МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ОТДЕЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК РАН

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ»

ОТЧЕТ

о результатах научной деятельности

Агрофизического научно-исследовательского института за 2018 год

Директор _____ Ю.В. Чесноков

Ученый секретарь _____ И.В. Тарасенкова

Главный бухгалтер _____ Т.А. Лосева

Санкт-Петербург, 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ 3
2. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 4
3. НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ 152
4. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ 154
5. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА И ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ 155
6. ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКАЯ И ПАТЕНТНО-ЛИЦЕНЗИОННАЯ РАБОТА 156
7. МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО161
8. ПРОПАГАНДА И ОСВОЕНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК..... 165
9. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ И КОММЕРЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ..... 168

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Агрофизический научно-исследовательский институт выполнял научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в соответствии с Государственным заданием и Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, а также по 1 государственному контракту с Правительством Ленинградской области, 4-м грантам РФФИ, по 1 договору с научной организацией и 8-и договорам с товаропроизводителями.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

10.2.1.1 «Разработать в полевых опытах методы оценки пространственной и временной неоднородности биомассы и элементного состава растений».

Цель работы заключается в разработке методов оценки пространственной и временной неоднородности биомассы и элементного состава растений.

Новизна исследований состоит в отсутствии в мировой практике научно-обоснованных и экспериментально апробированных методов, позволяющих количественно и качественно оценить пространственную и временную неоднородность биомассы и элементного состава сельскохозяйственных культур, необходимых для повышения информативности результатов полевых и модельных экспериментов, направленных на решение задач по управлению продукционным процессом в агоэкосистеме.

Впервые показано, что для понимания сущности явления пространственной и временной неоднородности биомассы и элементного состава растительного покрова естественных и искусственно созданных экосистем, необходимы знания в областях таких наук, как геоботаника, фитоценология, генетика, физиология растений, биохимия, почвоведение и агрохимия.

Сформулированы понятия пространственной и временной неоднородности биомассы и элементного состава сельскохозяйственных культур. Обобщена информация о существующих методах оценки пространственной и временной изменчивости биомассы и элементного состава растений в пределах поля и делянки полевого опыта, сформулированы критерии оценки этих параметров. Представлен методический подход, позволяющий количественно оценить влияние неоднородности параметров плодородия почвы и посевного материала на пространственную и временную изменчивость биомассы и элементного состава растений. Дана количественная оценка влияния применения минеральных и органических удобрений на максимальный вынос и максимальные скорости выноса элементов минерального питания растениями. Методы оценки пространственной и

временной неоднородности сельскохозяйственных культур иллюстрируют результаты полевых и модельных экспериментов.

Материально-техническая база. Полевые и лабораторные эксперименты проводили на базе Агрофизического научно-исследовательского института. Экспериментальные данные получены в условиях длительного полевого опыта, прецизионного полевого эксперимента, серии модельных лабораторных опытов. Аналитические испытания выполнены в аккредитованной лаборатории института по общепринятым методам и стандартам, на современном высокотехнологичном оборудовании.

Методика проведения исследований. Для достижения цели исследования проводили теоретические и экспериментальные исследования, в процессе которых были решены следующие задачи:

- Обобщена имеющаяся информация о неоднородности растительного покрова.
- Разработана классификация факторов, определяющих неоднородность биомассы и элементного состава сельскохозяйственных культур.
- Разработаны и экспериментально обоснованы методы оценки неоднородности биомассы и элементного состава сельскохозяйственных культур.

Изучение пространственной и временной неоднородности биомассы и элементного состава растений проводили в серии экспериментов:

- длительный стационарный полевой эксперимент (изучено влияние различных доз органических и минеральных удобрений на пространственную и временную неоднородность биомассы и элементного состава сельскохозяйственных культур);
- прецизионный длительный микрополевой эксперимент (изучение влияния искусственно созданной неоднородности кислотно-основных свойств почвы на пространственную и временную неоднородность биомассы и элементного состава сельскохозяйственных культур);
- модельные лабораторные эксперименты (изучение влияния неоднородности посевного материала на временную неоднородность биомассы растений).

Обсуждение экспериментальных данных и результаты научных исследований. На основе результатов теоретических и экспериментальных

исследований установлено, что в агросфере генетически обусловленные межвидовые и сортовые различия – наиболее значимый фактор, определяющий неоднородность биомассы и элементного состава растений. В пределах отдельно взятого сельскохозяйственного угодья (поля, делянки полевого опыта) пространственная неоднородность биомассы растений выражается в варьировании:

1. биомассы отдельно взятых растений и/или их органов;
2. продуктивности и потенциальной продуктивности отдельно взятых растений;
3. урожайности в пределах кластеров поля.

Пространственная неоднородность растительного покрова неразрывно связана с неоднородностью состава и свойств почвы.

Временную неоднородность биомассы и элементного состава растений в пределах экосистемы можно определить как варьирование (динамику) указанных показателей в процессе роста и развития растений в фитоценозе.

Для управления динамикой продукционного процесса в пределах агроэкосистемы важны следующие критерии:

1) динамика содержания элементов питания растений в почве;
2) динамика биомассы растений в течение вегетации;
3) динамика содержания макро- и микроэлементов в растениях;
4) динамика выноса химических элементов растениями.

Пространственную неоднородность элементного состава растений в агроэкосистемах можно рассматривать на следующих уровнях:

1) различия элементного состава, обусловленные генетическими особенностями вида;
2) различия элементного состава, обусловленные генетическими особенностями сорта;
3) варьирование элементного состава растений, обусловленное неоднородностью параметров плодородия почвы, распределения влаги, солнечной радиации в пределах поля;
4) закономерное варьирование биомассы и элементного состава отдельно взятых растений;

5) неоднородность элементного состава вегетативных и генеративных органов растений.
6) варьирование выноса химических элементов в зависимости от вида и/или сорта сельскохозяйственной культуры;

Генетически обусловленные (видовые и сортовые) особенности растений наряду с почвенно-климатическими условиями являются одним из основных факторов, влияющих на формирование биомассы и накопление химических элементов растениями.

Временная неоднородность элементного состава растений в агроэкосистемах определяется динамикой следующих процессов:

1) роста растений;
2) поступления химических элементов в растения;
3) распределения химических элементов в органах растений.

Для повышения эффективности управления продуктивностью посевов выявление закономерностей пространственной и временной изменчивости массы и химического состава растений, обусловленных неоднородностью посевного материала, не менее значимо, чем исследование зависимостей урожая от параметров плодородия агроземов. Под неоднородностью семян понимают невыравненность их по одному или нескольким показателям посевных качеств.

Одним из критериев оценки неоднородности посевного материала может быть динамика прорастания семян. В условиях модельного лабораторного эксперимента установлено, что динамика прорастания семян хорошо аппроксимировалась логистической (сигмоидной) функцией (рис. 1):

$$N=\frac{N_1-N_2}{1+e^{(t-t0)/dt}}+N_2$$

где N_1 – начальное количество проросших семян (равно нулю); N_2 - конечное количество проросших семян; t_0 - точка перегиба, в момент которой N = 1/2 (N_1 + N_2); dt - крутизна кривой (угол наклона) – постоянная величина для данной кривой (данных семян). Скорость прорастания (сем/сутки) достигает

максимального значения в момент времени $t = t_0$. Отношение $(N_2-N_1)/4dt$ характеризует скорость на момент времени t_0 (максимальную скорость, сем/час).

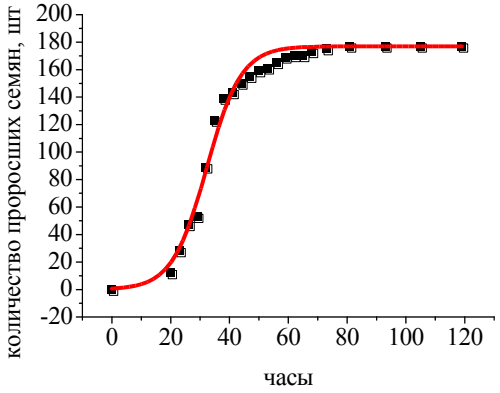


Рис. 1 Динамика прорастания семян ячменя

Максимальная скорость прорастания (Vmax) составила 51 семя/час (табл. 1), энергия прорастания – 87,5%, всхожесть – 88,5%. Количество корешков (на 5-е сутки) изменялось от 3 до 7, коэффициент вариации не превысил 12%. Коэффициент вариации длины корешков достиг 24%.

Таблица 1 Параметры модели, описывающей динамику прорастания семян ячменя сорта «Суздалец»

Параметр	Значение параметра
r^{2*}	0,99
N_1	0
N_2	177±0
t_0	32.2 ± 0.4
dt	0.86±0.4
Vmax	51

Пространственную неоднородность биомассы сельскохозяйственных культур можно оценить по варьированию следующих показателей:

1. количество растений на учетной площади;
2. биомассы растений на учетной площади;
3. биомасса отдельных растений;
4. высота растений;
5. биомасса основной продукции на учетной площади;
6. биомасса основной продукции отдельных растений.

Критериями оценки неоднородности параметров урожая сельскохозяйственных культур являются вариационно-статистические показатели (среднее значение (M), стандартное отклонение (±δ), минимальное и максимальное значения (Min; Max), коэффициент вариации (V,%)), характеризующие пространственную и временную изменчивость биомассы, химического состава растений и выноса элементов питания растениями в пределах поля или делянки полевого опыта. Временная неоднородность оценивается также по варьированию скорости нарастания биомассы отдельных особей или в среднем в пределах поля или делянки полевого опыта.

Оценку пространственной неоднородности урожая картофеля сорта «Невский» (табл. 2) проводили в условиях стационарного полевого эксперимента, заложенного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

Таблица 2 Вариационно-статистические показатели, характеризующие пространственную неоднородность количества и массы клубней картофеля сорта «Невский» в пределах делянки полевого опыта

Показатель	n	M	±δ	min	max	v, %
Вариант 1 (N70P20K60)						
масса клубней, г	21	677	285	92	1083	42
количество клубней, шт.	21	10	5	3	19	50
Вариант 2 (N90P40K100)						
масса клубней, г	21	594	350	46	1378	59
количество клубней, шт.	21	10	4	2	18	40
Вариант 3 (N100P50K110)						
масса клубней, г	21	548	319	128	1218	58
количество клубней, шт.	21	9	4	2	18	44

Варианты опыта: 1. N70P20K60; 2. N90P40K100; 3. N100P50K110. Длина каждой делянки составляла 43 м, ширина – 5,5 м. Для отбора почвенных и растительных проб на каждой делянке была выделена одна борозда. На линиях опробования через каждые 2 м учитывали массу и количество клубней с одного растения.

Пространственную неоднородность биомассы и элементного состава растений ячменя сорта «Суздалец» изучали в условиях полевого стационарного опыта,

заложенного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Тестируемые варианты опыта: 1. N45; 2. N55P30K30; 3. N100P60K70. Ширина делянок 48 м, длина - 5,5 м. Для отбора растительных проб длина каждой делянки опыта была разбита на отрезки с шагом 2,5 м. С каждой делянки было отобрано 20 проб.

Установлено, что коэффициенты вариации, характеризующие неоднородность элементного состава растений ячменя (средние по 3-м вариантам) по убыванию располагались в ряд:

$$K_2O\ (16\%)\ \ N\ (10)\ > P_2O_5, MgO\ (6\%) >\ CaO\ (4\%)$$

Значение коэффициентов вариации выноса химических элементов растениями были на уровне и выше коэффициентов вариации биомассы (от 25 до 35%). Полевые эксперименты, заложенные в широком диапазоне доз химических мелиорантов можно рассматривать как инструмент, позволяющий оценить влияние искусственно созданной пространственной неоднородности содержания химических элементов в почве на неоднородность биомассы и элементного состава сельскохозяйственных культур и разрабатывать новые технологии, позволяющие управлять продукционным процессом сельскохозяйственных культур.

Схема полевого эксперимент, одной из основных задач, которого является построение зависимости доза-эффект, должна включать такое количество вариантов, которое обеспечит достоверность полученных результатов. Диапазон тестируемых доз следует начинать с 0 $т \cdot га^{-1}$ (контроль). Максимальная доза зависит от конкретных задач исследования. Минимальное число вариантов (доз) должно быть не менее шести, что позволит построить зависимости «доза – ответ» по любому тестируемому параметру. Если эксперимент планируется проводить по стандартной методике, повторность 3-кратная. Прецизионные эксперименты проводят без повторностей, достоверность результатов обеспечивается широким диапазоном доз мелиоранта.

В условиях прецизионного полевого опыта, заложенного в широком диапазоне доз доломитовой муки (ДМ), получены экспериментальные данные, характеризующие влияние искусственно созданной неоднородности кислотно-основных свойств почвы на пространственную неоднородность биомассы и

элементного состава растений ячменя (табл. 3). Установлено, что в интервале доз ДМ 0-0,9 Нг зависимость урожайности зерна ячменя от дозы мелиоранта характеризовалась коэффициентом корреляции r=0,830 (критическое значение r на 5% уровне значимости 0,666).

Таблица 3 Влияние возрастающих доз доломитовой муки (ДМ) на урожайность растений ячменя, кг/м^2

Вариант	зерно	солома	полова	зерно:солома
1. Контроль – фон	0,35	0,40	0,07	0,88
2. Фон+ДМ 0,2 Нг	0,44	0,45	0,08	0,96
3. Фон+ДМ 0,3 Нг	0,43	0,47	0,08	0,91
4. Фон+ДМ 0,4 Нг	0,42	0,43	0,08	0,98
5. Фон+ДМ 0,5 Нг	0,47	0,46	0,09	1,01
6. Фон+ДМ 0,6 Нг	0,49	0,48	0,09	1,0
7. Фон+ДМ 0,7 Нг	0,45	0,44	0,08	1,01
8. Фон+ДМ 0,8 Нг	0,47	0,48	0,09	1,0
9. Фон+ДМ 0,9 Нг	0,48	0,46	0,09	1,03
10. Фон+ДМ 1,5 Нг	0,39	0,35	0,07	1,1

Содержание Zn в зерне ячменя линейно снижалось с увеличением дозы мелиоранта (r =-0,972), рис. 2. Рост растений описывается кривой Сакса или кривой большого роста – это фундаментальный закон.

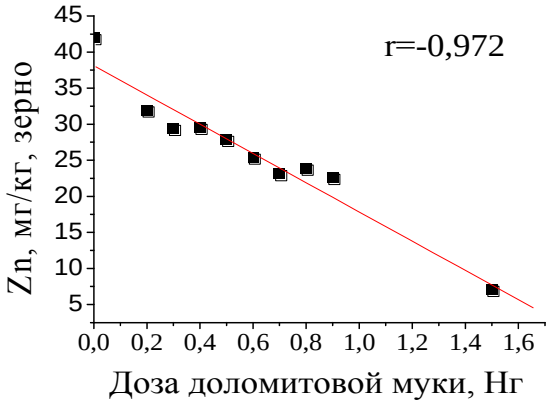


Рис. 2 Влияние возрастающих доз ДМ на содержание цинка в зерне ячменя

Отклонение от этого закона можно наблюдать только при существенном изменении внешних условий, влияющих на механизмы клеточного деления и транспорта химических элементов и молекул из почвы в растения.

Логистическому закону также подчиняются показатели роста и развития растений в период отдельно взятой фазы вегетации (например, прорастание семян, высота надземной части и длина корней проростка, накопление биомассы проростка), а также динамика элементного состава растений и выноса элементов питания растениям в течение вегетации. В зависимости от задач исследования, при анализе кривой можно получить кинетические параметры для отдельных ее участков. Для аппроксимирования динамики нарастания биомассы, элементного состава растений и выноса химических элементов растениями может быть применена линейная модель.

В условиях полевого эксперимента установлено, что динамика высоты растений ячменя, накопления биомассы и изменения содержания калия, азота, и кальция в растениях хорошо описывается логистической (сигмоидной) функцией. Применение этой модели позволило дать количественную характеристику кинетических параметров указанных процессов, оценить влияние различных доз органических и минеральных удобрений на динамику накопления биомассы и элементный состав растений. Установлено, что внесение органических и минеральных удобрений существенно влияло на величины максимальной скорости (*Vmax)* нарастания биомассы и высоты растений ячменя.

Содержание калия, азота и кальция в растениях ячменя в период роста от 27 до 81 сут с момента посева закономерно снижалось. Этот процесс может быть аппроксимирован логистической функцией, зеркальной по отношению к функции, описывающей нарастание высоты и биомассы растений. Динамику элементного состава растений характеризовали такие показатели, как минимальное содержание (C_2), максимальная скорость уменьшения содержания элементов (*Vmax*), время достижения *Vmax* (t_0). Установлено влияние различных доз органических и минеральных удобрений на указанные параметры. Применение линейной модели для описания динамики содержания азота и кальция в растениях позволило установить скорости уменьшения содержания азота (0.094–0,1 %/сут) и кальция (0.012–0.015 %/сут) в среднем» за весь период наблюдения от 27 до 81 сут вегетации, величины которых не имели существенных различий в вариантах опыта.

Итогом накопления биомассы растений в процессе вегетации является один из видов временной неоднородности элементного состава растений - распределение химических элементов между вегетативными и генеративными органами**.** Содержание элементов минерального питания в соломе и зерне ячменя существенно отличалось зависело как от применения органических, так и минеральных удобрений.

Основными инструментами для выявления закономерностей, характеризующих неоднородность биомассы и элементного состава растений являются зависимости время–ответ и доза–ответ, аппроксимирующие экспериментальные данные, полученные в длительных полевых опытах, вегетационных и модельных экспериментах. Построение таких зависимостей позволяет на основании полученных параметров моделей (например, скорости нарастания биомассы) не только количественно и качественно оценить влияние изучаемых факторов на урожай и его качество, но и установить закономерности, общие для любого агрофитоценоза.

Форма завершения работы. Разработаны методы, позволяющие количественно оценить влияние неоднородности параметров плодородия почвы и посевного материала на пространственную и временную изменчивость биомассы и элементного состава растений.

В результате проведенных в 2018 году исследований разработаны в полевых опытах методы оценки пространственной и временной неоднородности биомассы и элементного состава растений.

10.2.1.2 «Разработать методологию планирования и проведения полевых опытов с использованием физико-технической и программно-аппаратной базы точного земледелия».

Цель исследований состояла в разработке и полевой апробации отдельных аспектов методологии планирования и проведения полевых экспериментов с использованием физико-технической базы точного земледелия, в т.ч. систем и средств управления продукционным процессом сельскохозяйственных культур.

Научная новизна. Впервые для развития научно-практических основ точного адаптивного земледелия разработаны и апробированы: методология планирования и проведения полевых опытов с использованием физико-технической и программно-аппаратной базы точного земледелия, включающая различные методические аспекты фундаментально-прикладных (прецизионных и ландшафтных), а также экспериментов по проблематике дифференцированной защиты растений.

В серии оригинальных фундаментальных, фундаментально-прикладных, детализирующих полевых опытов и частных исследований получены: новые экспериментальные данные оценки агроэкологической эффективности средств и систем управления продукционным процессом растений с использованием физико-технической и программно-аппаратной базы точного земледелия, позволяющие достигнуть 75 – 90 %-ной реализации генетического потенциала продуктивности сельскохозяйственных культур и до 95 % - регионального биоклиматического потенциала; эмпирические модели скорости подкисления дерново-подзолистых, известкуемых с использованием нового мелиоранта пролонгированного действия.

Методика исследований. В 2018 году теоретические и экспериментальные исследования опирались на теоретическую разработку различных аспектов планирования и проведения полевых опытов с использованием физико-технической и аппаратно-программной базы точного земледелия, а их апробация осуществлялась в системе фундаментальных экспериментов (агроэкологический стационар и агрофизический стационар), фундаментально-прикладных (ландшафтные полевые опыты) и детализирующих микрополевых опытов в Меньковском филиале ФГБНУ АФИ. Основные полевые эксперименты включали:

- Фундаментальный трёхфакторный стационарный полевой опыт «агроэкологический стационар» в семипольном севообороте «пар сидеральный – рожь озимая – ячмень + многолетние травы – многолетние травы 1 г.п. – многолетние травы – 2 г.п. – картофель – рапс яровой» по оценке агроэкологической эффективности разноуровневых минеральных систем удобрения и систем защиты растений, рассчитанных на заданные параметры продуктивности фотосинтеза (КПД ФАР 1 – 3 %) (площадь 4,2 га, длительность 35 лет). Схема по фактору «система

удобрения» включала три варианта основного удобрения: контроль – без удобрений, N65P50K50, N100P75K75, по фактору СЗУ: контроль – без защиты растений; интегрированная система защиты растений. Основные направления исследований: развитие агробиоценотических основ интегрированных систем защиты растений и разработка методических подходов к дифференцированному применению пестицидов; разработка и верификация биодинамических моделей продукционного процесса доминирующих в структуре посевных площадей региона полевых культур; разработка научных основ системы воспроизводства деградированных дерново-подзолистых почв; комплексная эколого-энергетическая оценка современных систем земледелия с био- и агротехноэнергетических позиций.

- Фундаментальный опыт «агрофизический стационар» был заложен в Меньковском филиале АФИ в 2006 г. Он представляет собой 3-хфакторный стационарный эксперимент в системе зернотравянопропашного (ячмень+мн. травы – мн. травы 1 г.п. - мн. травы 2 г.п. - рожь озимая – картофель – однолетние травы) и овоще-кормового севооборотов (картофель ранний - пшеница озимая - люпин узколистный - свёкла столовая - капуста белокочанная – ячмень). Первый фактор здесь представлен типом севооборота, второй – уровнем окультуренности почвы (средним, хорошим и высоким), третий – минеральной системой удобрения (без удобрений - КПД ФАР 1-3 %, NPK1 – КПД ФАР 2-4 % и NPK2 – КПД ФАР 3-5 %). Почва опыта дерново-слабоподзолистая, пылевато-крупнопесчаная супесь. Три вида окультуренности (средней, хорошей и высокой) были сформированы интенсивным применением навоза (а также птичьего помёта) и поддерживающим известкованием. На момент закладки эксперимента рНсол. в них составлял 5,2 – 6,3, содержание подвижных соединений фосфора 195 – 676 мг/кг и калия – 97 – 298 мг/кг. Общая площадь делянки 200 м^2.

- Фундаментально-прикладной ландшафтный полевой опыт по оценке пространственной неоднородности почвенно-растительного комплекса и средств управлению продуктивностью посевов в полевом севообороте. Структура почвенного покрова сложная и весьма контрастная, сформированная мелкоконтурными комплексами с участием легко- и среднесуглинистых

разновидностей дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв. В пределах пяти ключевых участков, представляющих агромикроландшафты (АМЛ) с разными геохимическими режимами закладывались мелкоделяночные полевые опыты общей площадью с четырьмя вариантами органо-минеральной системы удобрения: ЗСУ (зональная система удобрения), ТСУ1-3 (точная система удобрения), базирующаяся на дифференцирпованном применении органических (40 т/га торфо-пометного компоста) и минеральных удобрений. Опыт развёрнуты на базе 7-польного полевого севооборота (в отчёте используются данные по его первому зернопаровому звену «пар чистый – озимая пшеница – овёс + многолетние злаковые травы»);

- Фундаментально-прикладной ландшафтный полевой опыт по оценке агроэкологической эффективности систем управления продукционным процессом культур овощного севооборота в условиях пологоволнистой водно-ледниковой равнины. Проложенная в пределах стационара трансекта обеспечила пересечение четырёх почвенных разновидностей (песчаных, супесчаных, легко- и среднесуглинистых) с соответствующими каждой геохимическими режимами: песчаные и супесчаные – элювиальная фация, суглинистые – аккумулятивно-элювиальная. В пределах каждой разновидности были выделены реперные (ключевые) участки площадью по 336 м^2 (12 м × 28 м), на которых закладывались мелкоделяночные полевые опыты по оценке эффективности вариантов минеральной системы удобрения: «зональной», «улучшенной зональной» и «точной». Общая площадь делянки 21 м^2, учётная – 11,2 м^2. Повторность трёхкратная. Схема опыта, развёрнутого на базе овощного севооборота «однолетние травы – картофель - свёкла столовая – капуста белокочанная – морковь столовая» включала четыре варианта: контроль (без удобрений) (К); зональная система удобрений (ЗСУ); точная система удобрений на основе дифференцированного окультуривания (ТСУ1); точная система удобрений на основе дифференцированного применения органических и минеральных удобрений (ТСУ2).

Все эксперименты выполнялись в 3-5 кратной повторности в соответствии с принятыми научно-методическим советом методическими программами. Анализ почвенных и растительных образцов проводился в испытательной лаборатории

АФИ в соответствии с принятыми ГОСТами. Математическую, статистическую обработку данных проводили различными методами с использованием программных комплексов STAT и ORIGIN 7,5.

Обсуждение экспериментальных данных и результаты научных исследований. В ходе теоретической разработки основных положений методологии планирования и проведения полевых опытов с использованием физико-технической и программно-аппаратной базы точного земледелия были разработаны: методология планирования полевых экспериментов с использованием математического моделирования и проактивного компьютерного экспериментирования; методология планирования и проведения фундаментально-прикладных полевых опытов; методология полевых опытов по проблемам защиты растений.

Методология планирования современных полевых экмпериментов с использованием физико-технического базиса точного земледелия включает ряд этапов (элементов): формулировка научной гипотезы на основе выполненных ранее теоретических и экспериментальных исследований, известных закономерностей и обобщения научной информации; 1) построение на основе гипотезы математической или логической модели изучаемого явления или их совокупности; 2) компьютерные, численные или логические эксперименты над моделью и определение ее параметров, дающих искомые результаты; 3) построение схемы опыта для доказательства правомерности гипотезы и достоверности модели; 4) верификация модели и выработка рекомендаций по практическому использованию модели и полученных данных. Основным инструментом реализации данной методологии являются модели продукционного процесса – специальные компьютерные программы, которые симулируют рост растений, рассчитывая различные их показатели в зависимости от входных данных. В качестве входных данных в таких программах используются сведения о факторах жизни растений – о погоде, о почве, об агротехнологиях, а также какие-то характеристики самих сельскохозяйственных культур. В качестве выходных результатов такие модели позволяют рассчитать, прежде всего, урожай, который получится в том или ином случае, а также разные характеристики агросистемы, например, влажность почвы или глубину

проникновения корней. В отличие от полевых опытов, требующих для своего проведения целых вегетационных сезонов, такие программы позволяют получить аналогичные объёмы результатов за считанные минуты. Разработчик модели для составления уравнений физиологических процессов должен решить математическую задачу оптимального управления. Для обеспечения достоверности результатов расчётов динамическая модель продукционного процесса должна пройти процедуры идентификации и верификации.

Результаты верификации динамической модели продукционного процесса в фундаментальном опыте «агроэкологический стационар» представлены на рис. 3.

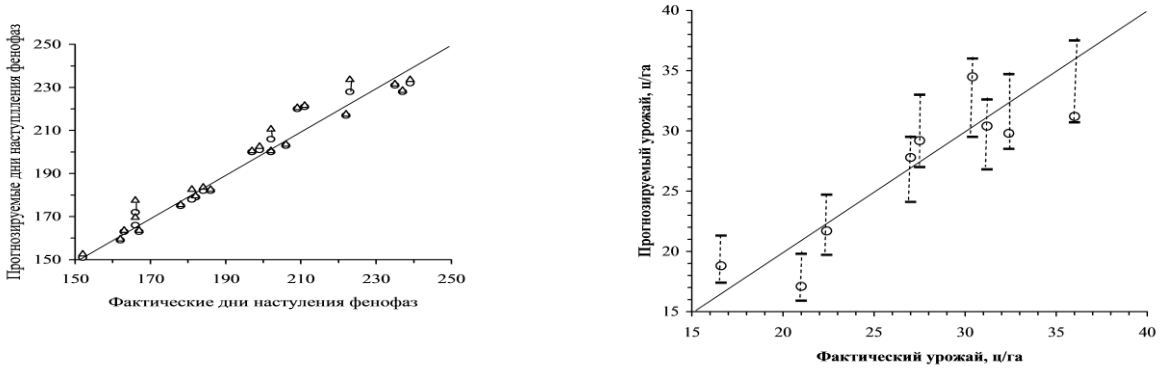


Рисунок 3 Результаты верификации модели AGROTOOL

После идентификации и верификации, модель пригодна для планирования полевых экспериментов с весьма широким кругом задач. Её использование в компьютерном эксперименте позволяет, в т.ч. решить задачу выбора оптимального значения вариантов полевого опыта. полевого опыта. Таким образом, конечным источником знаний об агроэкосистеме является сам полевой опыт, но вычислительные компьютерные эксперименты выступают в роли своеобразного фильтра, позволяющего уменьшить количество вариантов опыта. В результате вычислительных компьютерных экспериментов с моделью AGROTOOL были получены результаты, которые на качественном уровне согласуются с экспериментальными данными.

В многоуровневой системе полевых экспериментов опыты с использованием физико-технического базиса точного земледелия формируют принципиально важную самостоятельную группу фундаментально-прикладных экспериментов.

Методологически эти эксперименты базируются на сочетании новых концептуальных подходов с методами классического полевого опыта, методики непрерывного и периодического ландшафтно-экологического исследования, геоинформационных системах, математическом моделировании, а также параметрических и непараметрических методах статистики. Ландшафтный опыт направлен на поиск закономерностей пространственного и временного варьирования адаптивных реакций культурного растительного сообщества к природным и антропогенным факторам. Агроэкологическая гетерогенность - основной принцип закладки кооперативного опыта, вытекающий из целевой задачи поиска зональной дифференциации пределов продуктивности отдельных культур в единообразных агротехнологиях. По своей организационной и научной сути, кооперативный опыт представляет собой зональную систему ландшафтных экспериментов, обладающую методическим единообразием. Эта группа опытов направлена на адаптацию технологий возделывания сельскохозяйственных культур к различным ландшафтно-экологическим условиям зоны. Кооперативным может стать любой из ландшафтных опытов, воспроизведённый в своей агротехнологической фазе по единой методике в различных типах агроландшафтов и агроклиматических условиях. Прецизионный опыт направлен на математически точную оценку всего многообразия структурно-функциональных связей в системе почва-агротехнология-агроценоз, обусловленного сложившейся пространственной и временной неоднородностью агроэкологических условий для разработки нормативной базы точных систем земледелия.

Фундаментально-прикладные полевые опыты представляют собой многолетний стационарные полевые эксперименты, развёрнутые в пределах целостного природно-территориального комплекса (агроландшафта), направленные на изучение адаптивных реакций культурного растительного сообщества к конкретным управляемым и неуправляемым факторам внешней среды. Основной сферой практического применения их результатов должны стать системы агроэкологической оценки земель для целей адаптивного земледелия, а также системы поддержки принятия управленческих решений от верхнего до нижнего

уровня, обеспечивающие стабильное и эффективное сельскохозяйственное производство. Его цель состоит в изучении и установлении статистически доказуемых закономерностей пространственного и временного варьирования адаптивных реакций культурного растительного сообщества как компонента типичного для зоны, целостного природно-территориального комплекса. Круг решаемых при этом научных задач может быть самым широким, учитывающим все особенности ландшафтно-экологических и технологических условий. Планирование и постановка таких экспериментов осуществляется поэтапно (подготовка и мониторинг; агроэкологическая оценка; агротехнологическая оценка) с использованием серии методических принципов: репрезентативности, бассейновости, типичности, ортогональности, исторической однородности, технологической гетерогенности, севооборотности, «спектральности» и др.

Исследования и обобщения, выполненные в 2018 году в 2-х ландшафтных полевых экспериментах позволили установить особенности пространственной вариабельности почвенных свойств и отзывчивости культур на прецизионные приёмы управления продукционным процессом растений.

Установлена существенная дифференциация большинства изучаемых свойств почвы по агомикроландшафтам. Практически одинаковой была лишь мощность пахотного слоя. Мощность залегающего под пахотным гумусового горизонта (A_1) изменялась от 4 см в пределах транзитно-элювиального АМЛ № 3 (смытая дерново-подзолистая почва) до 14 см в аккумулятивном АМЛ №4 (остаточно-карбонатная дерново-подзолистая почва) (табл. 4).

Заметно отличались по мощности и переходные горизонты (A_1A_2 и A_2B), а соответственно, и почвенные профили в целом. Процесс оглеения регистрировался в профиле на глубине от 23 до 60 см. И если в элювиальных фациях он фиксировался преимущественно в форме марганцево-железистых новообразований, то в аккумулятивном АМЛ № 5 – в выраженном глеевом горизонте.

Таблица 4 Средняя мощность генетических горизонтов почв агроландшафта

Генетический горизонт (слой)	Показатели мощности горизонтов						
	по агромикроландшафтам, см					по агроландшафту	
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	Мср., см	V, %
Апах.	23±1	23±2	23±1	23±2	23±2	23	0
A_1 (A_1g)	12±4	9±2	4±3	14±2	10±2	10	38
A_1A_2 (A_1A_2g)	13±5	16±3	0	0	13±2	8	92
A_2B (A_2Bg)	11±3	10±2	18±4	17±3	3±2	12	51
B + BC (Bg + BCg)	44±8	69±7	61±7	38±4	23±3	47	39
Весь профиль	103±6	127±12	106±8	92±6	72±6	100	20

Минимальные относительно материнской породы потери пахотным горизонтом илистых частиц и в целом фракции физической глины были присущи элювиальной фации агроландшафта с более выраженным поверхностным стоком воды (56 и 29 % соответственно) (табл. 5).

Таблица 5 Гранулометрический состав почвы объектов исследования

Генетический горизонт (слой)	Содержание физической глины (над чертой) и ила (под чертой) по элементам агроландшафта, %						
	по агромикроландшафтам					по агроландшафту	
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	Мср.	V, %
Апах.	33,4±1,3 12,4±0,9	28,7±1,6 11,1±1,0	28,1±4,2 9,5±2,3	29,6±2,0 10,8±1,1	28,9±1,4 10,4±0,7	29,7 10,8	7 10
A_1 (A_1g)	36,1±2,3 11,8±0,9	34,8±1,8 12,6±1,4	36,8±3,9 11,8±1,9	32,7±1,7 9,9±0,8	33,5±1,8 17,2±1,3	34,8 12,7	5 22
A_1A_2, A_2B (A_1A_2g, A_2Bg)	39,9±2,2 19,5±1,2	35,2±1,8 11,6±0,9	55,8±6,6 32,3±4,5	44,1±2,2 22,4±1,7	49,6±2,9 30,7±2,2	44,9 23,3	18 36
BC (BCg)	47,2±2,5 29,2±1,5	57,1±2,3 33,1±1,8	63,4±8,0 30,5±3,9	61,2±4,7 33,8±3,3	64,4±3,8 35,7±3,1	58,7 32,5	12 8
D	13,8±0,8 5,2±0,6	16,4±0,6 5,6±0,4	15,8±0,9 4,2±0,7	13,6±0,6 3,7±0,4	11,9±0,8 3,5±0,6	14,3 4,4	13 21

Здесь на тяжелосуглинистой морене сформировалась почва среднесуглинистого гранулометрического состава. В то время как на территории других фаций с глинистой материнской породой формировались более лёгкие почвы. При этом за счёт усиления внутрипочвенного стока воды потери илистых частиц возрастали до 65-71 %, физической глины – до 52-56 %. Его перераспределение в условиях выраженного мезо- и микрорельефа стало основной причиной увеличения с 10 до 36 % коэффициента вариации содержания илистых частиц в пределах элювиальных горизонтов и их мощности до 51-92 %. Структурное состояние почвы агроландшафта в целом может характеризоваться как хорошее (рис. 4).

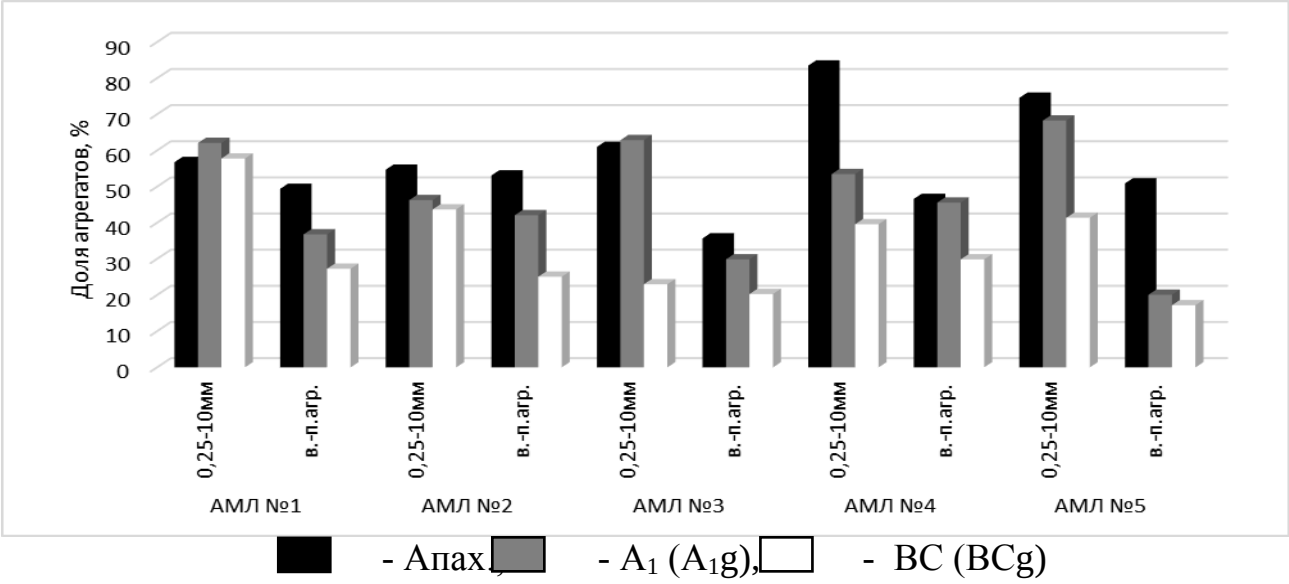


Рисунок 4 Структурное состояние почвы объектов исследования

Этому способствовало возделывание многолетних трав в предшествующий исследованию период. Лучшие его показатели свойственны почве пахотного слоя в пределах аккумулятивных фаций агроландшафта. По степени водопрочности структурных агрегатов заметно уступала эродированная почва транзитно-элювиального АМЛ №3. Пахотный слой аккумулятивных и элювиально-аккумулятивной фаций агроландшафта обладал лучшим структурным состоянием в сравнении с подпахотной частью гумусового горизонта. Особенно ощутимо это различие (в 2,5 раза) относительно доли водопрочных агрегатов у дерново-подзолистой глеевой почвы АМЛ № 5, горизонт A_1 которой был затронут глеевым процессом. У почвы элювиальной и транзитно-элювиальной фаций агроландшафта зависимость была противоположной. Такая закономерность, отчасти, может объясняться разным содержанием в указанных горизонтах органического вещества и обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+}.

В дифференциации агрохимических свойств почвы большое значение, наряду с ландшафтными условиями, имела хозяйственная деятельность человека. В первую очередь это касается физико-химических свойств, содержания гумуса и подвижного калия. В целом её уровень по отдельным агромикроландшафтам может оцениваться как умеренный. Все показатели почвы пахотного слоя находятся в пределах одной-двух классификационных агрохимических групп, а коэффициенты их

пространственной вариации – в пределах 5-25%. Основным фактором варьирования свойств почвы в агроландшафте выступает неоднородность моренной почвообразующей породы, оцениваемая по показателям физико-химических и агрохимических свойств в 19-59%. Природно-антропогенный почвообразовательный процесс позволил сократить в 2,6 раза средний коэффициент вариации этих свойств в пределах пахотного слоя (с 36% в почвообразующей породе до 14 %в Апах.).

Оценка пространственной неоднородности свойств почвы внутри относительно однородных по геохимическим режимам фаций выявила доминирование антропогенного фактора её формирования в отдельных агромикроландшафтах. Так в элювиальной фации коэффициент вариации содержания в почве органического вещества, азота, фосфора, обменных соединений кальция и магния и подвижных соединений фосфора достиг 30-46%. В аккумулятивных фациях аналогичные показатели имели в среднем втрое меньшее значение. Увеличивал в 1,3-1,9 раза неоднородность этих же свойств и процесс плоскостной эрозии в пределах транзитно-элювиальной фации. В вариантах опытов «без удобрений» весьма отчётливо прослеживается зависимость от ландшафтных условий и продуктивности сельскохозяйственных культур. Причём, данные на посевах озимой пшеницы и овса во многом дублируют друг друга (табл. 6). Но объективно эту зависимость можно увязать только с литогенным фактором. Какого-либо закономерного влияния геохимических режимов не установлено.

