of Soil Science. 2009. № 60 (4). pp. 652–661.

Šimunek J., van Genuchten M. Th., Šejna M. Development and applications of HYDRUS and STANMOD software packages and related codes Vadose Zone J. 2008. V. 7. № 2. pp. 587–600.

Terleev V. V., Mirshel W., Schindler U., Wenkel K. O. Estimation of soil water retention curve using some agrophysical characteristics and Voronin's empirical dependence // International Agrophysics. 2010. V. 24. pp. 381–387.

ПЕРЕНОС ТЕПЛА ПАРООБРАЗНОЙ ВЛАГОЙ НА ТЕРСКИХ ПЕСКАХ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД

В. В. Науменко

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия им. Я. И. Потапенко» (ВНИИВиВ)

Восходящий перенос парообразной влаги в осенне-зимний период изучался в полевых условиях на Терских песках при помощи устройства, разработанного для данных целей. Устройство улавливает влагу в виде конденсата, который отводится в накопительную ёмкость. Достоверность результатов подкрепляется тем, что влагу можно измерить при помощи мензурки. Установлено, что при остывании почвы в осенне-зимний период в восходящем потоке тепла на долю пара приходится около 20% от суммарного теплопереноса.

TRANSFER OF HEAT WITH VAPOROUS MOISTURE ON TERSKY SANDS DURING THE AUTUMN AND WINTER PERIOD

V. V. Naumenko

Ya. I. Potapenko All-Russia Research Institute for Viticulture and Winemaking.

The upward transfer of vaporous moisture during the autumn-winter period was studied in the field conditions on the Terski Sands using a device designed for these purposes. The device catches moisture in the form of condensate, which is diverted to the storage container. The reliability of the results is supported by the fact that moisture can be measured with a beaker. It has been established that when the soil cools down in the autumn-winter period in an ascending heat flow, the share of steam accounts for about 20% of the total heat transfer.

Введение. Тепло в почве передаётся различными путями – конвекцией, излучением, теплопередачей, переносом жидкой и парообразной влаги, а также под влиянием других физических факторов. Значительный интерес представляет доля тепла, переносимого паром. Используя указанный параметр, а также данные по динамике температуры почвы и её теплоёмкости, можно рассчитать количество парообразной влаги, перенесённое потоком тепла, не прибегая к определению коэффициентов термо- и влагопереноса, коэффициентов диффузии пара в почве и других трудноопределяемых показателей.

Данный параметр широко используется в дискуссии относительно одной из самых спорных и сложных составляющих водного баланса – конденсации в почве парообразной влаги атмосферы. Дискуссия по указанному вопросу велась на протяжении всего XX столетия и продолжается по настоящее время. О роли конденсации в обеспечении растений влагой имеются противоречивые

сведения. Мнение о том, что данный процесс вносит существенный вклад в приходную часть водного баланса, разделяли многие крупные учёные (Лебедев, 1936; Ковда, 1973). Их оппоненты (Кулик, 1979, 2016; Роде, 2009) обращают внимание на то, что большие величины конденсации не согласовываются с существующей сезонной динамикой температуры почвы.

Теплофизические характеристики почвы, в том числе доля тепла, переносимого паром, в общем потоке тепло-пароперепоса, зависят от многих параметров почвы – от её влажности, температуры, плотности, гранулометрического состава, водно-физических свойств, концентрации почвенного раствора, общего газового давления и других (Глобус, 1969; Королев, 1997; Федяева, 2015; Rose, 1968; Salvucci, Saravanapavan, 2000; Grant Bachmann, 2002). Однако в условиях, которые реально складываются в почвах, по данным С. И. Долгова (1948), С. В. Нерпина и А. Ф. Чудновского (1967), Д. Н. Онучкова и В. П. Остапчика (1964), Н. Ф. Кулика (2016) с паром переносится около 10% от суммарного теплового потока.

Указанная цифра базируется, в основном, на лабораторных исследованиях. Сопоставляя её с большими величинами конденсации, необходимо признать, что или конденсация определялась с погрешностями и ей приписан результат действия других процессов, или доля тепла, передающегося с паром, составляет не 10%, а гораздо большую величину. В научной литературе встречаются и другие оценки роли пара в переносе тепла в почвах. Н. Ф. Кулик (2016) в рыхлых свежевспаханных почвах иногда фиксировал долю в 25%.

Объекты и методы. Передвижение парообразной влаги изучалось при водобалансовых исследованиях в естественных условиях на Терском песчаном массиве. Место проведения эксперимента находится в верхней части древне-эоловой песчаной гряды, в 2 км на северо-восток от станицы Червлённой Шелковского района Чеченской республики. Почвы песчаные незасоленные глубокогумусированные, глубина грунтовых вод около 10 метров. Характеристика и гранулометрический состав почв приведены в табл. 1.

Для выявления восходящего потока влаги в почве было разработано устройство, схематично изображённое на рис. 1 (а. с. № 924569). Оно представляет собой корпус (1), переходящий в верхней части в конусообразную кровлю (2). В нижней части корпуса внутри смонтирован наклонный кольцевой желобок (3), который соединён с накопительной ёмкостью (4). Парообразная

влага, передвигающаяся под влиянием разницы температур, конденсируется внутри корпуса, стекает в желобок и далее, через водосливную трубку – в накопительную емкость. После окончания периода наблюдения собранная вода измеряется при помощи мензурки.

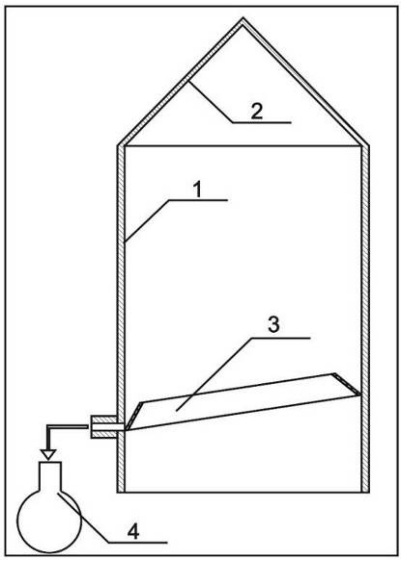


Рис. 1. Схема устройства для выявления восходящих потоков парообразной влаги в почве

При проведении эксперимента устройство было установлено над изолированной почвенной колонкой и имело равный с ней диаметр. Оболочка колонки представляла собой асбестоцементную трубу длиной три метра и внутренним диаметром 150 мм, разрезанную вдоль на две части, что позволяло разбирать её и отбирать образцы почвы. При установке колонки её дополнительно гидроизолировали. Заполнение грунтом производилось с уплотнением в соответствии с его естественным залеганием. Влага из колонки могла переместиться только в устройство, что служило взаимоконтролем. Температура почвы определялась «заленивленным» термометром при бурении скважин до глубины 4,0 метра. Характер изменения температуры в более глубоких слоях определялся экстраполяцией. При этом исходили из того, что сезонные колебания температуры почвы происходят вокруг её среднегодовой величины, равной в изучаемых условиях 11°С. Глубина сезонного колебания температур была принята равной 10 м, теплоёмкость песчаного грунта – 0,44 кал/(см^3·°С) (Кулик, 1979).

Таблица 1. **Гранулометрический состав и водно-физические свойства почвы**

Генетический горизонт	Глубина см	Почвенные константы		Содержание фракций, %						
		НВ, %	МГ, %	>0,25	0,25–0,05	005–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01
A	0–48	6,4	1,7	25,22	55,41	8,79	2,75	3,69	4,14	10,58
B	48–106	5,8	1,4	29,93	50,01	8,88	2,32	4,37	4,49	11,18
BC	106–153	5,3	1,3	31,71	46,83	10,22	1,71	5,43	4,10	11,24
C	153–300	5,3	1,2	31,25	52,18	8,24	1,98	2,94	3,41	8,33

Результаты и обсуждения. Результаты изменений влажности и температуры почвы в изолированной почвенной колонке, а также расчётов потока тепла, прошедшего через неё, за время эксперимента с 6 октября по 9 марта, приведены в табл. 2. Как видно из таблицы, влажность песка была ниже влажности разрыва капилляров (Орешкина, 1957, 1959). Гидроизоляция дна препятствовала проникновению влаги в колонку из нижележащих горизонтов, но не препятствовала потоку тепла. Из условно выделенного цилиндра почвы, диаметр которого равен диаметру изолированной почвенной колонки (150 мм), а высота равна 7 м (расстояние между дном колонки и нижней границей слоя сезонного колебания температур) поступил и прошёл транзитом к поверхности почвы поток тепла, равный 94,8 ккал, при общем восходящем потоке 376,8 ккал.

Таблица 2. **Изменение влажности почвы в изолированной почвенной колонке и расчёт тепла, выделенного ею при остывании.**

Глубина слоя почвы в монолите, см	Температура почвы, °С		Послойное изменение		Поток тепла, в нарастающем итоге, кал	Влажность почвы при закладке, %	Влажность почвы при выемке, %
	при закладке	при выемке	температура почвы, °С	содержание тепла в почве, кал			
0–20	19,3	2,2		26,6	376,8	2,7	5,3
20–40	18,8	2,3	16,5	25,6	350,2	2,7	5,1
40–60	19,4	3,3	16,1	25,0	324,6	2,5	3,9
60–80	20,2	3,6	16,6	25,8	299,5	2,8	3,3
80–100	21,1	3,8	17,3	26,9	273,7	3,1	3,4
100–120	20,2	4,3	15,9	24,7	246,9	3,7	3,5
120–140	19,6	4,9	14,7	22,8	222,1	4,2	3,4
140–160	18,6	5,5	13,1	20,4	199,3	4,1	3,4
160–180	17,4	6	11,4	17,7	178,9	4,5	3,9
180–200	16,2	6,7	9,5	14,8	161,2	4,4	3,8
200–220	15,3	7,3	8	12,4	146,5	4,8	3,9
220–240	14,6	7,7	6,9	10,7	134,0	4,7	3,7
240–260	14,5	8,1	6,4	9,9	123,3	5,20	3,6
260–280	14,5	8,4	6,1	9,5	113,4	5,1	3,2
280–300	14,4	8,6	5,8	9,0	103,9	5,2	2,5

Примечание: плотность почвы в колонке равна 1,4 г/см^3.

За время поведения эксперимента устройством было собрано 133 мл влаги, что в пересчёте на слой воды составило 7,5 мм. Указанным количеством парообразной влаги перенесено 78,4 килокалорий или 20,8% тепла, прошедшего через колонку. Данные изменения влажности почвы в монолите свидетельствовали об уменьшении влагосодержания на 10,6 мм.

Выводы. В проведенном опыте перенос тепла паром составил около 20% от суммарной потери тепла почвой за осенне-зимний период.

Список литературы

1. Лебедев А. Ф. Почвенные и грунтовые воды. М.-Л., АН СССР, 1936. 316 с.
2. Кулик Н. Ф. Водный режим песков аридной зоны. Л., Гидрометеоиздат, 1979. 280 с.
3. Кулик Н. Ф. О возможности конденсации атмосферной парообразной влаги в почве // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 2016. Вып. 83. С. 42–52.
4. Ковда В. А. Основы учения о почвах. М., Наука, 1973. 468 с.
5. Роде А. А. Конденсация в почве парообразной влаги атмосферы // Избр. тр. М., Почв. ин-т им. им. В. В. Докучаева. 2009. Т 4. С. 89–106.
6. Глобус А. М. Экспериментальная гидрофизика почв. Л., Гидрометеоиздат, 1969. 356 с.
7. Королев В. А. Термодинамика грунтов. М.: МГУ, 1997. 167 с.
8. Федяева Е. А. Закономерности неизотермического влагопереноса в песчаных и пылеватых грунтах: автореф. дисс. … к. геол.-минер. н. М., 2015.
9. Grant S. A., Bachmann J. Effect of Temperature on Capillary Pressure //American Geophysical Society, Washington, DC. 2002. pp. 199–212.
10. Rose C. W. Water transport in soil with a daily temperature wave. I Theory and experiment // Aust. J. Soil Res. 1968. V. 6. pp. 31–44.
11. Saravanapavan T., Salvucci G. D. Analysis of rate-limiting processes in soil evaporation with implications for soil resistance models // Adv. Water Res. 2000. V. 23. pp. 493–502.
12. Долгов С. И. Исследования подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений. М.-Л., АН СССР, 1948. 206 с.
13. Нерпин С. Ф., Чудновский А. Ф. Физика почвы. М., Наука, 1967. 583 с.
14. Онучков Д. Н., Остапчик В. П. Лабораторные исследования переноса тепла и влаги на поверхностных образцах // Почвоведение. 1963. № 7. С. 53–54.
15. Орешкина Н. С. Опыт по изучению водоудерживающей способности фракций мелкого песка и крупной пыли // Почвоведение. 1959. № 1. С. 79–85.
16. Орешкина Н. С. Опыты по изучению свойств подвижной влаги в песке // Вопросы агрономической физики. Л., 1957. С. 107–115.
17. Ревут И. Б. Физика почв. М.: Колос, 1964. 319 с.

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СКРЫТОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СЕМЯН И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ В СЕЛЕКЦИИ, СЕМЕНОВОДСТВЕ И ЗАЩИТЕ РАСТЕНИЙ

Н. С. Прияткин, М. В. Архипов, Л. П. Гусакова

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ),

195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

Представлен краткий аналитический обзор отечественных и зарубежных исследований по использованию различных инструментальных физических методов и технологий для оценки разнокачественности семян. Обсуждаются возможности и перспективы их применения для задач селекции, семеноводства и защиты растений.

CAPACITIES AND PROSPECTS OF SEEDS HIDDEN HETEROGENEITY RESEARCH TECHNIQUES AND THEIR IMPLEMENTATION IN BREEDING, SEED INDUSTRY AND PLANT PROTECTION

N. S. Priyatkin, M. V. Arkhipov, L. P. Gusakova

Agrophysical Research Institute,

14, Grazhdanskyi pr., St. Petersburg, Russia

The paper presents a brief analytical review of domestic and foreign studies on the use of various instrumental physical methods and technologies for assessing the variability of seeds. The possibilities and prospects of their application for the tasks of selection, seed production and plant protection are discussed.