Худшие показатели урожайности зерновых и продуктивности звена севооборота получены на фоне принципиально отличающихся геохимических режимов – транзитно-элювиального (АМЛ №3) и аккумулятивного (АМЛ №5) (снижение относительно средних по агроландшафту на 47%). Можно предположить, что главной причиной этого снижения стало, в первом случае, ухудшение агропроизводственных свойств почвы вследствие плоскостной эрозии, во втором, вследствие подкисления и сильного развития глеевого процесса. По трём другим АМЛ, также отличающимся по геохимическим режимам, но имеющим близкие по уровню плодородия почвы, дифференциация продуктивности была незначительной.

Таблица 6 Продуктивность звена севооборота в зависимости от ландшафтных условий и системы удобрения

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Пшеница озимая						Овёс						Звено севооборота			
	Урожайность, т/га		Прибавка				Урожайность, т/га		Прибавка				Продуктив-ность, т/га з.ед.	Прибавка		Оплата 1 кг NPK, з.ед.
	зерно	Солома	зерно		солома		зерно	солома	зерно		солома			т/га з.ед.	%	
			т/га	%	т/га	%			т/га	%	т/га	%				
АМЛ № 1 (Э) – фактор А																
Контроль – 0	2,66	4,40	-	-	-	-	4,55	5,98	-	-	-	-	8,68	-	-	-
Зональная СУ	3,66	5,30	1,00	38	0,90	20	6,40	8,29	1,85	41	2,31	39	11,91	3,23	37	2,3
Точная СУ	4,07	6,24	1,41	53	1,84	42	7,36	9,42	2,81	62	3,44	58	13,49	4,81	55	3,1
АМЛ № 2 (ЭА) – фактор А																
Контроль – 0	2,88	5,05	-	-	-	-	3,97	5,04	-	-	-	-	7,33	-	-	-
Зональная СУ	5,34	6,18	2,46	85	1,13	22	5,90	6,55	1,93	49	1,51	30	12,93	5,60	76	4,1
Точная СУ	5,19	5,83	2,31	80	0,78	15	5,84	7,55	1,87	47	2,51	50	12,92	5,59	76	4,2
АМЛ № 3 (ТЭ) – фактор А																
Контроль – 0	1,83	1,87	-	-	-	-	2,48	3,19	-	-	-	-	4,98	-	-	-
Зональная СУ	4,26	5,69	2,43	133	3,82	204	4,36	5,65	1,88	76	2,46	77	10,30	5,32	107	3,9
Точная СУ	4,90	5,23	3,07	168	3,36	180	5,05	6,52	2,57	104	3,33	104	11,62	6,64	133	5,6
АМЛ № 4 (А) – фактор А																
Контроль – 0	3,59	4,44	-	-	-	-	3,68	4,62	-	-	-	-	8,58	-	-	-
Зональная СУ	5,72	6,05	2,13	59	1,61	36	5,90	7,55	2,22	60	2,93	63	13,54	4,96	58	3,6
Точная СУ	5,68	6,40	2,09	58	1,96	44	6,31	8,18	2,63	71	3,56	77	14,06	5,48	64	4,6
АМЛ № 5 (А) – фактор А																
Контроль – 0	2,57	4,14	-	-	-	-	1,84	2,90	-	-	-	-	5,60	-	-	-
Зональная СУ	3,49	4,75	0,92	36	0,61	15	3,04	4,37	1,20	65	1,47	51	7,95	2,35	42	1,7
Точная СУ	3,95	4,90	1,38	54	0,76	18	2,87	5,43	1,03	56	2,53	87	7,59	1,99	36	2,2
Агроландшафт (в среднем)																
Контроль – 0	2,43	3,20	-	-	-	-	3,12	4,05	-	-	-	-	6,49	-	-	-
Зональная СУ	4,45	5,65	2,02	83	2,45	77	5,00	6,41	1,88	60	2,36	58	11,18	4,69	72	3,4
Точная СУ	4,85	5,63	2,42	100	2,43	76	5,56	7,31	2,44	78	3,26	80	12,16	5,67	87	4,6
$НСР_{05}$ факторА	0,43	0,55					0,39	0,67					0,45			
фактор Б	0,24	0,30					0,21	0,37					0,28			

Несмотря на значительную дифференциацию показателей агрономической эффективности удобрений по агромикроландшафтам, приписывать её влиянию геохимичесих режимов нет достаточных оснований. Самые высокие относительные и абсолютные прибавки урожайности зерновых и продуктивности звена севооборота получены в транзитно-элювиальном АМЛ №3 на смытой дерново-подзолистой почве, отличающейся пониженным содержанием органического вещества и подвижного калия.

Минимальная отдача от удобрений соответствовала элювиальной фации АМЛ №1 и аккумулятивной АМЛ №5, то есть абсолютно несопоставимым по геохимическим режимам. Есть основание предполагать и в данном случае ведущее влияние литогенного фактора. В АМЛ №1 снижение оплаты удобрений урожаем могло быть следствием лучшей обеспеченности почвы питательными элементами Интенсивное развитие глеевого процесса в почве АМЛ №5 негативно отражалось на условиях жизни растений, что проявилось значительным снижением урожайности. Это же стало и причиной уменьшения коэффициентов использования питательных веществ удобрений. В аккумулятивном АМЛ №4, корнеобитаемый слой почвы которого не был затронут глеевым процессом, окупаемость удобрений была вдвое больше.

В целом, прибавка урожайности зерна пшеницы озимой и овса в 83 и 60 % была сформирована за счёт повышения продуктивной кустистости на 54 и 58 %, выживаемости растений к уборке – на 26 и 14 %, числа зёрен в колосе (метёлке) – на 17 и 22 %, массы тысячи зёрен – на 3 и 6 % соответственно.

Прибавка зерновой продуктивности изучаемых культур относительно зональной системы удобрения достигла 0,4 – 0,56 т/га (9 – 11 %). При этом вклад отдельных факторов в неё выглядел уже следующим образом: выживаемость растений к уборке – 34 – 40 %, число зёрен в колосе (метёлке) – 30 – 33 %., продуктивная кустистость – 17 – 22 % и масса тысячи зёрен – 13 – 15 %. В целом по агроландшафту окупаемость единицы действующего вещества удобрений увеличилась на 35 %, в том числе по элювиальному АМЛ – на 35, транзитно-элювиальному – на 44, аккумулятивным – на 29 %. Отсутствие эффекта ТСУ относительно ЗСУ в пределах элювиально-

аккумулятивной фации – результат применения почти одинаковых доз NPK в обоих вариантах системы удобрения (ЗСУ – 1376 кг/га за три года, ТСУ – 1346 кг/га).

Во втором опыте изучались по единой схеме различные варианты минеральной системы удобрения на четырёх ключевых участках, представленных дерново-подзолистой песчаной и супесчаной почвой в условиях элювиальной фации и легко – и среднесуглинистой – в условиях аккумулятивно-элювиальной фации. Несмотря на единое хозяйственное использование пахотного массива свойства почв объектов изучения отличались весьма существенно. Эти различия в значительно большей степени учитывались в вариантах «ТСУ1» и «ТСУ2». Так как исходные свойства почв были далеки от оптимальных для овощных культур, в варианте без удобрений удовлетворительные урожаи (а, соответственно, и показатели продуктивности севооборота) получены только на легкосуглинистой почве в условиях аккумулятивно-элювиальной фации. Особенно страдали от слабой окультуренности почвы посевы свёклы и моркови столовой (табл. 7). Превосходство варианта «ТСУ1» над вариантом «ТСУ2» по показателю окупаемости удобрений составило 18 %. Если в опытах с применением точной органоминеральной системы удобрения продуктивность овощного севооборота на слабо – и хорошо окультуренных почвах нам удавалась практически сравнять, то аналогичный вариант минеральной системы удобрения этого не обеспечивал.

Продуктивность севооборота в нём продолжала коррелировать с показателями контрольного варианта опыта – на песчаной почве (элювиальная фация) она была ниже, чем на супесчаной на 41 %, на среднесуглинистой (аккумулятивно–элювиальная фация) ниже, чем на легкосуглинистой – на 55 %. Такая закономерность проявилась на всех культурах и лишь несколько слабее на посадках капусты, положительно реагировавшей на утяжеление гранулометрического состава почвы. Продуктивность севооборота в этом варианте опыта была на 41 и 34 % выше, чем в варианте «ЗСУ» и «ТСУ2», а окупаемость удобрений – более чем в два раза. Даже, если в расчётах окупаемости учесть все затраты NPK торфа и калийного удобрения в процессе прецизионного окультуривания почвы, то и тогда окупаемость 1 кг д.в. составит 3,9 зерновых единиц.

Таблица 7 Агрономическая эффективность систем удобрения в различных почвенно-экологических условиях

Варианты опыта	Урожайность, т/га				Прибавка урожайности, т/га				Окупаемость 1 кг NPK, з.е.			
	элювиальная фация		аккумулятивно-элювиальная		элювиальная фация		аккумулятивно-элювиальная		элювиальная фация		аккумулятивно-элювиальная	
	песок	супесь	лёгкий сугл.	средний сугл.	песок	супесь	лёгкий сугл.	средний сугл.	песок	супесь	лёгкий сугл.	средний сугл.
Однолетние травы (сухое вещество)												
О	2,1	2,9	3,5	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-
ЗСУ	3,7	4,5	5,4	3,5	1,6	1,6	1,9	1,4	7,0	7,0	8,3	6,1
ТСУ1	5,1	5,6	6,2	5,8	3,0	2,8	2,7	3,7	19,1	17,8	17,2	23,5
ТСУ2	4,4	4,9	5,1	4,0	2,3	2,0	1,6	1,9	8,1	7,8	11,2	8,3
$НСР_{05}$ фактор А - 0,29; фактор Б – 0,29; взаимодействие АБ – 0,58 т/га												
Картофель												
О	10,0	12,9	20,6	7,41								
ЗСУ	14,9	24,3	29,2	11,8	4,9	11,4	8,6	4,4	4,1	9,5	7,2	3,7
ТСУ1	26,3	29,1	31,7	28,4	16,3	16,2	11,1	21,0	17,0	16,9	11,6	21,9
ТСУ2	19,1	24,4	27,4	13,2	9,1	11,5	6,8	5,8	6,9	9,0	8,5	4,7
$НСР_{05}$ фактор А - 1,43; фактор Б – 1,43; взаимодействие АБ – 2,85 т/га												
Свёкла столовая												
О	3,3	15,5	21,7	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-
ЗСУ	9,9	30,4	34,7	11,4	6,6	14,9	13,0	1,4	3,0	7,0	6,1	0,6
ТСУ1	20,7	43,1	36,9	29,8	17,4	27,6	15,2	19,8	11,2	17,6	9,8	12,6
ТСУ2	13,2	32,6	34,0	11,9	9,9	17,1	13,3	1,9	4,2	9,1	6,7	0,8
$НСР_{05}$ фактор А - 1,48; фактор Б – 1,48; взаимодействие АБ – 2,96 т/га												
Капуста белокочанная												
О	15,5	18,4	33,8	31,4	-	-	-	-	-	-	-	-
ЗСУ	22,6	33,5	49,5	44,7	7,1	15,1	15,7	13,3	3,4	7,0	7,4	6,2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ТСУ1	41,2	44,7	61,9	61,3	25,7	26,3	28,1	29,9	16,5	16,8	17,9	19,2
ТСУ2	26,7	35,7	47,7	46,3	11,2	17,3	13,9	14,9	4,8	7,5	9,3	7,5
$НСР_{05}$ фактор А - 2,91; фактор Б – 2,91; взаимодействие АБ – 5,82 т/га												
Морковь столовая												
О	6,4	13,1	18,2	7,9	-	-	-	-	-	-	-	-
ЗСУ	15,9	25,3	31,8	16,8	9,5	12,2	13,6	8,9	5,4	7,0	7,8	5,1
ТСУ1	27,1	31,3	32,2	33,7	20,7	18,2	14,0	25,8	15,0	13,3	10,2	18,8
ТСУ2	19,9	27,1	29,7	17,3	13,5	14,0	11,5	9,4	6,7	7,7	9,7	5,6
$НСР_{05}$ фактор А - 2,38; фактор Б – 2,38; взаимодействие АБ – 4,76 т/га												
Севооборот (зерновые единицы)												
О	7,98	12,78	19,38	11,24	-	-	-	-	-	-	-	-
ЗСУ	14,02	23,45	29,65	17,07	6,04	10,67	10,27	5,83	4,1	7,2	6,9	3,9
ТСУ1	24,35	30,25	33,27	31,14	16,37	17,47	13,89	19,90	14,9	15,9	12,6	18,1

Все культуры севооборота положительно реагировали на предварительное окультуривание почвы, особенно слабоокультуренной. Ощутимый эффект наблюдался даже и на весьма окультуренной легкосуглинистой почве, в первую очередь на посевах такой требовательной к плодородию культуры, как белокочанная капуста. Геореференсированные обследования территорий лнадшафтных полевых опытов, заложенных в АФИ, в последнее десятилетие позволили установить объективные параметры и закономерности формирования неоднородности наиболее важных агрофизических и агрохимических свойств дерново-подзолистых почв моренных, водно- и озёрно-ледниковых равнин. В условиях выраженной неоднородности свойств почвы автоморфных озёрно- и водно-ледниковых равнин дифференцированному управлению продукционным процессом за счёт минеральных систем удобрения податливы 67 – 82% площади агроландшафта, органо-минеральных – 89 – 96 %. Достижение 100%-ного результата в управлении продукционным процессом в них связано с оптимизацией агрофизических свойств почвы в аккумулятивных полугидроморфных фациях агроландшафта за счёт мелиоративного воздействия.

Обобщение данных ландшафтных полевых опытов показало, что дифференцированное применение органических удобрений обосновано, только на фоне высокого уровня неоднородности свойств дерново-подзолистых почв, тогда как мелиорантов и минеральных удобрений – и на среднем уровне, минеральных подкормок – в т.ч. и на слабом уровне неоднородности. На фоне обоснованного дифференцированного применения органических удобрений необходимость в пространственно распределённом внесении минеральных удобрений возникает весьма редко и приурочена исключительно к регулированию калийного питания культур. Применение мелиорантов и удобрений в точных системах позволяет повысить окупаемость их действующего вещества в среднем на 27 – 72 % в овощном севообороте и на 14 – 32 % - в полевом, добиться 75 – 90 %-ной реализации

генетического потенциала продуктивности сельскохозяйственных культур и до 95 % - регионального биоклиматического потенциала.

В агрофизическом стационаре в 2018 году картофель, будучи одной из самых требовательных к плодородию почвы (в частности, к физическим свойствам и питательному режиму) культур, очень чутко реагировал на повышение уровня окультуренности почвы за счёт применения органических удобрений от среднего до высокого, увеличив урожайность клубней на 104 и 158 % соответственно (табл. 8). И хотя, на фоне минеральной системы удобрения отдача от окультуривания почвы вполне закономерно сокращалась, уровень прибавки урожайности клубней продолжал оставаться высоким и достигал 14-16 и 16-19 т/га на хорошо и высокоокультуренной почвах соответственно. Максимальная отдача в 6,6-13,1 т/га фиксировалась на среднеокультуренной почве и снижалась до 4,2-6,2 и 0,9-4,3 т/га на хорошо и высокоокультуренной почвах. При этом применение $N_{80}P_{30}K_{100}$ на высокоокультуренной почве оказалось неэффективным.

Таблица 8 Эффективность средств управления продуктивность картофеля

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели продуктивности по видам почвы (фактор А)						
	Урожайность, т/га	Прибавка урожайности		Прибавка от окультуренности		Прибавка от минеральных удобрений	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%
Среднеокультуренная почва – без помёта							
Контроль-0	15,72	-	-	-	-	-	-
$N_{80}P_{30}K_{100}$	22,31	6,59	42	-	-	6,59	42
$N_{120}P_{30}K_{150}$	28,83	13,11	83	-	-	13,11	83
Хорошо окультуренная – 35 т/га помета (последействие)							
Контроль-0	32,09	16,37	104	16,37	104	-	-
$N_{80}P_{30}K_{100}$	36,33	20,61	131	14,02	63	4,24	13
$N_{120}P_{30}K_{150}$	38,28	22,56	143	15,97	55	6,19	19
Высокоокультуренная почва – 70 т/га помёта (последействие)							
Контроль-0	40,56	24,84	158	24,84	158	-	-
$N_{80}P_{30}K_{100}$	41,41	25,69	163	19,1	86	0,85	2
$N_{120}P_{30}K_{150}$	44,90	29,18	186	16,07	56	4,34	11
$НСР_{05}$ фактор А фактор Б взаимод АБ		2,42 3,41 4,19					

Анализ данных влияния изучаемых в опыте средств управления

продукционным процессом на товарные свойства клубней показал, что влияние минеральных удобрений ограничивалось увеличением их товарности на 2-3 %, тогда как уровня окультуренности почвы - 4-5% (рис.5).

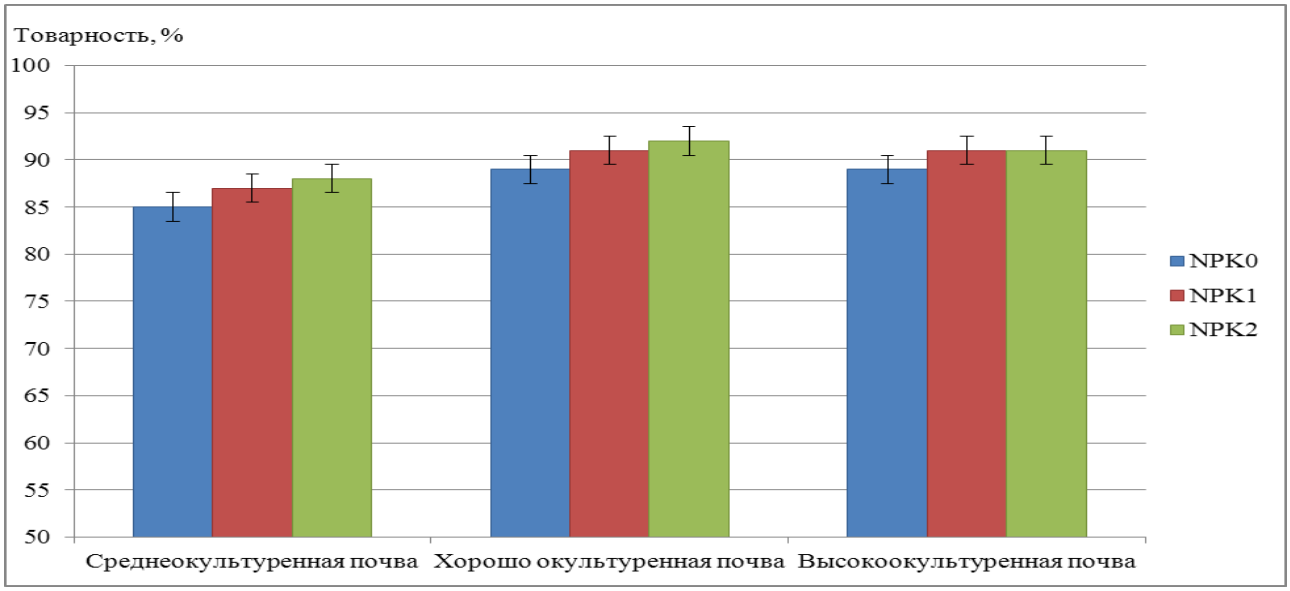


Рисунок 5 Зависимость товарности клубней картофеля от окультуренности почвы и применения минеральных удобрений

Увеличение товарности было связано, главным образом, с ростом средней массы клубня в группе продовольственного картофеля и сокращением числа клубней в кормовой фракции. Ограничивающим фактором здесь выступал рост поражённости клубней картофеля возбудителем фитофтороза и бактериоза с 0,24-0,34 т/га в контроле до 0,47-0,54 и 0,59-0,66 т/га – на хорошо и высокоокультуренной почвах соответственно.

В ходе исследования разработаны и апробированы в многоуровневой системе полевых экспериментов:

- методология планирования и проведения полевых опытов с использованием физико-технической и программно-аппаратной базы точного земледелия, базирующаяся на принципах системности, многомасштабности и детерминации, широком применении математического и физического моделирования объектов изучения и геоинформационных технологий и средств применительно к различным методическим аспектам фундаментально-прикладных (прецизионных и ландшафтных) полевых

опытов. В результате проведения исследований по её апробации в многоуровневой системе полевых, вегетационных и лабораторных опытов получены:

- новые экспериментальные данные: оценки агрономической эффективности систем и средств управления продукционным процессом растений с использованием физико-технической и программно-аппаратной базы точного земледелия, позволяющие достигнуть 75 – 90 %-ной реализации генетического потенциала продуктивности сельскохозяйственных культур и до 95 % - регионального биоклиматического потенциала; трансформации гумусного состояния почвы, известкуемой нетрадиционным мелиорантом; микроэлементного состава различных сортов пшеницы яровой; мониторинга фитосанитарного состояния посевов культур полевого севооборота;

- эмпирические модели скорости подкисления-нейтрализации дерново-подзолистых почв под действием нового мелиоранта пролонгированного действия.

Полученные результаты исследований имеют важное прикладное значение для развития научных основ методологии полевого экспериментирования с использованием физико-технической и аппаратно-программной базы точного земледелия, оценки пространственно-временной неоднородности посевов, различных аспектов управления продукционным процессом посевов и эффективным плодородием дерново-подзолистых почв в условиях точного адаптивного земледелия.

В результате проведенных в 2018 году исследований разработана методология планирования и проведения полевых опытов с использованием физико-технической и программно-аппаратной базы точного земледелия.

10.2.1.3 «Разработать методологию оценки качества сельскохозяйственных почв на многомасштабном уровне их организации в типичной агроэкосистеме Северо-Западного региона РФ».

Цель работы – разработка методологии оценки качества почв на многомасштабном уровне их организации в типичной агроэкосистеме северо-западного региона РФ на основе результатов сопряжённого анализа их индикаторов; взаимосвязей между прямыми и внутрипрофильными потоками закиси азота; температурных коэффициентов ферментативных реакций трансформации азотсодержащих органических соединений; внутрипрофильной секвестрации органического углерода; почвенно-экологических индексов.

Научная новизна данной работы по разработке методологии оценки качества почв заключалась в: многомасштабной оценке взаимосвязей между прямыми и внутрипрофильными потоками закиси азота в почвах, различающихся качеству; более точной оценке значимости величин и временной вариабельности температурных коэффициентов ферментативных реакций в процессах трансформации азотсодержащих органических соединений в почвах; более точной количественной оценке секвестрации органического углерода в генетических профилях дерново-подзолистых почв, различающихся по качеству; развитии способа расчёта почвенно-экологического индекса.

Материально-техническая база включала: газовый хроматограф с детектором электронного захвата и необходимое оборудование для измерения динамики прямых потоков и внутрипрофильных концентраций парниковых газов, физических, физико-химических, гидрофизических и микробиологических параметров почв в полевых и лабораторных условиях; почвенные буры для отбора образцов почв из профиля; pH-метры; иономеры для измерения концентраций минеральных форм азота; датчики температуры почвы DS1920; мембранные прессы и инфильтрометры для гидрофизических исследований; дифрактрометр ДРОН-1 для рентгенодифракционного анализа

минералогического состава почв; биологический термостат; ротатор; сушильные шкафы; материалы и оборудование для определения содержания общего органического углерода и его доступных форм.

Методика проведения исследований. Исследования проводили в полевых и регулируемых условиях. Морфогенетическое картографирование структуры почвенного покрова Меньковского филиала ФГБНУ АФИ (пос. Меньково) провели в соответствии с методическими рекомендациями Почвенного института им. В.В. Докучаева и “Классификацией и диагностикой почв России” .

Почвенно-экологические индексы рассчитывают по следующей формуле

(1)

где $Дc_R$ величина, включающая дополнительные поправки на расположение почвы в рельефе. Расчёт коэффициентов *КУ-Р, КК, П* и *А*, и величин поправок, входящих в ПЭИ, известен и приведён в соответствующей научно-методической литературе.

В исследованиях секвестрации Сорг объектами исследований являлась агродерново-подзолистая почва и агрозёмы текстурно-дифференцированные глееватые, подстилаемые моренными отложениями. В данной работе анализировали профили 5 разрезов: 1, 2, 3, 4, 5. Разрез 1 заложен на сенокосе; 2-5 на пашне; 3 и 4 - в посеве ярового ячменя, 5 - в посеве озимой пшеницы. Содержание Сорг в почве определяли по методу Тюрина; илистую фракцию почвы выделяли с помощью метода электрофореза; минералогический состав илистой фракции почвы исследовали с помощью рентгенодифракционного анализа с использованием дифрактрометра ДРОН.

Наблюдения за прямыми эмиссиями и внутрипрофильными потоками N_2O в дерново-подзолистых супесчаных средне и высоко окультуренных почвах выполняли в мелкоделяночном эксперименте в вариантах без азотных удобрений и с азотными удобрениями, внесённых в форме аммофоски в дозе 90 кг га$^{-1}$. Измерения прямых эмиссий, внутрипочвенных концентраций и

потоков N_2O проводили с помощью метода закрытых камер и силиконовых трубок, установленных на глубине 10 см и 30 см. Температуру почв фиксировали с помощью автоматических электронных датчиков DS1920. Влажность почв регулярно измеряли термостатно-весовым методом. Содержание нитратов в почве определяли ионоселективными электродами.

В настоящих исследованиях изучали величины и вариабельность температурных коэффициентов гидролитических реакций, осуществляемых с участием карбамид-амидогидролазы. Опыт заложен в полевом севообороте агрофизического стационара ФГБНУ АФИ на средне окультуренной почве. Активность карбамид-амидогидролазы (уреазы) оценивали по скорости гидролиза карбамида, учитывая образующийся ион аммония фотометрическим методом с реактивом Неслера, и выражали в мг аммиака на 1 грамм субстрата за 24 часа. Инкубирование образцов почвы проводили при 27°С и 37°С и температурные коэффициенты реакций рассчитывали на основе результатов измерения активности фермента.

Статистическая обработка результатов включала вычисления значений средних, стандартных отклонений и коэффициентов корреляции Пирсона. Достоверность различий средних значений оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) при уровне значимости (p) меньше 0,05.

Обсуждение экспериментальных данных и результаты научных исследований. Обобщённые результаты исследований в мелкоделяночном эксперименте показали, что в течение 3-летнего периода наблюдений кумулятивные потоки N_2O из почв изменялись в пределах: 55-140 г N_2O га$^{-1}$ (средне окультуренная почва без удобрений), 65-160 г N_2O га$^{-1}$ (средне окультуренная почва с удобрениями), 50-190 г N_2O га$^{-1}$ (высоко окультуренная почва без удобрений) и 120-320 г N_2O га$^{-1}$ (высоко окультуренная почва с удобрениями). Кумулятивные потоки N_2O были преимущественно недостоверно выше из высоко окультуренной почвы, чем из средне окультуренной, и из обеих почв с азотными удобрениями. В

течение периода наблюдений количество осадков составляло 142-164 мм и порозность аэрации средне и высоко окультуренной почвы в слоях 5-10 см и 25-30 см в среднем изменялась от 45% до 88% и от 44% до 85%. Нитрификация была основным микробиологическим процессом формирования N_2O в исследуемых почвах.

Установлено, что в среднем за период наблюдений суммарные концентрации (мг $кг^{-1}$ почвы) минеральных форм азота (NO_3^-+NH_4^+) составляли в средне окультуренной почве на глубине 10 см и 30 см: 4,4-26,1 и 3,5-18,9 (вариант без удобрений), 4,1-48,1 и 3,7-29,0 (вариант с удобрением), и в высоко окультуренной почве на глубине 10 см и 30 см: 10,4-21,8 и 8,9-18,1 (вариант без удобрений), 9,6-39,0 и 8,1-34,8 (вариант с удобрением). Эти результаты показали, что, во-первых, содержание минеральных форм азота было недостоверно выше в высоко окультуренной почве и, во-вторых, внесение азотных удобрений способствовало преимущественно недостоверному увеличению содержания минеральных форм азота.

Установлено, что наблюдаемые изменения в содержания минеральных форм азота привели к недостоверному увеличению и уменьшению концентраций N_2O, соответственно, в высоко и средне окультуренной почве. В среднем за 3-летний период наблюдений концентрации (ppb) N_2O составляли в средне окультуренной почве на глубине 10 см и 30 см: 316-729 и 330-688 (вариант без удобрений), 342-459 и 302-613 (вариант с удобрением), и в высоко окультуренной почве на глубине 10 см и 30 см: 341-511 и 393-515 (вариант без удобрений), 394-594 и 420-607 (вариант с удобрением). Больший вклад минеральных форм азота в формирование N_2O в высоко окультуренной почве объясняется, возможно, более высокой активностью нитрифицирующих микроорганизмов, главным образом, в июле. Коэффициенты корреляции между концентрациями N_2O и минеральных форм азота на глубине 10 см и 30 см главным образом были

положительными (r=0,06-0,93) и преимущественно недостоверными согласно уровнями значимости (p > 0,05).

Установлено, что внутрипочвенные потоки N_2O в слое 10-30 см высоко окультуренной почвы были выше, чем средне окультуренной, и направлены преимущественно вверх, что, возможно, объясняется более высокой непрерывностью пор в высоко окультуренной почве. В среднем за 3-летний период наблюдений внутрипочвенные потоки N_2O (мг N_2O $м^{-2}$ $сут^{-1}$) изменялись в 10-30-см слое средне окультуренной почвы: от -2,44 до 1,36 (вариант без удобрений) и от -5,48 до 6,60 (вариант с удобрением), и высоко окультуренной почвы: -5,44 до 9,99 (вариант без удобрений) и от 0,44 до 7,01 (вариант с удобрением). Коэффициенты корреляции между прямыми эмиссиями N_2O из почвы и её потоками в 20-см слоях на глубине 10-30 см средне и высоко окультуренной почвы были недостоверно либо положительными (от r=0,21 до r=0,66), либо отрицательными (от r=-0,01 до r=-0,85).

Результаты исследований показали, что представленный подход к оценке качества почв является целесообразным, но требует большего объёма результатов анализа взаимосвязей между прямыми эмиссиями N_2O из почв, её внутрипочвенными концентрациями и потоками, и содержанием минеральных форм азота в слоях от 0-5 до 25-30 см.

Трансформация азотсодержащих органических соединений обусловливает интенсивность микробиологических процессов нитрификации и денитрификации. Установлено, что температурный коэффициент карбамид-амидогидролазных реакций варьировал от 1,3 до 6,2, при этом его максимальное значение зафиксировано в начале сентября, а минимальное - в начале августа. Коэффициент вариации температурного коэффициента составил 42.7%. Активность карбамид-амидогидролазы зависела от температуры инкубирования. В среднем, активность уреазы при температуре инкубирования 37°С была в 4 раза выше, чем при 27°С. Максимальную активность фермента наблюдали в середине июля, которая совпадала с

максимальной нитрификацией. Коэффициенты вариации уреазы при температуре инкубирования 27°С и 37°С составляли 32,1% и 53,1%. Наблюдаемое варьирование во времени температурных коэффициентов карбамид-амидогидролазных реакций в почве свидетельствует о значительной неоднородности ферментного комплекса и об его изменениях в течение вегетационного периода.

Результаты исследований показали, что при изменении температуры почвы во время вегетационного периода ферментный комплекс реагирует активацией отдельных изоформ ферментов и изменением его состава за счёт корневых выделений и микробного ценоза.

В рамках многомасштабного подхода к оценке качества почвы результаты исследований секвестрации Сорг в её профиле показали, что его достоверно ($p < 0,001$) наибольшее содержание обнаружено в пахотном слое почвы разреза 2: 37,2 г С $кг^{-1}$, тогда как его наименьшее содержание (17,9 г С $кг^{-1}$ почвы) выявлено также в пахотном слое почвы разреза 4.

Установлено, что достоверно ($p < 0,01$) наибольшее содержание Сорг, ассоциированного с илистой фракцией, обнаружено в пахотном слое разреза 4 - 92,3 г С $кг^{-1}$ ила. Пахотный слой разреза 3 характеризовался минимальным содержанием Сорг (42,5 г С $кг^{-1}$ ила).

Фактор обогащения илистой фракции органическим веществом изменялся от 1,14 до 5,14 в пахотных слоях почвы, что подтверждает накопление Сорг в илистой фракции в изученных почвах. Высокое отношение содержания Сил к содержанию Сорг в пахотном слое почвы разреза 4 свидетельствует о том, что илистая фракция обогащена более гумифицированными, устойчивыми органическими соединениями, которые в большей степени ассоциированы с почвенными минералами.

Установлено, что первичные почвенные минералы: калиевые полевые шпаты (964-371 имп $с^{-1}$), плагиоклазы (890-221 имп $с^{-1}$) и кварц (711-372 имп $с^{-1}$) в наибольшей степени представлены в илистых фракциях почвы во всех изученных профилях, которые не показали достоверных различий в

распределении этих минералов. Во всех разрезах, кроме разреза 2, наибольшее содержание кварца наблюдалось в пахотном слое. Этот минерал наиболее устойчив к выветриванию, по сравнению с другими минералами, и поэтому его содержание в пахотном слое было относительно выше. В разрезах 1 и 4 содержание кварца снижалось с глубиной, тогда как в разрезе 5 – его содержание уменьшалось только до глубины залегания В горизонта. Тогда как в разрезах 2 и 3 не выявлены закономерности в распределении этого минерала с глубиной, что объясняется неравномерным минералогическим составом морены.

Кварц в наибольшей степени участвовал в секвестрации Сорг в профиле почвы разрезов 1, 4, 5. Достоверные положительные корреляционные связи выявлены между его содержанием и Сорг в илистой фракции (r = 0,73-0,92). В профилях 2, 3, 4 и 5 плагиоклаз (r = 0,17-0,43) также оказывал положительное влияние на секвестрацию Сорг в илистой фракции. Среди силикатов и алюмосиликатов, диоктаэдрические слюды представлены в почве в наибольшем количестве (517-154 имп $с^{-1}$). Слабые положительные корреляционные связи между содержанием Сорг в илистой фракции и слюд с дефицитом катионов (r = 0,31) и диоктаэдрических слюд (r = 0,35) установлены только в почве разреза 4. По мере повышения степени ароматизации органических соединений увеличивается степень их ассоциации со слюдами. Результаты исследований подтвердили, что внутрипрофильная секвестрация Сорг в илистой фракции супесчаной почвы происходила в результате ассоциации преимущественно первичных минералов с низкомолекулярными органическими соединениями - углеводы, лигнин, фенолы из растительных остатков и, возможно, была обусловлена в наибольшей степени изменениями влажности и температуры почвы, оказывающими наибольшее влияние на интенсивность процессов трансформации органического вещества.

В рамках многомасштабного подхода к исследованию качества почв предложено использовать величину фрактальной размерности почвенной

структуры в качестве их многомасштабного индикатора. Новизна в развитии способа расчёта ПЭИ заключается во введении в вышеупомянутую формулу величины коэффициента физического качества почвы (χ). Коэффициент физического качества почв χ, рассчитанный по предлагаемой впервые формуле (2), включает величину фрактальной размерности (D):

$$\chi = -\frac{D}{\sqrt{2\pi}}\left(t^2 - 1\right)e^{-\frac{t^2}{2}} \qquad (2)$$

где, $t = \gamma_{равн} - \gamma_{тек}$, $\gamma_{равн}$ - равновесная плотность сложения почв, $\gamma_{тек}$ - текущая плотность сложения почвы, e - экспонента.

Коэффициент χ в формуле расчёта ПЭИ графически выражен параболической функцией (рисунок 6) и принимает минимальные значения в переуплотнённой или чрезмерно рыхлой почве.

Рисунок 6 Зависимость величины χ от плотности сложения почв (г см$^{-3}$)

Введение коэффициента χ в формулу расчёта ПЭИ позволило уточнить его величины для исследуемых почв. При введении в формулу расчёта ПЭИ коэффициента χ его значения возрастают до максимума при достижении оптимальной плотности сложения почвы. Результаты исследований подтвердили, что ПЭИ является интегральным индикатором качества почв, поскольку позволяет объединить различные подходы к его более целостной оценке.

Форма завершения работ. Результаты проведённых исследований позволили разработать методологию оценки качества почв в рамках четырёх подходов к: совершенствованию методики расчёта почвенно-экологического

индекса с учётом величины фрактальной размерности почвенной структуры и коэффициента физического качества почвы; сопряжённому анализу взаимосвязей между прямыми эмиссиями N_2O из почв, её внутрипочвенными концентрациями и потоками, и содержанием минеральных форм азота в верхнем 10-30-см слое почвы; сопряжённому анализу взаимосвязей между секвестрацией общего органического углерода в почвах, их илистых фракциях и минералогическим составом; анализу значимости величин и временной вариабельности температурных коэффициентов ферментативных реакций для более эффективного управления трансформацией азотсодержащих органических соединений в почвах.

Анализ современной научной информации свидетельствует о соответствии научно-технического уровня наших результатов исследований мировому уровню аналогичных научно-исследовательских работ и основным направлениям их развития, в частности, в области использования: расчётных почвенно-экологических индексов; параметров секвестрации общего органического углерода в почвах; температурных коэффициентов ферментативных реакций; прямых эмиссий N_2O из почв и её внутрипочвенных концентраций и потоков для разработки методологии оценки качества почв.

В результате проведенных в 2018 году исследований разработана методология оценки качества сельскохозяйственных почв на многомасштабном уровне их организации в типичной агроэкосистеме Северо-Западного региона РФ.

10.4.1 «Изучить биохимические особенности состава различных генотипов стевии для разработки стратегии создания новых форм с высоким содержанием сладких гликозидов и антиоксидантов».

Цель исследований - изучение содержания сладких гликозидов, флавонолов и антиоксидантов в сухих листьях стевии разных генотипов, выращенных в интенсивной светокультуре, и выявление генетических источников с высоким содержанием этих соединений для последующей

селекционной работы. На основании полученных данных планируется разработка стратегии создания новых форм стевии с комплексом хозяйственно-ценных признаков, адаптированных для выращивания в светокультуре, а также в теплицах и открытом грунте.

Научная новизна. Впервые в условиях регулируемой агроэкосистемы (РАЭС) проведены комплексные исследования биохимического состава различных образцов стевии, выделенных из семенных популяций различного происхождения и поддерживаемых в ФГБНУ АФИ. Отобранные образцы имели высокую продуктивность (масса сухого листа с растения) при выращивании в светокультуре и открытом грунте Северо-Западного региона России. Изучена их реакция на изменение световых условий выращивания (различный фотопериод) по накоплению биомассы, содержанию сладких гликозидов, флавонолов и антиоксидантов. Оценена достоверность различий между генотипами, выращенными при разных фотопериодах, по содержанию полезных биохимических соединений. Выявлены генетические источники улучшенного биохимического состава для дальнейшей селекционной работы.

Материально-техническая база. В качестве объектов исследований использовали 9 наиболее продуктивных образцов стевии, выделенных из популяций, полученных при выращивании семян различного происхождения. Характеристики генотипов приведены в табл. 9. Нужное количество растений каждого генотипа получали путем зеленого черенкования маточных растений, поддерживаемых круглогодично в коллекции лаборатории.

Опыты проводили в условиях регулируемой РАЭС в светокультуре. Различный фотопериод создавали в фотопериодических кабинках, каждая из которых имела свой источник света (лампы ДНаТ-400) и возможность регулирования длины дня. Кабинки плотно закрывали, полностью изолируя растения в них от любого внешнего освещения.

Таблица 9 Характеристика растений разных генотипов стевии, выращенных в открытом грунте (2009-2010 гг.) и теплице (2017-2018 гг.) на биополигоне ФГБНУ АФИ

№ генотипа в опыте	Селекционный номер	Происхождение образца (выращен из семян фирмы)	Морфологические особенности образца	Средние размеры листа(длина х ширина, мм)	
				Открытый грунт	Теплица
1	Х2	«Richters», Канада	Растение высокое, хорошо кустится (4-9 побегов). Лист крупный, ромбовидный, край листа пильчатый, зубцы острые.	122х56**	-
2	5.5	«Richters», Канада	Куст высокий, кущение среднее (3-5 побегов. Лист крупный, овальный, край листа пильчатый.	123х64* 117х51**	101х45
3	ГБ	«Грин Бэлт», Россия	Растение высокое, хорошо кустящееся (5-7 побегов), хорошо облиствленное. Лист мелкий, ланцетный, зубцы пильчатые слабовыраженные.	81х36* 64х31**	79х33
4	А10	«Richters», Канада	Куст средней высоты, растение хорошо кустящееся. Лист крупный, овальный с пильчатым краем.	89х56* 95х51**	97х49
5	А15	«Richters», Канада	Растение средней высоты, слабо кустящееся (2-4 побега). Лист средних размеров ромбовидный, край листа пильчатый.	86х52 **	96х42
6	7.7	«Richters», Канада	Куст высокий, среднекустистый (2-5 побегов). Лист крупный, овальный, край пильчатый, зубцы острые.	107х57**	105х47
7	2.7	«Richters», Канада	Куст невысокий, кущение слабое. Лист крупный яйцевидной формы, край листа пильчатый, междоузлия близко расположены	111х55* 106х47**	107х49
8	3.7	«Richters», Канада	Куст среднерослый, среднекустистый. Лист крупный, обратнояйцевидный, край листа пильчатый с крупными зубцами	103х57*	92х47
9	Н6	«Richters», Канада (2 закупка)	Растение средней высоты, хорошо кустящееся(4-5 побегов). Лист длинный, продолговатый, узкий край пильчатый.	112х38**	96х31

Методика проведения исследований. Исходный материал для опытов (рассада стевии) получали, отбирая укорененные черенки одинакового размера и возраста (5-7 см высоты с 4-5 парами листьев и развитой корневой системой). Их высаживали в 0,5 л горшки с торфо-песчаной смесью (1:1 по объему). Растения каждого генотипа распределяли по фотопериодическим кабинкам в повторности 5-6 растений и выращивали 45 суток при трех фотопериодах (12, 14, 16 часов света в сутки). Освещенность растений в кабинках поддерживали 10-15 клюкс на уровне точки роста. Полив осуществляли ежедневно водой, подкормку – раствором 1н Кнопа два раза в неделю. Температуру в кабинках поддерживали на уровне 25±3^{0}С днем и 18±3^{0}С ночью. При уборке учитывали сырую и сухую надземную массу, сухую массу стеблей и листьев, высоту растений, число пар листьев, размеры максимально сформировавшегося листа и его массу. Сушку образцов проводили при температуре 105^{0}С в течение суток. Биохимический анализ проводили по общепринятым методикам. Навеску испытуемого образца (500 мг) три раза последовательно экстрагировали в 15мл 80 % метанола на водяной бане в течение 30 минут, затем центрифугировали при 4-5 тыс. оборотов в минуту. Надосадочную жидкость объединяли и доводили метанолом в мерной колбе до 50 мл. Определение флавонолов проводили по стандартной методике [Методы биохимического исследования растений. Под ред. А.И. Ермакова.- Л.: Агропромиздат. 1987]. Антиоксидантную активность образцов стевии определяли по значению величины IC50 (концентрация экстракта, при которой PI=50%, при данной начальной концентрации радикала DPPH и фиксированном соотношении объемов разведенных растворов). Далее тестируемые образцы разбавляли в соотношении 1:10, 1:20,1:40, 1:60, 1:80, 1:100 для определения значения величины IC50. После смешивания экстрактов с DPPH образцы переносили в темноту на 30 минут и снимали показания на спектрофотометре при длине волны 517 нм. Антиоксидантную активность определяли по формуле АОА = $[(A_0-A_1)/A_0] \times 100$ %, где: A_o – величина антиоксидантного поглощения DPPH раствора

(контроль); A_1 – антиоксидантная активность исследуемого раствора с DPPH реактивом. Антирадикальные свойства растительного экстракта рассчитывались по значению IC50 DPPH (мкг/мл) - концентрации антиоксидантов, которые ингибируют свободные радикалы DPPH на 50%.

Определение основных стевиолгликозидов - стевиозида и ребаудиозида А проводили по методике, изложенной в работе Ванидзе. Статистическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения Excel 2010 и Statistica 2016.

Обсуждение экспериментальных данных и результаты научных исследований. Проведенные исследования позволили установить зависимость биохимического состава растений стевии как от генотипа, так и от влияния световых факторов среды (фотопериод), выделить образцы, наиболее перспективные для использования в селекции сортов стевии с улучшенным биохимическим составом. Наибольшим содержанием флавонолов характеризовались образцы Х2, 7.7 и А10 (около 4 мг/кг сухой массы). Высокой антиоксидантной активностью обладали вытяжки из листьев образцов 5.5, 7.7 и 2,7, а наименьшей – образца А10. Выделены генотипы с наибольшим содержанием стевиолгликозидов (образцы 5.5, ГБ, А10 и 7.7). Отсутствие сильной корреляции между антиоксидантной активностью и содержанием стевиолгликозидов у большинства образцов позволяет предположить, что вклад стевиолгликозидов не является определяющим, и существует возможность получения высокопродуктивных трансгрессивных генотипов, сочетающих высокое содержание стевиолгликозидов и высокую антиоксидантную активность.

В опытах наблюдали значительное разнообразие у изучаемых генотипов как по морфологическим признакам, так и по биохимическому составу. Средняя сухая надземная масса растений, выращенных в светокультуре, в разных вариантах опыта варьировала от 2,7 до 9,1 г, причем наименьшую продуктивность (2,7÷5,2 г) растения всех генотипов имели при 12-часовом фотопериоде, что вызвано быстрым переходом их к цветению

при индуцирующем фотопериоде. При длинном 16-часовом фотопериоде средняя продуктивность растений некоторых генотипов достигала 8,6-9,1 г.

Содержание флавонолов у разных образцов также сильно отличалось (рис.7). Однако, достоверные различия по этому показателю между генотипами обнаружены лишь при 14-часовом фотопериоде. Наибольшее количество флавонолов выявлено у образцов X2, 7.7 и A10 (около 4 мг/кг), которые в дальнейшем предполагается использовать как генетические источники при проведении селекционной работы по выведению сортов с высокой антиоксидантной активностью. Стоит отметить, что у большинства генотипов более высокое содержание флавонолов (3,8-4,2 мг/кг) было характерно для растений, выращенных в условиях длинного дня (14-16-часовой фотопериод).

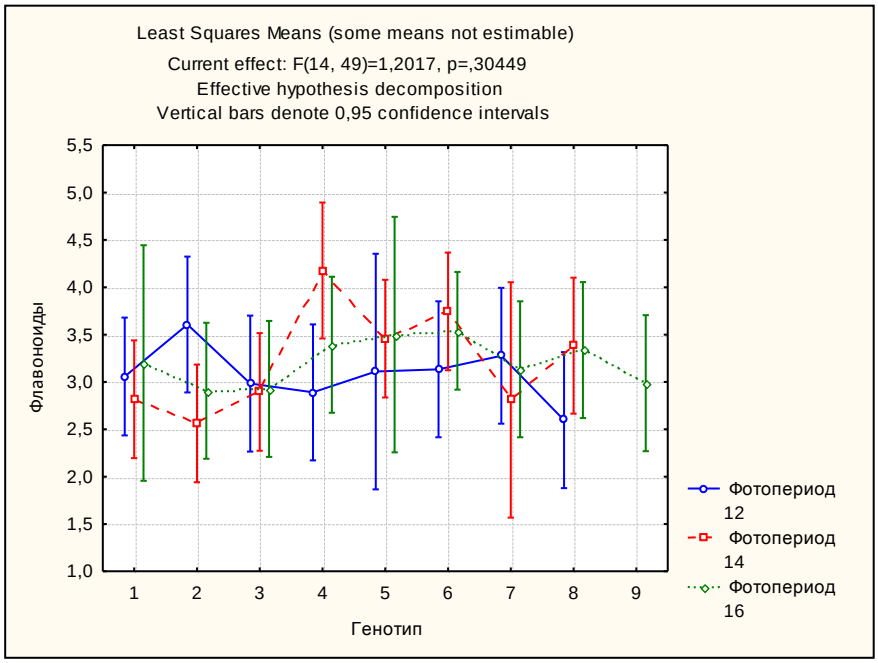


Рис. 7 Содержание флавонолов в листьях различных генотипов стевии, выращенных при разных фотопериодах

Результаты, полученные рядом исследователей, показывают, что S. rebaudiana имеет значительный потенциал для использования ее в качестве источника природных антиоксидантов. Кроме флавонолов, относящихся к группе флавоноидов, в листьях стевии содержится ряд других полифенолов,

обладающих антиоксидантной активностью (оксикоричные кислоты - кофейная и хлорогеновая, кверцетин, кумарин и его производные и т.д.). Среди изученных нами образцов наибольшей антиоксидантной активностью (АОА) характеризовались вытяжки из листьев генотипов 5.5, 7.7 и 2.7, а наименьшей – образца А10 (рис. 8). Высокая АОА обнаружена в листьях образцов 5.5 и 7.7, выращенных при 14-часовом фотопериоде (6-46 мкг/мл), и образца 2.7 – при 16-часовом фотопериоде. Достоверной корреляции между содержанием флавонолов и АОА у большинства образцов не выявлено, только один образец - 7.7, имел высокое содержание флавонолов и высокую АОА.

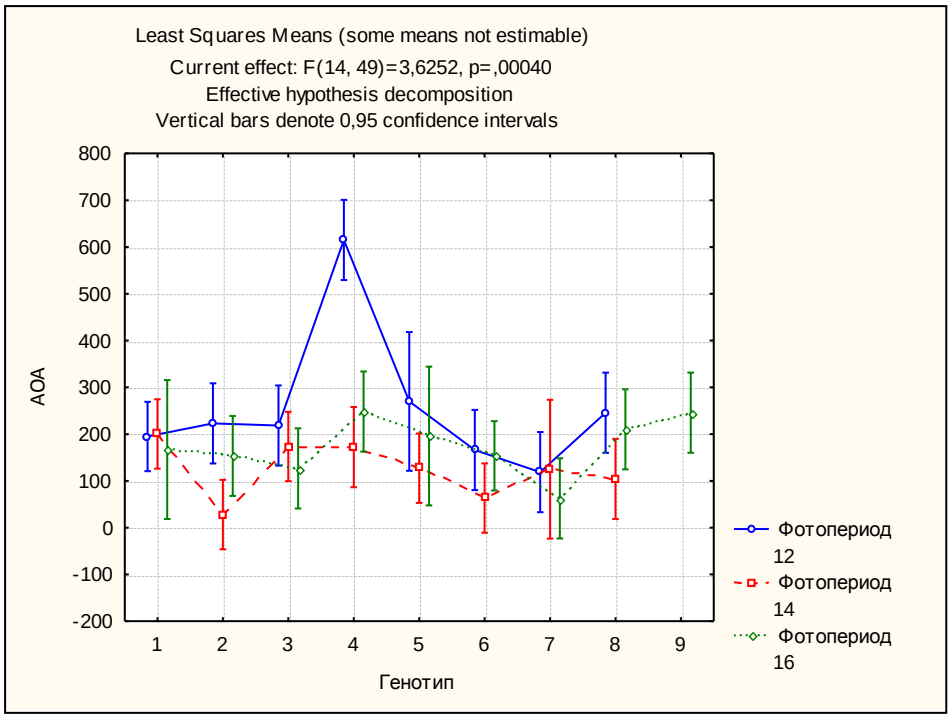


Рис. 8 Антиоксидантная активность образцов стевии, выращенных при различных фотопериодах

При изучении биохимического состава стевии основное внимание уделяли содержанию в листьях разных генотипов сладких стевиолгликозидов (СГ) – стевиозида и ребаудиозида А. Их суммарное содержание обычно составляет более 90% от общего содержания СГ в сухом листе стевии. Проведенный биохимический анализ наших образцов показал, что высоким содержанием СГ характеризовались растения линий 5.5, ГБ, А10 и 7.7. Причем у всех образцов при увеличении длины дня общее содержание СГ

увеличивалось (рис. 9). Наибольшее содержание стевиозида (9,25%) и ребаудиозида А (5,34%) обнаружено в растениях образца А10, выращенных при 16-часовом фотопериоде. С учетом высокого содержания в этом образце флавонолов его перспективно использовать в селекции. Значительное содержание СГ в растениях, выращенных при длинном дне, отмечено и в вариантах 5.5, ГБ и Н6. При коротком 12-часовом фотопериоде наибольшее содержание СГ определено в образце 5.5 (12,07%), для которого характерно также высокое содержание СГ на всех фотопериодах. В то же время, образцы А10 и ГБ при коротком дне уменьшали накопление СГ в листьях. Этот факт может свидетельствовать о различии реакции генотипов на длину дня по накоплению СГ, что вызывает необходимость вести селекцию с учетом фотопериодических условий в зоне выращивания.

Содержание СГ в наших образцах, выращенных в светокультуре, было близко к данным, полученным при выращивании стевии в разных областях Марокко. В этих исследованиях изучали 55 образцов стевии, и содержание стевиозида в них колебалось от 6,49% до 9,56%, а ребаудиозида А от 2,95% до 5,74%. Как отмечено в данной работе, такое содержание СГ было близко к результатам, полученным другими исследователями.

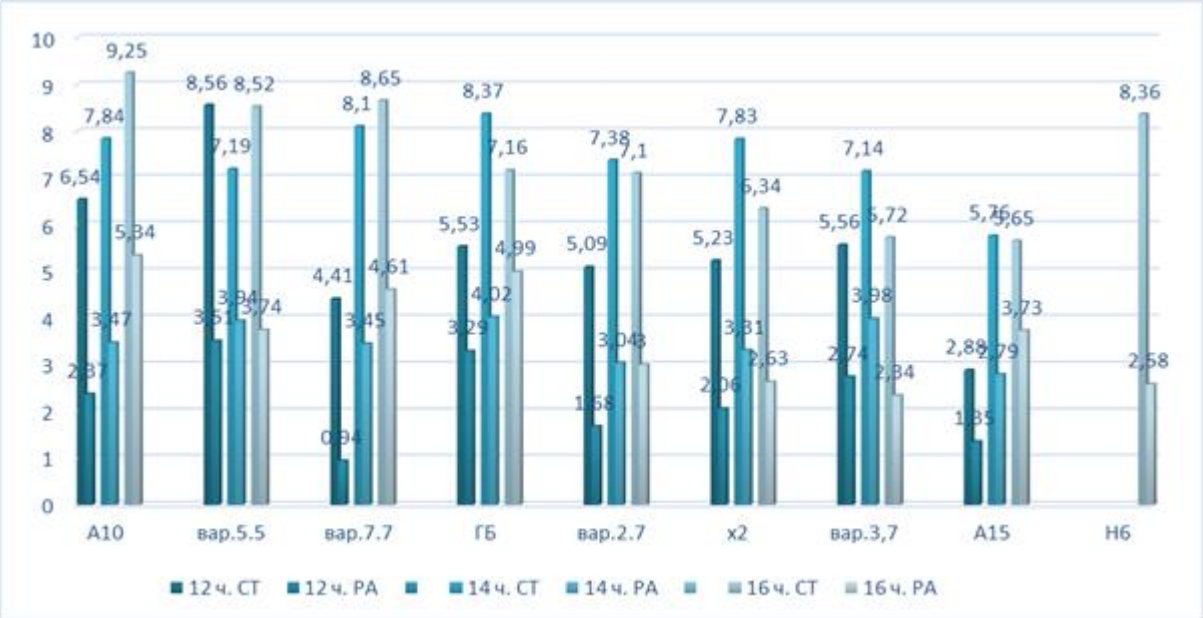


Рис. 9 Содержание стевиозида и ребаудиозида А (%) в листьях стевии разных генотипов, выращенных при 12, 14 и 16-часовом фотопериоде

Для оценки влияния генотипа и фотопериода на содержание в листьях стевии изучаемых биохимических компонентов проведен двухфакторный дисперсионный анализ. Он показал, что при всех фотопериодах в опытах достоверные различия между генотипами обнаружены только для АОА. При 14-часовом фотопериоде достоверные различия между генотипами наблюдаются также по содержанию флавонолов, а при 12-часовом фотопериоде – по содержанию ребаудиозида А. Проведенный корреляционный анализ позволил сделать вывод, что у всех изученных образцов, выращенных при разных фотопериодах, высокая корреляция (0,5-0,94) наблюдалась только между содержанием стевиозида и ребаудиозида А, в то время как связь между содержанием стевиозида, АОА и содержанием флавонолов была слабой (табл. 10).

Таблица 10 Корреляция между содержанием стевиозида и содержанием флавонолов, ребаудиозида А в листьях стевии разных генотипов, выращенных при 3-х фотопериодах в светокультуре

образец	Коэффициент корреляции содержания стевиозида с:		
	флавонолы	АОА	Ребаудиозид А
Х2	0,21	-0,48	0,69
5.5	0,19	0,35	0,84
ГБ	-0,19	-0,47	0,50
А10	0,34	-0,62	0,94
А15	0,64	-0,78	0,82
7.7	0,52	-0,25	0,88
2.7	0,06	0,59	0,59
3.7	0,55	-0,65	0,75
Н6	-0,65	0,69	-0,23

Полученные данные могут свидетельствовать о том, что гены, детерминирующие накопление различных полезных компонентов в листьях стевии, вероятно, не сцеплены и наследуются раздельно. Поэтому, существует возможность получения трансгрессий по улучшенному биохимическому составу и продуктивности. Результаты биохимических анализов наших образцов стевии станут основой для разработки стратегии и

алгоритма получения высокопродуктивных форм стевии с комплексом хозяйственно-ценных признаков, в том числе с улучшенным биохимическим составом, адаптированных для выращивания в конкретных фотопериодических условиях.

Форма завершения работы. Получены данные по биохимическому составу различных образцов стевии, позволившие выявить генетические источники повышенного содержания в листьях стевии сладких гликозидов и антиоксидантов, реализуемые в условиях длинного и короткого дня.

В результате проведенных в 2018 году исследований изучены биохимические особенности состава различных генотипов стевии для разработки стратегии создания новых форм с высоким содержанием сладких гликозидов и антиоксидантов.

10.2.1 «Разработать макет программно-технического комплекса оценивания агрофизического и агрохимического состояния почв на основе комплексных наземных и дистанционных измерений».

Цель работы - разработка макета программно-технического комплекса оценивания агрофизического и агрохимического состояния почв и апробация на его основе различных вариантов алгоритмов оценивания.

Научная новизна. Предложенный программно-технический комплекс оценивания агрофизического и агрохимического состояния являются принципиально новым на мировом уровне науки, что подтверждается патентом РФ №2643258 «Способ и устройство одновременного дифференцированного внесения сыпучих агрохимикатов и сева» опубликовано 20 мая 2018 г. бюлл. №12, а также свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ: №2017614666 от 24 апреля 2017 г. «Автоматизированная система управления процессом внесения удобрений пролонгированного действия» и №2018615819 от 17.05.2018. «Программа оптимизации норм высева семян». В научном плане новизна исследований заключается в дальнейшем развитии методики оценивания химических и физических параметров почвы на основе данных дистанционного

зондирования посевов сельскохозяйственных культур. При этом узловым пунктом этой методики является ввод в общий алгоритм задачи оценивания параметров химического состояния посевов, непосредственно связанных с параметрами химического состояния почвы.

Методика проведения исследований Базой экспериментальных исследований являлись опытные поля Меньковского филиала АФИ и АО "Племзавод "Приневское" Всеволожского района Ленинградской области. Эти исследования были направлены на апробацию макета программно-технического комплекса оценивания агрофизического и агрохимического состояния почв, разработанного на базе методов и алгоритмов идентификации математических моделей состояния биомассы сельскохозяйственных культур, моделей показателей оптического отражения посевов, динамики параметров химического состояния почв под посевами сельскохозяйственных культур, потерь урожая сельскохозяйственных культур, в зависимости от отклонения параметров химического состояния почв от оптимальных значений для отдельных культур, а также модели потенциального урожая. Для сопоставительных измерений использовались тестовые площадки пл. 20-25 м^2, которые выделялись прямо на основном поле и число которых составляло 8-10 ед. Основной методической основой оценивания параметров химического состояния почв является решение обратных информационных задач, позволяющих оценить по данным дистанционного зондирования состояния е биомассы посева, а по ним распределение параметров химического состояния почв без отбора проб на основном поле. При этом для решения задач оценивания использовалось сочетание алгоритмов оптимальной фильтрации и адаптивных наблюдателей, в полной мере отвечающим структуре исследуемой системы.

Обсуждение экспериментальных данных и результаты научных исследований. На рис.10 представлена структурная схема, отражающая полный перечень всех решаемых задач, на основе которых был разработан макет программно-технического комплекса оценивания агрофизического и

агрохимического состояния почв. Он содержит четыре базовые задачи: 1- оценивание физических параметров биомассы, 2- оценивание физических и химических параметров биомассы, 3- оценивание физических и химических параметров состояния почвы, 4- оценивание показателя кислотности почвы.

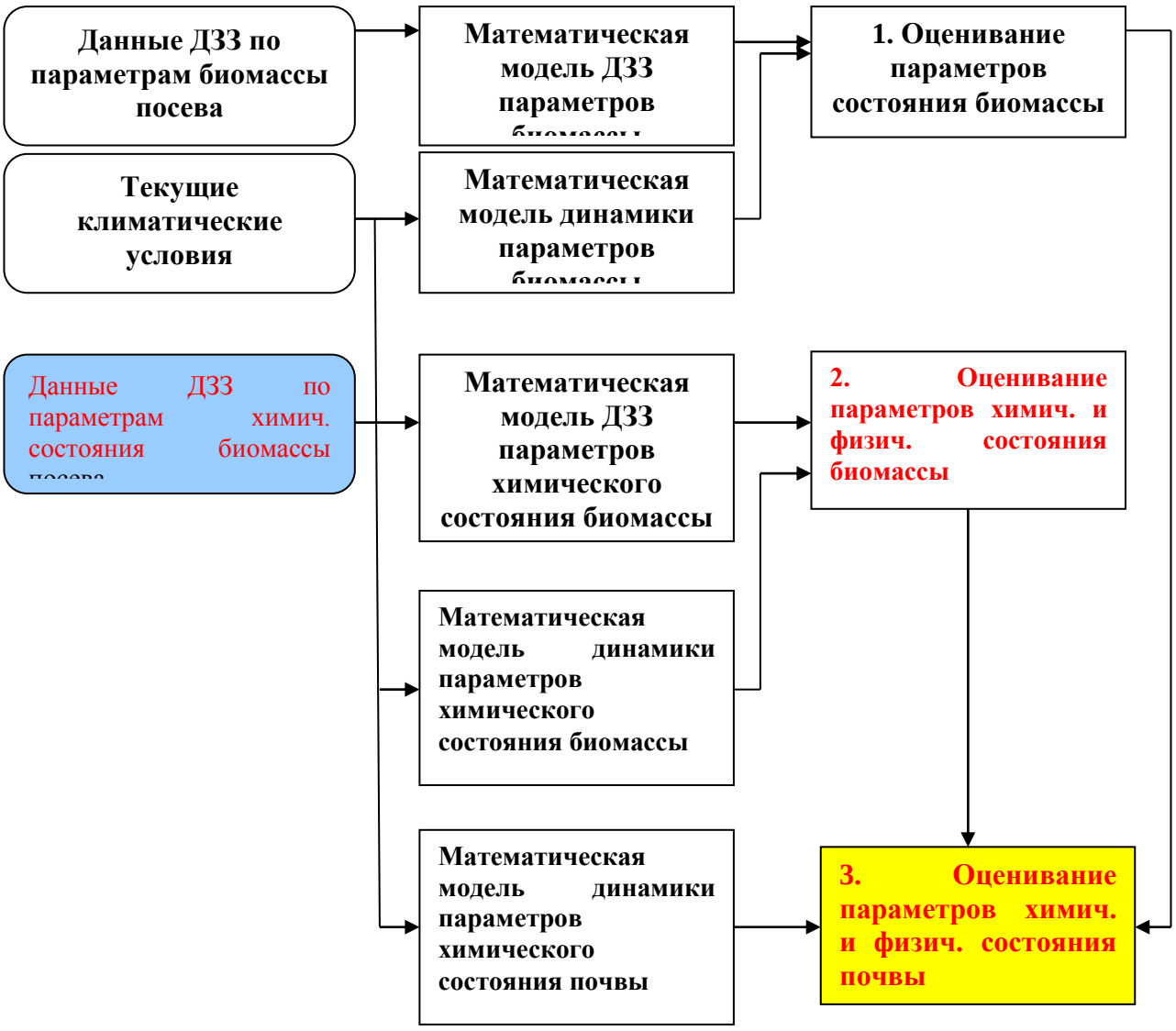


Рис. 10 Блок-схема задач оценивания параметров химического и физического состояния почв

1. Описание математических моделей, используемых для решения поставленной задачи:

1.1 модель оптических измерений состояния биомассы посевов

$$\begin{pmatrix} z_{1m} \\ z_{2m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{01} & p_{11}x_{1m} & p_{12}x_{2m} & p_{13}x_{1m}^2 & p_{14}x_{2m}^2 & p_{15}x_{1m}^3 & p_{16}x_{2m}^3 \\ p_{02} & p_{21}x_{1m} & p_{22}x_{2m} & p_{23}x_{1m}^2 & p_{24}x_{2m}^2 & p_{25}x_{1m}^3 & p_{26}x_{2m}^3 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

или в векторно-матричной символьной форме

$$\mathrm{Z}_m = \mathrm{P}_m\,\mathrm{W}(\mathrm{X}_m)\,. \qquad (2)$$

где: $\mathrm{Z}_m^{\mathrm{T}} = \begin{bmatrix} z_{1m} & z_{2m} \end{bmatrix}$ – вектор средних по площади поля параметров отражения в видимом диапазоне (z_1) и в инфракрасном диапазоне (z_2);

$\mathrm{P} = \begin{bmatrix} p_{01} & p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} & p_{16} \\ p_{02} & p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} & p_{25} & p_{26} \end{bmatrix}$ – матрица параметров модели,

$\mathrm{W}(\mathrm{X}_m) = \begin{bmatrix} 1 & x_{1m} & x_{2m} & x_{1m}^2 & x_{2m}^2 & x_{1m}^3 & x_{2m}^3 \end{bmatrix}$ – вектор-функция, где аргументами являются параметры состояния посева: $x_{1\mathrm{m}}$ – средняя по площади поля плотность биомассы посева (урожай), кг м$^{-2}$; $x_{2\mathrm{m}}$ – средняя по площади поля плотность сырой массы посева, кг м$^{-2}$;

***Результаты идентификации*:** матрица параметров модели P, матрица ковариаций ошибок идентификации:

$$\mathrm{K}_{zm} = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left\{\begin{bmatrix} (z_{1m,i} - y_{1m,i}) \\ (z_{2m,i} - y_{2m,i}) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} (z_{1m,i} - y_{1m,i}) & (z_{2m,i} - y_{2m,i} \end{bmatrix}\right\}$$

где i=1,2…N – индексы экспериментальных точек, $y_{1\mathrm{m}}$, $y_{2\mathrm{m}}$ – данные ДЗЗ по параметрам биомассы посева.

1.2 модель оптических измерений химического состояния биомассы посевов. Общий вид модели:

$$z_{1h} = p_{10} + p_{11}x_{1h} + p_{12}x_{2h} + p_{13}x_{3h} + p_{14}x_{1h}^2 + p_{15}x_{2h}^2 + p_{16}x_{3h}^2 + p_{17}x_{1h}^3 + p_{18}x_{2h}^3 + p_{19}x_{3h}^3,$$
$$z_{2h} = p_{20} + p_{21}x_{1h} + p_{22}x_{2h} + p_{23}x_{3h} + p_{24}x_{1h}^2 + p_{25}x_{2h}^2 + p_{26}x_{3h}^2 + p_{27}x_{1h}^3 + p_{28}x_{2h}^3 + p_{29}x_{3h}^3,$$
$$z_{3h} = p_{30} + p_{31}x_{1h} + p_{32}x_{2h} + p_{33}x_{3h} + p_{34}x_{1h}^2 + p_{35}x_{2h}^2 + p_{36}x_{3h}^2 + p_{37}x_{1h}^3 + p_{38}x_{2h}^3 + p_{39}x_{3h}^3.$$

или в развернутой векторно-матричной форме

$$\begin{bmatrix} z_{1h} \\ z_{2h} \\ z_{3h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{10} & p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} & p_{16} & p_{17} & p_{18} & p_{19} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} & p_{25} & p_{26} & p_{27} & p_{28} & p_{29} \\ p_{30} & p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} & p_{35} & p_{36} & p_{37} & p_{38} & p_{39} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 \\ x_{1h} \\ x_{2h} \\ x_{3h} \\ x_{1h}^2 \\ x_{2h}^2 \\ x_{3h}^2 \\ x_{1h}^3 \\ x_{2h}^3 \\ x_{3h}^3 \end{bmatrix}, \qquad (4)$$

или в символьной векторно-матричной форме

$$Z_h = P_h\, W(X_h),$$

где: $W^T(X_h) = \begin{bmatrix} 1 & x_{1h} & x_{2h} & x_{3h} & x_{1h}^2 & x_{2h}^2 & x_{3h}^2 & x_{1h}^3 & x_{2h}^3 & x_{3h}^3 \end{bmatrix}$-вектор-функция параметров химического состояния посева.

Обозначения: z_{1h}, z_{2h}, z_{3h} - параметры отражения в синем, видимом и красном каналах относительно параметров химического состояния биомассы растений: x_{1h}, x_{2h}, x_{3h} - соответственно, содержание азота, калия и фосфора,

***Результаты идентификации*:** матрица параметров модели P_h, матрица ковариаций ошибок идентификации

$$K_{zh} = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left\{\begin{bmatrix}(z_{1h,i}-y_{1h,i})\\(z_{2h,i}-y_{2h,i})\\(z_{3h,i}-y_{3h,i})\end{bmatrix}\begin{bmatrix}(z_{1h,i}-y_{1h,i}) & (z_{2h,i}-y_{2h,i}) & (z_{3h,i}-y_{3h,i})\end{bmatrix}\right\}$$

где i=1,2…N – индексы экспериментальных точек, y_{1h}, y_{2h}, y_{3h} – данные ДЗЗ по химическим параметрам биомассы посева.

1.3 модель параметров состояния биомассы

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_{1m}\\ \dot{x}_{2m}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}a_{11} & a_{12}\\ a_{21} & a_{22}\end{bmatrix}_m \begin{bmatrix}x(t)_{1m}\\ x(t)_{2m}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14}\\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24}\end{bmatrix}_m \begin{bmatrix}v_N(t)\\ v_K(t)\\ v_P(t)\\ v_4(t)\end{bmatrix} +$$

$$+\begin{bmatrix}c_{11} & c_{12} & c_{13}\\ c_{21} & c_{22} & c_{23}\end{bmatrix}_m \begin{bmatrix}f_1(t)\\ f_2(t)\\ f_3(t)\end{bmatrix} \qquad (5)$$

$$t \in (T_i, T_{i+1}),$$

В блоке структуры биомассы состояниями являются: x_{1m} – средняя по площади поля плотность биомассы посева (урожай), кг м$^{-2}$; x_{2m} – средняя по площади поля плотность сырой массы посева, кг м$^{-2}$; внешними возмущениями в обоих блоках являются f_1 – среднесуточная температура воздушной среды, °С; f_2 – среднесуточный уровень радиации, Вт/(м^2·час.); f_3 – среднесуточная интенсивность осадков, мм; параметры химического состояния почвы: v_N - содержание азота в почве, v_K - содержание калия в почве, v_P - содержание фосфора в почве; v_4 – влагозапас в почве, мм.

Каноническая векторно-матричная символьная форма

$$\dot{\mathrm{X}}_m = \mathrm{A}_m \mathrm{X}_m(t) + \mathrm{B}_m \mathrm{V}(t) + \mathrm{C}_m \mathrm{F}(t) \qquad (6)$$

***Результаты идентификации*:** матрицы параметров модели $\mathrm{A_m}$, $\mathrm{B_m}$, $\mathrm{C_m}$, m_m; матрица ковариаций ошибок идентификации

$$\mathrm{K}_m = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\{\begin{bmatrix}(x_{1m,i}-y_{1m,i})\\(x_{2m,i}-y_{2m,i})\end{bmatrix}\begin{bmatrix}(x_{1m,i}-y_{1m,i}) & (x_{2m,i}-y_{2m,i}\end{bmatrix}\}$$

где i=1,2…N – индексы экспериментальных точек, $y_{1\mathrm{m}}$, $y_{2\mathrm{m}}$ – реальные данные параметров биомассы посева.

1.4 модель параметров химического состояния почвы в суточном масштабе времени

$$\begin{aligned}
\dot{v}_N &= a_{11}v_N(t) + a_{14}v_4 + d_N(t) + c_{11}f_3(t) - m_{11}x_{1m}(t) - n_{11}x_{1h}(t)\\
\dot{v}_K &= a_{22}v_K(t) + a_{24}v_4 + d_K(t) + c_{23}f_3(t) - m_{21}x_{1m}(t) - n_{22}x_{2h}(t),\\
\dot{v}_P &= a_{33}v_P(t) + a_{34}v_4 + d_P(t) + c_{33}f_3(t) - m_{31}x_{1m}(t) - n_{33}x_{3h}(t),,\\
\dot{v}_4 &= a_{44}v_4(t) + d_w + c_{41}f_1(t) + c_{42}f_2(t) + f_3(t) - m_{41}x_{1m}(t) - m_{42}x_{2m}(t)
\end{aligned} \qquad (7)$$

где: $d_P(t)$, $d_K(t)$, $d_N(t)$ $d_W(t)$– дозы внесения элементов питания, соответственно, фосфора P, калия K, мелиоранта Ca и азота N, кг/га и норма полива, мм; $a_{11}-a_{33}$, b_2-b_3, c_1-c_3 – параметры модели, оцениваемые по экспериментальным данным; t – суточное время.

Каноническая векторно-матричная развернутая форма модели (7)

$$\begin{bmatrix}\dot{v}_N\\\dot{v}_K\\\dot{v}_P\\\dot{v}_4\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}a_{11} & 0 & 0 & a_{14}\\0 & a_{22} & 0 & a_{24}\\0 & 0 & a_{33} & a_{25}\\0 & 0 & 0 & a_{44}\end{bmatrix}_{hp}\begin{bmatrix}v_N\\v_K\\v_P\\v_4\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\0 & 1 & 0 & 0\\0 & 0 & 1 & 0\\0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}_m\begin{bmatrix}d_N(t)\\d_K(t)\\d_P(t)\\d_W(t)\end{bmatrix} +$$
$$+\begin{bmatrix}0 & 0 & c_{13}\\0 & 0 & c_{23}\\0 & 0 & c_{33}\\c_{41} & c_{42} & 1\end{bmatrix}_{ph}\begin{bmatrix}f_1(t)\\f_2(t)\\f_3(t)\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}m_{11} & 0\\m_{21} & 0\\m_{31} & 0\\m_{41} & m_{42}\end{bmatrix}_{ph}\begin{bmatrix}x_{1m}(t)\\x_{2m}(t)\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}n_{11} & 0 & 0\\0 & n_{22} & 0\\0 & 0 & n_{33}\\0 & 0 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_{1h}(t)\\x_{2h}(t)\\x_{3h}(t)\end{bmatrix}, \qquad (8)$$

или компактной символьной векторно-матричной форме

$$\dot{\mathrm{V}} = \mathrm{A}_{hp}\mathrm{V}(t) + \mathrm{B}_{hp}\mathrm{D}(t) + \mathrm{C}_{hp}F(t) - \mathrm{M}_{hp}\mathrm{X}_m(t) - \mathrm{N}_{hp}\mathrm{X}_h(t). \qquad (9)$$

***Результаты идентификации*:** матрицы параметров модели A_{hp}, C_{hp}, M_{hp}, N_{hp}; матрица ковариаций ошибок идентификации

$$\mathrm{K}_{hp} = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\{\begin{bmatrix}(v_{N,i}-y_{N,i})\\(v_{K,i}-y_{K,i})\\(v_{P,i}-y_{P,i})\\(v_{4.i}-y_{w,i})\end{bmatrix}\begin{bmatrix}(v_{N,i}-y_{N,i}) & (v_{K,i}-y_{K,i}) & (v_{P,i}-y_{P,i}) & (v_{4,i}-y_{w,i})\end{bmatrix}\}$$

где i=1,2…N – индексы экспериментальных точек, y_N, y_K, y_P, y_w – реальные данные по химическим параметрам почвы и влагозапасу.

1.5 модель параметров химического состояния биомассы посева

в развернутой векторно-матричной форме

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_{1h}\\\dot{x}_{2h}\\\dot{x}_{3h}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}a_{11} & 0 & 0\\0 & a_{22} & 0\\0 & 0 & a_{33}\end{bmatrix}_{hx}\begin{bmatrix}x_{1h}\\x_{2h}\\x_{3h}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}b_1\\0\\0\end{bmatrix}d_{Nv}(t) + \begin{bmatrix}m_{11} & 0 & 0\\0 & m_{22} & 0\\0 & 0 & m_{33}\end{bmatrix}_{hx}\begin{bmatrix}v_N(t)\\v_K(t)\\v_P(t)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}c_1\\c_2\\c_3\end{bmatrix}_{hx} f_2(t), \quad (10)$$

или компактной символьной векторно-матричной форме

$$\dot{\mathrm{X}}_h = \mathrm{A}_{hx}\,\mathrm{X}_h(t) + \mathrm{B}_{hx}\,d_{Nv}(t) + \mathrm{M}_{hx}\mathrm{V}(t) + \mathrm{c}_{hx}\,f_2(t), \quad (11)$$

где: d_{Nv} - дозы внекорневых подкормок азотом, кг/га.

***Результаты идентификации*:** матрицы параметров модели A_{hx}, B_{hx}, M_{hx}, c_{hx}; матрица ковариаций ошибок идентификации

$$\mathrm{K}_{hx} = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\{\begin{bmatrix}(x_{1hx,i}-y_{1hx,i})\\(x_{2hx,i}-y_{2hx,i})\\(x_{3hx,i}-y_{3hx,i})\end{bmatrix}\begin{bmatrix}(x_{1hx,i}-y_{1hx,i}) & (x_{2hx,i}-y_{2hx,i}) & (x_{3hx,i}-y_{3hx,i})\end{bmatrix}\}$$

где i=1,2…N – индексы экспериментальных точек, y_N, y_K, y_P – реальные данные ДЗЗ по химическим параметрам почвы.

1.6 модель динамики показателя кислотности в годовом масштабе времени

скалярная каноническая форма

$$\dot{k} = a_k k + b_k d_{Ca}(T) - c_k\,\mathrm{F}_3(T) \quad (13)$$

где: k – годовое значение показателя кислотности после уборки урожая, d_{Ca} – доза внесения мелиоранта в текущем году, кг/га; F_3 – годовая интенсивность осадков, мм.

***Результаты идентификации*:** параметрs модели a_{k}, b_k, c_k,; дисперсия ошибки идентификации в годовом масштабе времени r_{k}.

1.7 модель потенциального урожая для j- той культуры

$$U_j(T) = \mathrm{P}_{u1,j}\,\mathrm{V}(T) + \mathrm{P}_{u2,j}\,\mathrm{F}(T), \qquad (14)$$

где: $V^T=[V_1\ \ V_2\ \ V_3\ \ V_4]$ вектор среднегодовых параметров химического состояния почвы, $F^T=[F_1\ \ F_2\ \ F_3]$ вектор среднегодовых внешних климатических возмущений.

***Результаты идентификации*:** матрицы параметров модели P_{u1}, P_{u2}; дисперсия ошибок идентификации в годовом масштабе времени, r_u.

1.8 модель потерь урожая при отклонениях показателя кислотности от оптимальных значений для j-той культуры

$$\Delta u_j(T) = (U_j(T) - x_{1m}(T) = p_{1j}(k^* - k(T)) + p_{2j}(k^* - k(T))^2 \qquad (15)$$

где: $\Delta u(k,T)$ - величина снижения урожая в T-ом году, по отношению с потенциальным уровнем для вектора заданных условий (лимитирующих факторов) F и оптимального уровня кислотности k^*.

***Результаты идентификации*:** параметры модели p_{1j}, p_{2j}; дисперсия ошибок идентификации в годовом масштабе времени, $r_{\Delta u}$.

2. Исследования по идентификации математических моделей в суточном масштабе времени.