Существующие в настоящее время стандартные методы оценки качества семенного материала не в полной мере соответствуют задачам семеноведения и промышленного семеноводства, прежде всего в связи с необходимостью контроля и оценки скрытой неоднородности семян и их скрытой дефектности (Архипов и др., 2015). В связи с этим большую перспективу имеет разработка и применение экспресс-методик и технологий, основанных на новейших достижениях агрофизики, с использованием существующего на настоящий момент набора инструментальных физических методов оценки разнокачественности семенного материала и с учетом сформулированных критериев оценки их эффективности (Прияткин и др., 2016). Сбор сведений о применении новых инструментальных технологий в семеноведении и

семеноводстве, а также их интерпретация являются одними из основных задач International Seed Testing Association (ISTA) Advanced Technologies Committee.

Проведение оценки качества семенного материала с использованием инструментальных физических методов в селекции включает в себя контроль качества коллекционных образцов семян перед их закладкой на длительное хранение и оценку анатомических особенностей семян, в том числе для контроля результата селекционного процесса:

- Контроль качества коллекционных образцов семян перед их закладкой на длительное хранение в генетических банках. В соответствии со стандартами хранения семян, принятыми Millennium Seed Bank Partnership в 2015 г., метод микрофокусной рентгенографии рекомендуется как один из методов оценки чистоты семян перед их закладкой на хранение. При использовании различных технологий сортировки образцов коллекционных семян следует учитывать риски потерь редких аллелей (Hay, Probert, 2013). Также необходимо принимать во внимание и более углубленно исследовать влияние рентгеновского излучения как непосредственно на семена, так и на присутствующую на них микрофлору (Zappala et al., 2013; Ikram et al., 2015).
- Исследования анатомического строения семян с использованием «виртуальной гистологии» на основе метода компьютерной фазово-контрастной микротомографии (Rousseau et al., 2015), позволяющего оценивать структурные изменения семян не только на органном, но и на тканевом уровне (Cloetens et al., 2006). Данный метод может быть использован также для контроля результата селекционного процесса, направленного на получение товарной зерновой продукции (зерновых, зернобобовых, масличных культур) с требуемыми анатомическими характеристиками. Например, пленчатость зерен сортов пивоваренного ячменя должна составлять не более 9% (Титова, Внукова, 2008). Также установлено, что снижение массовой доли плодовой оболочки приводит к росту накапливаемого масла в семенах, а также его ненасыщенности (Александрова, 2005). Использование метода компьютерной микротомографии в сочетании с количественной программной

обработкой 3D-изображений, позволяющих рассчитать в том числе процент площади и объемную долю различных структур и органов семени (Trigui et al. 2016), в перспективе могут служить эффективным дополнительным инструментом в управляемой селекции.

Проведение оценки качества семенного материала с использованием инструментальных физических методов применительно к семеноводству включает в себя оценку качества семенного материала различных категорий и рекомендации для технологий управляемого семеноводства:

- Выявление и идентификация, прежде всего с помощью метода микрофокусной рентгенографии, скрытых дефектов семян различных категорий (оригинальных, элитных, репродукционных) и определение доли данных дефектов в исследуемых партиях семенного материала для оценки их потенциальной всхожести (Архипов и др., 2015).
- Оценка физиологической зрелости семян с помощью метода флуоресценции хлорофилла с целью прогноза их всхожести (Jalink et al., 1998).
- Формирование рекомендаций по корректировке и оптимизации технологических операций существующих агротехнологий, включая дозы внесения органических и минеральных удобрений, способы и режимы предпосевной обработки семян, планирование стимулирующих и защитных обработок вегетирующих растений, а также выбор оптимальных режимов уборки, сушки и хранения семян для обеспечения производства семенного материала с наилучшими посевными качествами (Прияткин и др., 2016).

Проведение оценки качества семенного материала с использованием инструментальных физических методов применительно к защите растений включает в себя как аспекты, относящиеся к управляемым селекции и семеноводству, так и специфические, относящиеся к задаче карантинного контроля:

- Первичный скрининг партий семенного материала с целью выявления дефектов, обусловленных присутствием патогенной микрофлоры грибной

и бактериальной этиологии, а также вирусной инфекции, с использованием различных групп инструментальных физических методов – оптических (Лискер и др., 2000; Olesen et al., 2015), рентгеновских (Karrfalt, 1983; Архипов и др., 2015), электрофизических (Прияткин и др., 2006).

- Идентификация повреждений семенного зерна сосущими вредителями, в том числе клопом «вредная черепашка», для оценки их посевных качеств с использованием методов инфракрасной микроскопии (Вилкова и др., 1976) и микрофокусной рентгенографии (Бойцов и др., 2017).
- Обнаружение зараженности семян вредителями в скрытой форме, в том числе относящихся к объектам карантинного контроля, с использованием метода микрофокусной рентгенографии (Yuasa, 1926; Архипов и др., 2005). Актуальный единый перечень карантинных объектов Евразийского экономического союза от 30 ноября 2016 г. включает в себя таких вредителей в скрытой форме, как широкохоботный амбарный долгоносик *Caulophilus latinasus* (Say), вредитель семян риса и кукурузы, и зерновки рода *Callosobruchus spp.*, вредители семян зернобобовых культур.

Список литературы

1. Архипов М. В., Прияткин Н. С., Потрахов Н. Н., Гусакова Л. П., Журавлева Е. В. Системный подход к оценке разнокачественности семян зерновых культур на основе использования современных методов интроскопической диагностики // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. Вып. 3 (54). С. 79–83.

2. Прияткин Н. С., Архипов М. В., Гусакова Л. П., Кропотов Г. И., Цыпишка Д. И., Цибизов И. А., Винеров И. А., Шахмин А. А. Интроскопическая визуализация экогенной и техногенной неоднородности семян в условиях полевого эксперимента и промышленного семеноводства // Материалы Всерос. науч. конф. с международным участием «Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления». 21–23.09.2016. СПб., АФИ, 2016. С. 378–381.

3. Hay F. R., Probert R. J. Advances in seed conservation of wild plant species: a review of recent research // Conservation Physiology. 2013. V. 3. pp. 1–11.

4. Rousseau D., Widiez T., Di Tommaso S., Rositi H., Adrien J., Langer M. E., Olivier C., Peyrin F., Rogowsky P. Fast virtual histology using X-ray in-linephase tomography: application to the 3D anatomy of maize developing seeds // Plant Methods. 2015. 11:55. pp. 1–10. DOI 10.1186/s13007-015-0098-y.

5. Cloetens P., Mache R., Schlenker M., Lerbs-Mache S. Countitative phase tomography of Arabidopsis seeds reveals intercellular void network // Proc. National Academy of Science of the United States of America. 2006. V. 103, № 39. pp. 14626–14630. doi: 10.1073/pnas.0603490103.

6. Zappala S., Helliwell J. R., Tracy S. R., Mairhofer S., Sturrock C. J., Pridmore T., Bennett M., Mooney S.J. Effects of X-Ray Dose On Rhizosphere Studies Using X-Ray Computed Tomography // PLOS ONE. 2013. V. 8, Issue 6. pp. 1–8 //doi.org/10.1371/journal.pone.0067250.

7. Ikram N., Dawar S., Imtiaz F. X Rays Treated Leguminous Seeds in Combination with Wild Plant Powder for the Promotion of Growth and Control of Root Rot Fungi // J. Plant Pathology & Microbiology. 2015. S3:003. doi: 10.4172/2157-7471.S3-003http://dx.doi.org/10.4172/2157-7471.S3-003.

8. Титова Е. М., Внукова М. А. Продуктивность и качество сортов пивоваренного ячменя // Вестник ОрелГАУ. 2008. № 3. С. 5–8.

9. Александрова А. В. Влияние биохимических особенностей покровных тканей семян подсолнечника современной селекции на формирование их качества при дозревании в послеуборочный период: дисс. ... канд. техн. наук. Кубанский ГАУ, Краснодар, 2005. 136 с.

10. Trigui G., Boudehri-Giresse K., Le Corre L. How does Microtomography provide access to full seed morphology? Current applications and future prospects // 31th ISTA Congress – Seed Symposium. Tallinn, Estonia, 15–17 June 2016. p. 66.

11. Архипов М. В., Прияткин Н. С., Потрахов Н. Н., Белецкий С. Л. Интроскопические методы оценки качества семян и зерна в селекции, семеноводстве и зернопроизводстве // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд: междунар. сб. науч. ст. Вып. IV. ФГБУ НИИПХ Росрезерва / Под общ. ред. С. Е. Уланина. М., Галлея-Принт, 2015. С. 24–29.

12. Jalink H., Frandas A., van der Schoor R., Bino J. B. Chlorophyll fluorescence of the testa of Brassica oleracea seeds as an indicator of seed maturity and seed quality // Sci. agric. 1998. V.55, special issue Piracicaba. http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161998000500016.

13. Прияткин Н. С., Бойцов А. А., Саввина К. А., Щукина П. А., Борисова Н. А. Интроскопический анализ семенного материала в аспекте решения частных проблем продовольственной и экологической безопасности // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием 14–16 ноября 2016 г. Лучшие доклады. СПб., Изд-во Политех. ун-та. 2016. С. 430–434.

14. Лискер И. С., Дмитриев А. П., Цыпленков А. Е. Фотометрическое изучение структуры семян томатов // Доклады РАСХН. 2000. № 2. С. 9–11.

15. Olesen M. H., Nikneshan P., Shrestha S., Tadayyon A., Deleuran L. Ch., Boelt B., Gislum R. Viability Prediction of Ricinus cummunis L. Seeds Using Multispectral Imaging // Sensors (Basel). 2015. № 15 (2). pp. 4592–4604.

16. Karrfalt R. P. Fungus-damaged seeds can be removed from slash pine seedlots // Tree Planter's Notes. 1983. V. 34, № 2. pp. 38–39.

17. Прияткин Н. С., Коротков К. Г., Куземкин В. А., Дорофеева Т. Б. Исследование влияния окружающей среды на состояние растений на основе метода ГРВ биоэлектрографии // Изв. Вузов. Приборостроение. 2006. Т. 49. № 2. С. 67–72.

18. Вилкова Н. А., Шапиро И. Д., Борщова Т. А. Использование инфракрасной микроскопии для диагностики повреждения и устойчивости зерновок к клопам // Методы исследований патологических изменений растений. М., 1976. С. 216–219.

19. Бойцов А. А., Потрахов Н. Н., Прияткин Н. С., Щукина П. А. Применение автоматизированной методики интроскопической визуализации и количественной обработки изображений зерновок пшеницы, повреждённых клопом «вредная черепашка» // Сборник лучших докладов 70-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1–11 февраля 2017, Санкт-Петербург. С. 272–276.

20. Yuasa H. On the advantage of the X-ray examination of certain classes of material and insects subject to the plant quarantine regulations // Proceedings of the 3rd PanPacific Congress, Tokyo, 1926. p. 1141.

21. Архипов М. В., Алексеева Д. И., Великанов Л. П., Гусакова Л. П. Интроскопический метод ускоренного определения скрытой заселенности зерна карантинными вредителями: методические рекомендации. СПб., Агрофизический НИИ РАСХН, 2005. 24 с.

РЕОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИОМЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОЧВ ЛЕСОТУНДРЫ

Ю. В. Холопов[1], Д. Д. Хайдапова[2], Е. М. Лаптева[1]

[1]ФГБУН «Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН» (КНЦ УрО РАН);

[2]ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» (МГУ им. М. В. Ломоносова)

Исследовались физико-механические свойства лесотундровых криометаморфических светлоземов. В автоморфных условиях формируются прочные межчастичные контакты с упруго-хрупкими свойствами. По мере нарастания увлажнения межчастичные взаимодействия приобретают более пластичный характер, определяющий тиксотропно-плывунные свойства полугидроморфных почв.

RHEOLOGICAL APPROACH TO STUDY THE PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF CRYOMETAMORPHIC SOILS IN FOREST-TUNDRA

Y. V. Holopov[1], D. D. Haydapova[2], E. M. Lapteva[1]

[1] Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Syktyvkar);

[2] Department of Soil Science, Moscow State University (Moscow)

The aim of the study was to reveal rheological properties of cryometamorphic soils in forest-tundra forming under different humidity to assess their structural and mechanical features. Scientific value of the research is related to the identification of physical-chemical properties of soils that provide the functioning of forest ecosystems under the extreme hydrothermal conditions of subarctic climatic region. The studies revealed that strong interparticle contacts with elastic-fragile properties occur under the automorphic conditions due to the accumulation of humic substances and the influence of freezing processes. In northern conditions at low base saturation level of soils, humic substances are a kind of structure formers to elementary soil particles in the process of the micro aggregating. With increased humidity, interparticle relations become more variable that determines thixotropic-floating properties of soils and makes the soil physical parameters closer to those of tundra soils.

Настоящее исследование направлено на выявление реологических свойств криометаморфических лесотундровых почв, формирующихся в разных условиях увлажнения, для оценки их структурно-механических особенностей. Научная значимость данного исследования связана с выявлением почвенных физико-механических параметров, обеспечивающих функционирование лесных

экосистем в экстремальных гидротермических условиях субарктического климатического пояса. Исследования проведены на северо-востоке Восточно-Европейской равнины, на территории Республики Коми (Воркутинский р-н, окрестности пос. Сивая маска). Объектом исследований послужили почвы, занимающие различные ландшафтные позиции в пределах приречного водораздельного увала (бассейн р. Уса) с абсолютной высотой 119 м над ур. м. (координаты: 66°39' с.ш., 62°30' в.д.). Вершину увала в автоморфных условиях занимает светлозем иллювиально-железистый поверхностно-глееватый (разрез Р–4–1). В полугидроморфных условиях средней части увала и ложбины склона формируются светлозем торфянистый потечно-гумусовый глееватый (Р–4–Х) и светлозем торфяный потечно-гумусовый глеевый (Р–4–2). Названия почв даны в соответствии с принципами диагностики и классификации почв России 2004 г. (Классификация.., 2004). Формирование исследуемых почв происходит в условиях длительного промерзания и повышенного увлажнения. Характерным свойством является высокое содержание в профиле подвижных гумусовых соединений фульватного типа, поступающих из подстилки и пропитывающих почву на значительную глубину с формированием органо-минеральных альфегумусовых комплексов (Пастухов, 2008; Тонконогов, 2010). Данные о реологических параметрах исследуемых подзолистых почв были получены с помощью модульного реометра MCR 302 (Anton Paar, Австрия). При проведении исследований использовался метод амплитудной развертки (колебательный метод) с измерительными системами плита-плита (Хайдапова и др., 2016). Были определены модуль упругости (G’, Pa), характеризующий величину прочности межчастичных почвенных контактов, и диапазон пластичности (CROSSOVER, %), характеризующий величину пластичной деформации почв до полного разрушения почвенной микроструктуры и перехода в текучее состояние.