Шаг1 Периодически, с интервалом в 10-15 дней осуществляется отбор проб с тестовых площадок следующих параметров состояния системы:

- параметры отражения состояния биомассы посева: в видимом диапазоне (z_1) и в инфракрасном диапазоне (z_2);

- параметры отражения параметров химического состояния биомассы посева: : z_{1h}, z_{2h}, z_{3h} - параметры отражения в наиболее информативных каналах относительно параметров химического состояния биомассы растений;

- параметры состояния биомассы посева: x_{1m} – средняя по площади поля плотность биомассы посева (урожай), кг м$^{-2}$; x_{2m} – средняя по площади поля плотность сухой массы посева;

- параметры химического состояния биомассы посева: x_{1h}, x_{2h}, x_{3h} - соответственно, содержание азота, калия и фосфора;

- параметры химического состояния почвы: v_{pH} - показатель кислотности почвы, v_N - содержание азота в почве, v_K - содержание калия в почве, v_P - содержание фосфора в почве, v_4 влагозамас в почве;

- внешние возмущения: f_1 – среднесуточная температура воздушной среды, °С; f_2 – среднесуточный уровень радиации, Вт/(м^2·час.); f_3 – среднесуточный уровень осадков, мм;

- параметры управляющих воздействий: $d_P(t)$, $d_K(t)$, $d_{Ca}(t)$ $d_N(t)$– дозы внесения элементов питания, соответственно, фосфора P, калия K, мелиоранта Ca, азота N; дозы внекорневых подкормок азотом - d_{Nv} дозы внекорневых подкормок азотом, d_4 – нормы поливов.

Шаг2 На основании оперативной информации, полученной путем отбора проб и измерений внешних возмущений и управлений осуществляется уточнение параметров моделей (1)-(12). При этом интервал времени идентификации является переменным от третьего измерения до текущего момента времени τ=3,4,...*t*.

3. Оценивание параметров состояния посева и почвенной среды в суточном масштабе времени.

Шаг1 Вводятся начальные условия оценивания:

- параметров состояния биомассы посева: x_{1m}, x_{2m}; $X_m(0)$,

- параметров химического состояния посева: x_{1h}, x_{2h}, x_{2h}; $X_h(0)$,

- параметров химического состояния почвы: v_N, v_K, v_P, v_4; V(0)..

Шаг2 Вводятся данные дистанционного зондирования в момент времени t:

- для состояния биомассы посева: z_{1m}, z_{2m}; $Z_m(t)$,

- химического состояния посева: z_{1h}, z_{2h}, z_{3h}, $Z_h(t)$.

Шаг3 Оцениваются параметры биомассы посева в момент времени t:

$$\dot{\widehat{\mathrm{X}}}_m = \mathrm{A}_m \widehat{\mathrm{X}}_m(t) + \mathrm{B}_m \widehat{\mathrm{V}}(t) + \mathrm{C}_m \mathrm{F}(t) + \mathrm{R}_m(t)\mathrm{P}_m \frac{\partial \mathrm{W}^{\mathrm{T}}(\widehat{\mathrm{X}}_{\mathrm{m}})}{\partial \widehat{\mathrm{X}}_{\mathrm{m}}} \mathrm{K}_{zm}^{-1}(Z_m(t) - \widehat{\mathrm{X}}_m(t))$$

$$\dot{\mathrm{R}}_m = \mathrm{R}_m(\mathrm{t})\mathrm{A}_m^{\mathrm{T}} + \mathrm{A}_m\mathrm{R}_m(\mathrm{t}) - \mathrm{R}_m(\mathrm{t})\mathrm{P}_m \frac{\partial \mathrm{W}^{\mathrm{T}}(\widehat{\mathrm{X}}_{\mathrm{m}})}{\partial \widehat{\mathrm{X}}_{\mathrm{m}}} \mathrm{K}_{zm}^{-1} \frac{\partial \mathrm{W}(\widehat{\mathrm{X}}_{\mathrm{m}})}{\partial \widehat{\mathrm{X}}_{\mathrm{m}}} \mathrm{P}_m^{\mathrm{T}}\mathrm{R}_m(\mathrm{t}),$$

$\widehat{\mathrm{X}}_m(0) = \mathrm{X}_m(0),\ \mathrm{R}(0) = \mathrm{K}_m$.

Шаг4 Оцениваются параметры химического состояния биомассы посева в момент времени t:

$$\dot{\widehat{\mathrm{X}}}_h = \mathrm{A}_{hx} \widehat{\mathrm{X}}_h(t) + \mathrm{B}_{hx}\, d_{Nv}(t) + \mathrm{M}_{hx} \widehat{\mathrm{V}}(t) + \mathrm{c}_{hx}\, f_2(t) + \mathrm{R}_h \mathrm{P}_h \frac{\partial \mathrm{W}^{\mathrm{T}}(\widehat{\mathrm{X}}_h)}{\partial \widehat{\mathrm{X}}_h} \mathrm{K}_{zh}^{-1}(Z_h(t) - \widehat{\mathrm{X}}_h(t))$$

$$\dot{\mathrm{R}}_h = \mathrm{R}_h(\mathrm{t})\mathrm{A}_{hx}^{\mathrm{T}} + \mathrm{A}_{hx}\mathrm{R}_h(\mathrm{t}) - \mathrm{R}_h(\mathrm{t})\mathrm{P}_h \frac{\partial \mathrm{W}^{\mathrm{T}}(\widehat{\mathrm{X}}_h)}{\partial \widehat{\mathrm{X}}_h} \mathrm{K}_{hx}^{-1} \frac{\partial \mathrm{W}(\widehat{\mathrm{X}}_h)}{\partial \widehat{\mathrm{X}}_h} \mathrm{P}_h^{\mathrm{T}}\mathrm{R}_h(\mathrm{t}),$$

$\widehat{\mathrm{X}}_h(0) = \mathrm{X}_h(0),\ \mathrm{R}_h(0) = \mathrm{K}_{hx}$.

Шаг5 Оцениваются параметры химического состояния почвы:

$$\dot{\widehat{\mathrm{V}}} = \mathrm{A}_{hp}\widehat{\mathrm{V}}(t) + \mathrm{B}_{hp}\mathrm{D}(t) + \mathrm{C}_{hp}\, F(t) - \mathrm{M}_{hp}\, \widehat{\mathrm{X}}_m(t) - \mathrm{N}_{hp}\, \widehat{\mathrm{X}}_h.$$

Шаг6 Вычисляется критерий качества оценивания

$$J(t) = (Z_h(t) - \widehat{\mathrm{X}}_h(t))^{\mathrm{T}}(Z_h(t) - \widehat{\mathrm{X}}_h(t))$$

Если $J(t) \le \delta$, то ОСТАНОВ, иначе перейти к шагу3.

4. Оценивание показателя кислотности почвы в годовом масштабе времени.

Шаг1 По результатам отбора проб почвы и урожая на тестовых площадках k_i с дозами внесения мелиоранта d_{Cai} и величиной осадков F_3 уточняются параметры модели динамики показателя кислотности

$$\dot{k} = a_k k + b_k d_{Ca}(T) - c_k\, \mathrm{F}_3(T).$$

Шаг2 Уточняются параметры модели потенциального урожая для j-той культуры

$$U_j(T) = \mathrm{P}_{u1,j}\, \mathrm{V}(T) + \mathrm{P}_{u2,j}\, \mathrm{F}(T), \qquad (14)$$

где: $V^T=[V_1\ V_2\ V_3\ V_4]$ вектор среднегодовых параметров химического состояния почвы, $F^T=[F_1\quad F_2\quad F_3]$ вектор среднегодовых внешних климатических возмущений.

Шаг3 По результатам сравнения реального и потенциального урожая на тестовых площадках (или по информации датчиков урожая, или по оценкам, полученным в блоке оценивания параметров биомассы) определяют величину потерь урожая, в зависимости от отклонения показателя кислотности от реального значения) и уточняют параметры модели для j- той культуры

$$\Delta u_j(T) = (U_j(T) - x_{1m}(T) = p_{1j}(k^* - k(T)) + p_{2j}(k^* - k(T))^2$$

где: $\Delta u_j(T)$ - величина снижения урожая в T-ом году, по отношению с потенциальным уровнем для вектора заданных условий (лимитирующих факторов) F и оптимального уровня кислотности k^*.

Шаг4 По реальным потерям урожая и модели потерь урожая находят оценку показателя кислотности для j- той культуры и Т-ого года путем выполнения процедуры минимизации:

$$\{\Delta u_j(T) - [p_{1j}(k^* - \widehat{k}(T))_j + p_{2j}(k^* - \widehat{k}(T))_j^2]) \xrightarrow[\widehat{k}(T)]{} \min.$$

На рис. 11-14 предоставлены результаты апробации и разработанного макета программно-технического комплекса оценивания параметров химического состояния почвы. Они доказывают его высокую эффективность, где ошибки оценивания не превышают допуск ±10%.

Разработан макет программно-технического комплекса оценивания агрофизического и агрохимического состояния почв на основе комплексных наземных и дистанционных измерений. Комплекс реализует новый алгоритм оценивания, базирующийся на комплексе математических моделей, включающем в себя модели оптических измерений средствами ДЗЗ, модель динамики массовых показателей посева, модель динамики химических параметров биомассы посева и модель динамики химических параметров и водозапаса почвы.

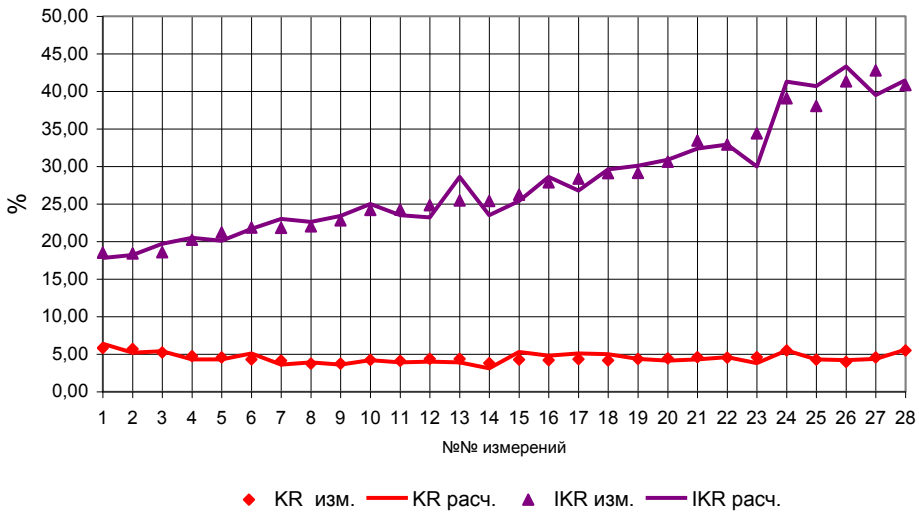


Рис. 11 Результаты идентификации математических моделей ДЗЗ для массовых показателей посева многолетних трав. АОЗТ «Приневское», Всеволожский район Ленинградской области, 01.06.–28.06.2017

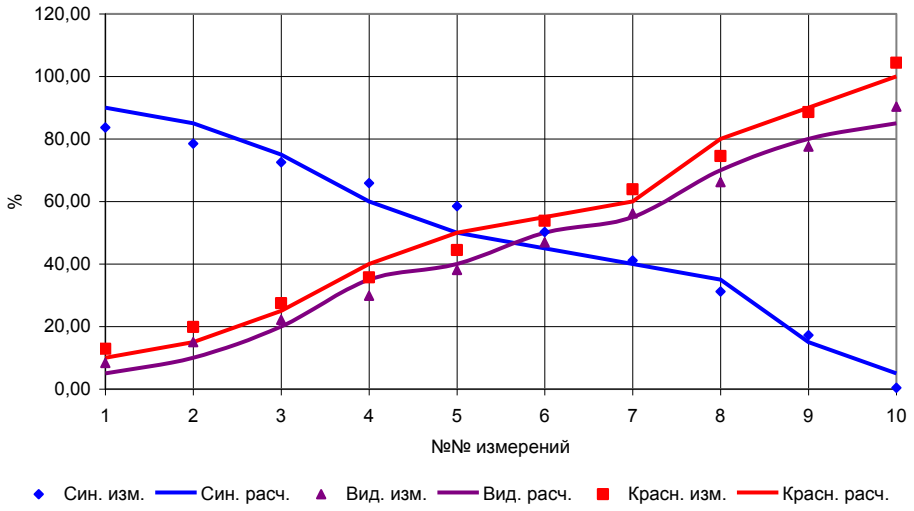


Рис. 12 Результаты идентификации математических моделей ДЗЗ для химических параметров биомассы посева многолетних трав

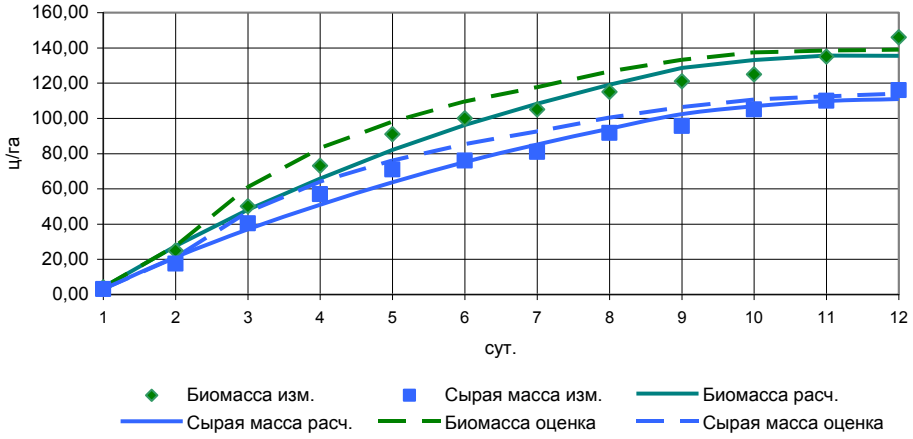


Рис. 13 Результаты идентификации модели и оценивания массовых показателей посева многолетних трав

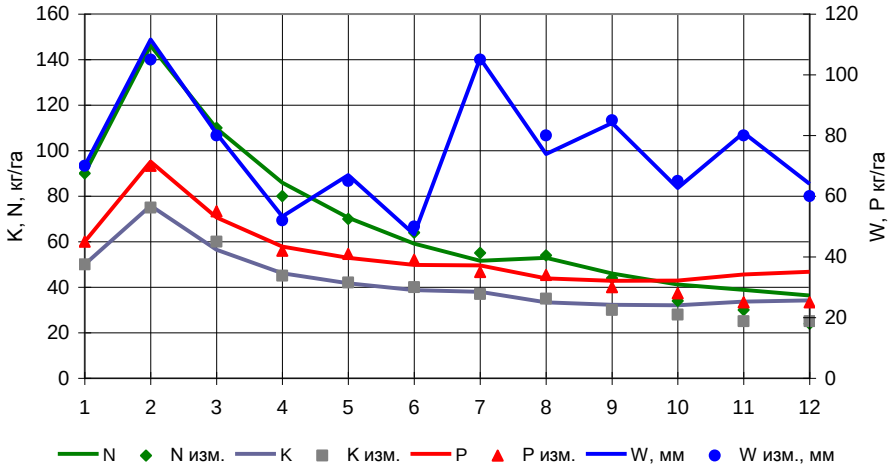


Рис. 14 Результаты оценивания химических параметров почвы по данным ДЗЗ. АОЗТ «Приневское», Всеволожский район Ленинградской области

Основным ядром предложенной методики является общий алгоритм оценивания, предусматривающий последовательное оценивание массовых показателей посева, химических параметров посева и на их основе формирование оценок химических параметров и водозапаса почвы. Программно-технический комплекс оценивания включают в себя систему наземных измерителей метеопараметров и всех оцениваемых параметров состояния, размещенных на 10–15 специально выделенных на поле тестовых площадках по 25–30 м^2 каждая, а также на средствах ДЗЗ, базирующихся на беспилотном летательном аппарате. Информация, формируемая комплексом оценивания, может быть использована для принятия управляющих решений по дозам внесения минеральных удобрений и норм поливов в системах точного земледелия.

В результате проведенных в 2018 году исследований разработан макет программно-технического комплекса оценивания агрофизического и агрохимического состояния почв на основе комплексных наземных и дистанционных измерений.

10.3.1 «Разработать методы применения данных дистанционного зондирования с наземными измерениями для управления водным режимом посевов на мелиорируемых землях».

Цель работы. Разработать методы применения данных дистанционного зондирования с наземными измерениями для управления водным режимом посевов на мелиорируемых землях.

Научная новизна. Разработан метод определения суммарного испарения как остаточного члена в уравнении энергетического баланса с использованием данных ДЗЗ и наземных метеорологических измерений. Показана возможность применения рассчитанного суммарного испарения и транспирации в моделях роста и развития растительности для прогнозирования сухой биомассы, мониторинга влагообеспеченности посевов с определением норм и сроков полива.

Методика исследований. В последние годы широкое применение получили дистанционные методы в сельском хозяйстве. Одно из направлений исследований - применение данных спутниковой съемки в связке с наземными подспутниковыми измерениями. Синергетика данных ДЗЗ и наземных данных представляет большой интерес, так как может нивелировать недостатки обоих типов данных, позволяет получить непрерывную пространственную информацию о распределении составляющих энергетического баланса: турбулентного потока тепла, радиационного баланса, потока тепла в почву, скрытого потока тепла (суммарное испарение). Непрерывное пространственное распределение суммарного испарения позволяет использовать модели роста и развития растений на сельскохозяйственном поле, прогнозировать пространственное распределение урожайности сельскохозяйственных культур. Также распределенные данные суммарного испарения позволяют определить влагообеспеченность посевов, контролировать нормы и сроки полива. В данной работе также большое внимание уделяется автоматизации процесса определения составляющих энергетического баланса для возможности реализации разработанных методов и подходов в практическом сельском хозяйстве. Для сбора метеорологической и фенологической информации с полей с конкретными культурами в Агрофизическом институте создан

автоматизированный мобильный полевой агрометеорологический комплекс (АМПАК). АМПАК осуществляет обработку метеоданных однородного сельскохозяйственного поля, рассчитывает в режиме реального времени суммарное испарение и определяет нормы и сроки поливов. Комплекс оснащён оригинальным программным обеспечением, позволяющим осуществлять дистанционное беспроводное управление. Техническое оснащение комплекса представлено на рис 15:

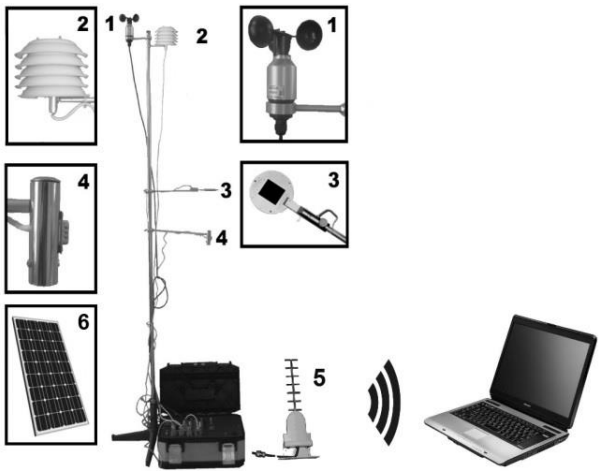


Рис. 15 Автоматизированный мобильный полевой агрометеорологический комплекс:1 – датчик скорости ветра; 2 - датчики температуры, влажности и давления находятся в одном корпусе; 3 – балансомер; 4 – инфракрасный - датчик температуры подстилающей поверхности; 5 – антенна для передачи данных; 6 – солнечная батарея

Все измеренные и рассчитанные агрометеорологические параметры накапливаются во внутреннюю базу данных АМПАКА**.** Используемые методики для управления водным режимом

В Агрофизическом институте на основе метода теплового баланса, методики ФАО — 56, уравнения Пенмана-Монтейса и метода остаточного члена энергетического уравнения создана Методика принятия решения о нормах и сроках полива. Эта методика включает в себя расчеты эталонного, потенциального и реального суммарных испарений с конкретных посевов.

Эталонная эвапотранспирация (ET_0) определяется по формуле:

$$ET_0 = \frac{0{,}408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{0{,}925}{T + 273} u(e_s + e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34u)} \quad (1)$$

Потенциальная эвапотранспирация (ET_p) – максимально возможное испарение с поверхности конкретного посева:

$$ET_p = ET_0 k_c \tag{2}$$

Реальная эвапотранспирация ($ET_г$) определяется как остаточный член уравнения теплового баланса:

$$ET_r = Rn - H - G \tag{3}$$

Поливной нормой (*ПН*, м^3/га) считается то количество воды, которое необходимо растению для оптимального развития. Поливную норму чаще всего считают постоянной для какой-либо культуры, учитывая только климатические факторы, отбрасывая погодные. Поливная норма в наших исследованиях определяется за сутки по разнице между потенциальной ($ET_р$) и реальной эвапотранспирацией ($ET_г$):

$$ПН = 10 \cdot (ET_p - ET_r) \tag{4}$$

Время полива определяется предельным значением водного стресса, причем каждая культура имеет свой предел в диапазоне от 0,3 до 0,6. Разработанная методика позволяет определять показатели режима орошения с учетом особенностей регионального климата через величину суммарного испарения.

Отношение реального испарения к потенциальному можно использовать как индекс водного стресса CWSI:

$$CWSI = 1 - ET_r / ET_P \tag{5}$$

Пространственная изменчивость реального суммарного испарения над конкретным посевом осуществляется синхронным использованием данных спутника с тепловым каналом и наземной калибровки с использованием АМПАКА. Расчет по спутниковым данным выполняется с помощью модели SEBAL. Входными данными служат спутниковые данные видимого, ближнего и дальнего инфракрасного каналов, а также наземные метеорологические данные: скорость ветра, параметры шероховатости подстилающей поверхности.

Суммарная радиация является ключевой составляющей уравнения радиационного баланса, который является важной частью энергетического баланса. Пространственная и временная изменчивость солнечной энергии определяет динамику многих ландшафтных процессов, например, различия температуры воздуха и почвы, увлажненности, таяния снега, фотосинтеза и суммарного испарения. Для расчета суммарной радиации в зависимости от типов и количества облачности по ярусам были использованы зависимости, полученные в модели CLS, методы интерполяции и данные стандартных станций гидрометеосети.

Для определение среднесуточного радиационного баланса было рассчитано эффективное излучение и баланс коротковолновой радиации:

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T^4_{\max,\,K} + T^4_{\min,\,K}}{2} \right] \left(0.34 - 0.14\sqrt{e_a} \right) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \qquad (6)$$

R_{nl} – эффективное излучение, МДж/м^2·день; σ – постоянная Стефана-Больцмана, 4.903 · 10^{-9} МДж/К^4·м^2·день; $T_{max,K}$ – максимальная температура воздуха за сутки, К; $T_{min,K}$ – минимальная температура воздуха за сутки, К; e_a – упругость водяного пара, кПа; R_s – суммарная радиация, МДж/м^2·день; R_{so} – суммарная радиация при безоблачном небе, МДж/м^2·день.

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \qquad (7)$$

R_{ns} – баланс коротковолновой радиации, МДж/м^2·день; α – альбедо подстилающей поверхности, -.

При отсутствии данных о максимальной и минимальной температурах можно воспользоваться среднесуточными данными температуры воздуха. Для характеристики альбедо было взято значение 0,23, отражающее условия растительности.

Радиационный баланс рассчитывается через баланс коротковолновой радиации и эффективное излучение:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \qquad (8)$$

Для расчета эталонного суммарного испарения, которое показывает потенциальное суммарное испарение с луговой поверхности в оптимальных условиях увлажнения была использована модифицированная формула Пенмана-Монтейса:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (9)$$

ET_0 – эталонное суммарное испарение, мм/день; Δ – кривая наклона зависимости насыщения водяного пара от температуры воздуха, кПа/°С; G – поток тепла в почву, МДж/м^2·день; γ – психрометрическая постоянная, кПа/°С; T_a – температура воздуха на высоте 2 м, ºС; u_2 – скорость ветра на высоте 2 м, м/с; e_s – давление насыщения водяного пара, кПа.

Потока тепла в почву при расчете за сутки вносит незначительный вклад в радиационный баланс (G ≈ 0 МДж/м^2·день). Для перерасчета скорости ветра с определенного уровня на высоту 2 м можно воспользоваться логарифмическим законом распределения ветра у подстилающей поверхности:

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} \quad (10)$$

u_z – скорость ветра на метеостанции, м/с; z – высота измерения скорости ветра на метеостанции, м.

Наряду с суммарным испарением важной характеристикой является транспирация растительности, которая является частью суммарного испарения. Выбор метода оценки величины транспирации производится в зависимости от величины проективного покрытия (*fc*), то есть от типа растительного покрова. При сомкнутом растительном покрове (f_C =1) явные и скрытые потоки тепла с почвы малы, и получаемую величину радиационного баланса можно считать радиационным балансом растительной поверхности. В таких условиях транспирацию можно оценивать с использованием модернизированного уравнения уравнения Пенмана — Монтейса:

$$LE = \frac{\Delta \cdot R_{nc} + \rho_a c_p (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma^* \cdot (1 + R_c / R_a)} \tag{11}$$

Расчет производится при наличии соответствующего проективного покрытия и солнечной радиации (Rnc), поглощенной посевом. Где γ - психрометрическая постоянная с учетом устьичного (R_c) и аэродинамического (R_a) сопротивлений. Поскольку в дневное время физическое испарение влаги с почвы (G) считается малым, иногда в литературе можно встретить данную формулу без учета данной величины.

Авторами Агам и Кустас предложено рассчитывать транспирацию при оптимальных почвенных условиях по формуле Пристли – Тейлора с коэффициентом α_{PT} = 1,26, при заданных внешних условиях:

$$\lambda E_c = \alpha_{PT} \cdot R_{nc} \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \tag{12}$$

При стрессовых ситуациях коэффициент Пристли - Тейлора корректируется.

В условиях разреженного покрова мы имеем дело с суммарным потоком влаги с почвы и растительности, называемой суммарным испарением (*ET*). В таком случае для расчета величины транспирации важно выделить ее из общего потока.

Модель TSEB (Two Source Energy Balance), предложенная Норманом, позволяет вычислять скрытые и явные потоки тепла на растительной поверхности и на почве. Апробации модели, а также описание алгоритма приведены в работах.

Согласно модели радиационный баланс (*Rnc*) и скрытый поток тепла (λE_c) с растительной поверхности можно представить по аналогии с формулой общего радиационного баланса.

$$R_{nc} = H_c + \lambda E_c \tag{13}$$

$$\lambda E_c = R_{nc} - H_c \tag{14}$$

В случае малых градиентов влажности и температуры на высоте *z* и у поверхности суммарный явный поток тепла над разряженной растительностью (H) будет равен:

$$H = \rho C_p \frac{T_s - T_a}{R_{ah}} \tag{15}$$

Эффективная температура (*Tr(θs)*) (температура смешанной поверхности) рассчитывается через проективное покрытие (*fc*), температуру растительности (*Tc*) и температуру почвы (*Ts*) по формуле:

$$T_{rs} = f_c T_c + (1 - f_c) T_s \tag{16}$$

Явный поток тепла над растительностью (*Hc*) определяется по формуле:

$$H_c = \rho C_p \frac{T_c - T_a}{R_{ah}} \tag{17}$$

Для случая большого градиента температур в слое над растительностью существует другой подход оценки потоков.

Еще один метод предложен авторами, в котором транспирация (*T*) определяется через базовый коэффициенты растительности *(k_{cb})* для описания транспирации растений, эталонную эвапотранспирацию и соответствующую величину проективного покрытия (*CC*). Формулы для расчета приведены ниже.

$$T = K_{cb} \times ET_0, \tag{18}$$

$$k_{cb} = K_{cb(x)} \times CC, \tag{19}$$

где $k_{cb(x)}$=0,95 значение коэффициента рапса при сомкнутом растительном покрове. Для расчета и моделирования проективного покрытия (*CC*) в алгоритме AquaCrop предусмотрено два варианта в зависимости от текущей величины *CC*. Эталонная эвапотранспирация (ET_0) рассчитывается по формуле Пенмана – Монтейса с соответствующими параметрами согласно методике FAO-56. Суммарное испарение и транспирация являются важными составляющими многих моделей роста и развития растений. AquaCrop – распространенная модель роста и развития посевов сельскохозяйственных

культур, разработанная Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (Food and Agriculture Organization of the United Nations Organisation (FAO)). AquaCrop позволяет в зависимости от продуктивности транспирации растений (*WP**) проводить мониторинг роста и развития конкретных посевов в определенных почвенно - экологических условиях, с временным интервалом сутки, в масштабе поля.

Главная гипотеза модели AquaCrop заключается в том, что интенсивность роста сухой биомассы (B) прямо пропорциональна нормализованной транспирации ($\sum(T_r/ET_0)$) и представлено уравнением:

$$B = WP^* \left(\sum \frac{T_r}{ET_0} \right), \qquad (20)$$

В модели AquaCrop для количественной характеристики роста используется сухая надземная биомасса растения, а для развития посевов - высота растений, проективное покрытие (*CC*). Проективное покрытие является основным параметром в модели AquaCrop, который изменяется в течение вегетационного периода. Для изучения развития растений необходимо проведение наблюдений в течение вегетационного периода. Но часто из-за ряда причин нет возможности выехать с датчиками на поле. В случае невозможности получения непрерывных рядов метеорологических параметров, можно прибегнуть к иным средствам. Для получения непрерывного ряда суточных метеорологических величин могут быть использованы данные ближайших метеостанции. По данным метеостанции и данным автоматического комплекса можно найти регрессионные зависимости, по которым можно получать значения ежедневных суточных метеовеличин.

В модели AquaCrop предусмотрена возможность смоделировать изменение величины проективного покрытия (*CC*) за вегетационный период. Для расчета и моделирования проективного покрытия (*CC*) в алгоритме AquaCrop предусмотрено два варианта в зависимости от фактической величины *CC* по отношению к максимально возможной (CC_x) [20]:

$CC \leq CCx/2$: $$CC = CC_0 e^{tCGC}, \quad (21)$$

$CC > CCx/2$: $$CC = CC_x - 0.25(CC_x^2 / CC_0) \times e^{-tGCG}, \quad (22)$$

Для величины проективного покрытия культуры меньше половины от максимально возможного *(CC_x)* закон изменения описывается формулой (21). Для фактической величины проективного покрытия, превысившей половину от максимально возможного *(CC_x)* формулой (22).

Обсуждение результатов научных и экспериментальных исследований. Для валидации метода расчета суммарной радиации были использованы данные радиационных измерений проекта World Bank's ESMAP Solar Resource Mapping. Суммарная радиация измерялась помощью пиранометра Kipp&Zonen CMP21. Были выбраны станции YerevanAgro и Islamadab, так как они близко расположены к метеорологическим станциям стандартной сети: Ереван/Звартноц (WMO ID = 37788) и Исламабад (WMO ID = 41571), а также программа наблюдений на станциях совпадает с программой на территории России. Для участков, на которых находились станции Yerevan Agro и Islamadab с портала геологической службы США были получены ЦМР ASTER GDEM. В таблице 11 представлены результаты статистического анализа сравнения модельных и измеренных значений суммарной радиации.

Таблица 11 Статистические показатели сравнения расчетных и измеренных значений суммарной радиации. RMSE – среднеквадратическая ошибка; d – индекс согласия Вильмотта; NSE – коэффициент эффективности модели Нэша-Сатклиффа; r – коэффициент корреляции

Статистический показатель:	YerevanAgro:	Islamadab:
RMSE (Вт/м^2)	107,6	83,9
d	0,96	0,98
NSE	0,83	0,91
r	0,93	0,95
Среднее измеренное значение (Вт/м^2)	189,9	184,8
Среднее рассчитанное значение (Вт/м^2)	186,4	197,0

На рисунке 16 показана карта суммарного испарения, полученная в ходе эксперимента на поле люцерны ВНИИОЗ г. Волгоград. Для расчета использовались данные спутника Landsat-8 за 19.05.2013 и данные наземных измерений АМПАК.

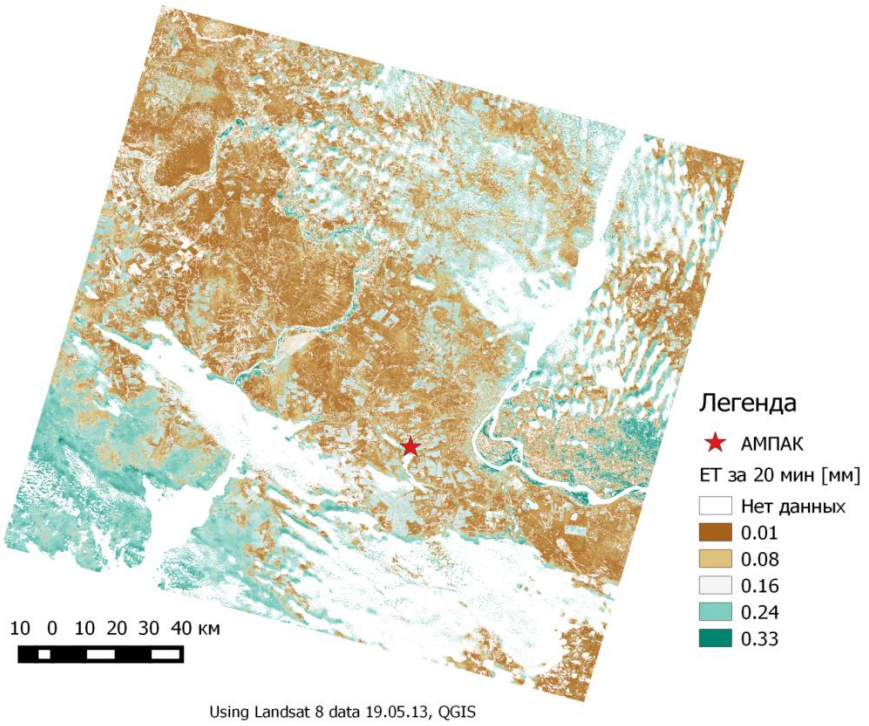


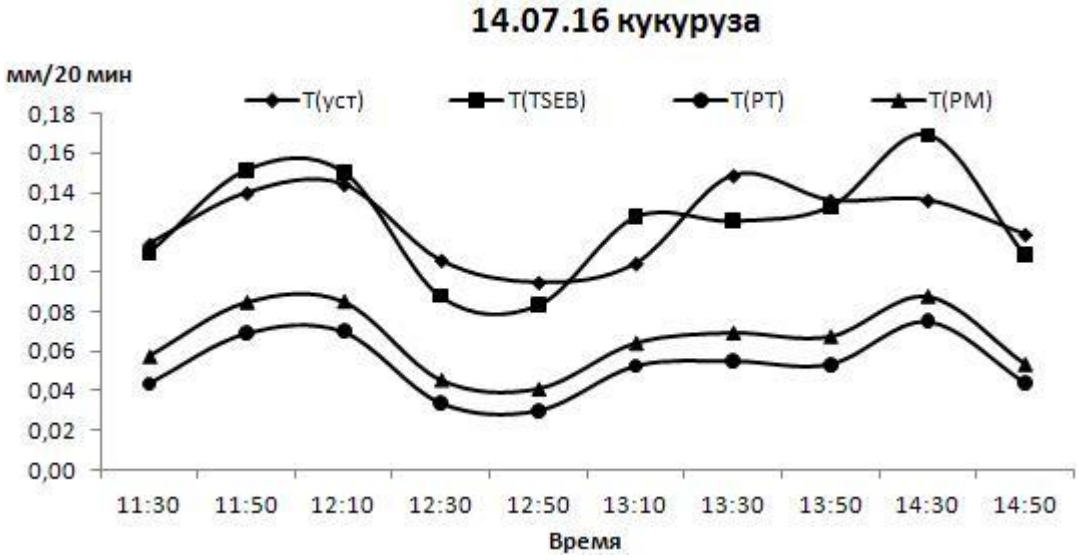
Рисунок 16 Карта суммарного испарения (мм), Волгоградская область

На рисунке 17 представлен график суточной величины транспирации над участком рапса в пос Дивенская (Ленинградская область). Была проведена калибровка модели зависимости прироста биомассы от величины транспирации AquaCrop. Пунктирная линия – транспирация, посчитанная по методу Пристли-Тейлора по регрессии, построенной по данным АМПАКа и данным близлежащей метеостанции Белогорка. Жирная линия – транспирация посчитанная по данным АМПАКа за тот же период через эталонную эвапотранспирацию и коэффициент культуры. Коэффициент культуры изменялся в пределах от 0,06 до 0,92.

Рисунок 17 Сравнение величин транспирации, посчитанной по регрессии с Белогоркой, методом Пристли-Тейлора, и через коэффициент культуры (T=ET0*Kcb)

Видно из рисунка, что величина транспирации по двум методам различается не более, чем на 1мм/ сут. По мере развития культуры различия увеличиваются, достигая максимальной разницы в 0,94 мм/сут. Средняя разница составила 0,4 мм/сут.

На рисунках 18 (*а* и *б*) показаны графики мгновенной величины испарения с растительности в мм, осредненных за 20 мин. Данные взяты с эксперимента над полем кукурузы, проводимого с помощью АМПАКа летом 2016г в Приневском (Ленинградская область).



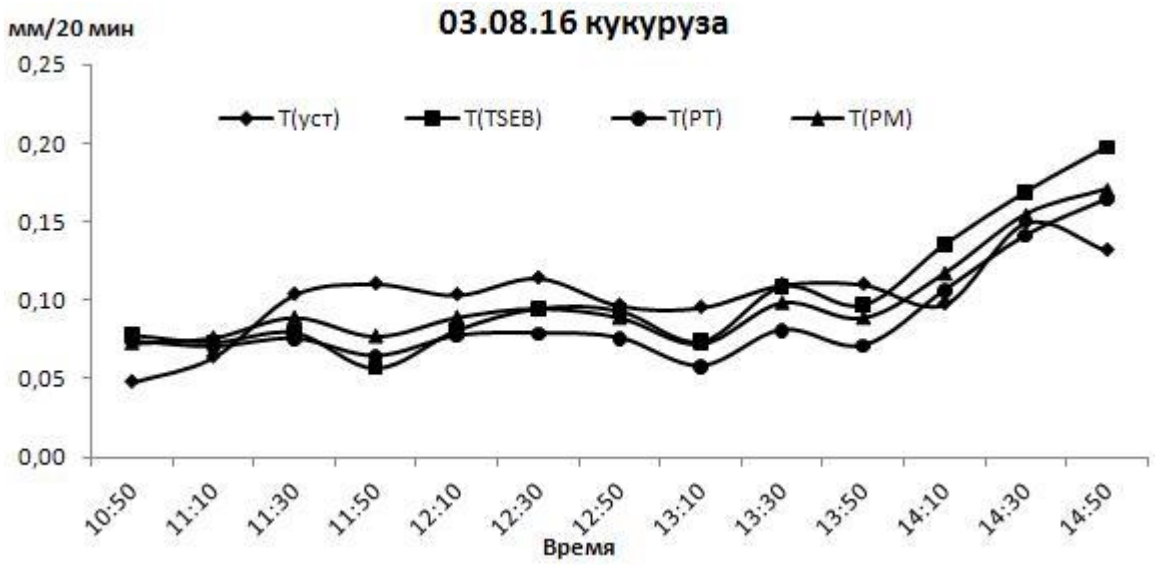


Рисунок 18 Транспирация, посчитанная по данным АМПАКа, осредненным за 20 мин: Т(уст) - с учетом устьичной проводимости; Т(TSEB) - по модели TSEB; Т(PT) - по формуле Пристли-Тейлора; Т(PM) – по формуле Пенмана – Монтейса А)14.07.16 г , *fc*=0,4; В) 03.08.16 г, *fc* = 0,8

14 июля величина проективного покрытия (f_c) составила 0,4, что соответствует разряженному растительному покрову. В таком случае, почва будет получать солнечное тепло и нагреваться, и, следовательно, испарять влагу. Суммарное испарение с поверхности поля будет складываться с испарения поверхности растительности и с поверхности почвы. На рис. 18а видно, что значения транспирации по модели TSEB и с учетом устьичной проводимости несколько выше, чем значения, полученные по формулам Пенмана-Монтейса и Пристли-Тейлора. Значения ниже, поскольку не учитывается вклад поверхности почвы.

3 августа (рис. 18б) величина проективного покрытия (f_c) составила 0,8, что соответствует сомкнутому растительному покрову. В таком случае, почва будет нагреваться значительно меньше, чем растительность и, следовательно, физическое испарение будет мало. Значительную часть суммарного испарение с поверхности поля составит именно транспирация. В этом случае различие в значениях, полученными разными методами не так заметны. Это можно объяснить более однородной поверхностью поля, чем 14 июля.

В нашем эксперименте по AquaCrop моделирование выполнено по 7ми точкам с помощью программы получающая на вход фотографии подстилающей растительной поверхности. При построении модели проективного покрытия (CC) был рассчитан коэффициент увеличения растительной поверхности (CGC) (рисунок 19).

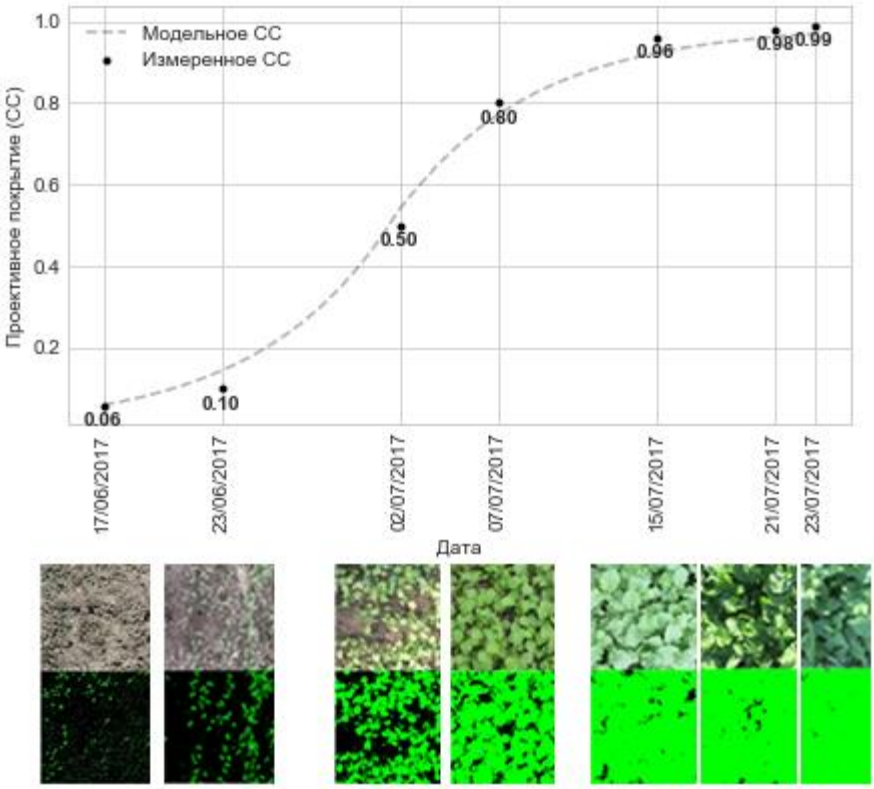


Рисунок 19 Модельное и измеренное проективное покрытие для рапса в пос. Дивенский (сверху); фотографии и результаты работы программы определения проективного покрытия

В результате проведенных в 2018 году исследований разработаны методы применения данных дистанционного зондирования с наземными измерениями для управления водным режимом посевов на мелиорируемых землях.

10.2.1 «Разработать теоретические основы и методы управления на вероятностной основе агроклиматическими рисками продуктивности по температурному фактору и мелиоративному состоянию сельскохозяйственных земель в условиях изменения климата».

Цель работы состояла в разработке теоретических основ и методов управления на вероятностной основе агроклиматическими рисками продуктивности по температурному фактору и мелиоративному состоянию сельскохозяйственных земель в условиях изменения климата.

Научная новизна. Получены новые знания о статистических характеристиках плотности распределений вероятности прогнозируемых температур на земледельческой территории РФ по данным ансамбля моделей, рекомендуемых МГЭИК, и создана методическая база приведения детерминированных прогнозов температур к вероятностному представлению; исследована геостатистическая структура климатически обусловленных радиационных заморозков по территории Северо-Западного региона ЕТР; исследовано влияние типов засоления и циклов промерзание-оттаивание на устойчивость физических характеристик водоудерживающих экранов, созданных на основе гидрогелей различных видов.

Методика исследований. Исследования выполнялись на основе теоретических обобщений; статистического анализа метеорологических данных; полевых и лабораторных экспериментов.

Обсуждение результатов научных и экспериментальных исследований. ***1. Теоретические основы и методы управления на вероятностной основе агроклиматическими рисками продуктивности по температурному фактору в условиях изменения климата.*** Управляемость риска обусловлена наличием объективной составляющей. Агробиологический риск является по существу интегральным земледельческим риском. Риск по определению является категорией вероятностной. Успешность управления рисками определяется, прежде всего, достаточностью (полнотой) информационного обеспечения. Наличие прогноза является необходимым условием для выработки дерева решений. Риск может быть оценён только в том случае, если данные прогноза представлены в вероятностной форме.

1. Информационная база управления агроклиматическими рисками по температурному фактору. *Агроклиматическая составляющая информационной базы управления.* Агроклиматический риск, по определению, является вероятностной категорией. Информационная база для его количественной оценки не может быть сформирована на основе детерминированных в пространстве и во времени наблюдений.

Формирование информационной базы. При формировании информационной базы для оценки агроклиматических рисков по температурному фактору на основе данных прогнозов температур воздуха, рекомендованных и опубликованных МГЭИК (Международная группа экспертов изменения климата), возникают две проблемы: выбор модели с наибольшей степенью достоверности (адекватности) прогнозов и приведение детерминированных данных прогнозов о температурах к вероятностному представлению.

Первая задача решается проведением ретроспективных расчетов на всех доступных моделях глобальной циркуляции атмосферы и океана и сопоставлением расчетных данных с наблюдавшимися в прошлом температурами, а также сопоставлением и ранжированием соответствующих отклонений.

Решение второй задачи осложнено тем обстоятельством, что прогнозы МГЭИК выдаются пользователю в детерминированном виде и напрямую не могут быть использованы для вероятностных расчетов. В связи с этим была сформулирована гипотеза о возможности представления данных множества прогнозов о агрометеорологическом параметре как не коррелирующих между собой мнений отдельных независимых экспертов. В природе вероятностей такого рода появляются неклассические вероятности двух типов: валентные и аксиологические. Полагаем возможным привлечь нечеткую логику и соответствующую математику нечетких множеств к оценке агроклиматических рисков по температурному фактору продуктивности посевов. Ранее была показана такая возможность при оценках продуктивности по фактору влагообеспеченности. Авторами

настоящего отчета предложена модификация ансамблевого метода обработки детерминированных данных прогнозов МГЭИК, которая решает проблему приведения ансамбля таких прогнозов к вероятностному виду.

Методически решение задачи реализуется набором последовательно выполняемых процедур нахождения характеристической функции принадлежности данных выборки ансамбля прогнозов этому множеству:

- формируется ансамбль моделей глобальной циркуляции атмосферы и океана;
- формируется база данных прогнозируемых климатических параметров, содержащихся в узлах координатных сеток моделей;
- выборка распределяется на кластеры данных однородных по каждому агроклиматическому параметру;
- выполняется проверка на отсутствие коррелируемости данных в каждой однородной выборке;
- оценивается возможность отнесения массива данных выборки к категории множества;
- находятся характеристические функции принадлежности данных выборки по каждому кластеру соответствующих множеств в каждом узле координатной сетки, руководствуясь набором правил и процедур нечеткой логики и математики нечетких множеств.

Данные выборки приводятся к безразмерному виду нормировкой по наибольшему абсолютному значению метеорологического параметра. Плотность распределения нормированных данных по каждому кластеру апроксимируется подобранной функцией, которая является функцией принадлежности в терминах математики нечетких множеств.

2. Статистические характеристики вероятностных распределений прогнозируемых температур по земледельческой территории России по ансамблю моделей. Выборка сформирована по результатам вычислений по 10 моделям: UKMO-HanCM3; NPIM – Echam; GFDL-CM-2.1; CSIRO-MK3; CCSM3-NCAR; NIES-miroc3.2-med; MRI-CGCM-2.3.2; GFDL-CM2; INM-

CM3; BCCR-BCM20; IPSL-CM4; GISS-ER при использовании исходных данных четырех эмиссионных сценариев: Commit, SRA1B, SRA2, SRB1**.** Выборка представляет собой множество однородных данных.

Найденная характеристическая функция принадлежности отражает функцию плотности распределений вероятности прогнозируемого нормализованного параметра, для неё вычисляются статистические характеристики. Выдвинутой гипотезой полагается, что вычисленные статистические характеристики выборки идентичны статистическим характеристикам плотностей вероятности распределений прогнозируемого метеорологического параметра. Выборка прогнозов температур сформирована для метеорологических станций, репрезентативных для климатических провинций земледельческой территории России, рекомендованных Международным метеорологическим центром климатических данных. По модифицированному ансамблевому методу обработки данных прогнозов, вычисленных по отобранным климатическим моделям за период 2011-2030 годы, определены статистические характеристики распределения вероятности прогнозируемых температур по провинциям. Результате вычислений для самых теплого (июль) и холодного (январь) месяцев приведены в таблицах 12 и 13.

Таблица 12 Статистические характеристики распределения вероятности прогнозируемых температур по провинциям в январе за период 2011-2030 годы.

	Среднее	Медиана	Мода	Частота моды	Геометрическое среднее	Гармоническое среднее	Стандартное отклонение	Размах	Дисперсия случайной величины	Коэффициент ассиметрии	Коэффициент эксцесса	Сумма
20946	0,944587	0,940707	,9277841	3	0,944291	0,943998	0,024019	0,095021	0,000577	0,687320	-0,06561	45,34017
21982	0,971068	0,977588	Multiple	2	0,970890	0,970712	0,018708	0,069020	0,000350	-0,529993	-0,69208	46,61127
22551	0,954331	0,952256	,9477444	3	0,954103	0,953874	0,021108	0,086842	0,000446	0,070167	-0,38000	45,80789
23058	0,957568	0,958333	Multiple	2	0,957351	0,957134	0,020611	0,084913	0,000425	0,111317	-0,28060	45,96327
24143	0,969146	0,970781	,9730282	3	0,968987	0,968827	0,017716	0,069881	0,000314	-0,339439	-0,24201	46,51900
25173	0,966300	0,972376	Multiple	2	0,966119	0,965937	0,018842	0,073796	0,000355	-0,393425	-0,75062	46,38240
26063	0,963345	0,963306	,9633062	3	0,963194	0,963044	0,017209	0,071905	0,000296	0,044082	-0,41196	46,24055
27995	0,967720	0,965985	,9583643	3	0,967607	0,967495	0,014967	0,059851	0,000224	0,451454	-0,42178	46,45056
28275	0,968726	0,966590	Multiple	3	0,968613	0,968501	0,014997	0,058372	0,000225	0,594974	-0,09509	46,49885
29128	0,970777	0,969320	Multiple	2	0,970664	0,970553	0,014944	0,056311	0,000223	0,359378	-0,70251	46,59728
30089	0,974082	0,972323	,9692929	3	0,973968	0,973854	0,015074	0,056162	0,000227	-0,089200	-0,68329	46,75596
31866	0,963091	0,964179	Multiple	2	0,962854	0,962617	0,021611	0,076119	0,000467	0,129904	-1,04487	46,22836
32069	0,964786	0,963263	Multiple	2	0,964611	0,964436	0,018616	0,071967	0,000347	0,304667	-0,60342	46,30972
33976	0,989193	0,988576	,9839343	3	0,989175	0,964436	0,005973	0,019993	0,000036	0,177570	-1,24407	47,48126
34824	0,985315	0,984004	Multiple	3	0,985285	0,985256	0,007693	0,029116	0,000059	0,301787	-0,89813	47,29511
35001	0,968054	0,965850	,9595397	3	0,967946	0,967839	0,014649	0,057906	0,000215	0,523003	-0,48578	46,46659
36021	0,968977	0,966754	,9654395	3	0,968893	0,968811	0,012898	0,048460	0,000166	0,839131	0,12535	46,51089
37163	0,984962	0,983130	,9809763	4	0,984928	0,984894	0,008283	0,029433	0,000069	0,305731	-0,68768	47,27818

Таблица 13 Статистические характеристики распределения вероятности прогнозируемых температур по провинциям в июле за период 2011-2030 годы

Номер станции	Среднее	Медиана	Мода	Част моды	Минимум	Максимум	Гарм. ср.	Гарм ср.	Ст. откл.	Дисперсия	Ср. откл.	Размах	Коэфф асимметрии	Коэф эксцесса	Сумма
20982	0,760739	0,700800	multiple		0,048646	1,000000	0,646220	0,565600	0,230026	0,052939	0,154000	0,950355	-2,03921	4,113942	36,03546
21921	0,757848	0,801370	0,917808	5	0,478462	1,000000	0,741824	0,725124	0,152986	0,023374	0,138858	0,520548	-0,266852	-1,38861	35,37671
22331	0,698004	0,876798	0,41909	3	0,394841	1,000000	0,670424	0,652567	0,140759	0,020000	0,112147	0,636359	-0,049730	0,004002	32,90018
23058	0,766253	0,829787	multiple		0,00	1,000000			0,248311	0,061658	0,155586	1,000000	-2,41408	5,280244	36,78014
24143	0,800030	0,811047	0,939721	3	0,540008	1,000000	0,793264	0,785020	0,107726	0,011605	0,080046	0,459992	-0,228730	-0,002255	38,48023
25303	0,707558	0,688511	0,550575	3	0,480362	1,000000	0,607781	0,688260	0,120341	0,014482	0,097800	0,519638	0,458835	-0,340430	33,96277
26063	0,830783	0,804878	0,804878	4	0,707317	1,000000	0,827333	0,823680	0,077751	0,006046	0,054101	0,292683	0,506250	-0,612241	39,87805
27995	0,813170	0,801785	multiple		0,587711	1,000000	0,807291	0,801667	0,100028	0,010005	0,085742	0,312289	0,408458	-1,16585	39,03211
28275	0,816585	0,808804	0,808957	4	0,598821	1,000000	0,810637	0,804839	0,088574	0,007717	0,076381	0,415179	-0,244737	0,034908	38,20089
29128	0,852535	0,850230	0,828460	3	0,808807	1,000000	0,847011	0,841064	0,044890	0,000466	0,037053	0,268013	-0,707465	0,742202	40,92168
30080	0,811599	0,822115	0,846154	4	0,591348	1,000000	0,808003	0,800247	0,095041	0,009033	0,073898	0,408654	-0,147937	-0,189075	38,96873
31865	0,741987	0,740000	0,740000	4	0,520902	1,000000	0,732022	0,722207	0,129970	0,015909	0,099854	0,479098	0,439297	-0,157128	35,61538
32069	0,669421	0,709845	multiple		0,294249	1,000000	0,659425	0,620528	0,198246	0,039457	0,151784	0,705751	-0,413657	-0,374199	32,94819
33976	0,877557	0,877259	multiple		0,700901	1,000000	0,874013	0,870284	0,077002	0,000590	0,060093	0,299099	-0,748146	-0,030773	42,12274
34024	0,818548	0,811200	0,751613	4	0,700677	1,000000	0,814670	0,810800	0,081256	0,006602	0,070407	0,299323	0,424544	-0,016581	39,20032
35001	0,822394	0,811189	multiple		0,585315	1,000000	0,815661	0,811189	0,086328	0,009658	0,094162	0,314685	0,371440	-1,16103	39,47209
36021	0,830409	0,817204	multiple		0,594608	1,000000	0,828867	0,825435	0,078202	0,006116	0,061097	0,315412	0,476518	-0,206852	40,00358
37163	0,800598	0,798274	multiple		0,874267	1,000000	0,797195	0,796870	0,075797	0,005744	0,058101	0,525733	0,931579	1,130888	38,48871

3. Критерии вероятностной оценки энергетического состояния приземного слоя атмосферы и синоптических явлений в период пыльных бурь. Источником данных для проведения исследования являлась сформированная автором информационная база для энергетической оценки вероятности возникновения синоптических рисков опасных агрометеорологических явлений, в которой использовалась совокупность данных Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) и Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, или ECMWF).

Расположение метеостанций, на которых наблюдателями было отмечено данное явление, приведено на рисунке 20.

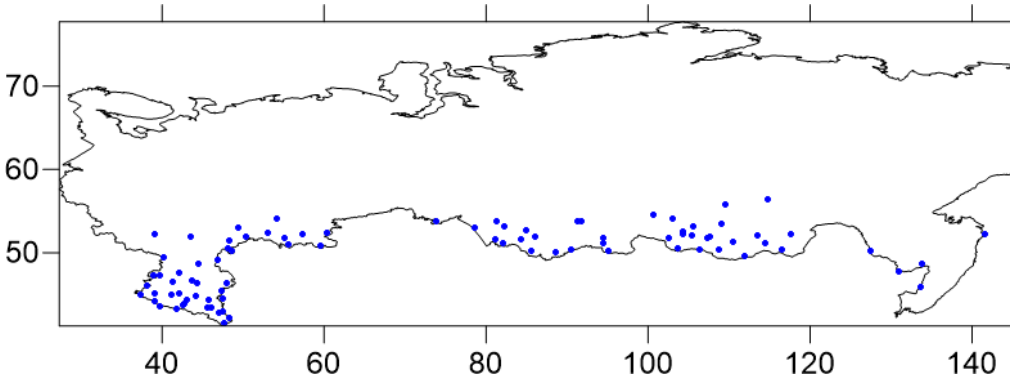


Рисунок 20 Расположение метеорологических станций на территории РФ, данные наблюдений которых использовались для формирования расширенной информационной базы данных

По результатам анализа сведений синоптической обусловленности явления было выделено пять зон, обособленно рассматриваемых при выполнении геостатистического анализа:

- европейская часть России, граничащая с южной стороны с Ростовской областью и Ставропольским краем;
- территория Северного Кавказа, Ростовская область, Ставропольский край;
- Южный Урал и Предуралье;
- Западная и Центральная Сибирь;
- Дальний Восток.

В качестве временного интервала анализировались пентады в течение вегетационного периода за всё время наблюдений, приведённое в базе данных (1979 – 2016 гг.).

Явление пыльных бурь рассматривалось как качественная характеристика, поэтому для исследования пространственной статистической структуры явления использовался коэффициент качественной корреляции:

$\rho^{(i,j)}=(n_{11}*n_{22}-n_{12}*n_{21})/\sqrt{(n_{11}+n_{12})(n_{11}+n_{21})(n_{22}+n_{21})(n_{22}+n_{12})}$,

где n_{11} – число случаев, когда пыльная буря наблюдалась в течение одной пентады одновременно на двух станциях; n_{12} – число случаев, когда пыльные бури на двух станциях в течение одной пентады не наблюдались; n_{12} – число случаев, когда явление наблюдалось на первой станции и не наблюдалось на второй; n_{21} – число случаев, когда явление наблюдалось на второй станции и не наблюдалось на первой.

Для каждой из выделенных зон были составлены корреляционные матрицы.

Анализ корреляционных матриц и графиков для различных зон показал, что наибольшие значения коэффициентов качественной корреляции приходятся для станций, взаимно удаленных на расстояния, сравнимые с характерным размером синоптических явлений (антициклонов), обуславливающих возникновение пыльных бурь или штормовых зон.

При анализе специализированные массивы были дополнены количеством атмосферных осадков, типом и видом почв. Выпадение осадков в

трёхсуточный период, предшествующий наблюдению пыльных бурь на одной или нескольких метеостанциях зоны, может обусловить отсутствие явления в данных точках при остальных сопутствующих благоприятных синоптических условиях, наблюдаемых в пределах рассматриваемой зоны.

4. Оценка агробиологических рисков возникновения радиационных заморозков в онтогенезе районированных полевых культур по территории Северо-Западного региона ЕТР. Исследование зонального распределения радиационных заморозков проводилось для метеостанций, расположенных в пяти административных областях региона с наиболее развитым сельскохозяйственным растениеводством: Вологодской, Калининградской, Ленинградской, Новгородской и Псковской областях. Использованы данные ежедневных срочных наблюдений штатной метеорологической сети за безморозный период (с мая месяца по октябрь) с 1966 по 2015 годы, опубликованные Всероссийским научно-исследовательским институтом гидрометеорологической информации — Мировой центр данных. Оценка агробиологических рисков проводилась для двух 25-летних периодов: с 1966 по 1990 и с 1991 по 2015 годы. Динамика изменений определялась разностью между значениями позднего и раннего периодов. К анализу привлечены данные по 16 сетевым гидрометеорологическим станциям. Агробиологические риски по фактору возникновения радиационных заморозков относятся к природным рискам, характеризуясь малой заблаговременность прогноза. Для сельскохозяйственных культур заморозок представляет особую опасность вследствие повреждения всходов, генеративных побегов и цветков. Заморозок - это комплексное явление, определяющееся совокупностью климато-географического, физико-метеорологического и биологического факторов. Биологический фактор определяется степенью морозоустойчивости самого растения на каждом этапе вегетации и его адаптивными возможностями. Степень опасности заморозка для сельскохозяйственных культур зависит от фенофазы развития,

интенсивности, времени наступления и длительности заморозка. Значительную роль играют архитектоника посева, условия агротехники, количество и вид вносимых удобрений. Вид культуры и сорт предъявляют различные требования к температурному режиму в разные периоды онтогенеза. Погодные условия в регионе показывают сильную межгодовую изменчивость и даты проведения полевых работ варьируются год от года. Для определения оптимальных сроков агротехнических мероприятий, помимо текущей метеорологической обстановки, следует учитывать распределение статистических характеристик возникновения радиационных заморозков в каждую декаду месяца в онтогенезе культур и сортов. Такие характеристики представлены на примере метеорологических станций с наибольшим количеством дней с заморозками для каждой исследованной области Северо-Западного региона. Согласно проведенным исследованиям (таблица 14) на метеостанции Тихвин Ленинградской области вероятность возникновения радиационных заморозков в мае во все три декады довольно высока и соответствует сезонному ходу температур. Наибольшая вероятность приходится на первую декаду, и далее плавно снижается до июня. В июне вероятность возникновения заморозков существует, но крайне мала. Следует отметить, что за последние 25 лет при общем небольшом снижении вероятности возникновения радиационного заморозка, во второй декаде мая и в первой декаде июня вероятность возникновения заморозка увеличилась. На метеостанции Вытегра Вологодской области в обоих временных периодах вероятность возникновения заморозка в мае во все три декады довольно высока и плавно снижается к июлю в соответствии с сезонным ходом температур. Однако, в период 1991-2015 вероятность возникновения заморозка ниже, чем за предыдущие 25 лет, и во второй и третьей декадах июня она крайне мала. На метеостанциях Старая Русса, Гдов и Железнодорожный при общей небольшой вероятности возникновения заморозка в последние 25 лет наблюдается увеличение их количества во всех трех декадах мая. Заморозки в июне маловероятны.

Таблица 14 Статистическая вероятность возникновения радиационного заморозка в любой день декады весной, %

Метеостанция	Период, годы	1 декада мая	2 декада мая	3 декада мая	1 декада июня	2 декада июня	3 декада июня
Ленинградская область, Тихвин	1966-1990	33	21	16	4	1	1
	1991-2015	32	25	11	5	0	0
Вологодская область, Вытегра	1966-1990	37	25	19	8	2	2
	1991-2015	29	21	14	4	0	0
Псковская область, Гдов	1966-1990	15	7	3	0	-	-
	1991-2015	17	9	0	0	-	-
Новгородская область, Старая Русса	1966-1990	7	4	1	-	-	-
	1991-2015	13	6	1	-	-	-
Калининградская область, Железнодорожный	1966-1990	10	5	1	-	-	-
	1991-2015	14	3	4	-	-	-

Проведенный анализ показал необходимость локализованной оценки статистических характеристик распределения радиационных заморозков.

5. Экспериментальные данные о влиянии гидрогелей натриевого и калиевого типов на водоудерживающую способность и биологическую активность мелиорируемых дерново-подзолистых почв. 5.1. Исследование водоудерживающей способности почв при внесении гидрогелей натриевого и калиевого типов. Изучены возможности гидрогелей «AQUASORB», «АКВАСИН», «РИТИН - 10», «В - 415 К» как водоудерживающей почвенной добавки для улучшения водно-физических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы. Кривые влагоудерживания показывают, что с уменьшением осмотического давления повышается влагоудерживающая способность гидрогелей, т.е. увеличивается диапазон доступной влаги, содержащейся в гидрогелях: Аквасорб (80,7 – 58,4 = 22,3 %); Аквасин (80,0 – 52,4 = 27,6 %); Ритин -10 (81 – 54,1 = 26,9 %); В – 415 К (82,4 – 57,3 = 25,1 %). Проведенные исследования показали, что вода, поглощаемая гидрогелем, находится в диапазоне доступной для растений влаги (10 – 25 %). Наилучший эффект влияния гидрогеля на водоудерживающую способность почв был отмечен на образцах супесчаной дерново-подзолистой почвы при внесении гидрогеля Аквасорб в дозе 300 кг

га$^{-1}$. Диапазон доступной (продуктивной) влаги (НВ-ВЗ) возрос пропорционально увеличению НВ от 8 - 10 % на контроле до 25,3 % при максимальной концентрации гидрогеля.

5.2. Биологическая активность почв при мелиоративном внесении в корнеобитаемый слой гидрогелей натриевого (ГГ Na) и калиевого (ГГ К) типов. Наиболее выраженный и устойчивый стимулирующий эффект установлен для доз 0,2 — 0,5 %. Внесение АЛС (сополимерный акрилатно-лигносульфонатный структурообразователь) в количестве 1 % от веса почвы увеличивает скорость процессов газообмена в 1,5 - 2 раза в 1-е сутки опыта, что вызвано, по-видимому, внесением значительного количества органического вещества. АЛС в дозах 0,5 - 1 % ингибируют жизнедеятельность целлюлозоразлагающих микроорганизмов в первые 2 мес. после внесения его в почву; малые дозы АЛС (0,1%), наоборот, - существенно активируют их жизнедеятельность. Показатели биологической активности почвы при внесении гидрогеля сведены в таблице 15.

Таблица 15 Показатели биологической активности почвы при внесении гидрогеля

Вариант	БД,мг/CO_2 /г/час	СИД, мг / CO_2/г/час	qCO_2
«Засушник» - 2015г (фаза - колошение)			
Контроль	0,012	0,070	0,171
ГГ Na(10-12 см)	0,016	0,071	0,225
ГГ К (10-12 см)	0,015	0,076	0,197
ГГ Na(20-22 см)	0,014	0,076	0,184
ГГ К (20-22 см)	0,012	0,072	0,166
Полевые условия – 2015г (фаза - колошение)			
Контроль	0,013	0,083	0,156
ГГ Na(10-12 см)	0,010	0,091	0,109
ГГ К (10-12 см)	0,010	0,116	0,086
ГГ Na(20-22 см)	0,007	0,093	0,075
ГГ К (20-22 см)	0,012	0,091	0,131
«Засушник»-2015г (фаза – восковая спелость)			
Контроль	0,005	0,016	0,312
ГГ Na(10-12 см)	0,005	0,021	0,238
ГГ К (10-12 см)	0,005	0,017	0,294
ГГ Na(20-22 см)	0,004	0,015	0,266
ГГ К (20-22 см)	0,004	0,015	0,266
Полевые условия – 2015г (фаза – восковая спелость)			
Контроль	0,005	0,016	0,312
ГГ Na(10-12 см)	0,006	0,016	0,375
ГГ К (10-12 см)	0,004	0,010	0,40
ГГ Na(20-22 см)	0,005	0,013	0,384

ГГ К (20-22 см)	0,004	0,013	0,307
«Засушник» - 2016 г (фаза - колошение)			
Контроль	0,002	0,007	0,285
ГГ Na(10-12 см)	0,002	0,011	0,181
ГГ К (10-12 см)	0,002	0,010	0,20
ГГ Na(20-22 см)	0,003	0,011	0,272
ГГ К (20-22 см)	0,003	0,007	0,428
Полевые условия – 2016 г (фаза - колошение)			
Контроль	0,004	0,012	0,333
ГГ Na(10-12 см)	0,002	0,008	0,25
ГГ К (10-12 см)	0,004	0,009	0,444
ГГ Na(20-22 см)	0,002	0,010	0,20
ГГ К (20-22 см)	0,003	0,012	0,25
«Засушник»-2016 г (фаза - восковая спелость)			
Контроль	0,007	0,027	0,259
ГГ Na(10-12 см)	0,007	0,055	0,127
ГГ К (10-12 см)	0,008	0,060	0,133
ГГ Na(20-22 см)	0,007	0,053	0,132
ГГ К (20-22 см)	0,007	0,056	0,125
Полевые условия – 2016 г (фаза – восковая спелость)			
Контроль	0,007	0,029	0,241
ГГ Na(10-12 см)	0,006	0,022	0,272
ГГ К (10-12 см)	0,007	0,027	0,259
ГГ Na(20-22 см)	0,007	0,031	0,225
ГГ К (20-22 см)	0,006	0,029	0,207

В результате проведенных лабораторных исследований выявлено, что наиболее благоприятные условия для микробиологической активности дерново-подзолистой супесчаной почвы создаются при внесении гидрогеля в верхний корнеобитаемый слой почвы.

6. Экспериментальные данные исследований влияния содового и хлоридного типов засоления, а также циклов замерзание-оттаивание на физические характеристики водоудерживающего экрана, сформированного на основе гидрогеля калиевого типа. Исследовано в лабораторных условиях влияние содового и хлоридного типов засоления и циклов замерзания-оттаивания на физические характеристики водоудерживающего экрана на основе гидрогеля калиевого типа. Проведено 5 циклов замерзания-оттаивания. Установлено, что структура и свойства ГГк (В-415к), поглощая воду в свободном состоянии без нагрузки, остаются стабильными на всех 5 циклах без изменений; кратность набухания ГГк под

влиянием содового и хлоридного типа засоления уменьшается по отношению к контролю с водой фактически в 2 раза; содовый и хлоридный типы засоления (в концентрации сильносолёной) и циклы замерзания-оттаивания не имеют различий между собой по влиянию на кратность набухания и сопротивлению нагрузке для ГГк; кратность набухания и сопротивление нагрузке ГГк не зависит от количества циклов замерзания-оттаивания и типа засоления и остаётся стабильным; водоудерживающий экран на основе ГГк (В-415к) сохраняет свою работоспособность и стабильность после 5 циклов замерзания-оттаивания в растворах сильносолёной концентрации содового и хлоридного типов засоления при нагрузках от 0 до 40 г/см кв.

7. О влиянии статистических характеристик пространственных распределений внутрихозяйственной неоднородности варьирующих факторов продуктивности на устойчивость урожаев в условиях изменяющегося климата. Анализ пространственных распределений урожайности на основании оценки состояния растительного и почвенного покрова с помощью космоснимков вместе с сопряженными параметрами статистической оценки может служить достаточной информационной основой для дифференциации агротехнологий с учетом вариации метеорологических параметров. В основу исследования положен анализ эмпирико-статистических моделей, которые в количественной форме выражают связь между варьирующим по территории фактором продуктивности и регулируемым технологическим воздействием, с одной стороны, и потерями урожая или экономического эффекта, получаемых при выбранной стратегии планирования агрономических мероприятий, с другой стороны. Продуктивность рассматривается как функция предикторов двух видов: природно-почвенно-климатического и антропогенно-технологического.

Методологический подход выделения контуров развит при условии, что в качестве критерия целесообразности дифференцирования принимается хозяйственно-экономический показатель в виде потерь или экономического

выигрыша. Для каждой планируемой технологической операции следует назначать число градаций по максимальной разрешающей “способности” агроприёма, как фактора управления продуктивностью. Другим ограничителем является критерий затратности исполнения технологической программы. В работе изложены методологические основы, на которых можно развивать решение практических задач “точного земледелия” при планировании продуктивности. отталкиваясь от уровня фактически достигнутой на той же территории.

8. Результаты исследования на лабораторном стенде параметров и режимов работы новой модели рабочего органа с использованием ПАВ в водовоздушной системе промывки труб закрытого дренажа. С целью уменьшения сопротивления рабочей жидкости при промывке дренажа в лабораторных условиях на стенде в рабочую жидкость (водопроводная вода) добавляются ПАВ (поверхностно активные вещества). В качестве ПАВ использовался алкилполиглюкозид С8-С10. В результате оценки технических характеристик исследуемого рабочего органа дренопромывочной машины в разных водно-воздушных условиях применения выявлено, что при использовании варианта с применением ПАВ в количестве 0,1% от рабочего расхода жидкости и воздушного потока, эффективность очистки закрытого дренажа увеличивается в среднем на 25% по сравнению с традиционными технологиями промывки. Разработаны теоретические основы использования детерминированных климатических прогнозов, рекомендованных МГЭИК и приведенных к вероятностному представлению, для оценки агроклиматических рисков по факторам продуктивности полевых культур.

Определены статистические характеристики вероятностных распределений прогнозируемых температур к 2030 году. Выполнена на земледельческой территории России по ансамблю моделей, рекомендованных МГЭИК для региональных условий изменения климата.

Разработаны критерии вероятностной оценки энергетического состояния приземного слоя атмосферы и синоптических явлений в период пыльных бурь.

Исследовано влияние температурных режимов воздуха на показатели атмосферного увлажнения в регионах мелиорированных земель европейского Нечерноземья РФ в условиях изменяющегося климата.

Оценены агробиологические риски возникновения радиационных заморозков в онтогенезе районированных полевых культур по территории Северо-Западного региона ЕТР.

Получены экспериментальные данные о влиянии гидрогелей натриевого и калийного типов на водоудерживающую способность, доступность растениям и биологическую активность мелиорируемых дерново-подзолистых почв.

Получены экспериментальные данные исследований влияния содового и хлоридного типов засоления, а также циклов замерзания-оттаивания на физические характеристики водоудерживающего экрана, сформированного на основе гидрогеля калиевого типа.

Исследовано влияние статистических характеристик пространственных распределений внутрихозяйственной неоднородности варьирующих климатических факторов продуктивности на устойчивость урожаев полевых культур в условиях изменяющегося климата.

Исследованы на лабораторном стенде параметры и режимы работы новой модели рабочего органа с использованием ПАВ в водовоздушной системе промывки труб закрытого дренажа.

В результате проведенных в 2018 году исследований разработаны теоретические основы и методы управления на вероятностной основе агроклиматическими рисками продуктивности по температурному фактору и мелиоративному состоянию сельскохозяйственных земель в условиях изменения климата.

10.2.1 «Разработать прототип программно-аппаратного комплекса на базе машины отечественного производства с использованием системы ГЛОНАСС для дифференцированного внесения известковых мелиорантов и других агрохимикатов».

Цель исследования - разработать прототип программно-аппаратного комплекса на базе машины отечественного производства с использованием системы ГЛОНАСС для дифференцированного внесения известковых мелиорантов и других сыпучих агрохимикатов. Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

- разработать специализированное программное обеспечение, позволяющее генерировать пространственно-ориентированные карты-задания для дифференцированного внесения;
- адаптировать управляющий бортовой компьютер и робототехнические агрегаты по управлению дозой внесения сыпучих агрохимикатов к использованию сгенерированных карт-заданий;
- интегрировать результаты работы различных коллективов в единый программно-аппаратный комплекс на базе сельскохозяйственной машины по внесению сыпучих агрохимикатов.

Научная новизна заключается в подходе к формализации в электронном виде описания агротехнической операции внесения агрохимикатов с помощью разработанного специализированного программного модуля. Впервые формализация в электронном виде элементов агротехнической операции и их свойств реализована как создание набора типов без непосредственного использования языка программирования и создание информационных структур для хранения произвольных данных.

Используя данные дистанционного зондирования (ДДЗ) и наземные измерения, характеризующие состояние посевов, в разработанном программном обеспечении создаются карты-задания на дифференцированное внесение известковых мелиорантов и других агрохимикатов и переносятся в

бортовой компьютер сельскохозяйственной техники, пространственное ориентирование которой осуществляется с помощью системы ГЛОНАСС.

Методика исследования. Использовались коммуникативные методы при работе с экспертами и текстологические методы при изучении Федерального регистра агротехнологий и технологических адаптеров. Также использованы данные из периодически обновляемого реестра растений (формат MS Excel 97) и обновляемого реестра пестицидов и агрохимикатов (формат MS SQL Server Local Db).

Адаптация управляющего бортового компьютера «Агронавигатор Плюс» и робототехнических агрегатов по управлению дозой внесения сыпучих агрохимикатов для использования сгенерированных в программном обеспечении карт-заданий осуществлялась путем модификации форматов передачи и отображения пространственно-ориентированных данных, а также унификации управляющих сигналов бортовой электроники.

Для апробации прототипа осуществлялась его интеграция с отечественным бортовым навигационным комплексом «Агронавигатор Плюс» и робототехническими агрегатами. Успешно выполнены полевые испытания на базе машин РМУ-8000 (Щучинский ремонтный завод, Беларусь) и Амазоне (Евротехника, г. Самара).

Обсуждение экспериментальных данных и результаты научных исследований. ***Программное обеспечение.*** Процесс проектирования технологий для растениеводства является частью подготовки производства в годовом цикле отрасли. Нами исследован процесс проектирования и выполнения агротехнологий в растениеводстве, определены основные процессы и информационные потоки типового сельскохозяйственного предприятия. Современные технологии производства продукции растениеводства состоят из семи производственных процессов:

1) «обработка почвы почвообрабатывающими орудиями»;

2) «применение удобрений»;

3) «подготовка семенного материала к посеву (посадке)»;

4) «посев (посадка)»;

5) «уход за посевами в период вегетации» (период регулирования естественного процесса фотосинтеза полезной биомассы, или период продукционного процесса);

6) «уборка урожая»;

7) «послеуборочная подготовка урожая к хранению».

Разработанное нами специализированное программное обеспечение позволяет планировать, корректировать и реализовывать агротехническую операцию «применение удобрений», как одну из наиболее приспособленных для дифференциации в системе точного земледелия. Основным программным модулем является «Редактор глоссария автоматизированных компьютерных систем проектирования агротехнологий» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018660783 от 31 июля 2018 года). Редактор глоссария является автономным программным модулем автоматизированной системы компьютерного проектирования технологий для растениеводства и предназначен для выполнения следующих задач:

- создание словарей терминов для различных областей человеческой деятельности (в том числе для сельского хозяйства)
- создание информационных структур для хранения произвольных данных в ситуациях, когда реляционные базы данных не подходят (невозможно создать схему БД в силу разнородности данных и т.п.)
- создание информационных структур для хранения произвольных данных в ситуациях, когда нереляционные базы данных не подходят (например, заменяет документоориентированные БД, когда требуется частое редактирование БД)
- создание информационных структур для хранения произвольных данных в ситуациях, когда на целевой системе по какой-либо причине невозможно или нежелательно использовать движок БД

- создание информационных структур в тех в ситуациях, когда программная платформа может активно использовать JSON (программирование на JavaScript, Web-программирование)
- создание набора типов без непосредственного использования языка программирования.

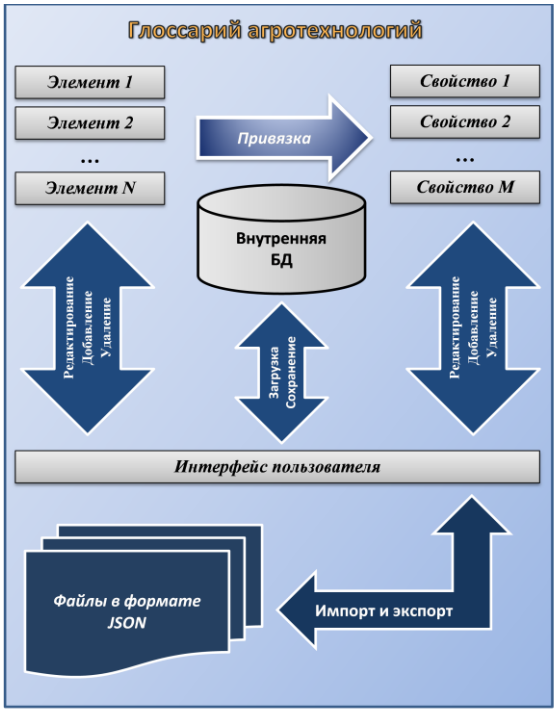


Рис. 21 Структурная схема модуля «Глоссарий автоматизированных компьютерных систем проектирования агротехнологий».