Данные реологических испытаний представлены в таблице. В автоморфных условиях (разрез Р–4–1) наиболее прочные межчастичные контакты формируются в верхней части профиля, с максимальными значениями G’ до 2,64E+06 Pa в подзолистом горизонте (Е). Это, вероятно, обусловлено влиянием двух основных факторов: во-первых, альфегумусовой

пропиткой и цементацией почвенной массы в более жесткую и прочную систему (Тюлин, 1946; Зайдельман, 2009), во-вторых, процессами промерзания. Промерзание приводит к дегидратации и уплотнению почвенных частиц с формированием прочных конденсационных связей. По данным почвенно-температурных наблюдений, мощность промерзания почв в зоне лесотундры достигает 50 см в течение более чем трех месяцев (Каверин и др., 2016). При этом повышенная прочность верхней части профиля автоморфной почвы сочетается с крайне низкими значениями пластичности (CROSSOVER 0,97%), что свидетельствует о повышенной хрупкости данных контактов, сформированных под действием промораживания и альфегумусовой пропитки. При превышении предела прочности такие контакты резко разрушаются, при этом они слабо и долго восстанавливаются. К низу профиля автоморфной почвы (Р–4–1) диапазон пластичности постепенно возрастает до – 3,67%, в то же время значения прочности G’, наоборот, снижаются до 1,25E+06 Pa. Вероятно, это связано со снижением влияния педогенных факторов (промерзания и альфегумусовой пропитки) и проявлением в большей степени реологических свойств, обусловленных физико-химическими и литологическими особенностями данной почвы. Как правило, чем тяжелее гранулометрический состав породы, тем выше значения пластичности почв, что обусловлено возрастанием удельной поверхности и, соответственно, площади межчастичных контактов (Хайдапова, Честнова и др., 2016).

Таблица. **Профильное распределение величин прочности межчастичных почвенных контактов G’(Pa) и диапазона пластичности CROSSOVER (%).**

Разрез Р-4-1			Разрез Р-4-Х			Разрез Р-4-1		
Горизонт глубина (см)	G'(Pa)	CROSSOVER (%)	Горизонт глубина (см)	G'(Pa)	CROSSOVER (%)	Горизонт глубина	G'(Pa)	CROSSOVER (%)
Eg(5-10)	2,64E+06	0,9711	Ehig(13-17)	1,08E+06	1,95	Ehig(25-29)	1,23E+06	3,055
Bg(10-14)	1,65E+06	2,629	Eg(17-20)	1,26E+06	6,037	Eg(29-40)	1,26E+06	6,345
Bcrm(14-45)	1,85E+06	2,437	Bg(25-35)	1,38E+06	1,353	CRM(40-60)	1,55E+06	1,85
CRM(45-80)	1,28E+06	2,793	CRM(50-60)	2,10E+06	1,157	BC(65-80)	1,71E+06	1,721
B1(80-110)	1,44E+06	3,677	BC(75-85)	2,16E+06	1,114			
D(110-140)	1,25E+06	1,742						

В полугидроморфных условиях (разрезы (Р–4–Х и Р–4–2) профильное распределение величин прочности контактов идет в обратном (по сравнению с автоморфной почвой Р–4–1) порядке от минимальных значений в верхней

части профиля до максимальных в нижней. Такой результат обусловлен более длительным периодом поверхностного переувлажнения полугидроморфных почв. Восстановительные условия, сопровождающие переувлажнение, способствуют глеевой мобилизации и более глубокой миграции альфегумусовых соединений ниже по профилю. Частично накапливаясь в нижних горизонтах, данные соединения способствуют повышению жесткости межчастичного взаимодействия. Наиболее прочные контакты с максимальными значениями G’ в полугидроморфных условиях отмечаются в BC горизонте (табл.). При этом низкие значения пластичности (CROSSOVER в пределах 1,11–1,95%) почти по всему профилю полугидроморфных почв свидетельствуют о крайне хрупких свойствах межчастичного взаимодействия. Наибольшей пластичностью отличаются подзолистые горизонты (Elg), что, вероятно, обусловлено более интенсивным распадом почвенных микроагрегатов со слабыми внутриагрегатными связями. Значения пластичности (CROSSOVER) достигают до 6,0% в светлоземе торфянистом (Р–4–Х) и до 6,4% в светлоземе торфяном (Р–4–2). Низкая прочность контактов в сочетании с повышенной пластичностью обуславливает быстрый переход подзолистых горизонтов (Elg) при механическом воздействии из твердообразного в текучее состояние. Подтверждением этому являются и полевые морфологические описания – в переувлажненном состоянии верхние подзолистые горизонты (Elg) полугидроморфных почв (Р–4–Х и Р–4–2) имеют студнеобразную массу, при постукиваниях лопатой быстро переходят в плывунное состояние, аналогичное тиксотропно-плывунным проявлениям в тундрово-глеевых почвах. При этом мощность горизонтов (Elg) с плывунными признаками увеличивается по мере нарастания гидроморфности почв – от 4 см на склоне увала (разрез Р–4–Х) и до 15 см в нижней части увала (Р–4–2).

Таким образом, реологические свойства лесотундровых криометаморфических светлоземов обусловлены активным поступлением в профиль органо-минеральных альфегумусовых соединений, а также влиянием длительного промораживания почв. В суровых климатических условиях севера

при низкой насыщенности почв основаниями альфегумусовые соединения являются своего рода веществами-структорами для элементарных почвенных частиц в процессе микроагрегатообразования. В автоморфных условиях формируются наиболее прочные межчастичные контакты, однако устойчивость их к механическим воздействиям ограничивается повышенной хрупкостью. По мере повышения увлажнения межчастичные взаимодействия приобретают более пластичный характер, определяющий тиксотропно-плывунные свойства почв, что приближает их по физическим параметрам к тундровым почвам.

Список литературы

Классификация и диагностика почв России. Смоленск, 2004. 342 с.

Тонконогов В. Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнины. М., Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 304 с.

Пастухов А. В. О генезисе и классификационном положении автоморфных почв на покровных суглинках в микроэкотоне тундра – лесотундра // Вестник Санкт-Петербурского университета. 2008. Сер. 3. Вып. 3. С. 117–126.

Тюлин А. Ф. Коллоидно-химическое изучение почв в агрономических целях // Труды Всесоюзного НИИ удобрений, агротехники и агропочвоведения им. К. К. Гедройца. Вып. 27. М., 1946. 94 с.

Зайдельман Ф. Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов: Учебник. М., КДУ, 2009. 720 с.

Каверин Д. А., Пастухов А. В., Жангуров Е. В. Особенности температурного режима светлоземов северотаежных ландшафтов (европейский северо-восток России) // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2016. № 1 (25). С. 23–29.

Хайдапова Д. Д., Честнова В. В., Шеин Е. В., Милановский Е. Ю. Реологические свойства черноземов типичных (Курская область) при различном землепользовании // Почвоведение. 2016. № 8. С. 1–9.

HOW HYDRAULIC FEATURES OF SANDY SOILS ARE AFFECTED BY PLANT COMMUNITY CHANGE IN THE CARPATHIAN BASIN

Renáta Sándor[1], Lubomir Lichner[2], Viliam Nagy[2], György Kröel-Dulay[3], Anikó Csecserits[3], Nándor Fodor[4]

[1]*Institute for Soil Sciences and Agricultural Chemistry, Centre for Agricultural Research, Hungarian Academy of Sciences, Herman Otto út. 15, 1022 Budapest, Hungary;*

[2]*Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovak Republic;*

[3]*Institute of Ecology and Botany, Centre for Ecological Research, Hungarian Academy of Science, Alkotmányu. 2-4, 2163 Vácrátót, Hungary;*

[4]*Agricultural Institute, Centre for Agricultural Research, Hungarian Academy of Sciences, Brunszvik u. 2, 2462Martonvásár, Hungary.*

Changing environmental hydraulic conditions have a significant effect on plant community composition and vice versa. In grassland-based production systems, these interactions can affect productivity, therefore understanding such processes is an important element of improving food security in the context of global changes. Soil hydraulic conditions are mainly controlled by temperature and the amount and inter-annual distribution of precipitation. The sensitivity to changes in water supply of fallow soils and grasslands on sandy soils makes them particularly vulnerable to climatic variability. In southern Hungary, climatic change has led to longer dry spells, higher temperatures, and a decrease in annual precipitation, affecting soil-plant-atmosphere interactions. Owing to these changes, plant community as well as physical and chemical characteristics of the top soil have been changing.

In order to understand the effect of changes in plant community (e.g. the transition of fallow land into secondary grassland) on soil hydraulic properties, a 1 m^2 area was divided into smaller units to measure hydraulic conductivity (K_S), ethanol sorptivity (S_e), water sorptivity for hydrophobic state (S_{WH}) and nearly wettable state (S_{WW}) of the soil in the units in 7 to 60 repetitions between 2012 and 2017. Soil water repellency index significantly increased during the observed period: from 20% to 60% chance to find severely water repellent units. Owing to this local increase of hydrophobic circumstances, the majority of precipitation infiltrates to deeper soil layers through preferential paths. Meanwhile, the initial spontaneous fallow vegetation developed to young old-field with high ratio of annual species (e.g. *Bromus tectorum*) in Kiskunság sand region between 2012 and 2017. These climatic and plant community changes could have an impact on soil water content and water storage distribution by decreasing the amount of available water for grassland species.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СКАНИРУЮЩИХ ВЕТВЕЙ ГИСТЕРЕЗИСА ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЫ

В. В. Терлеев[1], А. Г. Топаж[2], К. Г. Моисеев[2], Р. С. Гиневский[1], В. А. Лазарев[1]

[1]*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ);*

[2]*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)*

Предложена математическая модель гистерезиса водоудерживающей способности почвы, на основе которой разработана компьютерная программа «Hysteresis». Практическая значимость работы заключается в осуществлении расчета прецизионных норм орошения сельскохозяйственных культур. Применение таких норм минимизирует непроизводительный расход поливной воды, удобрений, мелиорантов и средств защиты растений, а также предотвращает загрязнение природных вод агрохимикатами.

FORECASTING OF THE SCANNING BRANCHES OF HYSTERETIC SOIL WATER-RETENTION CAPACITY

V. V. Terleev[1], A. G. Topaj[2], K. G. Moiseev[2], R. S. Ginevsky[1], V.A. Lazarev[1]

[1]*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU);*

[2]*Agrophysical Research Institute (ARI)*

The article presents a mathematical model of the hysteresis of the water-retaining capacity of the soil, on the basis of which the computer program "Hysteresis" has been developed. The practical importance of the work lies in the calculation of precision norms for irrigation of crops. The application of such norms minimizes the unproductive consumption of irrigation water, fertilizers, meliorants and plant protection products, and also prevents the pollution of natural waters by agrochemicals.

Измерение сканирующих ветвей гистерезиса водоудерживающей способности почвы является весьма трудоемким процессом. В данной работе используется математическая модель, основанная на физических представлениях о строении и капиллярных свойствах почвенных пор (Крылова, Терлеев, 2008; Гурин, Терлеев, 2011), которая позволяет прогнозировать сканирующие ветви гистерезиса. Цель исследования заключалась в верификации данной модели. Верификация осуществлялась по опытным данным о четырех почвах: *White silica sand* (Huang et al., 2005), *Dune sand* (Gillham et al., 1976), *Rideau clayey loam* и *Rubicon sandy loam* (Mualem, 1976).

Водоудерживающая способность почвы описывается формулой:

$$S_e = \begin{cases} \frac{1}{2}\operatorname{erfc}\left(\frac{n\sqrt{\pi}}{4}\ln\left(\frac{\psi-\psi_{ae}}{\psi_0-\psi_{ae}}\right)\right) \approx \left(1+\left(\frac{\psi-\psi_{ae}}{\psi_0-\psi_{ae}}\right)^n\right)^{-1}, & \psi < \psi_{ae}; \\ 1, & \psi \geq \psi_{ae}, \end{cases} \quad (1)$$

где $S_e = (\theta - \theta_R)/(\theta_S - \theta_R)$ [б/р] – эффективное влагонасыщение; θ [см^3·см$^{-3}$] – объемная влажность почвы; θ_S [см^3·см$^{-3}$] – максимальная объемная влажность; θ_R [см^3·см$^{-3}$] – минимальная объемная влажность, при которой почвенная влага имеет свойства жидкости; ψ [см вод. ст.] – капиллярное давление (потенциал) почвенной влаги; ψ_{ae} [см вод. ст.] – капиллярное давление входа воздуха (*давление барботирования*); ψ_0 [см вод. ст.] – капиллярное давление, которое соответствует наиболее вероятному значению случайной величины – логарифма эффективного радиуса почвенной поры; σ [б/р] – стандартное отклонение данной случайной величины; $n = 4/(\sigma\sqrt{2\pi})$ [б/р];

$\operatorname{erfc}(z) = 1 - (2/\sqrt{\pi})\int_0^z \exp(-t^2)dt$ – дополнительная функция ошибок.

Для описания гистерезиса водоудерживающей способности почвы применяется формула (1) с двумя наборами параметров: $\psi_{0,w}$ [см вод. ст.], ψ_{we} [см вод. ст.] и n_w (для увлажнения), а также $\psi_{0,d}$ [см вод. ст.], ψ_{ae} [см вод. ст.] и n_d (для иссушения). Сканирующие (первичные, вторичные и т.д.) ветви начинаются от поворотных точек, алгоритм расчета которых предложен в работе (Scott et al., 1983).

На основе модели разработана компьютерная программа «Hysteresis» (Терлеев и др., 2013, 2014). Проведены следующие вычислительные эксперименты: 1) идентификация параметров модели путем точечной аппроксимации данных о главных (крайних) ветвях (табл. 1); 2) прогнозирование сканирующих ветвей; 3) оценка точности прогнозирования с использованием коэффициента корреляции между результатами расчета и опытными данными (табл. 2).

Таблица 1. **Параметры модели, идентифицированные по данным о главных (крайних) ветвях гистерезиса водоудерживающей способности почв**

Почва	Параметры модели							
	θ_R	θ_S	ψ_{ae}	ψ_{we}	$\psi_{0,d}$	$\psi_{0,w}$	n_d	n_w
White silica sand	0.0861	0.3574	−12.09	−1.797	−112.2	−41.42	3.996	2.287
Dune sand	0.0934	0.3010	−19.82	−3.594	−33.68	−19.99	3.170	3.298
Rideau clayey loam	0.2896	0.4179	−20.00	6.26	−66.96	−29.44	1.951	1.999
Rubicon sandy loam	0.1688	0.3829	−13.00	16.00	−88.42	−36.32	2.911	2.993

Таблица 2. **Оценка точности прогнозирования сканирующих ветвей с использованием параметров модели, идентифицированных по данным о крайних (главных) ветвях гистерезиса водоудерживающей способности почв**

Почва	Коэффициент корреляции (доверительная вероятность = 0.95) между результатами прогнозирования сканирующих ветвей гистерезиса и опытными данными	
White silica sand	Рис. 1*a*: R = 0.9917	Рис. 1*b*: R = 0.9891
Dune sand	Рис. 2*a*: R = 0.9933	Рис. 2*b*: R = 0.9841
Rideau clayey loam	Рис. 3*a*: R = 0.9914	Рис. 3*b*: R = 0.9886
Rubicon sandy loam	Рис. 4*a*: R = 0.9881	Рис. 4*b*: R = 0.9908

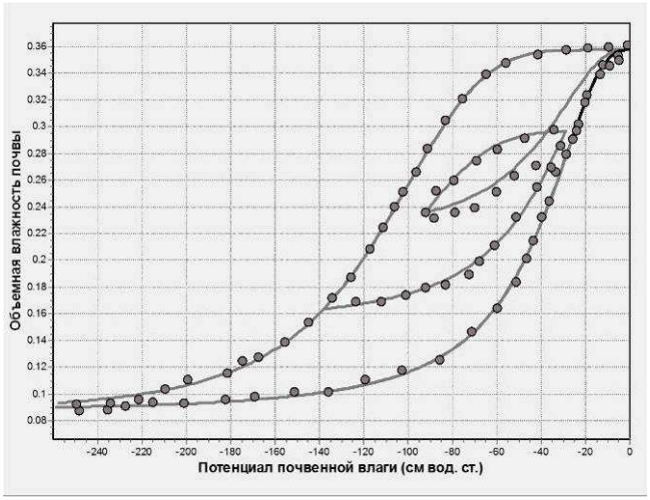


Рис. 1*a*. Точечная аппроксимация данных о главных ветвях; прогнозирование первичной ветви увлажнения, вторичной ветви иссушения, третичной ветви увлажнения почвы *White silica sand*.

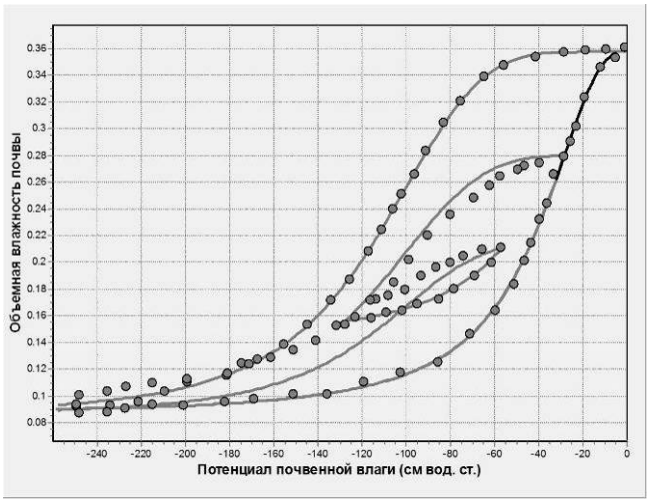


Рис. 1*b*. Точечная аппроксимация данных о главных ветвях; прогнозирование первичной ветви иссушения, вторичной ветви увлажнения и третичной ветви иссушения почвы *White silica sand*.

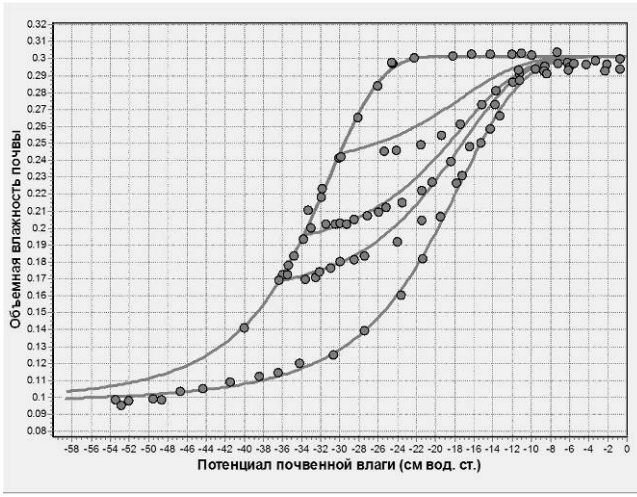


Рис. 2*a*. Точечная аппроксимация данных о главных ветвях; прогнозирование трех сканирующих ветвей увлажнения почвы *Dune sand*.

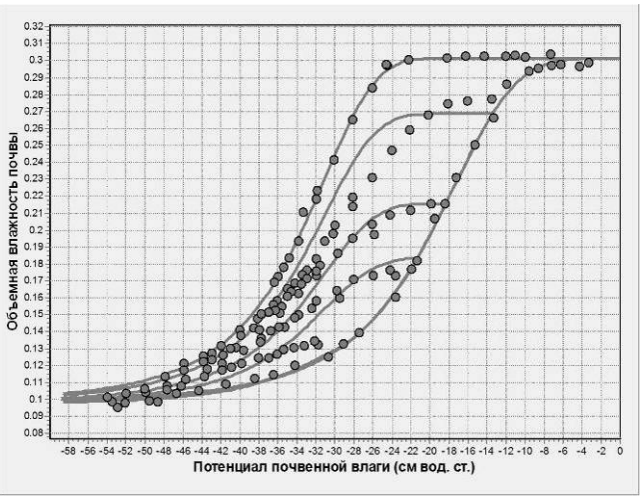


Рис. 2*b*. Точечная аппроксимация данных о главных ветвях; прогнозирование четырех сканирующих ветвей иссушения почвы *Dune sand*.

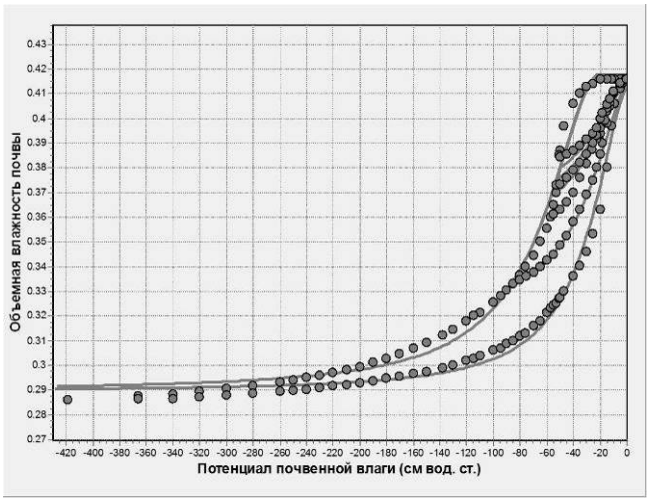


Рис. 3*a*. Точечная аппроксимация данных о крайних ветвях; прогнозирование четырех сканирующих ветвей увлажнения почвы *Rideau clayey loam*.

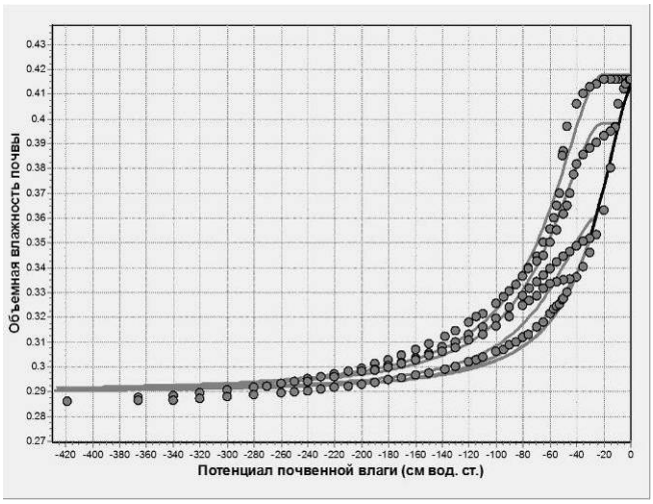


Рис. 3*b*. Точечная аппроксимация данных о крайних ветвях; прогнозирование трех сканирующих ветвей иссушения почвы *Rideau clayey loam*.

На рис. 1*a*,*b*-4*a*,*b* точками обозначены опытные данные, а сплошными кривыми – результаты точечной аппроксимации главных (крайних) ветвей, а также результаты прогнозирования сканирующих ветвей гистерезиса. Высокие значения коэффициента корреляции между результатами моделирования и опытными данными (см. табл. 2) подтверждают, что модель отвечает физическим представлениям о природе гистерезиса водоудерживающей способности почвы. Применение норм поливов, вычисленных с помощью предложенной авторами модели, предотвращает стекание избытка свободной

(гравитационной) влаги и, таким образом, минимизирует потерю поливной воды, а также непроизводительный расход удобрений, мелиорантов и средств защиты растений вследствие вымывания агрохимикатов за пределы корнеобитаемого слоя почвы.

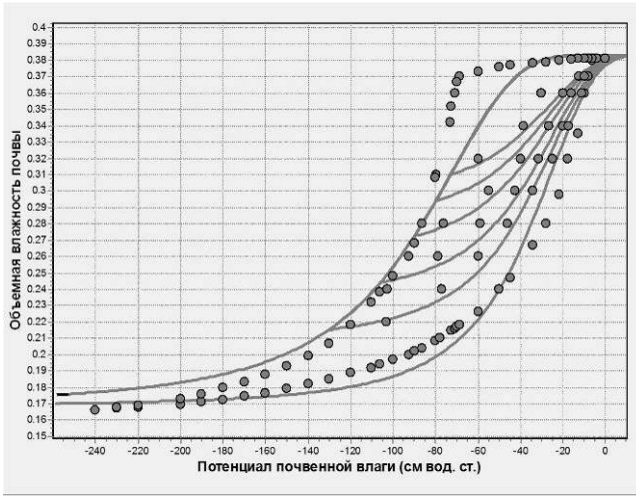


Рис. 4*a*. Точечная аппроксимация данных о крайних ветвях; прогнозирование пяти сканирующих ветвей увлажнения почвы *Rubicon sandy loam*.

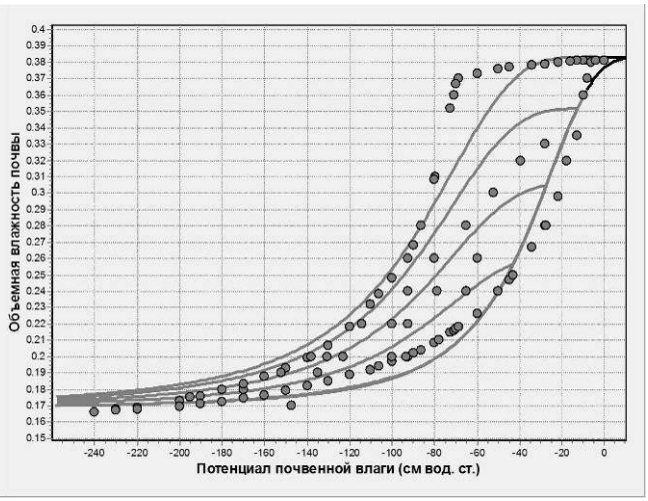


Рис. 4*b*. Точечная аппроксимация данных о крайних ветвях; прогнозирование четырех сканирующих ветвей иссушения почвы *Rubicon sandy loam*.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 16-04-01473-а.

Список литературы

1. Крылова И. Ю., Терлеев В. В. Моделирование гидрологических характеристик почвы // Материалы Всеросс. межвуз. науч. конф. студентов и аспирантов «XXXVII Неделя науки СПбГПУ», 24–29 ноября 2008 г. СПб., СПбГПУ, 2008. С. 277–279.

2. Гурин П. Д., Терлеев В. В. Использование логнормального распределения эффективных радиусов почвенных капилляров для моделирования водоудерживающей способности почвы // Материалы международ. научно-практ. конф. «XL Неделя науки СПбГПУ», 05-10 декабря 2011 г. СПб., СПбГПУ, 2011. С. 319–321.

3. Терлеев В.В., Топаж А.Г., Гурин П.Д. Программа «Hysteresis» для расчета сорбционных и десорбционных ветвей петли гистерезиса водоудерживающей способности почвы // Материалы науч. сессии АФИ. СПб., АФИ, 2013. С. 161–166.

4. Терлеев В. В., Топаж А. Г., Миршель В., Гурин П. Д. Моделирование водоудерживающей способности почвы на основе представлений о капиллярном гистерезисе и логнормальном распределении пор по размерам: теория // Агрофизика. 2014. № 1. С. 9–19.

5. Huang H.C., Tan Y.C., Liu C.W., Chen C.H. A novel hysteresis model in unsaturated soil // Hydrological Processes. 2005. № 19. pp. 1653–1665.

6. Gillham R.W., Klute A., Heermann D.F. Hydraulic Properties of a Porous Medium: Measurement and Empirical Presentation // Soil Sci. Soc. Am. J. 1976. № 40. pp. 203–207.

7. Mualem Y. A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils. Research Project 442. Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel. 1976. 100 p.

8. Scott P.S., Farquhar G.J., Kouwen N. Hysteretic effects on net infiltration. Proceeding of National Conference on Advances in Infiltration, Publication 11-83, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan. 1983. pp. 163–170.

АГРОФИЗИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧ АДАПТИВНОГО СЕМЕНОВОДСТВА В СВЕТЕ ПРИРОДООХРАННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

М. В. Архипов[1], Н. С. Прияткин[1], Л. П. Гусакова[1], Н. А. Шелоухова[1], Ю. А. Тюкалов[2]

[1]*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ);*

[2]*Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения*

В статье рассмотрен комплексный подход при решении теоретических и прикладных задач адаптивного семеноводства с учетом различных типов экологических рисков.