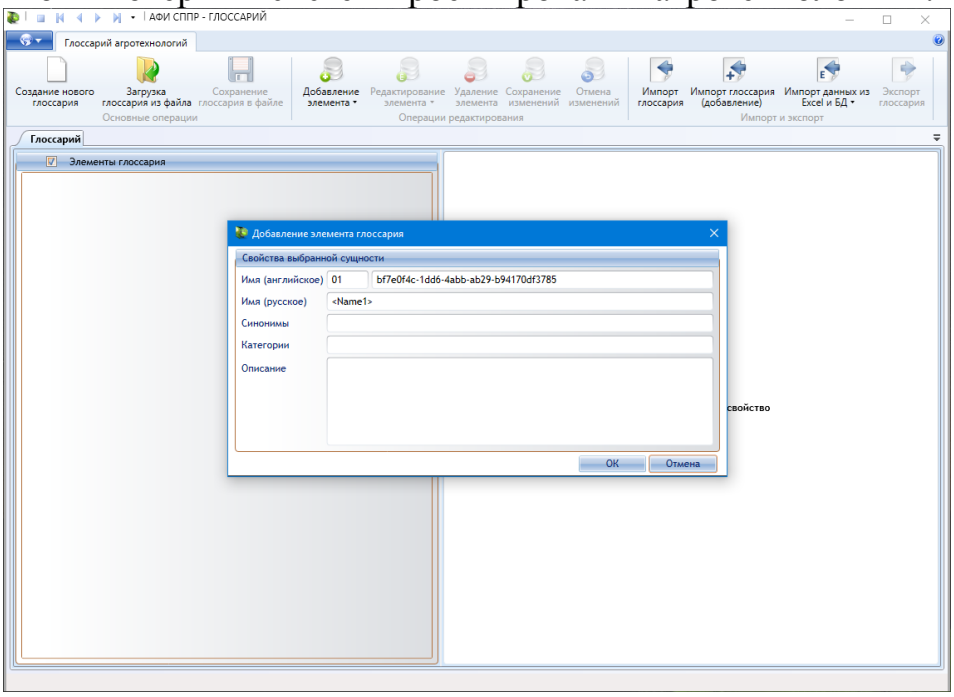


Рис. 22 Создание элемента глоссария и его свойств

Для работы и внутреннего хранения данных редактор глоссария использует стандартные реляционные БД (зависит от установленного в системе движка и провайдера БД; по умолчанию используется MS SQL Server CE). Однако редактор позволяет импортировать (экспортировать) данные словаря в формате JSON для использования данных другими модулями или программами.

Редактор глоссария имеет следующий набор функциональных возможностей:

1. *Из периодически обновляемого Реестра растений (формат MS Excel 97):*

- импорт оригинаторов (патентообладателей);
- импорт признаков сортов (мнемоники);
- импорт сортов растений;
- импорт родительских компонентов гибридов;
- импорт сортов-кандидатов на исключение;
- импорт сортов, не имеющих допуска (патенты);
- импорт аннулированных патентов.

2. *Из периодически обновляемого Реестра пестицидов и агрохимикатов (формат MS SQL Server Local Db)*

- импорт пестицидов;
- импорт агрохимикатов;
- конвертирование в другие форматы БД (зависит от установленных в системе движков и провайдеров БД).

Указанная выше функциональность означает, что соответствующие словари созданы в формате JSON и могут быть использованы для различных целей.

3. *Также в ручном режиме созданы следующие словари:*

- климатические зоны;
- типы почв;
- факторы возделывания растениеводческой продукции.

Общая дополнительная функциональность редактора глоссария содержит возможность конвертирования данных между различными табличными форматами (не требуется установка в системе MS Excel).

Используя разработанный и апробированный нами ранее программный модуль со встроенными инструментами ГИС, мы можем запланировать и сгенерировать электронную карту-задание на дифференцированное внесение известковых мелиорантов или других сыпучих материалов. На рис.3. приведен пример создания карт-заданий для основного внесения удобрений и проведения азотных подкормок. Для генерации карты-задания основного внесения удобрений производится пространственная интерполяция результатов обработки данных почвенного агрохимического обследования. Размер ячейки интерполированной карты-задания выбирается равным ширине захвата разбрасывателя / опрыскивателя, который планируется использовать для дифференцированного внесения удобрений. Сгенерированная карта-задание переносится в бортовой компьютер трактора для реализации в поле.

Помимо широко распространенных форматов .shp и .kml разработанное программное обеспечение поддерживает достаточно широкий формат файлов:

Генерация карты-задания на проведение азотных подкормок на основе снимков посева с беспилотного летательного аппарата производится автоматически для каждого однородного участка поля, выделенных при дешифрировании аэрофотоснимков, и разбивается на более мелкие элементарные участки, которые представляют собой квадрат со стороной, равной ширине захвата сельскохозяйственной техники, для которой формируется карта-задание.

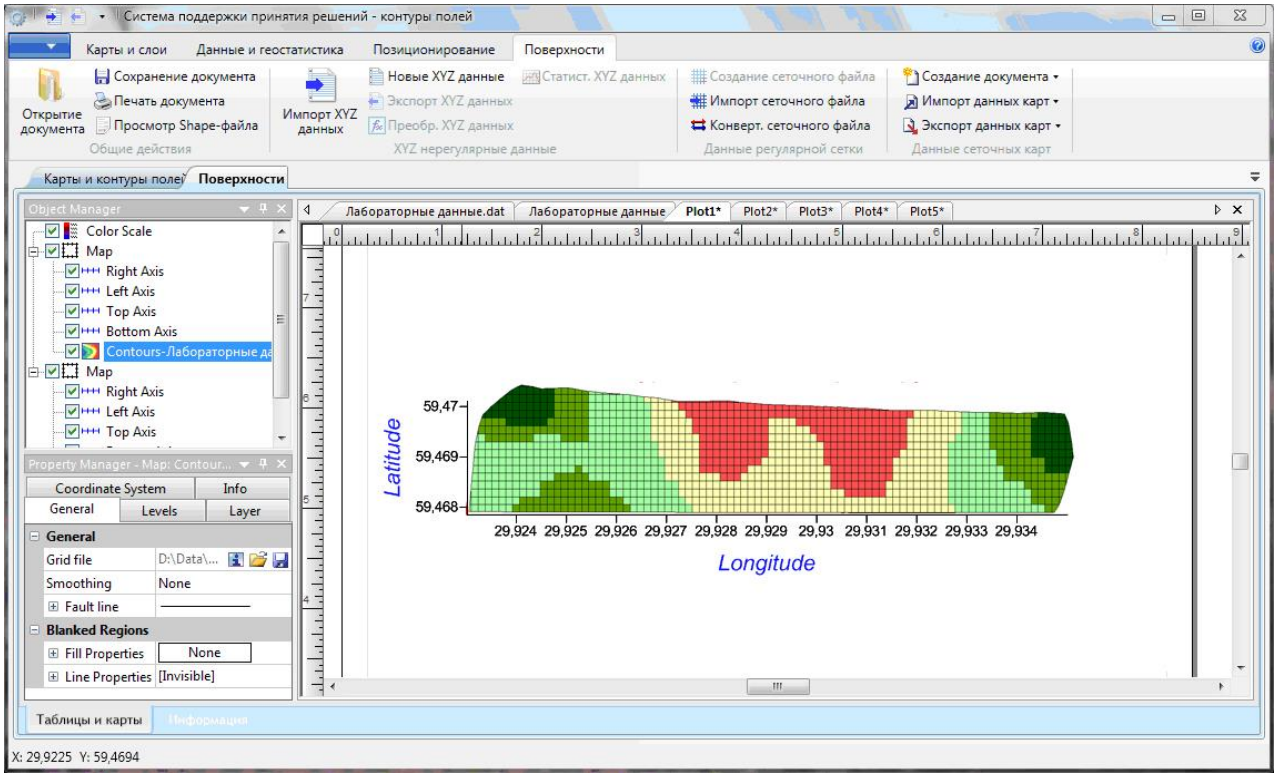


Рис. 23 Карта-задание, полученная в результате обработки данных по дозам внесения удобрений

Особенностью разработанного программного обеспечения является встроенный редактор формул расчета доз удобрений на основании данных о свойствах каждого элементарного участка поля, а также специализированный редактор свойств с типом “нечёткое значение”. Это позволяет проводить пространственно-ориентированный расчет доз агрохимикатов с помощью нечетких вычислений, что представляется важным в условиях часто встречающейся неопределенности значений параметров, характеризующих агрохимические свойства тех или иных элементарных участков поля.

Управляющий бортовой компьютер и робототехнические агрегаты. Для выполнения дифференцированного внесения агрохимикатов необходимо соответствующее программно-аппаратное оснащение сельскохозяйственной техники, совместимое с программным обеспечением для планирования операции. Нами использовался бортовой навигационный комплекс «Агронавигатор плюс», разработанный в ООО «Системы точного земледелия» (г. Новосибирск) (рис. 24). Навигационный комплекс

«Агронавигатор плюс» это система параллельного вождения автотракторной техники с функциями автоматического управления процессом дифференцированного внесения агрохимикатов.

Рис. 24 Навигационный комплекс «Агронавигатор плюс» с функциями автоматического управления процессом дифференцированного внесения агрохимикатов

Специальное роботизированное устройство, позволяет управлять двумя дозирующими заслонками разбрасывателя удобрений в ходе движения, которым можно дооснастить сельскохозяйственную технику, изначально не предназначенную для дифференцированного внесения. Это значительно удешевляет процесс внедрения технологий точного земледелия и расширяет диапазон используемой техники (рис. 25).

Навигационный комплекс «Агронавигатор плюс» комплектуется приёмником спутниковых навигационных сигналов системы ГЛОНАСС и обеспечивает субметровую точность вождения техники. Характеристики ГЛОНАС/GPS встроенного приемника: 32 канала, частота фиксации координат 5 гц.

Рис. 25 Установленный бортовой комплекс «Агронавигатор Плюс» и линейные электроприводы, управляющие дозирующими заслонками распределителя твердых минеральных удобрений Амазоне ZA-M 1500

В навигаторе предустановлены три программы обработок:

- ОПРЫСКИВАНИЕ: навигация + автоматическое выдерживание нормы внесения раствора пестицидов при изменениях скорости обработки с автоматическим отключением форсунок/секций штангового опрыскивателя при заходе на ранее обработанный участок + дифференцированное внесение растворов пестицидов и жидких удобрений по картам -заданиям;

- ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ внесение удобрений: навигация + автоматическое выдерживание нормы внесения до 2-х видов гранулированных удобрений при изменениях скорости и местоположения агрегата на поле + забор почвенных проб на полях хозяйства.

- КОНТРОЛЬ ВЫСЕВА: навигация + вывод информации о параметрах работы системы контроля высева пневматического посевного комплекса + почвенное внесение КАС и ЖКУ по картам –заданиям.

Устройство для непрерывного автоматизированного контроля качества обработки почвы почвообрабатывающей машиной. В ходе научно-исследовательской работы нами также разработано техническое решение для контроля качества обработки почвы почвообрабатывающей машиной, предназначенное для использования в системах управления роботизированной техникой, работающей в составе технологий точного земледелия и агрегатируемое с бортовым компьютером «Агронавигатор

Плюс» (Патент на полезную модель «Устройство для определения качества обработки почвы почвообрабатывающей машиной» №182585 от 23 августа 2018 года). Возможно использование разработанного устройства и при испытании сельскохозяйственных машин.

Разработанное устройство обеспечивает непрерывный автоматизированный контроль качества обработки почвы непосредственно за почвообрабатывающей машиной. Устройство характеризуется тем, что оно состоит из координатной рейки с неподвижно укреплёнными на ней через каждые 5 см длины дальномерами; координатная рейка установлена на шарнире с гироскопом; шарнир с гироскопом жёстко закреплён кронштейном на раме почвообрабатывающей машины. Бортовой компьютер и навигатор являются неотъемлемой принадлежностью устройства, они установлены в кабине трактора, работающего с почвообрабатывающей машиной. Непрерывный автоматизированный контроль качества обработки почвы достигается без ручного труда при реализации следующего технологического процесса:

1. Устройство с дальномерами, неподвижно закреплёнными на рейке, поддерживаемой гироскопом в горизонтальном положении, движется вместе с почвообрабатывающей машиной, находится постоянно над обработанной ею почвой.

2. Дальномеры, при движении агрегата, непрерывно измеряют расстояние между координатной рейкой и неровностями почвы и направляют результаты в бортовой компьютер.

3. Бортовой компьютер, получая в режиме реального времени информацию о текущих координатах агрегата и от дальномеров выстраивает цифровую характеристику неровностей для каждой координатной точки обработанной площади.

4. Полученная информация трансформируется в пространственно-ориентированный слой в 3-D формате как оцифрованный профиль поля с

выделением координат участков с отклонением по качеству от установленных агротехнических требований.

Интеграция в единый комплекс. Разработанное программное обеспечение и навигационный комплекс «Агронавигатор плюс» с функциями автоматического управления процессом дифференцированного внесения агрохимикатов может быть интегрировано в единый программно-аппаратный комплекс на базе практически любого распределителя твердых минеральных удобрений. В полевых условиях мы проводили испытания на двух машинах: РМУ-8000 (Щучинский ремонтный завод, Беларусь) и Амазоне (Евротехника, г.Самара). Управляющим компьютером служит навигационный комплекс «Агронавигатор плюс» (рис. 26).

Рис. 26 Общая схема программно-аппаратного комплекса для дифференцированного внесения агрохимикатов

Рассмотренный программно-аппаратный комплекс является прототипом отечественного решения в области точного земледелия для дифференцированного внесения сыпучих удобрений! Прототип может быть использован также как относительно недорогое решение для внедрения технологий точного земледелия на неприспособленном для дифференцированного внесения машинном парке. Если распределитель удобрений не предназначен для дифференцированного внесения, то его можно укомплектовать дополнительным робототехническим оборудованием

– специальными электроприводами, позволяющим в автоматическом режиме управлять двумя дозирующими элементами.

В ходе научно-исследовательской работы нами также разработано техническое решение для контроля качества обработки почвы почвообрабатывающей машиной, предназначенное для использования в системах управления роботизированной техникой, работающей в составе технологий точного земледелия и агрегатируемое с бортовым компьютером. Возможно использование разработанного устройства и при испытании сельскохозяйственных машин.

В результате проведенных в 2018 году исследований разработан прототип программно-аппаратного комплекса на базе машины отечественного производства с использованием системы ГЛОНАСС для дифференцированного внесения известковых мелиорантов и других агрохимикатов.

10.2.2 «Интегрировать систему поливариантного анализа динамических моделей агроэкосистемы с картографическими сервисами и обеспечить работу с пространственными данными с координатной привязкой».

Цель исследования - разработать технологию работы с внешними источниками данных, необходимых для макромасштабного пространственного моделирования сельскохозяйственных процессов с использованием динамических моделей и апробировать её на примере оперативного сопровождения всей России.

Научная новизна исследования заключается в том, что впервые в рамках одной и той же информационной системы идёт работа в большом пространственном масштабе в рамках одного проекта. Также оригинальным является решение использовать опорные года для моделирования неизвестного отрезка погоды будущего.

Методика исследований. В качестве основного инструмента проведенных компьютерных экспериментов использовался вычислительный

комплекс «APEX-AGROTOOL-ГИС». Он представляет собой синтез трех независимых программных продуктов. Два из них представляют собой результат многолетних разработок коллектива лаборатории математического моделирования агроэкосистем Агрофизического НИИ. Это динамическая имитационная модель продукционного процесса «AGROTOOL» и платформа автоматизации многофакторных экспериментов и поливариантного расчета произвольных моделей агроэкологических процессов «APEX». Геостатистическая обработка и визуализация получаемых результатов осуществлялась в программном обеспечении ГИС общего назначения MapInfo, что давало возможность получать оценки для площадных объектов на основе полученных при моделировании значений в точках.

Обсуждение экспериментальных данных и результаты научных исследований. Представленный метод был апробирован на примере вегетационного периода 2017 г. для яровой пшеницы в среде APEX согласно общей методике, изложенной в соответствующей работе. Моделирование проводилось в 151 базовой точке, как описано в предыдущем разделе. В ходе апробации полный пересчет прогнозируемой урожайности в этих точках повторялся каждые 3-4 дня с учетом новой части фактических метеорологических данных и возобновленного краткосрочного прогноза погоды. Входные метеорологические данные до конца вегетационного периода были синтезированы путем подстановки значений из тестовых сценариев погоды, образующих пучок траекторий для будущей динамики посевов, как описано выше. Каждый такой прогноз через операции экспорта/импорта переносился в среду ГИС. При этом к каждой базовой точке добавлялись атрибуты, содержащие дату очередного прогноза и соответствующую урожайность. Далее в среде ГИС по значению атрибута урожайности строилась тематическая карта пространственного распределения урожайности в виде растра, в каждой ячейке которого урожайность рассчитывалась путем интерполяции значений соседних базовых точек. Такая процедура повторялась каждые 3-4 дня, то в конце

апробации был получен набор тематических карт на каждую дату прогноза. В результате, в частности, появилась возможность сделать из соответствующих изображений фильм, в котором кадрами являлись тематические карты, построенные в последовательные моменты прогнозов. Это является очень наглядной демонстрацией динамики изменения прогнозов урожайности. Избранные результаты апробации представлены на рис. 27.

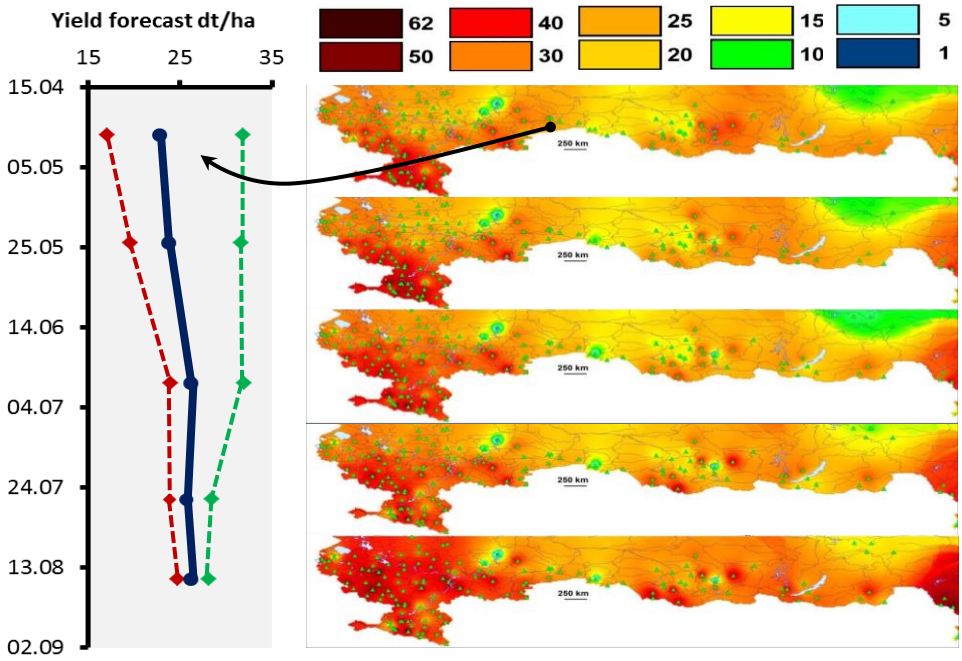


Рис. 27 Динамически скорректированный прогноз урожайности яровой пшеницы в сезоне вегетации в 2017 году для конкретного местоположения (левая часть) и в масштабе России (правая часть, средние значения). Зеленые треугольники – базовые точки

Можно видеть, что предлагаемая методика действительно позволяет оценить перспективы урожая в реальном времени как во временном, так и географическом аспектах. Метод позволяет анализировать эволюцию ожиданий относительно будущей доходности в течение вегетационного периода (т. е. для разных дат прогнозирования) для всех базовых точек вместе (тематическая карта среднего урожая в правой части рисунка) или, более подробно, динамику прогнозируемой средней урожайности, доверительный интервал урожайности для любой конкретной базовой точки (в левой части рисунка представлен график для базовой точки в Оренбургской области).

Разумеется, предлагаемая методика динамически скорректированного прогноза продуктивности в рамках долгосрочного численного эксперимента требует временных и вычислительных ресурсов. В то же время применение динамической модели урожая вместо упрощенных регрессионных моделей должно значительно повысить точность и уверенность прогноза. Можно заключить, что описанное исследование полностью лежит в русле наметившейся тенденции по существенному расширению традиционной сферы применения «одноточечных» динамических моделей продукционного процесса сельскохозяйственных посевов, а именно – к их использованию в проектах большого временного и пространственного масштаба [21]. Перечислим коротко некоторые вызовы и направления перспективных исследований в этом направлении.

1. Одной из важных черт современных систем автоматизации компьютерного эксперимента, подобных описанной выше среде APEX, выступает возможность интеграции с ними по единой схеме произвольных моделей из рассматриваемой предметной области. Таким образом, наряду с многовариантностью, они могут поддерживать и мультимодельность расчетов. Представляется крайне интересным осуществлять множественные прогнозные расчеты продуктивности для крупных территорий, ориентируясь не на единственную модель продуктивности (которая характеризуется специфическим характером учета или неучета различных факторов), а одновременно на несколько альтернативных моделей от разных коллективов разработчиков. Например, подобные ансамблевые расчеты с комплексированием полученных результатов широко используются в теоретической климатологии [46]. При этом данные реанализа показывают, что точность предсказания «коллективным разумом» в целом почти всегда оказывается выше, чем для самой лучшей отдельной модели.

2. Поддержка принятия технологических решений является даже более значимой целью создания прикладных моделей, нежели прогноз. Таким образом, естественным расширением описанного проекта является его

развитие от прогнозирующей до советующей системы. При этом в модельных расчетах появляется дополнительная «степень свободы». Наряду с естественным варьированием географической привязки и необходимым для получения представительных статистических выводов варьированием будущей погоды необходимо рассматривать альтернативные сценарии текущих и будущих управляющих воздействий на агроэкосистему с целью выбора из них наиболее выгодного варианта. Понятно, что при такой схеме проактивного, то есть основанного на модельных прогнозах (упреждающего) управления продукционным процессом на больших площадях, число требующих оперативного расчета вариантов возрастает на несколько порядков. Персональный компьютер в этом случае уже никак не может считаться адекватным инструментом проведения расчетов, и решение следует искать в современных информационных технологиях и возможностях современной вычислительной техники.

3. Для обеспечения эффективности выполнения множественных расчетов необходимо задействовать современные механизмы параллельных и распределенных вычислений. Действительно, сущность вычислительного проекта в данном случае состоит в многократном «прогоне» одной и той же модели с разными наборами входных данных. Количество подобных элементарных прогонов в серьезном проекте может быть очень велико (достигать нескольких миллионов), но, поскольку все они независимы друг от друга, то могут выполняться параллельно. Первым шагом в этом направлении может быть использование многопроцессорной техники и суперкомпьютеров, а еще более продвинутым подходом, не требующим привлечения специализированных аппаратных средств, – организация распределенного вычислительного кластера на базе облачных вычислений на множестве рабочих станций в глобальной сети.

4. Наконец, немаловажным аспектом прикладных научных разработок является методика их представления широкому кругу потенциальных пользователей-практиков. Для описанного проекта оперативного

прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур в среде ГИС это означает, что функционал модельных расчетов должен быть в идеале доступен любому заинтересованному пользователю. Естественным способом удовлетворения этого требования будет его оформление не в виде однопользовательского десктопного приложения, а в виде общедоступного Интернет-сервиса. Примером подобного приложения может служить Интернет-портал «Поля России», представляющий собой инициативный проект (стартап) московской компании jtSoft. В текущей версии данного решения любой пользователь имеет возможность выбрать на картах Яндекса произвольную географическую точку расположения, указать суммарную площадь посевных площадей, ввести минимальную информацию об используемой технологии (дату сева) и получить текущий прогноз ожидаемого урожая выбранной из предопределенного списка культуры как в весовом, так и в денежном выражении. В качестве информационной поддержки данного проекта используются описанная выше почвенная карта ЕГРПР и данные общедоступных метеорологических web-сервисов, а интеллектуальным ядром модельных прогнозов служит модель AGROTOOL. В перспективах развития данного проекта – реализация хранимых пользовательских профилей (описания виртуальных хозяйств с контурами полей, архивом введенных данных и выданных прогнозов и рекомендаций), расширение возможностей по детальному описанию используемых технологий, подключение альтернативных моделей продуктивности для осуществления ансамблевых расчетов и т.д.

1. Представлены результаты работ по интеграции системы поливариантного анализа динамических моделей агроэкосистемы с картографическими сервисами и обеспечению работы с пространственными данными с координатной привязкой

2. Предложен общий метод для использования произвольной модели урожая для динамически скорректированного прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур масштабах страны.

Разработано программное обеспечение, реализующее предложенный метод.

3. Основным подходом является интеграция динамических моделей урожая, внешних информационных ресурсов и ГИС на основе ранее разработанных универсальных систем компьютерной автоматизации многомерного компьютерного эксперимента (APEX).

4. Апробация метода проведена на примере компьютерного эксперимента для оценки урожайности яровой пшеницы на территории Российской Федерации для вегетационного периода 2017 года. Апробация показала работоспособность предложенного метода.

5. Полученные результаты вселяют уверенность, что такой же подход будет удобен для задач и других пространственных уровней, т.е. для мезомасштабных расчетов (модельный анализ и оптимизация сельскохозяйственных технологий в региональном масштабе) или микромасштабных расчетов (анализ эффективности технологий точного земледелия в масштабах конкретного сельхозпредприятия).

В результате проведенных в 2018 году исследований интегрирована система поливариантного анализа динамических моделей агроэкосистемы с картографическими сервисами и обеспечить работу с пространственными данными с координатной привязкой.

10.2.3.1 «Исследовать оптические характеристики посевов различных сельскохозяйственных культур, отличающихся архитектоникой, обеспеченностью элементами минерального питания и скоростью роста с целью разработки структуры базы данных для количественной оценки потребности растений в удобрении и пространственно-дифференцированного их применения».

Цель работы – исследовать оптическими неинвазивными методами влияние нормы высева семян, их качества, дозы внесенных азотных удобрений и зараженности сорняками на структуру и продуктивность посевов (на примере яровой пшеницы) и оценить изменение величины

вегетационного индекса NDVI в пределах поля для посевов с различным пространственным распределением растений (пшеница, картофель, капуста).

Научная новизна. Впервые контактными и дистанционными оптическими методами получены экспериментальные данные, свидетельствующие о влиянии различных технологических приемов выращивания (норма высева семян, уровни азотного питания, засоренность посевов и качество семян) на структуру посева и его оптические характеристики. Впервые выявлена зависимость величины и динамики изменения в онтогенезе вегетационных индексов NDVI и ADVI от нормы высева семян, уровня азотного питания и наличия сорной растительности.

Впервые в условиях многофакторного полевого эксперимента показано, что механизм негативного влияния засоренности посевов и повышенной нормы высева семян (600 семян/м^2 против 500 семян/м^2) на продукционный процесс растений включает снижение эффективности фотосинтетического аппарата, проявляющееся в уменьшении содержания хлорофилла (индекс хлорофилла (ChlRI), увеличении содержания флавоноидов (индекс флавоноидов - FRI) и усилении тепловой диссипации вследствие превращения пигментов ксантофиллового цикла (фотохимический индекс отражения – PRI), а также другими изменениями, которые сопровождаются торможением роста. Показано, что загущенный посев, наличие сорной растительности и дефицит азота приводят к уменьшению содержания воды в тканях листа (индекс воды – WRI). Предпосевное внесение азота способствует более эффективному преобразованию света в фотохимических процессах фотосинтеза.

Методика исследований. Объектом исследования служили посевы яровой пшеницы сорта Дарья. Растения выращивали на поле Меньковского филиала АФИ по схеме 4-факторного мелкоделяночного эксперимента. 1 фактор – обеспеченность растений азотом (Nitrogen rate), представлен в трех градациях доз аммиачной селитры, внесенной перед посевом (0, 60, 120 кг д.в./га – N0, N60, N120 соответственно). 2 фактор - норма высева семян (seeds

rate), обеспечивающая разную густоту стояния в посеве пшеницы (6,0 млн/га и 5,0 млн/га, т.е. 500 и 600 штук семян на кв. м – SR500 и SR600 соответственно). 3 фактор – разная степень засоренности посева (crop quality) – посев без сорняков и посев с сорняками. 4 фактор – качество (мелкие или крупные) использованных для посева семян (seeds quality). Размер опытной делянки 0,25 м^2, каждый из вариантов представлен в 6-кратной повторности. Почва опыта - дерново-слабоподзолистая среднеокультуренная лекгосуглинистая, мощность пахотного слоя - 22 см. Почва характеризовалась следующими показателями: pH $_{KCl}$ - 5,65; $H_Г$ - 3,87 мМоль(экв) 100 г$^{-1}$; $S_{обм}$ - 3,32 мМоль(экв) 100 г$^{-1}$; содержание гумуса - 2,07%, подвижных соединений фосфора и калия — 239 и 106 мг кг$^{-1}$ соответственно.

Спектральные характеристик диффузного отражения листьев определяли в начале стадии «выход в трубку». Спектры отраженной от поверхности листьев радиации регистрировали in situ с помощью миниатюрной оптоволоконной спектрорадиометрической системы фирмы Ocean Optics (США), которая обеспечивает оптическое разрешение 0.065 нм в диапазоне от 400 до 1100 нм с шагом 0,3 нм. Для регистрации спектров использовали полностью закончившие рост листья, располагая датчик в средней части листовой пластинки, избегая попадания на центральную жилку. Записанные спектры (25 спектров для каждого варианта) в цифровой форме переносили в программу Excel 2007, где рассчитывали средние значения коэффициентов отражения для каждой длины волны. По спектрам отраженной радиации определяли меру рассеяния света листом R_{800} и рассчитывали индексы отражения (содержание хлорофилла ChlRI, фотохимическая активность фотосинтетического аппарата PRI, содержание воды WRI, антоцианов ARI и флавоноидов FRI), характеризующие интенсивность и эффективность работы фотосинтетического аппарата.

Для удобства интерпретации полученных данных и получения положительных значений индексов отражения по всех вариантах опыта в расчетные формулы PRI, ARI и FRI была введена константная величина C, из

которой вычитались значения перечисленных индексов. Получали модифицированные индексы отражения: $PRI_{mod} = C_1 - PRI$, $ARI_{mod} = C_2 - ARI$, $FRI_{mod} = C_3 - FRI$. Величину C_1-C_3 подбирали экспериментально. Обычно для растений пшеницы, выращиваемой при естественном освещении, C_1 была равна 0,5; C_2 и C_3 — 0,7.

Во время основных фаз развития яровой пшеницы (кущение, выход в трубку, колошение, цветение) проводилась дистанционная аэрофотосъемка посевов. Цифровые изображения посевов (в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра) получали с высоты 75-120 м с помощью двух синхронизированных цифровых камер Canon G7X, установленных на квадрокоптере «Геоскан 401». Анализ цифровых изображений посевов и регистрация их спектральных характеристик проводились с помощью программы Erdas Imagine. При обработке оптических характеристик были рассчитаны вегетационные индексы NDVI (нормализованный относительный индекс растительности) и ARVI (устойчивый к влиянию атмосферы индекс растительности): $NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED)$ [14]

$$ARVI = \frac{NIR - Rb}{NIR + Rb}$$

где NIR и RED – отражение соответственно в ближней инфракрасной и красной области спектра, $Rb = RED - a * (RED - BLUE)$, как правило, a=1, при малом покрытии растительности и неизвестном типе атмосферы a=0.5.

Для количественного описания колориметрических характеристик посевов использовали 3-мерную модель цветового пространства CIE L*a*b* (или CIELAB), принятую Международной комиссией по освещению.

В период вегетации контроль динамики нарастания сухой надземной биомассы выполняли с помощью прибора Greenseeker™, позволяющего оценить величину NDVI. В конце вегетации была определена урожайность зерна, а также наиболее важные элементы его структуры: густота продуктивного стеблестоя и число зерен в колосе.

Статистическая обработка данных выполнена с применением программ

Excel 2010 и Statistica 8 («Stat-Soft, Inc.» США). Регрессионный и 4-факторный дисперсионный анализы выполнены в программе Statistica 8, оценка достоверности различий между вариантами оценена по критерию Дункана. Различия между вариантами считали достоверными при $p \leq 0,05$. Сила факторного эффекта (η^2 - Partial eta-squared) для уровня азотного питания, нормы высева семян, засоренности посева и крупности зерна определена в процентах как отношение соответствующей суммы квадратов отклонений изучаемых оптических показателей от их средних значений к общей сумме квадратов.

Обсуждение результатов научных и экспериментальных исследований. Анализ результатов многофакторного эксперимента показал, что максимальное влияние на урожайность пшеницы сорта Дарья оказала засоренность посева. Доля влияния данного фактора составила 64,9%. При SR500 на всех фонах азотного питания засоренность привела к снижению урожайности на 50%, а при SR600 - на 28% (урожай зерна рассчитан на единицу площади поля). Внесение азотных удобрений вне зависимости от засоренности привело к достоверному увеличению объемов сбора основной продукции. При этом следует отметить, что в незасоренных посевах эффективность удобрений в варианте SR500 была выше, чем в засоренных (13% и 7% соответственно), а при SR600 она оказалась сопоставимой (28% и 27% соответственно). Определение структуры полученного урожая показало, что уменьшение числа зерен является основным фактором, определяющим урожайность зерна в данных условиях. Засорение посевов также как повышенная норма высева существенно уменьшали количество формируемого зерна, тогда как предпосевное внесение азотных удобрений его увеличивало.

Анализ данных дистанционного мониторинга свидетельствует о зависимости показателей вегетационных индексов от густоты посева, уровня азотного питания и наличия сорной растительности. Максимальные величины индексов отмечены в фазу трубкования (в среднем по вариантам

0,56-0,63), минимальные — в фазу кущения (0,49-0,56). Данные, представленные на рисунке 1, показывают, что вне зависимости от наличия сорной растительности в варианте SR500 значения NDVI возрастали до фазы колошения, а в варианте SR600 его увеличение происходило только до фазы выхода в трубку. Вероятно, это связано с более быстрым смыканием растительного покрова в более плотном посеве (SR600). Поскольку NDVI тесно связан с индексом листовой поверхности и проективным покрытием почвы наличие сорной растительности вносит существенную ошибку в результаты дистанционной оценки посева. Вне зависимости от нормы высева и уровня азотного питания наличие сорной растительности существенно завышает значения NDVI, поэтому его величина не может быть критерием при оценке степени развития и состояния основной культуры (рисунок 3). Так, в варианте SR500 значения NDVI засоренных посевов при дефиците азота (N0) в 1,1 раз превысили значения NDVI посевов без сорняков при предпосевном внесении удобрений в дозе 60 и 120 кг д.в./га. Также следует отметить, что значения NDVI вне зависимости от нормы высева и засоренности посева несущественно различаются на фоне внесения азотных удобрений в дозах 60 и 120 кг д.в./га, что также не позволяет использовать их при оценке состояния посевов и принятии решений о необходимости выполнения подкормок азотом в период вегетации. Ситуация еще более ухудшается при высокой норме высева семян (SR600). В этом случае NDVI перестает реагировать на увеличение биомассы растений уже в ранние сроки вегетации (стадия «выход в трубку»), тогда как при разреженном посеве NDVI достигает максимальных значений в период колошения (рис. 28).

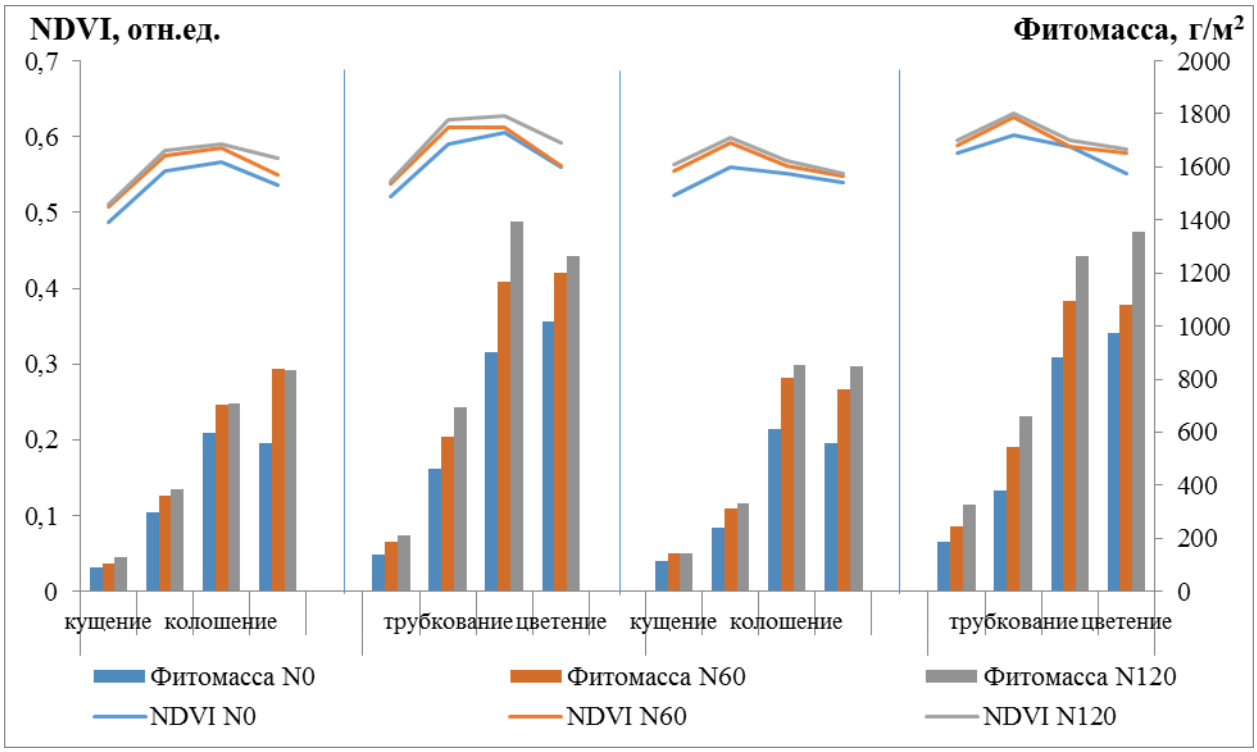


Рис. 28 Биомасса и NDVI посева на различных этапах развития растений пшеницы Дарья в зависимости от предпосевного внесения азотных удобрений, засоренности и нормы высева семян. Стадия развития: 1- кущение, 2 – трубкование, 3 – колошение, 4 – цветение. Норма высева семян (SR) – 500 и 600 штук/м^2

По результатам выполненного исследования взаимосвязь между биомассой растений и NDVI может быть описана уравнением линейной регрессии: B= 0.343+0.0023×NDVI (r=0.92; p=0.009; R^2=0.85) (1)

где B (биомасса растений) и NDVI определены в начале трубкования. Достоверная линейная связь между биомассой и величиной NDVI для более ранних и поздних сроков вегетации не обнаружена.

Результаты расчета показателей ARVI, представленные на рисунке 29, свидетельствуют, что вне зависимости от нормы высева наличие сорной растительности при всех уровнях азотного питания способствует увеличению значений данного индекса.

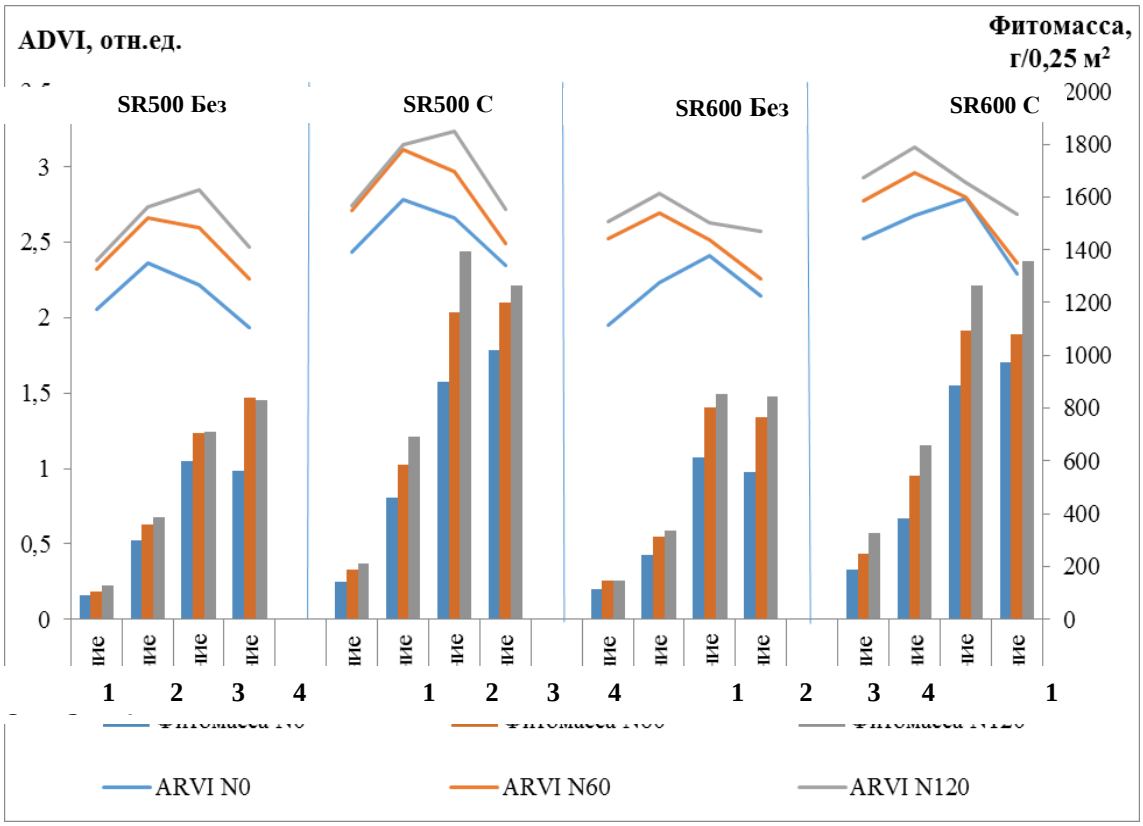


Рисунок 29 - Биомасса и ARVI посева на различных этапах развития растений пшеницы Дарья в зависимости от предпосевного внесения азотных удобрений, засоренности и нормы высева семян. Стадия развития: 1- кущение, 2 – трубкование, 3 – колошение, 4 – цветение. Норма высева семян (SR) – 500 и 600 штук/м^2

Также следует отметить, что при SR500 на фоне внесения азотного удобрения в дозе 60 и 120 кг д.в./га вне зависимости от наличия сорной растительности значения ARVI существенно не различались до фазы трубкования, а в варианте SR600 на фоне развития сорной растительности минимальные различия между величиной этого индекса были отмечены в фазу колошение-цветение при дефиците азота (N0) и предпосевном внесении 60 кг азота на га.