The article discusses an integrated approach to solve theoretical and applied problems of adaptive seed production taking into account the different types of environmental risk.

Агрофизический подход при реализации задач адаптивного семеноводства в свете природного земледелия основан на комплексной оценке качества семенного материала, получаемого в различных почвенно-климатических зонах страны с учетом «абсолютно неустранимых особенностей сельского хозяйства» (Жученко, 1999), отражающих различную степень комфортности среды выращивания сельскохозяйственных культур для получения оптимальной урожайности.

Следует отметить, что при анализе показателей потенциальной продуктивности растительного организма в процессе от посева семян в полевых условиях до получения урожая, используя разработки в области природоохранных технологий, учет степени загрязненности окружающей среды дает возможность оценить как экологические риски, так и риски, связанные с использованием различных типов агротехнологий и приводящие к принятию неоптимальных управленческих решений.

При этом понятие «урожай» включает в себя два аспекта:

– онтогенез индивидуального растения;
– рост и развитие растений в агроценозе.

Первое и необходимое условие получения высоких урожаев и доброкачественных семян – посев в почву биологически полноценных семян с высоким ростовым потенциалом и обеспечение их на раннем этапе прорастания

(включая дражирование, инкрустирование и др. приемы) необходимым запасом элементов питания, проведение предпосевной обработки семян препаратами фитосанитарной и стимуляционной природы.

Второе условие связано с грамотным использованием природных ресурсов, а именно: проведение картирования земельных участков по принципу отбора наиболее плодородных по характеристикам почвы, учет особенностей рельефа, метеоусловий и других факторов стрессового характера, возникающих в течение онтогенеза растений в агроценозе, что является неотъемлемой частью технологии точного земледелия.

Действительно, проводимое при этом рациональное дозированное внесение удобрений с учетом выше обозначенных характеристик, особенностей высеваемой культуры и других факторов будет приводить к тому, что почва не «перекармливается», подземные природные водные источники не засоряются, что будет обеспечивать стабилизацию экологической обстановки (Батыгин, 1998).

Агрофизический подход при реализации задач адаптивного семеноводства состоит в том, что с одной стороны, необходимо определять оптимальные условия, в которых формируются высококачественные семена, с другой – проводить диагностику качества производственных партий семян и осуществлять отбор хозяйственно-ценного семенного материала.

Полученная семеноводами база по оценке качества семян, получаемых в различных почвенно-климатических зонах (Чазов, 1998; Макрушин, 1983; Сечняк и др., 1988) характеризуется значительной вариабельностью показателей степени кондиционности семенного материала. Такая вариабельность результатов обусловлена зачастую, тем что в большинстве случаев данные метеосводок усреднялись за год, а, кроме того, результаты, полученные на одном сорте, распространялись на всю культуру, что не является вполне корректным.

Вместе с тем необходимо отметить, что в этих экспериментах влияние на показатели вариабельности кондиционности семенного материала скрытых дефектов и аномалий практически не учитывалось.

Следует отметить, что проблема формирования высококачественных семян в ряде стран Западной Европы, США и Канады не стоит так остро как в России. Во многом это связано с тем, что биоклиматический потенциал этих стран в 2,5–3,0 раза выше чем в России.

В связи с этим, именно в России, характеризующейся «беспрецедентно контрастными и разнообразными почвенно-климатическими, погодными и экономическими условиями» было получено с помощью традиционных методик и технологий, в контрольно-семенном деле большинство экспериментальных данных, связанных с влиянием неблагоприятных факторов среды на формирование семян (Жученко, 1999).

Данные отечественных исследователей (Батыгин, 1995; Семенов, 2000) основаны на разработке новых методических подходов, которые позволяли получить больший объем информации в более сжатые сроки, что крайне важно для грамотной трактовки достоверности полученных результатов полевых опытов. Авторы показали, что это дает возможность достаточно быстро оценить отзывчивость различных сортов на экстремальные факторы в данном регионе, в том числе и на показатели формирования высококачественных семян, и разработать на этой основе оптимальные технологии, позволяющие с учетом качества исходных семян более экономно расходовать удобрения и ядохимикаты, снижая тем самым уровень загрязненности окружающей среды.

Действительно, большую роль в реализации различных агротехнологий в адаптивном семеноводстве играет разработка таких методов экспресс-контроля качества семян, которые позволяли бы не только оценивать показатели лабораторной всхожести, но и прогнозировать потенциальную полевую всхожесть.

Для решения данной задачи с помощью неразрушающих методик, первые работы, позволяющие оценивать качество семян древесных культур были выполнены с помощью метода рентгенографии (Gustaffson, Simak, 1958).

В Агрофизическом институте был впервые разработан метод мягколучевой микрофокусной рентгенографии для выявления скрытых дефектов для семян зерновых культур (Савин и др., 1981), а также была дана

оценка степени влияния этих дефектов на показатели роста и урожайности растений, полученных из этих семян.

Анализ рентгенограмм позволил авторам выделить в исследуемых партиях семян следующие группы:

– биологически полноценные семена;
– щуплые (по показателю скрытой выполненности) семена;
– семена с различными типами повреждений и аномалий (трещины, вмятины, ЭМИС – энзимомикозное истощение семян, поврежденность и заселенность насекомыми, скрытое прорастание);
– семена с повреждениями зародыша.

Была установлена (Гусакова, 1997) высокая сходимость результатов и тесная зависимость между содержанием биологически полноценных семян, идентифицированных по рентгенобразам зерновки и всхожестью, определяемой в лабораторных условиях (коэффициент корреляции для ячменя – 0,9, для овса – 0,7).

В полевых условиях снижение всхожести наиболее четко наблюдалось у недовыполненных семян, а также у семян с поврежденным зародышем. Было показано, что некоторое снижение полевой всхожести имело место у семян с большим количеством внутренних трещин эндосперма. Комбайновая уборка и сушка лишь усугубляли отрицательное влияние этих повреждений как на показатель полевой всхожести, так и на показатели выживаемости растений к уборке и урожайности (Савин и др., 1995; Архипов и др., 2001).

Данные рентгенографического анализа, проведенного для трех сортов ячменя, в один и тот же год, позволили установить, что для сорта Криничный получение биологически полноценных выполненных семян требует оптимального сочетания трех факторов – тепла, влаги и питания. Сорт Эльф «откликается» уже на небольшую подкормку, а Суздалец требует более высоких доз удобрений, но в более узких пределах тепла и влаги.

В работе был сделан вывод, что рентгенанализ может не только давать информацию о скрытых дефектах в семенах, но и быть достаточно эффективным корректирующим элементом при разработке природоохранных технологий и выборе оптимальных семенных участков (Архипов и др., 2001).

В заключении хотелось бы отметить, что биологическая полноценность основных формообразующих органов зерновки является отражением своего

рода «онтогенетической памятью» о среде обитания растений (Жученко, 1999). Этот показатель зависит от агроклиматического и агроресурсного потенциала в регионе, где осуществляется репродуцирование семян, технологий их выращивания, уборки и хранения, сопряжен с микробиологическими и фитопатологическими характеристиками семян, используемыми для посева.

По нашему мнению данный показатель будет определять ростовой потенциал семени в гетеротрофный период прорастания, а следовательно, полевую всхожесть производственных партий семян.

Такой подход является серьезным шагом при разработке в рамках точного земледелия блока «качество семенного материала». Проведение работ в данном направлении, разработка современного физико-технического и информационного базиса адаптивного семеноводства, нового поколения регламентов и стандартов в контрольно-семенном деле позволит более эффективно решать задачи, стоящие перед «умным» сельским хозяйством и обеспечит принятие эффективных управленческих решений в точном земледелии

Список литературы

1. Жученко А. А. Эколого-генетические основы адаптивного семеноводства // Тезисы докл. межд. научн. конф. «Семя». М.: Икар, 1999. С. 10–49.
2. Азин Л. А. Селекция и семеноводство. 1963. 197 с.
3. Чазов С. А. Агроэкологическое обоснование организации промышленного семеноводства на Урале и в Сибири. / В сб.: Семеноводство зерновых культур. М.: ВО Агропромиздат, 1988. С. 19–29.
4. Макрушин Н. М. Экологические основы промышленного семеноводства зерновых культур. М.: Агропромиздат, 1985. 280 с.
5. Сечняк Л. К., Кидрук Н. А., Слюсаренко О. К., Иващенко В. Т., Кузнецов Е. Д. Экология семян пшеницы. М.: Колос, 1983. 350 с.
6. Семенов В.А. О необходимости и возможностях интенсификации экспериментальной работы / В сб.: Современные проблемы опытного дела Материалы международной научно-практической конференции 6–9 июня 2000 г. Т.1. СПб., 2000, С. 35–43.
7. Батыгин Н. Ф. Физиологические основы селекции растений в регулируемых условиях. // Теоретические основы селекции, т.И, ч.П, СПб, ВИР, 1995. С. 54–640.
8. Gustaffson A, Simak M. Effect of X-and Y-ray in conifer seed. Med. Statens Scogsforskoningsinstitut, 1958, vol. № 5, p. 1–24.
9. Гусакова Л. П. Рентгенографический и цитофотометрический анализ жизнеспособности семян сельскохозяйственных культур. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. СПб., 1987. 124 с.
10. Савин В.Н., Архипов М. В., Баденко А. Л. и др. Рентгенография для выявления внутренних повреждений и их влияния на урожайные качества семян // Вестник сельскохозяйственной науки. 1981. № 10. С. 99–104.

NUTRIENTS BALANCE ON SELECTED FARMS OF WEST POMERANIA, POLAND

Piotr Burczyk
Institute of Technology and Life Sciences,
Kujawsko-Pomorski Research Centre, Poland
E-mail:p.burczyk@itp.edu.pl

The research was conducted in 2012–2014. Balance of nutrients (nitrogen, phosphorus and potassium) was estimated for five farms of West Pomerania province in Poland. The farm gate balance was performed according to the well-accepted PARCOM rules. The inputs comprise nutrients in commercial fertilizers, purchased animal feed, mineral additives, purchased seed etc., but also in wet and dry precipitation. The outputs comprise nutrients in sold plant and animal products. The difference between the inputs and outputs is surplus. The ratio of nutrients sold in products to total nutrients inputs is the nutrients utilization efficiency was expressed in percent.

Farms were located around Miedwie Lake – the main source of drinking water for the city of Szczecin (400 thousand inhabitants). Farm II represented extensive forms of farming (7 hectares, low inputs and yields, low production of pigs), whereas farm IV was characterized by very intensive production level (area of almost 1000 hectares, intensive cultivation, high yields, poultry production and milk). The remaining were medium-sized family farms (37 to 120 hectares). For most of the farms, due to fertile brown soils and black earths, plant production was dominant.

Most of the nutrients entered the farms with mineral fertilizers and left the farms with sold plant products. Nitrogen balance varied between +85 and +162 kg N ha^{-1}. On some of the studied farms negative phosphorus balance was observed (-3, –5 kg P·ha^{-1}) while on the others surplus raised to +55 kg P ha^{-1}. For potassium only surpluses were observed and varied between +10 to +119 kg K ha^{-1}. Utilization efficiency of nitrogen and potassium was on the similar level: the lowest on the small and less intensive farm (2–13%) and the highest on the big intensive farm (47–69%). Phosphorus utilization was about 45%. Different nutrient balance and utilization efficiency shows high differences of nutrients management level on the studied farms. There were high nitrogen and potassium balance surpluses on the farms, and phosphorus surplus was also often reported. Large surpluses of nutrient balance in combination with low utilization indicate a high risk of nitrogen, phosphorus and potassium losses to the ground- and surface water and a strong need to take action for more rational management of these components on the farms.

Key words: balance, farm, nitrogen, phosphorus, potassium.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ – ЗАДАЧА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВАЖНОСТИ

В. И. Глейзер

ООО «Геодезические приборы»,

кафедра «Информационные технологии» СПбГАУ

Рассматривается актуальный вопрос государственного регулирования в области обеспечения единства измерений применительно к выполнению геодезических и картографических работ при осуществлении градостроительной и кадастровой деятельности, землеустройства и землепользования, недропользования и иных видов деятельности.

Ключевые слова: государственное регулирование, измерения, метрологический контроль, поверка средств измерений, геодезические работы, кадастровая деятельность, землеустройство, землепользование, агрономия.

Как известно, измерения – один из основных способов познания. Этот процесс пронизывает практически все сферы жизни. С развитием технических средств и совершенствованием технологий непрерывно повышаются требования к качеству измерений, к их достоверности и надёжности. В связи с этим возрастает роль метрологии как науки весьма значимой для многих прикладных отраслей, в том числе для кадастровой деятельности, землеустройства, агрономии. В этих отраслях измерительный процесс является основой.

Опыт чтения лекций по учебной дисциплине «Метрологическое обеспечение геодезических средств измерений» студентам колледжей и вузов, слушателям курсов повышения квалификации профильных специальностей показал, что нередко вызывает затруднение вопрос: «Что такое процесс измерения?». В связи с этим напомним, что **измерение** – это совокупность операций для определения отношения одной (**измеряемой**) величины к другой **однородной** величине, принятой за единицу, сохраняющуюся в техническом средстве (**средстве измерений**). Измерение конкретной физической величины опытным путём проводится с помощью различных средств измерений (СИ). Применительно к задачам земельного кадастра и землеустройства основу измерительного процесса составляют геодезические технологии и, соответственно, геодезические СИ.

В настоящее время при выполнении геодезических работ в области кадастра и землеустройства, землепользования и агрономии достаточно широко

применяются высокотехнологичные импортные СИ, которые не редко не подпадают под действие разработанных ранее в нашей стране отраслевых и государственных стандартов. Однако на помощь приходит Федеральный закон № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [1, 2], в котором сформулированы основные принципы государственного регулирования процесса обеспечения единства измерений, отражающие системный подход к данной проблеме. Речь идёт о проблеме метрологического обслуживания и контроля СИ. В геодезии и в геодезическом приборостроении вопросам метрологии всегда уделялось большое внимание на всех этапах жизненного цикла того или иного СИ. Следует отметить, что работы по метрологическому обеспечению геодезического производства находятся на пересечении правовых полей закона № 102-ФЗ и закона, регулирующего деятельность в области геодезии и картографии. Первоначально это был Федеральный закон от 26 декабря 1995 г. № 209-ФЗ «О геодезии и картографии», а затем закон № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который вступил в силу 1 января 2017 г. и заменил предыдущий. Новый закон предписывает физическим и юридическим лицам, выполняющим геодезические и картографические работы при осуществлении градостроительной и **кадастровой** деятельности, **землеустройства**, недропользования и др., согласно закону № 102-ФЗ использовать СИ, прошедшие в установленном порядке поверку и применять аттестованные методики измерений. В результате реализуется один из главных общих принципов геодезии и метрологии – обеспечение единства измерений, под которым понимается следующее: **результаты измерений выражаются в узаконенных единицах, а погрешности измерений известны с заданной вероятностью** [3].

Одним из важных элементов метрологического обеспечения является метрологический контроль, который в рассматриваемой сфере осуществляется в форме утверждения типа СИ и поверки СИ. Утверждение типа СИ – это правовой акт Государственной метрологической службы, заключающийся в признании по результатам испытаний типа СИ пригодным для производства или для использования (в случае ввоза по импорту) в РФ. Свидетельство об

утверждении типа СИ, которое выдаёт заявителю Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), сопровождается материалами, содержащими информацию о методике поверки данного типа СИ, его основных технических и метрологических характеристиках, а также о межповерочном интервале. Следующая форма государственного метрологического контроля – поверка СИ. Поверка средств измерений – это установление пригодности средства измерения к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждение их соответствия установленным обязательным требованиям.

Согласно законодательству [1], поверка СИ осуществляется органом Государственной метрологической службы или организацией, аккредитованной на право проведения поверочных работ средств измерений данного типа. Критерии аккредитации довольно жесткие и в отношении технической оснащенности поверочной лаборатории и относительно компетенции метрологов – поверителей. Поверители проходят специальную подготовку, обладают личным клеймом и несут юридическую ответственность за результаты поверки. Ведь в случае тех или иных конфликтных ситуаций, возникающих при имущественных отношениях, в судебных разбирательствах рассматриваются только СИ утверждённого типа и прошедшие поверку.

За последнее десятилетие техническая оснащённость геодезической практики существенно изменилась. Значительно возросла доля высокопроизводительных опто-электронных автоматизированных приборов, обеспечивающих и необходимую точность измерений, и высокое быстродействие, и эргономичность измерительного процесса, и устойчивость к внешним возмущениям. Но при этом требуются не только высокий уровень квалификации исполнителей работ, но и периодическое сервисное обслуживание техники, включающее метрологический контроль.

Список литературы

1. Федеральный закон № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

2. Глейзер В. И., Жуков Г. П. Метрологическое обеспечение маркшейдерских и геодезических средств измерений // Маркшейдерский вестник. 2014. № 2. С. 30–32.

3. Спиридонов А. И. Основы геодезической метрологии. М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2003. 248 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКВАЖНОГО ВЛАГОМЕРА В СТАЦИОНАРНЫХ ОБСАДНЫХ ТРУБАХ

Ю. И. Блохин, В. С. Зубец, А. В. Белов, П. А. Филиппов

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ)

Разработан макет и методика градуировки скважинного влагомера почв с емкостным двухкольцевым датчиком и реактивным делителем в цепи питания от источника синусоидального напряжения для незасоленных почв сельскохозяйственного использования.

Исследован профиль влажности дерново-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени окультуренности для бобово-злаковой смеси и ячменя в течение вегетационного периода в условиях стационарного полевого опыта.

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, объемное влагосодержание, плотность, характеристика пространственной чувствительности, обсадная труба, окультуривание, дерново-подзолистая почва.

Введение

Почва представляет собой сложную гетерогенную многофазную капиллярно-пористую систему, диэлектрические свойства которой определяются ее составом, состоянием и протекающими в ней процессами.

Диэлектрические свойства почв, как сложных гетерогенных систем, определяются диэлектрическими свойствами составляющих ее фаз. Если выполнены условия малости размеров частиц твердой фазы, малости размеров пор между частицами твердой фазы, занимаемых жидкой и газовой фазами по сравнению с длиной волны воздействующего электромагнитного поля и линейными размерами измерительного объема электромагнитного поля, создаваемого диэлькометрическим первичным измерительным преобразователем (ПИП), и, кроме того, частицы и поры разных размеров распределены равномерно в измерительном объеме и имеют регулярную форму, то почву можно рассматривать как квазиоднородный изотропный диэлектрик с эффективными значениями компонентов комплексной диэлектрической проницаемости (КДП) ε', ε'' и электропроводности σ (для частотного метода) [1].

Исследования профиля влажности важны при изучении процессов окультуривания дерново-подзолистых легкосуглинистых почв в условиях стацинарного полевого опыта [2].

Цель работы – исследование профиля влажности дерново-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени окультуренности скважинным влагомером в течение вегетационного периода, в условиях стационарного полевого опыта.

Объекты и методы

Основной элемент скважного влагомера – емкостный ПИП в виде цилиндрического датчика с кольцевыми емкостными электродами (рис 1а), включенными в колебательный контур автогенератора. Устройство вводится при измерениях в обсадную трубу или может использоваться в составе автоматической агрометеорологической станции, имеющей каналы регистрации частоты и аналоговых сигналов. Установка нескольких преобразователей на разных глубинах дает возможность исследовать профиль по глубине и динамику по профилю влажности, что важно для технологий точного земледелия и моделей энергомассобмена в системе «почва – растение – приземный слой воздуха».

Измеритель содержит цилиндрический датчик с кольцевыми емкостными электродами, включенными в колебательный контур автогенератора, вводимый при измерениях в обсадную трубу и подключенный к ноутбуку. На корпус датчика нанесена метровая линейка по показаниям которой можно определять степень погружения ПИП (рис. 1б, в). При погружении датчика в обсадную трубу необходимо вручную удерживать устройство на заданном уровне и производить запись в ноутбук. Диаметр датчика 46 мм. Диаметр обсадной трубы 50 мм. Обсадные трубы имели длину 1 м.

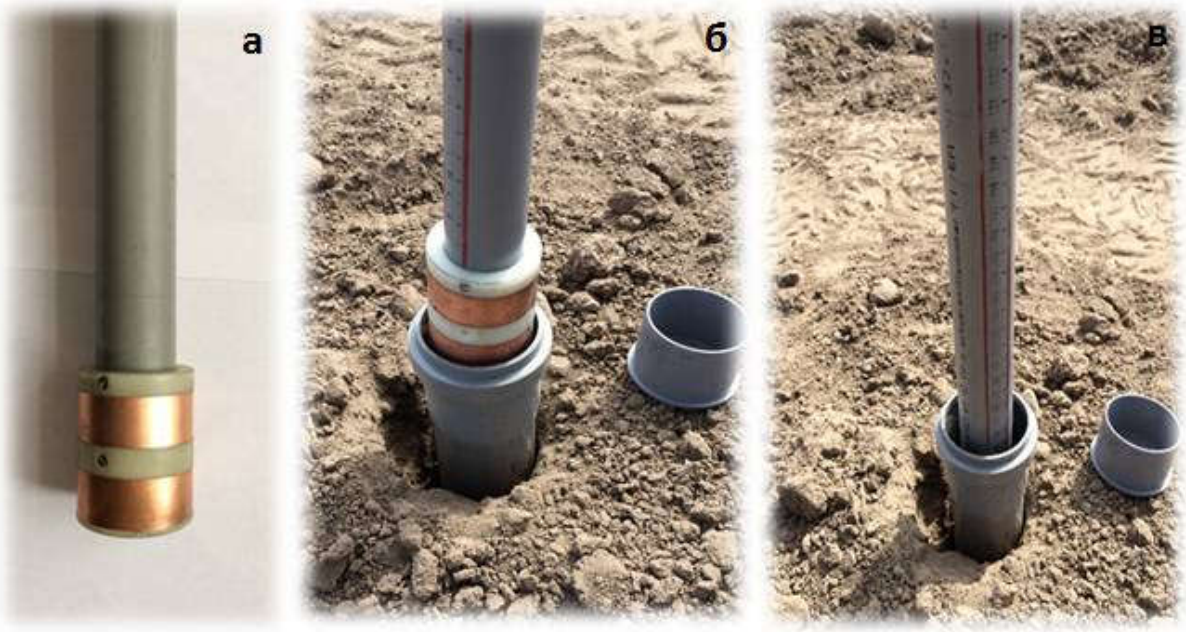


Рис. 1. Скважинный влагомер почвы:
а) внешний вид двухкольцевого емкостного ПИП; б) перед погружением в обсадную трубу;
в) после погружения

Образцы средне, хорошо и высокоокультуренной почвы, а также подпахотного слоя (всего 240 кг) были отобраны на опытных полях Меньковского филиала ФГБНУ АФИ. Образцы почвы были подсушены в помещении до гигроскопической влажности, протерты и просеяны через сито с размером ячейки 2 мм. Корневые и пожнивные остатки и крупная органика, непросеянная через сито, были удалены. В подготовленных образцах после предварительного подсушивания измерялась гигроскопическая влажность по ГОСТ 28268-89.

Изготовлены специальные емкости (рис. 2) для градуировки влагомера, имитирующие отрезок обсадной трубы в почве с максимальной зоной охвата электромагнитного поля ПИП под каждый тип почв (рис. 2). Для подготовки образцов почвы заданной объемной влажности использовалась методика, позволяющая рассчитать необходимое количество воды, добавляемой в емкость заданного объема и массы сухой почвы для проб с тремя значениями плотности почвы (малой, средней и высокой). После подготовки образца почвы заданной объемной влажности производилось тщательное перемешивание почвы с водой и равномерная набивка пробы в стакан с последующим «отволаживанием».

Рис. 2. Емкости с почвой для градуировки влагомера

После отволаживания емкость с почвой взвешивалась, и проводилось измерение диэлектрических характеристик образца почвы, так же измерялась термостатно-весовая влажность почвы по ГОСТ 28268-89 в трехкратной повторности и вычислялась средняя весовая влажность по трем пробам. Затем производился расчет фактической объемной влажности и плотности для каждого образца.

Разработана и произведена градуировка датчика в широком диапазоне влажности для каждого типа почвы при трех значениях плотности (рис. 3).

Измерение профиля влажности почв с использованием стационарных обсадных труб, производилось на двух полях с тремя типами окультуренности (средне, хорошо и высоко) и двумя типами культур: бобово-злаковой смесью (горох с овсом) и ячменем. Всего на полях было расположено 6 обсадных труб. Измерения проводились на протяжении всего вегетационного периода (рис. 4).

Проведено исследование профиля влажности дерново-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени окультуренности скважинным влагомером в течение вегетационного периода, в условиях стационарного полевого опыта. Удобство в использовании и надежность конструкции скважного влагомера позволили получить необходимый объем данных. Высокая репрезентативность методики градуировки устройства позволяет получать зависимости отношения выходных напряжений детекторов к объемной влажности почвы с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,99$.

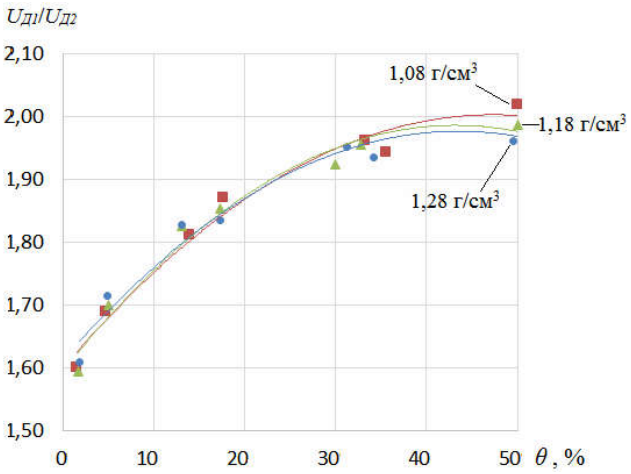


Рис. 3. Градуировочная характеристика скважного влагомера для среднеокультуренной почвы. Зависимость отношения выходных напряжений детекторов $U_{Д1}/U_{Д2}$ от объемной влажности образцов почвы при низкой (1,08 г/см^3), средней (1,18 г/см^3) и высокой (1,28 г/см^3) плотностях сложения почвы.

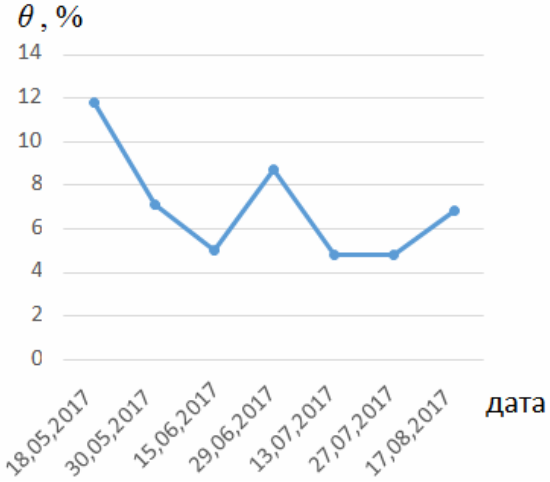


Рис. 4. График объемной влажности среднеокультуренной почвы на поле с ячменем с 18.05.2017 по 17.08.2017.

Список литературы

Ананьев И. П. Автогенераторные измерительные преобразователи двухкомпонентной диэлькометрии сельскохозяйственных материалов. // Автореферат дис. … д-ра техн. наук. – СПб., 2009. 48 с.

Витковская С. Е., Иванов А. И, Филиппов П. А. Изменение строения профиля и агрохимических параметров дерново-подзолистой почвы при окультуривании // Агрохимия. 2014. № 7. С. 9–16.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

стр.