Существенным недостатком ARVI является быстрое достижение максимальных значений уже на самых ранних этапах развития растений. Практически во всех вариантах опыта максимальных значений ARVI достигал уже вначале стадии «выход в трубку», поэтому его использование для обследования посевов с целью обнаружения участков поля, требующих

внесения дополнительных удобрений и корректировки продукционного процесса, не позволит получить надежную и достоверную информацию.

Об изменении архитектоники растений пшеницы в зависимости от варианта их выращивания можно судить по изменению биомассы листьев и их доли в общей биомассе растений (рисунки 30).

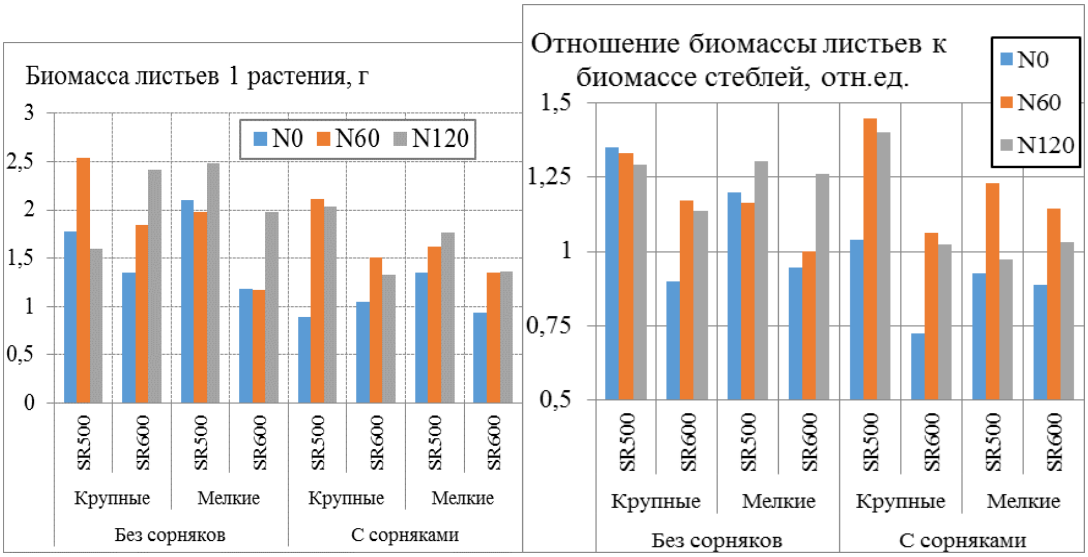


Рисунок 30 – Изменение элементов структуры посева пшеницы сорта Дарья в зависимости от обеспеченности азотом (N0, N60, N120), нормы высева семян (SR500 и SR600), засоренности посева и качества семенного материала (крупные, мелкие семена). Слева – Биомасса листьев, сформированных на одном растении, справа – отношение биомассы листьев к биомассе стеблей одного растения

Видно, что в варианте SR600 биомасса листьев меньше, чем в варианте SR500 при равной дозе внесенного перед посевом азота. В более плотном посеве уменьшается и отношение биомасса листьев/биомасса стеблей. В засоренном посеве доля листьев в общей биомассе растений также меньше.

Структура агрофитоценоза зависит от особенностей посева каждой сельскохозяйственной культуры, при высокой разрешающей способности оборудования для аэрофотосъемки можно получить дополнительную информацию о состоянии растительного покрова, сравнивая особенности распределения значений NDVI по полю. Рисунки 4-6 содержат информацию об изменении NDVI в пределах полей, занятых пшеницей, картофелем и капусты. Обычно посев пшеницы выполняют с шириной междурядий 10 см. В период трубкования растений посев становится сплошным и междурядья

не просматриваются (рисунок 31). Варьирование NDVI определяется лишь неоднородностью посева, связанной с неравномерным распределением питательных элементов, воды или другими причинами. В связи с этим варьирование NDVI находится в пределах от 0,4-0,5 (разреженный посев) до 0,6-0,7 (густой сомкнутый посев).

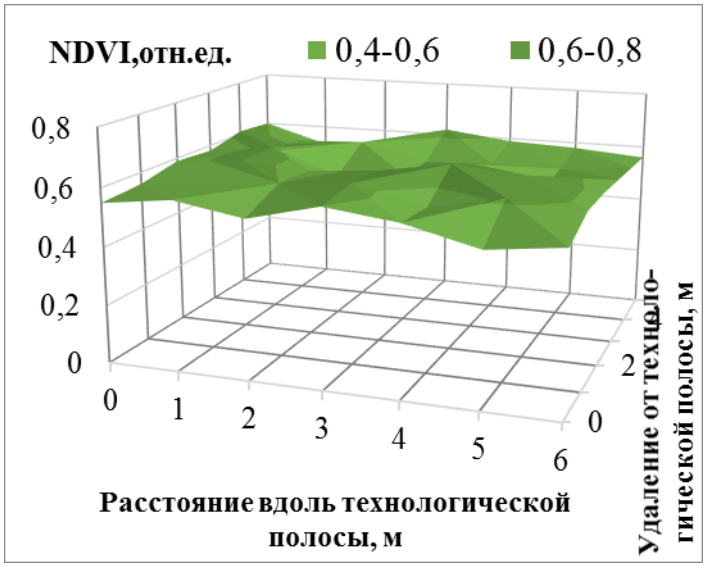


Рисунок 31 Распределение значений NDVI по полю пшеницы. Стадия «выход в трубку». Норма высева семян 6 млн. шт/га

Распределение NDVI по полю занятому картофелем позволяет выделить гребни с растениями (перед цветением) и борозды (рисунок 32). Поскольку снимок выполнен после окучивания растений, значения NDVI представлены величинами 0,025 – 0,035, характерными для открытой почвы (междурядья), и 0,25 – 0,70 непосредственно в гребнях. В последнем случае варьирование NDVI связано с разной густотой растений и различным их развитием, что сказывается на степени экранирования почвы.

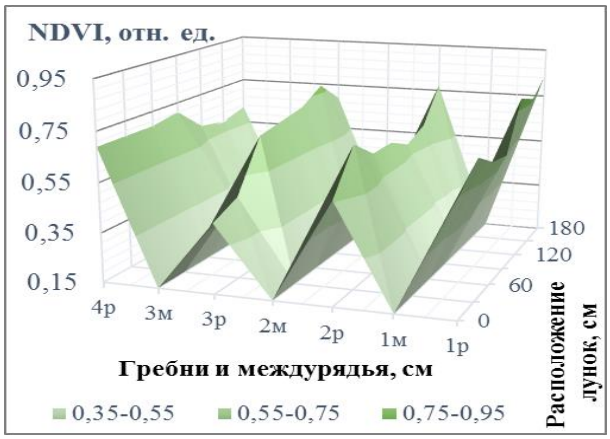


Рисунок 32 Распределение значений NDVI по полю картофеля.

NDVI на поле, занятому капустой существенно отличается для рядов и междурядий, а также изменяется в пределах одного ряда (рисунок 33). Видно, что при незначительном перекрывании поверхности почвы листьями растений распределение NDVI имеет весьма характерный вид.

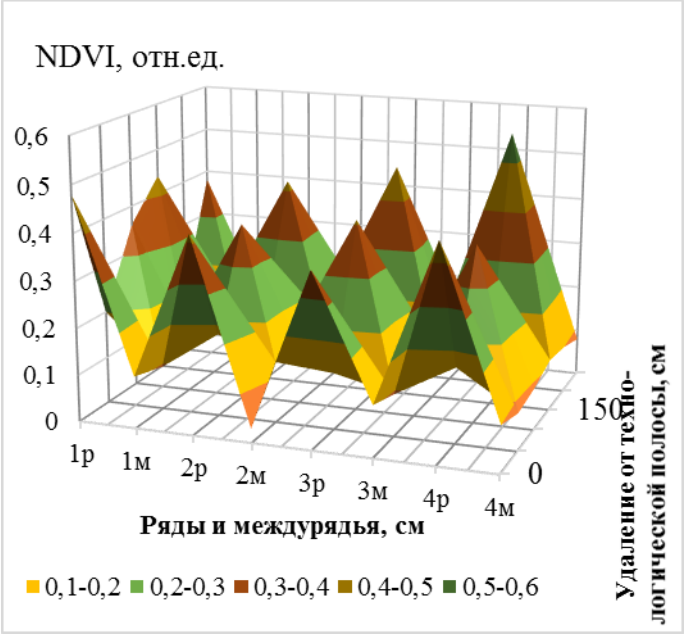


Рисунок 33 - Распределение NDVI по полю капусты. Начало формирования кочана

Таким образом, учет особенностей посадки растений, их распределения по полю и особенностей выращивания может дать дополнительную информацию, необходимую для идентификации культуры и диагностики состояния посевов на каждом поле, что позволит получить дополнительную информацию, необходимую для дешифрования аэрофотоснимков.

Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют, что доза азотных удобрений, густота стеблестоя (SR500 или SR600) и засоренность посевов оказывают достоверное влияние на содержание хлорофилла (индекс хлорофилла – ChlRI) в листьях пшеницы (таблица 16). Качество использованных для посева семян (крупные, мелкие) не оказало достоверного влияния на ChlRI. Сила влияния (η^2) уровня азотного питания на ChlRI оказалась наиболее высокой и достигла 38,6% от общей изменчивости признака в опыте. Небольшое (3,7%), но достоверное влияние оказала норма высева семян. Сила влияния засоренности посевов на этот показатель небольшая (1%), но достоверная (таблица 1).

Таблица 16 Оценка достоверности и степени влияния факторов, вызывающих изменение структуры посева, на величину индексов отражения листьев

Факторы воздействия	ChlRI		PRI_{mod}		FRI_{mod}		WRI	
	p	2	p	2	p	2	p	2
Intercept	0,0000	0,990	0,000	0,996	0,000	0,954	0,000	0,996
{1}Seed rate	0,0001	,037	0,63	0,001	0,001	0,027	0,000	0,344
{2}Seed size	0,523	0,001	0,477	0,001	0,946	0	0,1147	0,006
{3}Crop quality	0,038	0,011	0,017	0,014	0,000	0,145	0,0000	0,086
{4}N rate	0,0000	0,386	0,000	0,304	0,000	0,322	0,0000	0,12
Seed rate*Seed size	0,1045	0,007	0,001	0,029	0,016	0,014	0,7205	0
Seed rate*Crop quality	0,0107	0,016	0,161	0,005	0,658	0	0,0011	0,026
Seed size*Crop quality	0,0000	0,051	0,452	0,001	0,980	0	0,0007	0,029
Seed rate*N rate	0,0909	0,012	0,661	0,002	0,013	0,022	0,8409	0,001
Seed size*N rate	0,0679	0,013	0,074	0,013	0,145	0,01	0,4143	0,004
Crop quality*N rate	0,0091	0,023	0,047	0,015	0,029	0,018	0,0001	0,046
Seed rate*Seed size*Crop quality	0,5911	0,001	0,218	0,004	0,031	0,012	0,0022	0,023
Seed rate*Seed size*N rate	0,0009	0,034	0,001	0,037	0,078	0,013	0,7414	0,002
Seed rate*Crop quality*N rate	0,0081	0,024	0,528	0,003	0,001	0,032	0,3612	0,005
Seed size*Crop quality*N rate	0,4419	0,004	0,183	0,009	0,485	0,004	0,0000	0,058
1*2*3*4	0,9281	0	0,421	0,004	0,042	0,016	0,4992	0,003
Error								

Примечание - красным выделены статистически достоверные данные. Seed rate – норма высева семян 500 или 600 штук на м^2; Seed size – крупные или мелкие семена использованы для посева; Crop quality – засоренный посев или посев, обработанный гербицидами; N rate – разные уровни азотного питания.

Отсутствие в целом достоверного влияния качества семенного материала на индекс хлорофилла листьев сопровождалось статистически

значимым (p=0,002) увеличением этого показателя при повышенной норме высева (600 шт/м^2) на фоне дефицита азота (N0). При наличии сорняков достоверные отличия между вариантами "крупные" и "мелкие" семена вне зависимости от нормы высева имеются только при внесении перед посевом 120 кг/га азота. Посев мелкими семена в этом случае приводит к пониженному содержанию хлорофилла, о чем можно судить по меньшим величинам ChlRI листьев ($p \leq 0,025$).

Величина ChlRI тесно связана с уровнем азотного питания. При плотности посева 600 семян/м^2 внесение азотных удобрений перед посевом увеличивало содержание хлорофилла в листьях, о чем свидетельствуют большие величины ChlRI. При менее плотном посеве (SR500) и отсутствии сорной растительности различия по ChlRI между растениями, выращиваемыми при дефиците азота и при удобрении в дозе 60 кг/га, были недостоверными. В опыте обнаружено небольшое достоверное угнетающее влияние засоренности посевов на содержание хлорофилла в листьях пшеницы, которое усиливается при дефиците азота, увеличении нормы высева и посеве мелкими семенами.

Помимо изменения показателей, влияющих на интенсивность фотосинтетического аппарата растений (биомасса листьев и их доля в общей биомассе растений, содержание хлорофилла - ChlRI), примененные технологии выращивания изменяли также эффективность фотосинтетических процессов. Один из использованных в работе индексов – фотохимический индекс отражения (PRI), который был разработан для оценки скорости изменения относительного уровня пигментов ксантофиллового цикла, который является активным регулятором светового потока в пигмент-белковых комплексах. PRI обеспечивает быструю не требующую разрушения тканей листа, диагностику связанных с фотосинтезом физиологических свойств листьев и растительного покрова многих видов.

Изменение PRI во время вегетации растений может быть результатом сочетания работы ксантофиллового цикла и изменения общего пула

хлорофиллов и каротиноидов, который формируется в ответ на долговременную акклиматизацию растений к условиям их обитания. Величина PRI не зависит от структуры листа, а определяется содержанием каротиноидов и активностью их превращения в ксантофилловом цикле и поэтому может служить мерой эффективности использования энергии фотосинтетической радиации и превращения ее в химическую в фотосистеме II. По результатам многофакторного дисперсионного анализа статистически значимые отличия по величине PRI у растений, выросших из крупных и мелких семян отсутствовали, однако PRI растений из мелких семян был выше в засоренном и незасоренном посеве при норме высева 600 семян/м^2 вне зависимости от дозы азота. При SR600 и дефиците азота (N0) растения из крупных семян характеризовались большими величинами PRI как в засоренном, так и в чистом посеве.

Не наблюдалось статистически значимого влияния нормы высева семян (SR500 или SR600) на индекс фотохимической активности PRI, однако тенденция к увеличению этого показателя имеет место при более густом посеве (SR600) и при развитии сонной растительности, особенно выраженных при дефиците азота. Развитие сорной растительности способствует небольшому, но статистически значимому возрастанию PRI, что свидетельствует о снижении эффективности использования света посевом. Помимо содержания хлорофиллов и каротиноидов спектральные характеристики отраженной от поверхности листьев радиации определяются содержанием фенольных соединений, например, антоцианов и флавоноидов, присутствие которых изменяет как качество, так и количество света, попадающего на хлоропласты. Обычно увеличение содержания антоцианов и флавоноидов свидетельствует, что растения испытывают окислительный стресс и их метаболизм изменяется таким образом, чтобы устранить или уменьшить его последствия, удаляя свободные радикалы и перекисные соединения. В этом случае торможение роста и снижение интенсивности фотосинтеза является защитной реакцией растений, препятствующей

дальнейшему развитию окислительного стресса. Не было обнаружено изменения индекса антоцианов в зависимости от уровня азотного питания, засоренности посева, нормы высева семян или их качества. В таблице 1 приведены результаты дисперсионного анализа, иллюстрирующие влияние различных факторов на индекс флавоноидов – FRI.

Как было обнаружено, этот показатель очень зависит от условий вегетации растений. Наиболее сильным (η^2 = 32,2 %) оказалось влияние уровня азотного питания. Обращает на себя внимание, что в посеве с сорняками индекс флавоноидов оказался существенно выше, чем в чистом посеве (η^2 = 14,5 %). Эффект наиболее выражен при дефиците азота и в загущенном посеве. Небольшое (η^2 = 2,7 %), но достоверное (p= 0,001) влияние на индекс флавоноидов оказало также качество семян, использованных для посева.

Выполненное исследование показало, что отсутствует достоверная зависимость WRI от фактора «качество семян». В опыте индекс воды не менялся в зависимости от того был ли выполнен ли посев крупными или мелкими семенами (таблица 1). Остальные три фактора (норма высева, засоренность и уровень азотного питания) существенно изменяли величину WRI. Величина данного оптического показателя увеличивалась при норме высева 600 семян/м^2, засоренности и дефиците азота. Наиболее сильное негативное влияние на WRI оказала повышенная норма высева (SR600). Сила влияния густоты посева на индекс воды (η^2 = 34,4 %), даже превысила влияние уровня азотного питания (η^2 = 12 %), Отрицательное воздействие повышенной нормы высева обнаружено не только при дефиците азотного питания, но также при внесении азотных удобрений вносили перед посевом. Величина WRI достоверно снижалась при засорении посевов (η^2 = 8,6 %). Засоренность посевов и дефицит азота усиливали негативное влияние повышенной нормы высева.

Для количественного описания цвета была использована модель 3-мерного цветового пространства CIE L*a*b*или CIE LAB. Когда цвет

представляется в пространстве CIE L*a*b*, величина L* обозначает светлоту, a* — величину красной/зеленой составляющей, b* — величину желтой/синей составляющей. Оси a* и b* в цифровом выражении не имеют ограничений. Положительные значения *a** присущи объекту красного цвета, отрицательные – зеленого. Для объекта желтого цвета свойственны положительные значения *b**, отрицательные – для объекта синего цвета. Оси *a** и *b** пересекаются и представляют собой диаметры окружности, по периметру которой происходит изменение цветового тона, по радиусу — изменение насыщенности цвета.

Как показали результаты исследования колориметрические характеристики посева пшеницы наиболее заметно меняются в зависимости от уровня азотного питания, но также изменяются в зависимости от нормы высева семян и засоренности посевов (таблица 17).

Таблица 17 Изменение колориметрических характеристик посева пшеницы сорта Дарья в зависимости от уровня азотного питания, нормы высева семян и засоренности

SR, шт/м^2	NR, кг/гм	Колориметрические характеристики		
		L*	**a***	**b***
С сорняками				
500	0	51,7	-13,0	21,5
500	60	52,8	-19,0	21,1
600	0	51,8	-14,1	23,1
600	60	50,2	-17,5	20,7
Без сорняков				
500	0	52,2	-10,6	12,9
500	60	51,4	-13,1	13,3
600	0	50,8	-11,8	18,8
600	60	50,7	-15,2	17,5

Параметр L* трехмерной модели цветового пространства CIEL*a*b* при дефиците азота во всех вариантах немного увеличивается, свидетельствуя сто посев является более светлым, исключение составляет засоренный посев на фоне пониженной нормы высева (SR500), где внесение азота привело также к увеличению L*. Одной из возможных причин такого изменения может быть влияние почвы в колориметрические характеристики оцениваемого растительного покрова. Два хроматических компонента a* и b* более чувствительны к условиям выращивания. Сдвиг в сторону больших

отрицательных величин по оси a* свидетельствует, что при внесении азота растительный покров, формируемый посевом пшеницы имеет более насыщенный зеленый цвет. При более высокой норме высева (SR600 против SR500) отрицательные значения a* также оказались большими. Признаком дефицита азота является также увеличение значений параметра b*, что является признаком пожелтения листьев. Из общей закономерности выпадает разреженный посев, сформированный при дефиците азота и пониженной норме высева, что является следствием увеличения вклада почвы в колориметрические характеристики посева в целом.

В результате исследования впервые контактными и дистанционными неинвазивными методами получены экспериментальные данные, свидетельствующие о влиянии различных технологических приемов выращивания (норма высева семян, уровни азотного питания, засоренность посевов и качество семян) на структуру посева и его оптические характеристики;

Выявлена зависимость величины и динамики изменения в онтогенезе вегетационных индексов NDVI и ADVI от нормы высева семян, уровня азотного питания и наличия сорной растительности. Показано, что наличие сорной растительности существенно завышает значения NDVI, что затрудняет объективную оценку степени развития и состояния основной культуры. В случае, когда посев не загущен и не засорен, NDVI адекватно отражает динамику развития растений в посеве в первой половине вегетации вплоть до начала стадии «колошение». Установлено, что после смыкания растительного покрова, который сформировал посев, ни NDVI, ни тем более ADVI не могут быть использованы с целью обнаружения участков поля, требующих внесения дополнительных удобрений и корректировки продукционного процесса другими технологическими приемами, поскольку не позволяют получить надежную и достоверную информацию о состоянии растений.

Обнаружено, что при дефиците азота, при высокой норме высева семян или в засоренном посеве интенсивность фотосинтетического аппарата растений снижается, о чем свидетельствует уменьшение биомассы листьев, приходящихся на единицу поверхности почвы, и более низкое содержание в них хлорофилла. Установлено, что помимо снижения интенсивности фотосинтетического аппарата растений дефицит азота, высокая норма высева семян и засорение посева приводят к уменьшению эффективности использования света в процессах фотосинтеза. Симптомами угнетения роста растений при чем свидетельствует рост величин фотохимического индекса отражения (PRI) и индекса флавоноидов (FRI) свидетельствует о снижении эффективности использования света, и является симптомом угнетения роста растений. Предпосевное внесение азота способствует более эффективному преобразованию света в фотохимических процессах фотосинтеза. Засорение посевов, также как более высокая норма высева семян (600 семян/м^2 против 500 семян/м^2) негативно влияют на эффективность использования света.

Обнаружено, что индекс воды WRI возрастает в более плотном посеве, при засоренности и дефиците азота. Такие изменения свидетельствуют о меньшем содержании воды и вероятно являются признаком старения листьев и снижения их фотосинтетической активности. Наиболее сильное негативное влияние на WRI оказала повышенная норма высева. Отрицательное воздействие повышенной нормы высева сохранялось в вариантах с предпосевным внесением азота и при вегетации пшеницы в отсутствии сорной растительности. Диагностика состояния посевов по колориметрическим характеристикам (параметры L*, a*, и b* 3-мерной модели цветового пространства CIE L*a*b*) их цифровых изображений позволяет обнаружить изменения растительного покрова, связанные не только со степенью развития и густотой стояния растений (NDVI), но и с особенностями спектральных характеристик диффузного рассеяния листьев растений.

В результате проведенных в 2018 году исследований исследованы оптические характеристики посевов различных сельскохозяйственных культур, отличающихся архитектоникой, обеспеченностью элементами минерального питания и скоростью роста с целью разработки структуры базы данных для количественной оценки потребности растений в удобрении и пространственно-дифференцированного их применения.

10.2.3.2 «Провести испытания и усовершенствовать разработанные автоматизированные ресурсосберегающие технологии культивирования растений с использованием новых их форм с улучшенными хозяйственно-ценными признаками для повышения полноты реализации продукционного потенциала растений и получения растительной продукции с заданными качественными и функциональными характеристиками».

Цель работы – на основе фундаментальных знаний о закономерностях взаимодействия растений со средой обитания в регулируемых условиях и механизмах оптимизации их продукционного процесса разработать и усовершенствовать автоматизированные ресурсосберегающие безотходные технологии культивирования растений, в том числе новых форм с улучшенными хозяйственно-ценными признаками, на тонкослойном или малообъемном аналогах почвы при искусственном освещении для круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции в непосредственной близости от потребителя.

Научная новизна. Впервые в условиях интенсивной светокультуры разработана автоматизированная ресурсосберегающая технология культивирования плодоовощных растений на тонкослойном аналоге почвы при искусственном освещении для круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции в непосредственной близости от потребителя. Технологии включают использование оригинального вегетационно-облучательного оборудования различного типа (одно- и многоярусные вегетационные светоустановки с горизонтальным или

вертикальным размещением светильников), методов и приемов организации в нем световой и корнеобитаемой среды, агротехнологические способы и средства культивирования плодоовощных растений и воздействия на их продукционный процесс. Технологии предназначены для реализации в культивационных сооружениях, оснащенных микроклиматическим оборудованием и системами его регуляции.

Впервые исследована динамика целлюлазной активности комплексов гидролитического и оксигеназного типа в длительном процессе биологического ферментирования грунтово-растительных смесей и выявлено двухфазное развитие процессов разрушения целлюлозы с изменением соотношений по активности ферментативных систем указанных типов, определены факторы усовершенствования разрабатываемых биологически активных средств, обеспечивающих в конечном итоге безотходность производства растительной продукции. Эти факторы включают оптимизацию содержания ионов меди в подвижной форме; подбор субстратов, подходящих для стимулирования метаболизма микроорганизмов биологически активных средств; необходимость поддержания высокой температуры ферментируемых смесей.

На основании обобщения результатов исследований структурной целостности семян зерновых и овощных культур по оптико-морфометрическим показателям рентген-образов семян впервые выявлена обратная корреляционная зависимость рентгенографических показателей «оптическая» и «интегральная оптическая плотность» семян от их выполненности, а соответственно от уровня минерального питания, производимых подкормок растений органо-минеральными микроудобрениями, и разработаны методические указания «Неинвазивные технологии экспресс-оценки и отбора биологически полноценных семян для выращивания растительной продукции в вегетационно-облучательном оборудовании нового типа», применение которых позволит проводить экспресс-оценку и отбор биологически полноценных семян для

прецизионных экспериментов и промышленных технологий, а также осуществлять коррекцию приемов использования удобрений в полевых и регулируемых условиях на основе первичной информации о денситометрических показателях внутренней структуры семян.

Материально-техническая база. Исследования проводились в регулируемых условиях биополигона ФГБНУ АФИ. Для выращивания растений использовали оригинальные ранее разработанные и изготовленные лабораторные образцы вегетационных светоустановок (ВСУ). Компостирование растительных остатков проводилось в разработанных нами лабораторных ферментерах (30-литровые ведра без дна с крышками, обернутые термоизоляционным материалом Стенофон). Для оценки качественных характеристик семян проводили рентгенсъемку на рентгеновской установке ПРДУ-02, производства ЗАО «Элтех-Мед» с применением программного обеспечения «АргусСофт» («ВидеоТест»).

Методика проведения исследований. Формирование световой и корнеобитаемой среды осуществляли в оригинальных ранее разработанных и изготовленных лабораторных образцах вегетационных светоустановок (ВСУ). Устройство корнеобитаемой системы (КС) выращивания растений на ТАП описано в заявке на полезную модель № 2018132302/13 (052786) от 10.09.2018 г. «Фитотехкомплекс для выращивания растений». КС с ТАП включала растильни с подставками и крышками, гидрофильный тканевой материал типа лавсана с нанесенным на него тонким слоем природного вещества, являющегося источником микроэлементов, а также разработанные нами питательные растворы для огурца, дифференцированные по фазам развития и питательного раствора Кнопа для томата.

Формирование световой среды растений осуществляли с помощью разных источников света – газоразрядных натриевых ламп ДНаЗ-400 (ООО «Рефлакс») или светодиодных светильников с оптимизированным спектральным составом и регулируемой мощностью светового потока (ноу-хау), разработанных ФГБНУ АФИ совместно с ООО «02 Световые системы».

Характеристики светодиодных светильников приведены в отчете о НИР 2017 г. Один вариант светодиодных светильников излучал спектр, близкий к спектру дуговой натриевой трубчатой лампы (СД 1), в другом использовали смесь белых и красных светодиодов (СД 2).

Биохимический состав растительной продукции, характеризующий ее качество и безопасность определялись в аккредитованной Испытательной лаборатории ФГБНУ АФИ в соответствии с требованиями современных нормативных документов (ГОСТ 27997-88, 1988; ГОСТ 26176-91, 1991; ГОСТ 13496.19-93; ГОСТ 13496.4-93, 1993; ГОСТ 26226-95, 1995; ГОСТ 26570-95, 1995; ГОСТ 26657-97, 1997; ГОСТ 30502-97, 1997; ГОСТ 30504-97, 1997; ГОСТ 30692-2000, 2000; ГОСТ Р 51637-2000, 2000) и по общепринятым методикам.

Обсуждение экспериментальных данных и результаты научных исследований. Семена огурца и томата располагали на подставках. Плотность посадки растений: для огурца - 2 растения на лоток размером 60х20х18 см при выращивании под лампами ДНаЗ-400, 3 и 4 растения на лоток размером 72х20х15 при выращивании под светодиодами; для томата - 5 и 6 растений на лоток размером 120х20х9см независимо от источника освещения. При проведении сравнительных испытаний технологий выращивания на ТАП и малообъемном аналоге почвы (МАП). В качестве основы МАП использовали разработанный в ФГБНУ АФИ ранее субстрат «Агрофит».

Растения огурца выращивали в одноярусных ВСУ-1, оснащенными светодиодными источниками света и в ВСУ-2 под лампами ДНаЗ-400; растения томата - в ВСУ-1 под обоими типами светильников.

При выращивании огурца и томата под лампами ДНаЗ-400, ДНаТ-400 облученность растений составляла 75-90 Вт/м^2 ФАР, под светодиодными светильниками - 45-50 Вт/м^2 для огурца и 85-90 Вт/м^2 ФАР для томата, продолжительность светового периода – 16 часов в сутки. Температуру воздуха поддерживали в пределах +22-+24^{0}С днем и +18-+20^{0}С ночью,

относительную влажность воздуха -65-75%. На протяжении вегетационных периодов проводили фенологические наблюдения.

Исследование роста и продуктивности новых линий редиса с использованием кассетной малообъемной технологии (130 мл субстрата на растение) проводили по известным методикам при параметрах среды, аналогичных приведенным выше. Изучение особенностей роста редиса на ТАП проводили согласно вышеописанной методике. При этом сухие семена выкладывали на подложку с расстоянием 2 см в ряду и 10 см между рядами. До появления всходов над крышками свет над лотками с проростками не включали, а для оптимизации влажности воздуха лотки были накрыты укрывным материалом.

Для разработки технологии переработки растительных остатков и субстратов, отработанных в процессе выращивания на них растений, в 2018 году продолжены работы по изучению механизмов биокомпостирования субстратов с помощью выделенных ранее микроорганизмов с высокой целлюлозолитической активностью. Для культивирования целлюлозолитических микроорганизмов использовали селективную питательную среду на основе минеральной среды М9 в соответствии с общепринятыми в микробиологии методами. Целлюлазная активность исследуемых проб определяли фотометрическим методом в Испытательной лаборатории ФГБНУ АФИ. Целлюлазная активность бактерий – потенциальных продуцентов ПМО определялась с применением описанных в литературных источниках доноров электронов.

Растительные остатки овощного производства (томата, огурца, редиса) и отработанный субстрат – грунт на основе верхового торфа были получены с биополигона ФГБНУ АФИ. Компостирование растительных остатков проводилось в разработанных нами лабораторных ферментерах (30-литровые ведра без дна с крышками, обернутые термоизоляционным материалом Стенофон) при температуре окружающего воздуха +15 – +21°С и относительной влажности воздуха – 60 ± 5 %. Для приготовления

компостных смесей (КоС) использовали высушенные растительные остатки и отработанный почвенный субстрат. Последний был получен после выращивания на нем растений. Результаты химического анализа отработанного почвенного субстрата показаны в таблице 18.

Таблица 18 Агрохимический анализ отработанного субстрата

Анализируемый показатель	**Единицы измерения**	**Результаты испытаний**
1	**2**	**3**
Влажность	%	64,72
Зольность	% с.в.	32,14
Содержание орг. вещества	% с.в.	67,86
Содержание углерода	% с.в.	33,93
Содержание общего азота	% с.в.	3,46
Содержание общего фосфора	% с.в.	0,441
Содержание общего калия	% с.в.	1,245
1	2	3
Содержание общего кальция	% с.в.	1,92
Соотношение C/N		9,81
Содержание меди (валовая форма)	мг/кг с.в.	5,35
Содержание меди (подвижная форма)	мг/кг с.в.	0,03
Содержание цинка (валовая форма)	мг/кг с.в.	102,5
Содержание цинка (подвижная форма)	мг/кг с.в.	43,2
Содержание марганца (валовая форма)	мг/кг с.в.	86,5
Содержание марганца (подвижная форма)	мг/кг с.в.	7,72
Содержание железа (валовая форма)	мг/кг с.в.	8944,6
Содержание железа (подвижная форма)	мг/кг с.в.	10,6
Содержание кобальта (валовая форма)	мг/кг с.в.	4,83
Содержание кобальта (подвижная форма)	мг/кг с.в.	0,014
Содержание никеля (валовая форма)	мг/кг с.в.	14,6
Содержание никеля (подвижная форма)	мг/кг с.в.	0,307
Содержание свинца (валовая форма)	мг/кг с.в.	6,08
Содержание кадмия (валовая форма)	мг/кг с.в.	0,0085

Измельченные растительные остатки с отработанным субстратом помещали в ферментеры слоями. В качестве биологически активного средства (биодобавки) использовали культуральные жидкости микроорганизмов, обладающих целлюлозолитической активностью. Наработка культуральной жидкости осуществлялась в колбах Эрленмейера в условиях принудительной аэрации. В работе были задействованы выделенные штаммы микроорганизмов ПР-3 (эпифит огурца) и 5-М (выделен

из разлагающегося растительного опада). Биодобавки вносились в компостные смеси (КоС) в соответствие со следующей схемой (рис. 34):

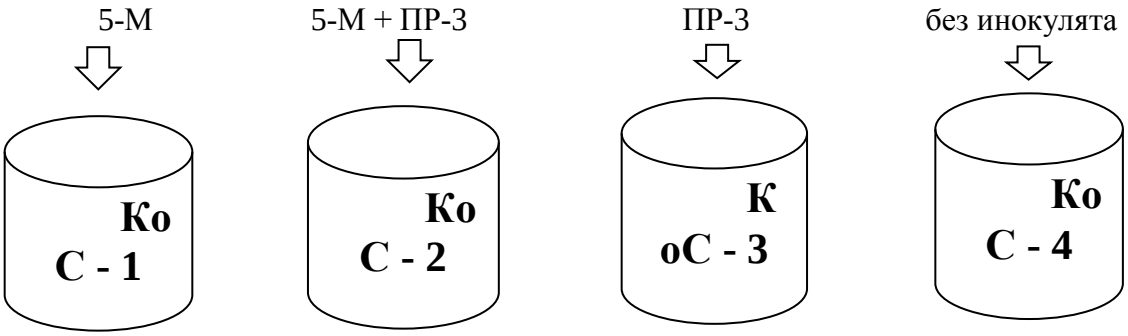


Рис. 34 Схема внесения биологически активных средств в ферментеры с КоС

В процессе компостирования смеси периодически перемешивались и увлажнялись. Влажность компостных смесей поддерживали на уровне 60-75%. Отбор проб для анализа проводили непосредственно после закладки компостных смесей – 0-е сутки, затем на 7-е, 14-е, 21-е, 28-е, 35-е, 49-е и 249-е сутки инкубирования. Отбирали среднюю пробу после перемешивания содержимого ферментеров.

Оценку качественных характеристик семян проводили с применением комплекса *методов исследования – мягколучевой микрофокусной рентгенографии с прямым* рентгеновским увеличением, метода проращивания семян в лабораторных условиях. Исследования проводили в соответствии со следующими нормативами: ГОСТ 12042-80; ГОСТ 12038-84; ГОСТ 12044-93; ГОСТ Р52325-2005, утвержденной методике рентгеновского анализа семян (1995). Исследовали следующие показатели качества семян: морфометрические - массу 1000 семян, энергию прорастания, всхожесть, ростовые характеристики ростков и корешков; биофизические – рентгенографические характеристики. Получение рентгенограмм выполнено с использованием рентгеновской установки ПРДУ-02, производства ЗАО «Элтех-Мед. Оценку структурной целостности семян и автоматический анализ денситометрических показателей, таких как средняя яркость, среднее квадратичное отклонение (СКО) яркости, оптическая плотность и интегральная оптическая плотность рентгеновского изображения семян,

проводили по программе «АргусСофт» («ВидеоТест»). Контроль стандартных весовых (масса 1000 семян, г) (ГОСТ 12042-80) и стандартных ростовых показателей (энергия прорастания, %; всхожесть, %) (ГОСТ 12038-84) был выполнен после интроскопической оценки.

1.1. Разработка автоматизированной ресурсосберегающей технологии культивирования плодоовощных культур на тонкослойных аналогах почвы для сооружений с искусственным климатом. Разработка автоматизированной ресурсосберегающей технологии культивирования плодоовощных культур на тонкослойных аналогах почвы (ТАП) с циркулирующим питательным раствором основана на идеологии академика РАН Е.И.Ермакова о создании «идеальных» оптимизируемых систем интенсивного выращивания растений в регулируемой агроэкосистеме. Обеспечение корней питательным раствором осуществляется по плоским капиллярам. Технология включает использование технических устройств, методов и приемов формирования световой и корнеобитаемой среды, реализованных в ранее созданном нами вегетационно-облучательном оборудовании. Устройство корнеобитаемой системы (КС) выращивания растений на ТАП описано в заявке на полезную модель № 2018132302/13 (052786) от 10.09.2018 г. «Фитотехкомплекс для выращивания растений». КС с ТАП включала растильни с подставками и крышками, гидрофильный тканевой материал типа лавсана с нанесенным на него тонким слоем вещества природного происхождения, являющегося источником микроэлементов, а также питательные растворы для огурца или томата. Устройство световой среды включало использование источников света с высоким КПД усвоения растениями лучистого потока: газоразрядных натриевых ламп (ООО «Рефлакс») и светодиодных светильников с разработанным нами оптимизированным спектральным составом и регулируемой мощностью светового потока (изготовитель ООО «О2 Световые системы»), а также светоотражателей, пускорегулирующей аппаратуры. В ВСУ-1, оснащенной газоразрядными натриевыми лампами

ДНаЗ-400 или светодиодными светильниками, предусмотрено их перемещение по мере роста растений. Размещение светильников обеспечивает равномерность облученности растений на полезной площади установки. В ВСУ-2 – источники света (газоразрядные натриевые лампы ДНаТ-400) расположены по вертикальной оси в центре установки. Наличие периметрических отражателей снижает потери светового потока и обеспечивает равномерность его распределения на полезной площади установки, занимаемой растениями. Проведены агробиологические испытания разработанной технологии на примере растений томата и огурца.

1.1.1. Влияние световой среды на продуктивность и качество плодовооовощной продукции огурца и томата при выращивании их на тонкослойном аналоге почвы. 1.1.1.1. Огурец. Изучение влияния особенности устройства световой среды, различающейся типом источника света: газоразрядные натриевые лампы ДНаТ-400 или светодиодные светильники СД-1, - на продуктивность и качество растений огурца проводили на гибридах F_1 отечественной (селекционно-семеноводческая фирма «Гавриш») и зарубежной селекции (табл. 19). Почти все отобранные гибриды F_1 средне- и длинноплодные, скороспелые, с хорошей отдачей урожая, генеративного типа развития, пригодные для светокультуры.