Пленарная сессия

Чесноков Ю. В.
От идей А. Ф. Иоффе и Н. И. Вавилова до биоинформатики и маркер-вспомогательной селекции 5

Börner A., Nagel M., Agacka-Mołdoch M., Börner M., Lohwasser U., Riewe D., J. Wiebach [1], Altmann T., Chesnokov Y.
Plant genetic resources – conservation and exploitation for plant breeding and research 17

Ботнарь В.
Совершенствование методов принятия агротехнологических решений при возделывание овощей в открытом грунте 18

K. H. Trung, N. T. Diep, T. D. Khanh, L. H. Ham
pyramiding of the candidate genes of bacterial blight resistance *xa5*, *Xa7* and *xa13* into the elite rice varieties 19

Duca M.
Phylogeographic distribution of *Orobanche cumana* Wallr. in the republic of Moldova 20

Е. В. Шеин
Физика почв: основные агрофизические проблемы, направления, обзор научной литературы 21

Wenkel K.-O., Mirschel W., Topaj A. G.
From crop growth models to model-based DSS for sustainable agriculture and land use – trends and perspectives..... 24

Kuchar L., Iwanski S., Diakowska E., Gasiorek E., Karczewski M.
Europe to 2060 year using sres and RCP scenarios based on the Poland data..... 43

Todirash V., Botnari V.
Information support for decision-making in integrated pest management systems ... 45

Абдуллаев А., Маниязова Н. А.
Влияние изменения климата на урожайность и качество зерна пшеницы 49

Якушев В. П.
Точное земледелие – инновационный путь развития сельскохозяйственного производства России 51

Березовский Е. В., Прокофьев Н. А., Телышев А. Н.
Дифференцированное внесение азотных удобрений на основе данных ДЗЗ с БПЛА..... 64

Секция
«Почвенно-растительные комплексы, защита и биотехнология растений, сельскохозяйственная микробиология»

Банецкая Е. В., Прокопчук В. Ф.
Сезонная динамика численности микроорганизмов в черноземовидной почве при длительном внесении удобрений 71

Иванов Д. А.
Особенности анализа результатов мониторинга урожайности в пределах агроландшафта 77

Кузнецова В. А., Остронков В. С., Михайлова М. П.
Применение регуляторов роста нового поколения на основе экстрактов из лиственницы для повышения урожайности сои..... 81

Mitin V., Tumanova L., Pasha L.
Extraction of dna for pcr analysis of phytopathogens from the soil 84

Пермяков Е. Г., Комаров А. А.
Этапы развития овощеводства в Ленинградской области 85

Рабинович Г. Ю., Фомичева Н. В.
Влияние новых органических удобрений на почвенную микрофлору и продуктивность картофеля 89

Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М.
Контроль спорыньи при помощи химических и биологических препаратов..... 94

Якименко М. В., Бегун С. А.
Коллекция ризобий восточноазиатского региона и их некоторые свойства 99

Stingaci A., Chiuhrii M., Voloshyuk L., Zavtony P.
Posibilites of bioninsecticides application for restoration and creation of stable natural and antropinated ecosystem to control the hyphantria cunea drury in the Republic of Moldova..... 104

Завтони П. С., Волощук Л. Ф., Стынгач А. Н.
Бакуловирусы как эффективное средство борьбы с вредными насекомыми 109

Bakti B., Simon B., Gyuricza C.
Studying of the soil condition in short rotation coppice with treated ammonium nitrate fertilizer and sewage sludge compost 113

Kiss T., Rásó J., Végh A., Csiha I., Bakti B.
Studing of the growth of a hybrid poplar and white willow energy plantation irrigated with effluent water from fish farming..... 118

Zamorzaeva I., Bahsiev A., Mihnea N.
Ca. P. solani infection on tomato plants depending on the method of sowing and the growth conditions..... 123

Волощук Л. Ф.
Биотехнологические пути решения фитосанитарных проблем в экологическом земледелии 128

Леманова Н. Б., Горбунова В. В.
Роль почвообитающих диазотрофных бактерий (PGPR) в повышении супрессивности почвы 133

Фоменко Т. Г., Попова В. П.
Влияние гетерогенности почвенного покрова на продуктивность яблони и обеспеченность элементами питания при фертигации 139

Беленков А. И.
Влияние приемов обработки на урожайность сельскохозяйственных культур и плодородие почвы в полевом опыте ЦТЗ 144

Фрейдкин И. А.
Удобрения на деградированной супесчаной дерново-подзолистой почве 150

Галушко А. С.
Микробиология окислительно-восстановительных реакций гуминовых кислот в сельскохозяйственных почвах 156

Ардашева Т. В., Павлик С. В., Бучкина Н. П.
Действие биоугля на pH и содержание макроэлементов в промывных водах из органогенного горизонта дерново-подзолистой супесчаной почвы 161

Борцова О. А., Галушко А. С., Цветкова Н. П., Кудрявцев Д. В., Вертебный В. Е., Дубовицкая В. И., Хомяков Ю. В., Панова Г. Г.
Рециклинг в производстве овощных культур: поиск эффективных целлюлозоразрушающих микроорганизмов для приготовления биокомпостов 166

Иванова Ж. А., Филиппов П. А., Смирнова Н. В.
Окультуривание дерново-подзолистой почвы и эффективность системы удобрения на полевых и овощных культурах 171

Смук В. В.
Совершенствование защиты посадок картофеля от сорной растительности в Северо-Западном регионе РФ 178

Суханов П. А., Комаров А. А., Кирсанов А. Д., Васильев М. В., Завьялова Е. Ф.
Влияние органических удобрений на структурное состояние дерново-карбонатной почвы 183

Фесенко М. А., Шпанев А. М.
Вклад техногенных и агрометеорологических факторов в формирование урожайности культур полевого севооборота 192

Чижиков В. Н., Паращенко В. Н., Авакян Э. Р.
Влияние некорневой подкормки фосфорно-калийным удобрением на урожайность риса 197

Шпанев А. М., Смук В. В., Денисюк Е. С.
Совершенствование систем защиты растений на Северо-Западе России..... 202

Панова Г. Г., Семенов К. Н., Шилова О. А., Артемьева А. М., Д. Л. Корнюхин, Канаш Е. В., Чарыков Н. А., Хамова Т. В., Аникина Л. М., Удалова О. Р., Вертебный В. Е., Хомяков Ю. В., Банкина Т. А., Журавлева М. А., Блохина С. Ю.
Новые биологически активные средства на основе углеродных и кремнезольных наноструктур и их влияние на растения..... 207

Панова Г. Г., Удалова О. Р., Черноусов И. Н., Артемьева А. М., Канаш Е. В., Кочетов А. А., Александров А. В., Аникина Л. М., Хомяков Ю. В., Середин И. С., Антонов А. Н., Мельников В. А., Чесноков Ю. В.
Научно-технические основы нового направления в отечественной индустрии производства качественной растительной продукции..... 214

Журавлева А. С.
Влияние нефтезагрязнения на состояние почвенной микробиоты Ленинградской области 220

Elisovetcaia D. S., Derjanschi V. V.
Premises for using of predatory bug *Perillus bioculatus* F. (Hemiptera, Pentatomidae) in the conditions of Republic of Moldova 224

Вертебный В. Е., Хомяков Ю. В., Дубовицкая В. И., Конончук П. Ю., Москвин М. А., Гурова Т. А.
Влияние некорневых обработок на активность ферментов окислительно-восстановительного стресса 229

Секция
«Физиология, генетика, биофизика и селекция растений»

Артемьева А. М., Кочерина Н. В., Курина А. Б., Фатеев Д. А., Чесноков Ю. В.
Картирование локусов хозяйственно ценных признаков у овощных культур семейства капустные (*Brassicaceae Burnett*)..... 231

Балашова И. Т., Сирота С. М., Козарь Е. Г., Пинчук Е. В., Панова Г. Г., Удалова О. Р., Аникина Л. М.
Результаты испытаний карликовых сортов томата селекции вниисок в двух технологических средах..... 236

Боровская А. Д., Гуманюк А. В., Мащенко Н. А., Ботнарь В. Ф.
Влияние биологически активных веществ на процессы развития растений лука..... 243

Григорча С. В., Лупашку Г. А., Михня Н. И., Гавзер С. И., Кошалык К. В., Позняков В. И.
Комбинаций f_5 томатов на культуральные фильтраты грибов *Alternaria* spp. и *Fusarium oxysporum* var. *Orthoceras* 248

Дудов М. В., Гинс М. С., Байков А. А.
Изменение суммарного содержания антиоксидантов в растениях картофеля при поражении колорадским жуком 253

Душко О. С.
Использование метода флуориметрии для выявления сортов сои с высокой активностью фотосинтеза 258

Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф., Батова Ю. В., Титов А. Ф.
влияние высоких концентраций цинка на фотосинтетический аппарат пшеницы при гипотермии 261

Касаткин М. Ю., Степанов С. А.
Физиологическая характеристика
фоторегуляции морфогенеза проростков яровой пшеницы 265

Катышева Н. Б., Поморцев А. В., Дорофеев Н. В., Пешкова А. А.
Оценка продолжительности вегетационного периода скороспелых сортов и сортообразцов сои в условиях лесостепной зоны Иркутской области 269

Клушевская Е. С., Кузнецова Н. Ф.
Исследование адаптивной нормы реакции физиолого-биохимических параметров сосны обыкновенной в условиях *ex situ* и *ex vivo* 272

Корлэтяну Л. Б., Маслоброд С. Н., Ганя А. И.
Влияние миллиметрового излучения на первичные процессы метаболизма семян клещевины (*Ricinus communis* L.) В условиях консервации *ex situ* 277

Корнюхин Д. Л., Артемьева А. М., Соловьёва А. Е.
Особенности накопления питательных и биологически-активных веществ у образцов репы (*Brassica rapa* L. *Subsp. Rapa*) 282

Кравченко А. Н., Клименко О. А.
Генетический анализ устойчивости к абиотическим факторам у кукурузы на гаплоидном уровне 287

Курина А. Б., Артемьева А. М.
Молекулярно-генетический анализ редиса (*Raphanus sativus* L.) коллекции ВИР 291

Лупашку Г. А., Гавзер С. И., Григорча С. В., Познякова В. И.
Роль взаимодействий растение-патоген и компонентов скрещивания при наследовании устойчивости пшеницы к корневым гнилям 296

Лупашку Г. А., Гавзер С. И., Григорча С. В., Познякова В. И.
Использование множественного регресионного анализа для выявления стабильности элементов продуктивности пшеницы 301

Маслоброд С. Н., Миргород Ю. А., Лупашку Г. А., Сидоренко А. С., Гавзер С. И., Шибаев А. И., Шибаева И. В., Горе А. И.
Водные дисперсные системы с наночастицами и слабые электромагнитные поля как стимуляторы жизнеспособности семян томата и пшеницы 304

Маслоброд С. Н.
К истории фитомониторинга: некоторые итоги изучения адаптивных признаков сельскохозяйственных растений с помощью системы автоматизированного съема научной информации на биотроне АН Молдовы 309

Мирская Г. В., Канаш Е. В., Кочерина Н. В., Ловассер У., Бернер А., Чесноков Ю. В.
Идентификация локусов хромосом, определяющих проявление хозяйственно-ценных признаков у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в условиях агроэкобиополигона..... 314

Михайлова М. П., Каманина Л. А., Остронков В. С., КузнецоваВ. А.
Участие природных регуляторов роста в защите сои от гербицидного стресса..... 319

Михня Н. И., Лупашку Г. А., Григорча С. В.
Генные эффекты, участвующие в проявлении некоторых количественных признаков у томата..... 322

Мотылева С. М.
Морфологические и анатомические изменения листьев *Malus domestika* Borkh в условиях загрязненной атмосферы 327

Мусаев Ф. Б., Архипов М. В., Прияткин Н. С., Староверов Н. Е., Н. Н. Потрахов
Метод микрофокусной рентгенографии для анализа качества семян овощных культур..... 332

Панфилова О. Ф., Беленков А. И., Пильщикова Н. В.
Физиологические аспекты дистанционного зондирования агроценозов..... 337

Пискунова Т. М., Хмелинская Т. В., Соловьева А. Е.
Генетические источники высокого содержания каротина в образцах тыквы и моркови из коллекции вир им. Н. И. Вавилова 341

Поморцев А. В., Дорофеев Н. В., Соколова Л. Г., Зорина С. Ю.
Влияние уровней увлажнения почвы на физиолого-биохимические процессы в узлах кущения озимых культур при выходе из зимовки 346

Рафальская О. М., Рафальский С. В.
Итоги практической селекции картофеля в Приамурье 351

Рафальский С. В., Мельникова Т. В.
Оценка сортов картофеля по показателям фотосинтетической деятельности растений в условиях Приамурья 356

Сашко Е. Ф.
Реакция гибридных форм мягкой пшеницы на метаболиты некоторых возбудителей корневых гнилей 359

Смеря С. В.
Зависимость регенерационной способности томата *in vitro* от генотипа и типа экспланта в состоянии вирусного патогенеза 364

Синеговская В. Т.
Определение продуктивности фотосинтетического потенциала сортов сои амурской селекции 369

Синявина Н. Г., Удалова О. Р., Артемьева А. М., Соловьева А. Е., Кочетов А. А., Мирская Г. В., Панова Г. Г.
Оценка продуктивности и биохимического состава образцов быстрорастущих капустных культур видов *Brassica rapa* L. и *B. oleracea* L. в регулируемых условиях 373

Суслов М. А.
Изменение межклеточной водной проводимости в корнях кукурузы в ответ на повышение концентрации CO_2 в атмосфере 379

Титова Н. В., Бужоряну Н. С., Мащенко Н. Е.
Пигментный фонд листьев разных сортов груши, обработанных вербаскозидом 383

Хатефов Э. Б.
Редиплоидизация тетраплоидных популяций кукурузы как инновационный метод расширения генетического полиморфизма селекционного материала 388

Чернов В. Е., Черкасова А. Т., Аксенов А. И.
Поглощение элементов минерального питания культурными и дикорастущими видами злаков 398

Шаманин В. П., Потоцкая И. В., Шепелев С. С., Пожерукова В. Е., Чурсин А. С., Моргунов А. И. \
Потенциал синтетической пшеницы с геномом *Ae. tauschii* для селекции на адаптивность к биотическим и абиотическим стрессам 403

Ронин Е. И.
Стратегия построения генетической карты, учитывающая значимые различия мужской и женской рекомбинации при значительном числе маркеров типа F2 409

Senyuk V.
Role of legumains in seed maturation and in seed germination 410

Andronic L. I., Smerea S. I., Voinu M.
Phenotypic expression and variance of quantitative traits in tomato progenies obtained from tomato plants infected with viruses 412

Салтанович Т. И., Анточ Л. П., Санду Е. П.
Использование методов гаметофитного отбора для выделения устойчивых генотипов томата 417

Кердиварэ А. М.
Перспективы снижения аллергенности запасных глобулинов семян протеолизом 422

Rudakova A. S., Cherdivarĕ A. M., Rudakov S. V., Wilson K. A., Shutov A. D.
Limited proteolysis regulates massive degradation of seed storage globulins 426

Партоев К., Сайдалиев Н. Х., Киру С. Д., Пасько Н. М.
Ценная коллекция топинамбура в Таджикистане 429

Партоев К., Сайдалиев Н. Х., Сафаралиев Н. М.
Таджикистан: продуктивность топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) при поливе и без полива 433

Сафаралихонов А. Б., Акназаров О. А.
Динамика роста и активность эндогенных ауксинов и ингибиторов роста у проростков пшеницы при УФ-облучении семян волнами разной длины и экспозиции 436

Кобилов Ю. Т., Эргашев А. Э., Абдуллаев А. А.
Биохимические качества зерен полиплоидных форм твердой пшеницы в условиях почвенной засухи 437

Сатторов Б. Н., Ниязмухамедова М. М., Косумбекова Ф. А., Камолов Н., Рахимов М. М.
Интродуцированных сортов пшеницы в Таджикистане 440

Shabala S., Wu H., Chen Z., Shabala L., Zhou M.
Cell-based physiological markers for pyramiding physiological traits in plant breeding for stress tolerance 443

Khanh T. D., Trung K. H., Thang P. T., Ham L. H.
Evaluation of allelopathic potential of rice landraces (*Oryza sativa* L.) Against the growth of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* P.beauv) under the differential screening conditions 444

Le Hung Linh, Dao Van Khoi, Le Huy Ham
Marker assisted backcross breeding to improve tolerance of submergence in popular vietnamese variety khang dan 18 to cope with climate change 445

Nguyen The Quyet, Le Thi Anh Hong, Ha Viet Cuong, Kasem Soytong, Le Huy Ham
Identification of *Chaetomium* spp. from soil cultivation of citrus trees in Vietnam 446

Шишова М. Ф., Емельянов В. В., Кирпичникова А. А., Романюк Д. А.
Изменение проницаемости плазмалеммы для Ca^{2+} при действии ауксина 447

Deaghileva A., Mitin V., Grajdieru C., Tumanova L.
Molecular identification of *Fusarium* species in tomato 451

Давыдова Н. В., Казаченко А. О., Широколава А. В., Шарошкина Е. Е., Грачева А. В.
Использование озимых форм в селекции яровой мягкой пшеницы 455

Русаков Д. В., Канаш Е. В.
Оптические критерии при диагностике дефицита азота и воды у растений яровой пшеницы различных сортов 463

Кочетов А. А., Синявина Н. Г.
Особенности роста и продуктивность различных генотипов стевии в условиях поликарбонатных теплиц в Северо-Западном регионе России 468

Секция
«Управление плодородием почв и состоянием земель в условиях изменяющегося климата»

Balashov E. V., Burova A. V.
Effects of mineral nitrogen fertilizers on quality indicators of loamy sand spodosol after incorporation of farmyard manure fertilizers 473

Витковская С. Е.
Методические основы проведения полевых опытов с химическими мелиорантами 480

Еремин Д. И.
Влияние минеральных удобрений на агрофизические свойства пахотного чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья 485

Данилова Т. Н.
Исследование влияния гидрогелей на водообеспечение зерновых культур в условиях засухи 493

Кириллова Н. Н., Помазкина Л. В.
Оценка деградации агросерых почв лесостепи байкальской сибири, загрязненных фторидами алюминиевого производства 497

Котов С. Е., Котова З. П., Кузнецова Л. А.
Применение местного биоорганического удобрения при выращивании картофеля в условиях Европейского Севера 503

Mukhina I. M.
Influence of carbonized biomass on greenhouse gases emissions from soil 507

Николаев М. В.
Уязвимость и адаптация полеводства в регионах России к факторам атмосферной засухи и избыточного увлажнения в условиях изменяющегося климата 513

Рижия Е. Я., Мухина И. М., Бучкина Н. П., Балашов Е. В.
Эмиссия закиси азота при утилизации послеуборочных отходов растениеводства в почве 521

Черников Е. А.
Влияние условий изменения климата на засоление почв виноградников юга Тамани 527

Шаврина К. Ф., Витковская С. Е.
Влияние различных доз органических и минеральных удобрений на содержание цинка в растениях озимой ржи 532

Шилова Ю. О., Витковская С. Е.
Оценка воздействия полигона твердых бытовых отходов на содержание тяжелых металлов в почве и растениях 536

Giannakaki P., Calanca P.
Stress conditions in russian wheat production, their relation to large-scale atmospheric circulation patterns and implications of climate change..... 540

Rásó J., Balla D., Novák T. J.
Changes of soil taxonomical status and soil properties after afforestation of solonetzic grasslands 545

Šimanský V., Horák J., Igaz D.
Changes of soil sorption parameters after application of biochar and biochar with nitrogen fertilizer..... 551

Igaz D., Kondrlová E., Horák J., Šimanský V.
Biochar application and its effect on soil water content and corn vegetative development..... 553

Kondrlová E., Antal J.
Estimation of sediment delivery in GIS: širočina catchment case study 555

Jevtić R., Župunski V., Lalošević M., Jerković Z.
Climate change and its influence on occurrence of yellow rust in Serbia..... 557

Савоськина О. А., Матюк Н. С., Шевцов В. А.
Продуктивность культур почвозащитного севооборота на разных категориях агроландшафта 562

Иванов А. И., Конашенков А. А., Иванова Ж. А., Воробьёв В. А., Данилова Т. А., Фесенко М. А.
О роли мелиоративных и агротехнических приёмов в снижении агроклиматических рисков 567

Иванов А. И., Конашенков А. А., Цыганова Н. А., Иванова Ж. А.
Воспроизводство плодродия почв и эффективность земледелия на Северо-Западе РФ 573

Иванова Ж. А., Филиппов П. А., Смирнова Н. В.
Окультуривание дерново-подзолистой почвы и эффективность системы удобрения на полевых и овощных культурах 579

Olga S. Walsh, Jessica A. Torrion, Xi Liang, Jordan R. McClintick, Steven M. Blanscet
Response of spring wheat to varied nitrogen and water applications 586

Кононенко О. В.
Климатически обусловленные риски факторов продуктивности сельскохозяйственных культур 589

Мукбиль Мансур Хассан
Проблема глобального изменения климата и эффективные пути ее региональных решений (на примере Йеменской республики)..... 594

Романенков В. А., Павлова В. Н., Беличенко М. В.
Возможность управления климатическими рисками при оптимизации минерального питания растений 602

Shanskiy M., Kern J.
Biochar in growing media – an option to replace peat and to reduce the pressure on peatlands? 606

Секция
«Математическое моделирование, информационные технологии, управляемое земледелие»

Володин В. В., Мироненко Р. И., Епимахов В. Г.
Систематизация экспериментальных данных по воздействию ионизирующих излучений, миграции и действию радионуклидов и тяжелых металлов на компоненты агроэкосистем 607

Волошенкова Т. В., Овечко Н. Н.
Адаптация видового состава агроценозов к условиям агролесоландшафта на базе информационных технологий 612

Воробьев Н. И., Пухальский Я. В., Белимов А. А., Свиридова О. В., Пищик В. Н.
Фрактальная модель сетевой экссудации аминокислот растениями пшеницы 617

Ву Д. К., Нгуен В. В., Соленая О. Я.
Применение беспилотных летательных аппаратов для решения сельскохозяйственных задач 621

Новикова Л. Ю.
Реакция сельскохозяйственных растений ЕТ РФ на изменение климата 626

Павлова В. Н., Calanca P., Карачёнкова А. А.
Опасные метеорологические явления и динамика продуктивности зерновых культур при современном потеплении в бассейнах рек Волги и Дона..... 631

Рулев А. С., Рулева О. В., Овечко Н. Н.
Управление биопродуктивностью агролесоландшафтов на основе геопространственного подхода 637

Семенова Н. Н., Сухорученко Г. И., Волгарев С. А., Зациорский А. С., Долженко О. В.
Математическое моделирование поведения пестицидов в зависимости от их экологической опасности и биологической эффективности 643

Mady A. Y., Shein E. V.
Evaluate impact of soil physical properties on soil thermal parameters 647

Wechsung F., Conradt C., Gornott C., Schauberger B.
Filter approaches for semi-empirical modeling of russian crop yields increase model performance..... 652

Csiha Imre, Gálya Bernadett, Kovács Csaba, Riczu Péter, Tamás János
Evaluation of site using LiDAR technology 657

Wallor E., Mizgirev A., Kersebaum K. C., Gebbers R.
Spatial variability at field scale – how different soil sensing techniques can improve the resolution of model outputs 665

Michael Berg-Mohnicke, Wilfried Mirschel
IT solutions for multiple model use in academic and practical tools for agriculture..... 670

Баденко В. Л., Топаж А. Г., Захарова Е. Т., Медведев С. А.
Массовые расчеты динамической модели агроэкосистемы в геоинформационной среде для решения задач различного временного и пространственного масштаба 677

Михайленко И. М., ТимошинВ. Н.
Принятие управленческих решений в растениеводстве по данным дистанционного зондирования Земли..... 682

Болотов А. Г., Шеин Е. В.
Распределенная агрометеорологическая информационно-измерительная система..... 695

Альт В. В.
Информационные технологии и их роль в развитии АПК Сибири 698

Вигонт В. А., Топаж А. Г., Захарова Е. В.
Имитационная модель для анализа и оптимизации процесса производства биогаза из многокомпонентного растительного сырья..... 707

Воропаев В. В., Лекомцев П. В., Конев А. В., Воропаева Е. В.
Особенности формирования продуктивности различных сортов яровой пшеницы при дифференцированном внесении минеральных удобрений 712

Дунаева Е. А.
Оценка водообеспеченности территории по биопродуктивности посевов 723

Митрофанов Е. П., Якушев В. П.
Методологические аспекты использования данных дистанционного зондирования в прецизионном опытном деле 726

Петрушин А. Ф., Митрофанов Е. П.
Комплексирование спутниковых данных радарной и оптической съемки для оценки состояния сельскохозяйственных угодий 733

Пасынков А. В., Пасынкова Е. Н.
Эффективность приборов N-тестер™ и GreenSeeker™ на посевах яровой тритикале 737

Буре В. М., Канаш Е. В., Митрофанова О. А.
Опыт применения статистических методов для анализа характеристик посевов пшеницы 743

Буре В. М., Конев А. В.
Составление карт-заданий в зависимости от параметров используемой прецизионной сельскохозяйственной техники..... 747

Секция
«Физика среды обитания растений, измерительные системы и методы»

Верховцева Н. В., Шеин Е. В., Милановский Е. Ю., Амельянчик О. А.
Адаптационная пластичность микробного сообщества и устойчивость почвенных агрегатов 752

Дембовецкий А. В., Шеин Е. В., Скворцова Е. Б., Абросимов К. Н., Романенко К. А.
Микротомографические исследования порового пространства почв 757

Харитонова Г. В., Шеин Е. В., Ерол С. А., Кот Ф. С., Милановский Е. Ю., Коновалова Н. С., Ершахин С., Ер Ф., Микайылов Ф. Д., Харитонов Е. В.
Агрофизические свойства каштановых карбонатных почв Центральной Анатолии (Турция) 762

Гурова Т. А., Зверьков М. С.
Передвижение влаги в почве при капельном орошении..... 765

Волокитин М. П., Остроумов В. Е.
Возможность использования датчиков Watermark для мониторинга содержания влаги в почвах 771

Дёмин Е. А.
Регулирование агрофизических свойств чернозема выщелоченного под посевом кукурузы, выращиваемой по зерновой технологии 776

Зеленков В. Н., Лапин А. А., Литвинов С. С.
Кулонометрический метод определения суммарной антиоксидантной активности растительных образцов и его приложение для овощеводства..... 782

Зеленков В. Н., Алексеева К. Л., Потапов В. В.
Гидротермальный нанокремнезем – перспективная основа для создания новых экологически чистых технологий для борьбы с грибными патогенами томата в условиях защищенного грунта 787

Козырева Л. В., Максенкова И. Л., Доброхотов А. В.
Экспериментальные исследования устьичной регуляции транспирации с использованием данных автоматизированного мобильного полевого агрометеорологического комплекса..... 791

Моисеев К. Г.
Определение параметров порового пространства почв при фильтрации влаги..... 797

Науменко В. В.
Перенос тепла парообразной влагой на терских песках в осенне-зимний период 805

Прияткин Н. С., Архипов М. В., Гусакова Л. П.
Возможности и перспективы методов исследования скрытой неоднородности семян и их реализация в селекции, семеноводстве и защите растений 810

Холопов Ю. В., Хайдапова Д. Д., Лаптева Е. М.
Реологический метод исследований физико-механических свойств криометаморфических почв лесотундры..... 815

Sándor R., Lichner L., Nagy V., Kröel-Dulay G., Csecserits A., Fodor N.
How hydraulic features of sandy soils are affected by plant community change in the Carpathian basin..... 820

Терлеев В. В., Топаж А. Г., Моисеев К. Г., Гиневский Р. С., Лазарев В. А.
Прогнозирование сканирующих ветвей гистерезиса водоудерживающей способности почвы..... 821

Архипов М. В., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П., Шелоухова Н. А., Тюкалов Ю. А.
Агрофизический подход при реализации задач адаптивного семеноводства в свете природоохранного земледелия 826

Burczyk P.
Nutrients balance on selected farms of West Pomerania, Poland..... 831

Глейзер В. И.
Обеспечение единства измерений – задача государственной важности 832

Блохин Ю. И., Зубец В. С., Белов А. В., Филиппов П. А.
Исследование профиля влажности почвы с использованием стационарных обсадных труб 835

ISBN 978-5-905200-34-2

Материалы Международной научной конференции,
посвященной 85-летию Агрофизического НИИ
«**Тенденции развития агрофизики:**
от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего»
Санкт-Петербург, 27–29 сентября 2017 г.

Редактор: О. А. Агеенкова

Технический редактор: А. Ю. Цивилев

Подписано в печать 23.08.2017.

Подготовлено к печати в ФГБНУ АФИ
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14.