Полученные результаты позволили сделать следующие заключения: 1) показатели продуктивности гибридов огурца существенно выше при культивировании растений в условиях световой среды с газоразрялными натриевыми лампами по сравнению с отмечаемым под светодиодными источниками света. Так, у гибридов F_1 Нева и Карина, лидирующих по продуктивности среди гибридов отечественной селекции, гибридов F_1 Топлидер и Тристан зарубежной селекции масса плодов с растения под влиянием газоразрядных натриевых ламп ДНаТ-400 была выше таковой под светодиодными светильниками СД-1 на 33% и 25%, а также на 50% и на 32 % соответственно. Следует отметить, что зависимость продуктивности огурца от интенсивности светового потока была наиболее высокой у гибрида F_1

зарубежной селекции Топлидер, наименьшая – у гибрида F_1 Карина. Более высокие значения по продуктивности у гибридов зарубежной селекции связано с тем, что они длинноплодные, тогда как отечественные гибриды преимущественно среднеплодные, а соответственно размеры и масса плодов у последних существенно ниже таковых у длинноплодных.

Таблица 19 Показатели продуктивности гибридов F_1 огурца отечественной и зарубежной селекции при культивировании растений на ТАП под различными источниками света в регулируемых условиях

Гибрид F_1 огурца	Число плодов, шт.	Длина одного плода, см	Масса одного плода, г	Масса плодов, г / растение
Лампы ДНаТ-400 Огурец отечественной селекции				
Нева	12,0±0,2	20,2±0,2	150,6±3,0	1807,5±36,9
Карина	9,3±0,7	15,9±0,6	141,3±12,0	1297,5±62,9
Палермо	9,0±0,6	19,4±0,8	150,4±7,4	1351,3±91,3
Неман	9,3±0,4	17,9±0,4	130,6±4,8	1208,3±69,9
Квазар	8,0±1,0	17,2±0,4	145,4±4,6	1179,0±90,0
Огурец зарубежной селекции				
Топлидер	13,7±0,7	22,2±3,0	174,3±35,0	2375,0±110,0
Тристан	12,3±0,8	19,1±0,9	173,0±50,0	2125,0±161,0
Светодиодные светильники СД-1 Огурец отечественной селекции				
Нева	8,3±1,7	19,4±0,4	148,0±5,9	1220,7±150,0
Карина	8,0±1,9	15,5±0,8	126,1±14,4	974,0±48,0
Огурец зарубежной селекции				
Топлидер	7,5±0,5	21,6±1,2	157,7±38,0	1177,0±142,0
Тристан	9,0±0,9	18,3±0,7	161,2±48,0	1451,0±154,0

Более высокая продуктивность у гибрида F_1 Нева по сравнению с другими отечественными гибридами обусловлена формированием большего числа плодов на растении, более высокой длиной плода при практически равной его массе. Наименьшая продуктивность отмечена у гибрида Квазар. Остальные гибриды занимали промежуточное значение по показателям продуктивности и достоверно не отличались по значениям этих показателям друг от друга. Следует отметить, что урожай плодов огурца с учетом сбора их с двухметровых плетей испытуемых средне- и длинноплодных гибридов отечественной и зарубежной селекции составлял 88-170 кг в год с м^2, в то время как в современных мировых тепличных комплексах с досветкой искусственным светом он составляет 90-135 кг плодов средне- и

длинноплодных гибридов F_1 зарубежной селекции с 4-6 метровых плетей на 1 $м^2$ в год. Такая высокая производительность обусловлена оптимизацией условий выращивания растений и подбором их высокопродуктивных форм. Более низкая продуктивность растений под светодиодными светильниками связана, очевидно, с меньшей мощностью светового потока по сравнению с таковой под лампами ДНаТ-400, что свидетельствует о необходимости модернизировать светодиодные светильники, чтобы увеличить мощность их светового потока.

Сравнительная оценка биохимического состава плодов гибридов огурца, сформировавшихся при культивировании растений под лампами ДНаТ-400 и светодиодными светильниками свидетельствует о тенденции к увеличению зольных элементов и преимущественно достоверном более высоком содержании нитратов в плодах растений огурца под светодиодными светильниками по сравнению с таковым под лампами ДНаТ-400 (табл. 20).

Исключение составил гибрид F_1 Карина, у которого содержание нитратов не зависело от тестируемых источников света, а содержание витамина С достоверно был выше в плодах под светодиодными светильниками. Следует отметить, что в соответствии с данными о допустимых критических отклонениях от ПДК для ионометрического метода определения нитратов в продукции растениеводства, их содержание достоверно превышает ПДК в плодах гибридов, выращенных под светодиодными светильниками за исключением гибрида F_1 Карина. Таким образом, светодиодные светильники, сходные по спектральному составу с таковым у ламп ДНаТ-400, но имеющие более низкую, почти в 2 раза, мощность светового потока, способствовали получению растительной продукции огурца с большим содержанием минеральных зольных элементов, безопасной по содержанию тяжелых металлов, но превышающей по содержанию нитратов санитарно-гигиенические нормативы РФ.

Таблица 20 Показатели качества и безопасности плодов гибридов F_1 огурца отечественной и зарубежной селекции при культивировании растений на ТАП под различными источниками света в регулируемых условиях

Анализируемый показатель	Ед. измер.	Огурец отечественной селекции					Огурец зарубежной селекции	
		Нева	Карина	Палермо	Квазар	Неман	Топлидер	Тристан
Лампы ДНаТ-400								
Влажность	%	97,0	97,0	97,4	97,0	96,8	96,8	96,4
Витамин С	мг/100 г н.в.	5,90	4,45	4,44	5,98	6,21	3,74	3,30
Сырая зола	% а.с.в.	12,3	13,0	13,0	12,3	11,4	14,9	11,7
Нитраты	мг/кг н.в.	304	421	311	297	253	401	471
Свинец	мг/кг н.в.	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Кадмий	мг/кг н.в.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Мышьяк	мг/кг н.в.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ртуть	мг/кг н.в.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Светодиодные светильники СД-1								
Влажность	%	96,6	97,2	-	-	-	97,2	96,7
Витамин С	мг/100 г н.в.	6,07	5,72	-	-	-	3,08	3,30
Сырая зола	% а.с.в.	14,1	14,1	-	-	-	17,8	14,2
Нитраты	мг/кг н.в.	529	410	-	-	-	554	580
Свинец	мг/кг н.в.	<0,10	<0,10	-	-	-	-	-
Кадмий	мг/кг н.в.	<0,01	<0,01	-	-	-	-	-
Мышьяк	мг/кг н.в.	<0,05	<0,05	-	-	-	-	-
Ртуть	мг/кг н.в.	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-

Плоды огурца, сформированные под лампами ДНаТ-400 при облученности 80-85 Вт/м^2 ФАР, полностью соответствовали санитарно-гигиеническим нормативам РФ по содержанию нитратов и тяжелых металлов. Полученные данные свидетельствует о необходимости модернизации конструкции светодиодных светильников для обеспечения формирования светового потока мощностью 80-90 Вт/ м^2.

При выращивании растений огурца на ТАП под лампами ДНаТ-400 все испытуемые гибриды огурца отечественной селекции показали более высокие качество и безопасность растительной продукции по содержанию витамина С и нитратов по сравнению с таковым у гибридов зарубежной селекции.

1.1.1.2. Томат. Сравнительную оценку влияния источников света, различающихся по спектральному составу: лампы ДНаЗ-400, светодиодные светильники СД-1 И СД-2, - проводили на растениях томата сортов Наташа и Тимоша селекции ФГБНУ «Федеральный центр овощеводства». Растения карликового типа развития, компактные, не требуют пасынкования, подходящие для выращивания гидропонным методом в узкостеллажных и многоярусных светоустановках. Растения томата выращивали в ВСУ-1 на ТАП, размещая в каждом лотке длиной 1м по 6 растений.

Проведенные исследования показали, что оба сорта сформировали практически одинаковый урожай при выращивании их под лампами ДНаЗ-400 (табл. 21). Выращенные под светодиодными светильниками растения томата сорта Наташа показали тенденцию к более низкой продуктивности, а сорт Тимоша достоверно снижал ее на 34% (под СД-2) и на 37% (под СД-1) по сравнению с таковой под лампами ДНаЗ-400. Сорт Наташа проявил более выраженную реакцию на различия в спектральном составе между светодиодными светильниками СД-1 и СД-2 (тенденция к более низким показателям продуктивности под светодиодными светильниками СД -1), в то время как сорт Тимоша не показал различий в показателях продуктивности под данными светильниками.

Следует отметить, что светодиодные светильники обеспечивали достоверное или в виде тенденции снижение высоты растений.

Таблица 21 Показатели продуктивности сортов томата при культивировании растений на ТАП под различными источниками света в регулируемых условиях

вариант	Высота растений, см	Масса 1 плода, г	Число плодов, шт. / растение	Масса плодов г/растение	Число плодов шт./м^2	Масса плодов кг/м^2
Сорт Наташа						
Лампы ДНаЗ-400	38,3±2,0	7,1±0,5	48,0±6,0	340,8±66,6	1440±180	10,2±2,1
Светодиодные светильники СД-1	28,7±4,1*	5,6±0,5*	47,5±9,6	266,0±51,0	1425±289	8,0±1,5
СД-2	27,3±5,2*	7,0±1,0	44,5±7,0	311,5±73,0	1335±332	9,4±2,2
Сорт Тимоша						
Лампы ДНаЗ-400	41,0±1,0	7,6±0,4	42,0±4,0	319,2±47,2	1260±120	9,6±1,4
Светодиодные светильники СД-1	36,7±5,5	7,0±0,4	29,0±6,0*	203,0±38,0*	870±179*	6,1±1,1*
СД-2	35,0±5,5	7,2±0,6	29,2±8,0*	210,2±14,0*	875±236*	6,3±1,3*

Примечание: * - значение достоверно отличается от фонового контроля (сорт / лампы ДНаЗ-400) на 5%-ном уровне значимости

По содержанию нитратов и тяжелых металлов растительная продукция томатов полностью соответствует гигиеническим нормативам РФ. Сформированные под газоразрядными натриевыми лампами ДНаЗ-400 плоды сортов Наташа и Тимоша достоверно не отличались по значениям показателей качества и безопасности. Светодиодные светильники СД-1, близкие по спектральному составу газоразрядным натриевым лампам ДНаТ-400, преимущественно не вызывали значимых изменений в химическом составе растений за исключением содержания нитратов. При этом отмечается разнонаправленные изменения содержания нитратов в плодах – у сорта Наташа – увеличение на 12 %, у сорта Тимоша снижение на 28 % относительно такового под лампами ДНаЗ-400. Светодиодные светильники СД-2 вызывали существенные изменения в качественном составе плодов томата. В них отмечается более высокое содержание витамина С – на 33% у сорта Наташа и на 28% у сорта Тимоша; содержание зольных элементов

(сырая зола) – на 2% (тенденция) у сорта Наташа и на 19% у сорта Тимоша; содержания нитратов – на 32% у сорта Наташа и на 62% у сорта Тимоша. Полученные данные свидетельствуют о том, что культивирование растений карликовых сортов томата на ТАП при плотности посадки 30 растений на 1 $м^2$ показало наилучшие результаты по продуктивности при хорошем качестве растительной продукции под газоразрядными натриевыми лампами по сравнению с тестируемыми светодиодными светильниками при одинаковой облученности растений. Для повышения показателей продуктивности и качества получаемой продукции томата необходимо провести исследования по изучению влияния плотности посадки растений на данные показатели при выращивании растений под лампами ДНаЗ-400. В связи с более высокой продуктивностью растений и качеством получаемой растительной продукции у сорта Наташа, рекомендуется применение данного сорта в дальнейших агробиотехнологических испытаниях. В отношении разработанных светодиодных светильников СД-1 и СД-2 для замены ими в будущем газоразрядных натриевых ламп требуется провести модернизацию их устройства для повышения эффективности светоотдачи светильников и мощности светового потока.

1.1.2. Влияние плотности посадки растений на формирование листовой поверхности и продуктивность огурца и томата при выращивании под светодиодными источниками света. 1.1.2.1. Огурец. Разработка технологии культивирования растений огурца на ТАП включает в себя не только формирование световой среды, но и определение оптимальной плотности посадки растений. Как известно, она оказывает влияние на развитие листовой поверхности, продуцирующей ассимиляты, и в конечном итоге, на рост плодов и продуктивность растений.

Большее количество листьев на растении при сходной площади листа способствовало формированию достоверно более значительной площади ассимилирующей поверхности листьев у гибрида F_1 Карина при менее плотной посадке растений (табл. 22). У гибрида F_1 Нева при менее плотной

посадке также прослеживается тенденция к более высокой суммарной площади листьев на растении, но вследствие тенденции формирования более крупных листьев при сходном их количестве на растении. Более значительная площадь ассимилирующей поверхности листьев растений, отмечаемая при менее плотной их посадке, способствовала, очевидно, увеличению массы листьев, стеблей, корней и, в итоге, числа плодов (тенденция) и массы плодов с растения (тенденция у гибрида F_1 Нева и достоверно у гибрида F_1 Карина).

В результате суммарная масса плодов у гибрида F_1 Карина с трех растений (2922,0 г) была практически равной таковой с 4 растений (2923,2 г) при больших дополнительных материальных и трудовых затратах в последнем варианте. У гибрида F_1 Нева суммарная масса плодов с трех растений (3662,1 г) была меньше на 29,7% по сравнению с таковой при плотности посадке в 4 растения на лоток (4750,0 г).

Таблица 22 Влияние плотности посадки на формирование листовой поверхности и продуктивность гибридов F_1 огурца Нева и Карина при культивировании растений под светодиодными светильниками в регулируемых условиях

гибрид	S 1 листа, $м^2$	S листьев с растения, $м^2$	Число плодов, шт.	Длина 1 плода, см	Масса 1 плода, г	Масса плодов растение, г
Нева 3 растения	0,070 ±0,006	1,54 ±0,28	8,3±1,7	19,4±0,4	148,0±5,9	1220,7±50
Нева 4 растения	0,062 ±0,003	1,34 ±0,17	7,8±1,3	19,3±0,3	154,2±6,5	1187,5±70
Карина 3 растения	0,051 ±0,002	1,31* ±0,05	8,0±1,2	15,5±0,8	126,1±4,4	974,0±78*
Карина 4 растения	0,052 ±0,008	0,97 ±0,01	6,0±1,0	15,1±0,6	123,7±9,0	730,8±70

Примечание: * - значение достоверно отличается от фонового контроля (гибрид / 3 растения) на 5%-ном уровне значимости

На основании полученных результатов можно рекомендовать применение плотности посадки 6 растений на 1 м в технологии их культивирования на ТАП под светодиодными светильниками для гибрида F_1 Карина и плотности посадки 8 растений на 1 м - для гибрида F_1 Нева.

1.1.2.2. Томат. Для выяснения влияния плотности посадки на формирование листовой поверхности и продуктивности томата, культивируемых на ТАП, растения высаживали по 5 и 6 штук на лоток. В результате на 1 м^2 ВСУ-1 формировали фитоценоз плотностью 25 и 30 растений соответственно.

Проведенные исследования показали, что плотность посадки оказала определенное влияние на формирование листовой поверхности и биометрические показатели растений томата (табл. 23). Так, наблюдалась явно выраженная тенденция к увеличению при более плотной посадке площади и массы листьев, а также стеблей и корней при равных значениях процентного содержания сухого вещества. Достоверно в данном варианте отличалась в более высокую сторону сухая масса листьев, что свидетельствует о сдвигах в перераспределении ассимилятов в сторону их накопления в вегетативных органах. Несмотря на положительную тенденцию к увеличению морфофизиологических и биометрических показателей роста вегетативных органов растений в варианте с высокой плотностью популяции растений, их продуктивность и качество плодов томата были существенно ниже таковых в варианте с менее плотной посадкой (табл. 24). Так, в варианте с более плотной посадкой растений томата по сравнению с другим вариантом на растении формировались плоды большей массы (на 19%), однако в существенно меньшем количестве (на 63%), и соответственно, на 1 м^2 (на 55%), что является причиной более низкой продуктивности растений (на 55%) и урожая плодов с 1 м^2 (на 47%). По всей видимости, формирование более высокой продуктивности растений при менее плотном фитоценозе происходило за счет усиления аттракции в репродуктивные органы и сохранения достаточно высокого уровня фотосинтеза.

В варианте с более плотной посадкой растений, а, следовательно, с существенно меньшими уровнем и равномерностью их освещенности, содержание витамина С в плодах было существенно ниже (на 13 %), а содержание нитратов – выше на 26%, чем в варианте с менее плотной

посадкой. Это, по всей видимости обусловлено известной прямой и обратной зависимостью изменения данных признаков от уровня светового фактора.

Таким образом, на основании проведенных исследований, при выращивании растений томата на ТАП под лампами ДНаЗ-400 рекомендуется плотность посадки 25 растений на 1 м^2.

1.1.3. Влияние способа формирования корнеобитаемой среды на продуктивность и показатели качества плодов плодовоовощных культур огурца и томата в регулируемых условиях. Для разработки автоматизированной ресурсосберегающей технологии культивирования растений огурца и томата в регулируемых условиях были предложены два способа формирования корнеобитаемой среды: малообъемной панопоники (МАП) на субстрате «Агрофит» и на тонкослойном аналоге почвы (ТАП). Для каждого способа определены составы питательных растворов, а также технические особенности их подачи к корневым системам растений. Оба варианта были отобраны для сравнения оценки особенностей роста, развития и формирования продуктивности у растений огурца и томата в сооружениях с искусственным климатом.

1.1.3.1. Влияние способа формирования корнеобитаемой среды на продуктивность и качество плодов гибридов F_1 растений огурца. Изучение влияния способа выращивания на продуктивность и качество плодов растений огурца проводили на примере наиболее урожайных среди испытуемых гибридов F_1 Тристан и Топлидер голландской селекции.

Формирование корнеобитаемой среды методом малообъемной панопоники по сравнению с таковым на тонкослойном аналоге почвы способствовало более высокой продуктивности растений и получению более качественной и безопасной растительной продукции, судя по содержанию нитратов в ней (табл. 25).

Таблица 23 Площадь листовой поверхности и биометрические показатели растений томата сорта Наташа при различной плотности их посадки на 1 м^2 вегетационно-облучательного оборудования с источниками света – газоразрядными натриевыми лампами

Плотность посадки растений, шт./ м^2	Площадь листьев, м^2 / растение	Высота растений, см	Число стеблей, шт./ растение	Листья			Стебли			корни		
				Сырая масса листьев, г	Сухая масса листьев, г	% сухого в-ва	Сырая масса стеблей, г	Сухая масса стеблей, г	% сухого в-ва	Сырая масса корней, г	Сухая масса корней, г	% сухого в-ва
25	0,42± 0,08	22,8± 2,1	7,8± 0,7	117,0± 25,1	14,8± 2,6	12,6± 1,0	68,0± 9,1	9,2± 1,3	13,5± 0,4	68,2± 9,0	7,4± 0,9	10,9± 0,8
30	0,54± 0,05	24,1± 3,0	6,8± 0,5	152,1± 14,9	19,5± 1,9*	12,8± 0,8	85,6± 8,6	11,4± 1,1	13,3± 0,4	72,3± 1,1	7,9± 0,7	10,9± 0,6

Примечание: * - отличия от фонового контроля (25 растений/ м^2) достоверны на 5%-ном уровне значимости

Таблица 24 Продуктивность и качество плодов томата сорта Наташа при различной плотности посадки растений на 1 м^2 вегетационно-облучательного оборудования с источниками света – газоразрядными натриевыми лампами

Плотность посадки растений, шт./ м^2	Масса 1 плода, г	Число плодов шт./растение	Масса плодов, г / растение	Число плодов, шт./м^2	Масса плодов, кг/м^2	Витамин С, мг/100 г а.с.в.	Нитраты, мг/кг н.в.
25	8,5±0,7*	74,1±15,0*	619,0±97,2*	1850±375*	15,5±2,4*	18,9*	129,7*
30	10,1±1,3	27,8±6,1	278,1±60,9	834±183	8,3±1,8	16,4	163,0

Примечание: * - отличия от фонового контроля (25 растений/ м^2) на 5%-ном уровне значимости

Следует отметить, что содержание нитратов достоверно не превышает ПДК. При этом количество нитратного азота в плодах растений гибридов F_1 Топлидер и Тристан, выращенных на МАП, было на 89% и 186% ниже, соответственно, по сравнению с растениями, выращенными на ТАП. По содержанию витамина С в плодах существенных различий между вариантами не отмечалось.

Таблица 25 Продуктивность и качество плодов гибридов F_1 огурца при выращивании растений на малообъемном или тонкослойном аналогах почв под лампами ДНаЗ-400 в регулируемых условиях

Корнеобитаемая среда	Гибрид F_1	Число плодов, шт /растение	Масса 1 плода, г	Масса плодов растение, г	Витамин С мг/100 г а.с.в.	Нитраты, мг/кг н.в.
МАП	Тристан	14,3±0,5*	263±16*	3761±0,7*	3,6±0,3	165*
	Топлидер	13,8±0,6	260±15*	3588±0,5*	3,1±0,4	212*
ТАП	Тристан	12,3±0,8	173±50	2128±0,2	3,3±0,4	471
	Топлидер	13,7±0,7	174±35	2384±0,1	3,7±0,5	401

Примечание: * - значение достоверно отличается от фонового контроля (гибрид / ТАП) на 5%-ном уровне значимости

Таким образом, у тестируемых высокоэффективных растений огурца гибридов F_1 Топлидер и Тристан более высокая продуктивность (на 34 и 43% соответственно) и качество растительной продукции получается при выращивании методом малообъемной панопоники по сравнению с таковыми на ТАП в регулируемых условиях. Однако при сравнении с данными по урожайности огурца голландской селекции (плеть 4 - 6 м) с единицы площади – 90-135 кг/м^2 в год в современных тепличных комплексах с досветкой искусственным светом, урожай, получаемый за год с 1 м^2, по разработанным нами автоматизированным технологиям культивирования растений (плеть 2 м) на тонкослойных и малообъемных аналогах почвы, - 150 и 271 кг у гибрида F_1 Тристан; 170 и 255 кг у гибрида F_1 Топлидер соответственно, существенно превышает (в 1,5-2 и более раз) таковой, полученный по современным гидропонным технологиям в сооружениях защищенного грунта.

1.1.3.2. Влияние способа формирования корнеобитаемой среды на продуктивность и качество плодов растений томата. Изучение влияния

способа формирования корнеобитаемой среды на показатели роста, продуктивности и качества плодов растений томата проводили на примере карликового сорта Наташа.

Исследования показали, что состав корнеобитаемой среды оказывает существенное влияние на рост, продуктивность и качество растительной продукции при выращивании растений томата в благоприятных условиях световой и воздушной среды (табл. 26).

Установлено достоверное увеличение высоты растений при выращивании томата на МАП «Агрофит». По остальным показателям отмечалась положительная тенденция к увеличению сырой массы и числа стеблей при выращивании растений на МАП «Агрофит» и массы одного плода, числа плодов, массы плодов с растения и с одного квадратного метра - при культивировании растений на ТАП.

Таблица 26 Показатели продуктивности томата сорта Наташа при выращивании растений на малообъемном (МАП) или тонкослойном (ТАП) аналогах почв под лампами ДНаЗ-400 в регулируемых условиях (плотность посадки растений – 25 растений на 1 м^2)

Корнеобитаемая среда	Высота растений, см	Сырая масса, г/растение	Число стеблей, шт. /растение	Масса 1 плода, г	Число плодов, шт /растение	Масса плодов, г /растение	Масса плодов, кг/м^2
МАП	28,3*± 1,8	240,0± 30,1	8,5± 0,3	7,6± 0,6	62,2± 3,3	473± 88	11,8± 2,2
ТАП	22,8± 2,0	185,1± 34,0	7,8± 0,7	8,5± 0,7	74,0± 15,0	619± 97	15,5± 2,4

Примечание: * - значение достоверно отличается от фонового контроля (сорт / ТАП) на 5%-ном уровне значимости

1.3. Усовершенствовать биологически активные средства на основе микроорганизмов с высокой активностью целлюлаз оксигеназного и гидролитического типа для повышения эффективности процесса биокомпостирования растительных остатков и отработанных субстратов при реализации разработанных автоматизированных ресурсосберегающих технологий культивирования растений в условиях интенсивной светокультуры. С целью повышения эффективности процесса биокомпостирования растительных остатков и отработанных субстратов при реализации разработанных автоматизированных ресурсосберегающих

технологий культивирования растений в условиях интенсивной светокультуры нами были получены в отчетном году экспериментальные данные, служащие основой для создания усовершенствованных биологически активных средств на основе микроорганизмов с высокой активностью целлюлаз оксигеназного и гидролитического типа.

Впервые проведено исследование динамики целлюлазной активности комплексов гидролитического и оксигеназного типа в длительном процессе ферментирования КоС. Выявлено 2 фазное развитие процессов разрушения целлюлозы. В первой фазе эксперимента происходило снижение активности изучаемых целлюлаз (4 недели инкубирования). Во второй фазе (на 5 неделю инкубации и далее) происходило увеличение активности целлюлазных ПМО. При этом активность гидролитических целлюлаз оставалась на низком уровне. Измерение целлюлазной активности на 249-й день ферментирования показало, что микроорганизмы продолжали синтезировать целлюлазы как гидролитического, так и оксигеназного действия, причем показатели активности ПМО составили 160% по отношению к показателям гидролитической активности.

Внесение нами ранее выделенных культур микроорганизмов, разрушающих целлюлозу, не оказало заметного эффекта на активности исследованных нами целлюлаз. Возможно, что КоС были обеднены субстратами, которые могли быть использованы этими штаммами микроорганизмов для роста и продуцирования целлюлаз. В частности, важным фактором является присутствие подвижных форм иона Cu^{2+}, необходимого для включения в активные центры ПМО. Выявлено, что отработанные грунтовые субстраты сильно обеднены подвижными формами ионов этого металла и, соответственно, требуется дополнительное введение солей меди. Так, общее содержание ионов меди в течение 49 дней эксперимента не показало значительных изменений, варьируя в пределах 5 – 7 мг/кг сухого веса КоС (рис. 35).

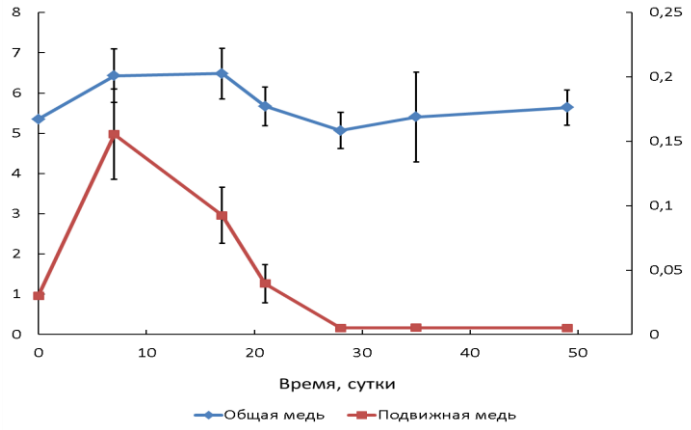


Рис. 35 Динамика общего содержания ионов меди и ее подвижных форм (показаны средние значения для 4-х ферментеров). Левая ось y – общая медь (мг/кг сухого веса КоС), правая ось y – подвижная форма меди (мг/кг сухого веса КоС)

Содержание подвижных форм ионов меди на 7 сутки эксперимента было максимальным и составило 2,4 вес.% от общего содержания меди и через 4 недели инкубирования КоС уменьшилось до предела обнаружения (< 5 мкг/кг сухого веса КоС, менее 0,01 вес.% от общего содержания меди). Очень низкое содержание растворенных ионов меди после месяца инкубирования могло лимитировать ускорение процесса разложения целлюлозосодержащих соединений оксигеназными целлюлазами. Расчет конкретного количества добавляемого медьсодержащего вещества требует дальнейших исследований. Следующим фактором увеличения эффективности биологически активных средств на основе микроорганизмов с высокой активностью целлюлаз оксигеназного и гидролитического типа является обеспечение адаптации этих микроорганизмов к жизнедеятельности в КоС при повышенных температурах. Известно, что отличительным свойством действия целлюлаз, продуцируемых мезофильными и термофильными микроорганизмами, является их термоустойчивость. Это выражается в максимальной скорости осуществляемой ими реакции при 50 – 60°С. Нами были проверены пробы КоС, отобранные на 249 сутки инкубирования, на предмет присутствия термостабильных классических и

оксигеназных целлюлаз. Результаты измерения активности целлюлазных комплексов показаны на рисунках 36 и 37, соответственно.

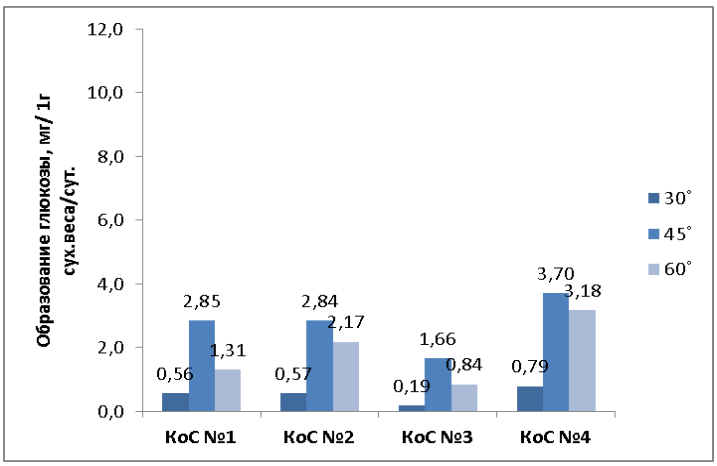


Рис. 36 Активности целлюлазных ферментов гидролитического типа в пробах КоС после 249 суток инкубирования. На рисунке показано среднее значение 2 измерений. КоС обозначены в соответствии с рис 28

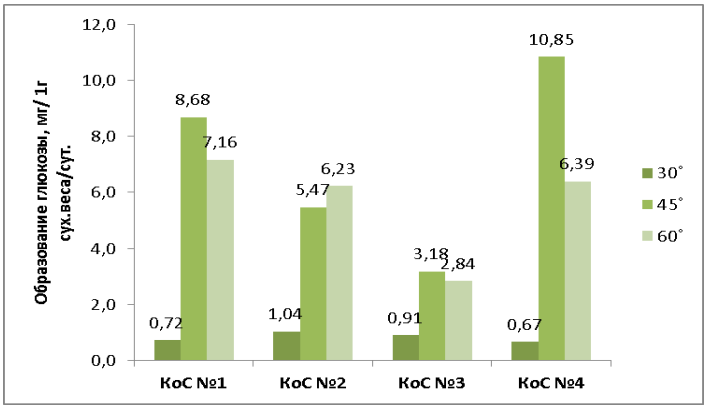


Рис. 37 Активности целлюлазных ферментов типа ПМО в пробах КоС после 249 суток инкубирования. На рисунке показано среднее значение 2 измерений. КоС обозначены в соответствии с Рис 28

Таким образом, проведенные исследования особенностей изменения целлюлазной активности выделенных микроорганизмов на протяжении биокомпостирования растительно- грунтовых смесей в естественных условиях и при температурном воздействии позволили: определить факторы усовершенствования разрабатываемых биологически активных средств. Эти факторы включают оптимизацию содержания ионов меди в подвижной форме; подбор субстратов, подходящих для стимулирования метаболизма микроорганизмов биологически активных средств; необходимость поддерживания высокой температуры ферментируемых смесей.

1.4. Выявить структурные и денситометрические характеристики рентгенобразов семян зерновых культур, коррелирующие с ростовым потенциалом выращенных из них растений в целях прогноза и количественной оценки потребности растений в удобрениях. От качества и однородности исходного семенного материала в существенной степени зависит урожайность сельскохозяйственной культуры и эффективность реализации разработанных технологий круглогодичного интенсивного производства растительной продукции. В отчетном году обобщены результаты исследований оценки структурной целостности семян зерновых и овощных культур на основе оптико-морфометрических показателей рентген-образов семян, коррелирующих с ростовым потенциалом выращенных из них растений. Выявлена на примере ряда зерновых культур обратная корреляционная зависимость рентгенографических показателей «оптическая» и «интегральная оптическая плотность» семян от их выполненности, а соответственно от уровня минерального питания, производимых подкормок растений органо-минеральными микроудобрениями.

Впервые получены яркостные разрезы или сканограммы рентгенобразов семян овощных культур, позволяющие оценивать степень скрытой поврежденности семени с учетом места положения дефекта. На примере огурца, томата, перца, редиса выявлено, что рентгенографический показатель - средняя яркость рентген-проекции - позволяет характеризовать степень дефектности семян. Характер вариабельности кривой средней яркости или яркостные разрезы показывают степень неоднородности рентген-проекции семени.

На основе обобщения полученных данных интроскопических характеристик семян разработаны методические указания «Неинвазивные технологии экспресс-оценки и отбора биологически полноценных семян для выращивания растительной продукции в вегетационно-облучательном оборудовании нового типа». В методических указаниях рассмотрены физико-

технические и инженерно-биологические основы неинвазивных технологий, предназначенных для отбора биологически ценных хозяйственно пригодных семян овощных культур, которые способны обеспечить увеличение выхода растительной продукции при выращивании в вегетационно-облучательном оборудовании нового типа. Даются практические рекомендации по выбору наиболее значимых рентгенографических показателей, коррелирующих с хозяйственной пригодностью семян в условиях светокультуры.

Показано, что полученные нами новые формы редиса, адаптированные к условиям интенсивной светокультуры, превосходят по продуктивности лучшие из родительских сортов на 40-70% и характеризуются высокой скороспелостью и товарностью. Они образуют товарные корнеплоды на 23-25 сутки от момента посадки, обладают высокой устойчивостью к стеблеванию. Экспериментально обоснована целесообразность выращивания редиса в светокультуре по разработанной автоматизированной технологии на малообъемном аналоге почвы на основе верхового торфа (из расчета не менее 250 мл субстрата на растение). При этом продуктивность новых линий существенно выше (до 6 кг/м^2 по сравнению с таковым в защищенном грунте – до 4 кг кг/м^2), *а качество продукции близко к таковому для редиса, произведенного в защищенном грунте. При уменьшении количества субстрата и выращивании на малообъемном аналоге почвы в кассетах* (КТ) или на тонкослойном аналоге почвы (ТАП) наблюдали увеличение срока получения корнеплодов, значительное снижение их массы и товарности при увеличении доли листьев в общей продуктивности растений. Планируется, что дальнейший стабилизирующий отбор в популяциях отобранных линий редиса приведет к созданию группы высокопродуктивных сортов с комплексом хозяйственно-ценных признаков, предназначенных для выращивания в условиях автоматизированной ресурсосберегающей технологии при искусственном освещении.

Исследование динамики целлюлазной активности комплексов гидролитического и оксигеназного типа в длительном процессе

биологического ферментирования компостных смесей позволило выявить двухфазное развитие процессов разрушения целлюлозы и определить факторы усовершенствования разрабатываемых биологически активных средств, обеспечивающих безотходность производства растительной продукции. Эти факторы включают оптимизацию содержания ионов меди в подвижной форме; подбор субстратов, подходящих для стимулирования метаболизма микроорганизмов биологически активных средств; необходимость поддерживания высокой температуры ферментируемых смесей.

На основании обобщения результатов исследований структурной целостности семян зерновых и овощных культур по оптико-морфометрическим показателям рентген-образов семян выявлена обратная корреляционная зависимость рентгенографических показателей «оптическая» и «интегральная оптическая плотность» семян от их выполненности, а соответственно от уровня минерального питания, производимых подкормок растений органо-минеральными микроудобрениями, и разработаны методические указания «Неинвазивные технологии экспресс-оценки и отбора биологически полноценных семян для выращивания растительной продукции в вегетационно-облучательном оборудовании нового типа», применение которых позволит проводить экспресс-оценку и отбор биологически полноценных семян для прецизионных экспериментов и промышленных технологий, а также осуществлять коррекцию приемов использования удобрений в полевых и регулируемых условиях на основе первичной информации о денситометрических показателях внутренней структуры семян.

На основании полученных результатов исследований и обобщения данных физического моделирования и изучения продукционного процесса растений в регулируемых условиях интенсивной светокультуры планируется подготовить технико-экономическое обоснование на создание фитотехкомплексов по круглогодичному ресурсосберегающему

безотходному производству качественной растительной продукции с заданными качественными и функциональными характеристиками.

Форма завершения работы. 1. Усовершенствованные автоматизированные ресурсосберегающие технологии культивирования листовых, листостебельных и плодовоовощных культур на малообъемных и тонкослойных аналогах почвы, обеспечивающие круглогодичное получение высоких урожаев растительной продукции с заданными качественными и функциональными характеристиками в оптимизированных регулируемых условиях при искусственном освещении. Оформлена заявка на полезную модель 65. Заявка на выдачу патента на полезную модель № 2018132302/13 (052786) от 10.09.2018 г. «Фитотехкомплекс для выращивания растений».

2. Методические указания «Неинвазивные технологии экспресс-оценки и отбора биологически полноценных семян для выращивания растительной продукции в ВОО нового типа».

3. Ноу-хау - новые формы редиса, адаптированные к условиям интенсивной светокультуры, превосходящие по продуктивности лучшие из родительских сортов на 40-70% и характеризующиеся высокой скороспелостью (23-25 суток) и товарностью. Продуктивность новых линий редиса в 1,5 раза выше при сходном качестве корнеплода (до 6 кг/м^2 по сравнению с таковым в защищенном грунте – до 4 кг кг/м^2) у редиса, *произведенного в современном защищенном грунте с досветкой искусственным светом.*

В результате проведенных в 2018 году исследований проведены испытания и усовершенствованы разработанные автоматизированные ресурсосберегающие технологии культивирования растений с использованием новых их форм с улучшенными хозяйственно-ценными признаками для повышения полноты реализации продукционного потенциала растений и получения растительной продукции с заданными качественными и функциональными характеристиками.

3. НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

В 2017-2018 г.г. учебном году в аспирантуре обучалось 7 аспирантов очной формы обучения и 2 аспиранта заочной формы. В 2018 году зачислены в аспирантуру 3 человека по направлению 35.06.01 «Сельское хозяйство» по очной форме обучения.

Обучение ведется по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 35.06.01 «Сельское хозяйство» на основании лицензии на осуществление образовательной деятельности №1246 от 19 января 2015 г., выданной Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки.

В рамках соглашения о сотрудничестве по реализации образовательных программ по подготовке научно-педагогических кадров в аспирантуре ФГБНУ АФИ на учебной базу ФГБОУ ВО СПбГАУ часть учебного плана аспирантов реализуется в СПбГАУ, в том числе такие дисциплины, как педагогика и психология высшей школы, иностранный язык, история и философия науки.

В текущем году защищены, выполненные в Агрофизическом НИИ две докторские диссертации по специальности 06.01.03 «Агрофизика» по сельскохозяйственным наукам. Утверждены приказами ВАК две кандидатские диссертации по сельскохозяйственным и билогическим наукам, защищенные в предыдущем году.

В выполнении научно-исследовательских работ принимали участие 108 научных исследователей, из них 74 научных сотрудника, в том числе 61 специалиста высшей квалификации: 16 докторов и 45 кандидатов наук. В институте работают 2 академика, 3 член-корреспондента, 2 человека являются Заслуженными деятелями науки и техники, 1 – профессор РАН.

Для выполнения работ по тематике института привлекаются специалисты других научных учреждений и высших учебных заведений Санкт-Петербурга – всего 12 человек, в том числе 4 доктора наук и 2 кандидата наук.

Научный потенциал АФИ
Подготовка и переподготовка научных кадров

№№ п/п	Наименование показателей	По состоянию на 01.12.18 г.
1	2	3
1.	**Научных сотрудников**, всего	**74**
	в том числе: главные научные сотрудники	12
	ведущие научные сотрудники	20
	старшие научные сотрудники	18
	научные сотрудники	15
	младшие научные сотрудники	9
	Руководители научных подразделений	**6**
	Инженерный и вспомогательный персонал	33
	Лаборанты всех категорий, в т.ч. техники	9
2.	**Специалисты высшей квалификации**, всего	**61**
	в том числе: доктора наук	16
	кандидаты наук	45
	из них: имеют ученое звание профессора, доцента, старшего научного сотрудника	10
3.	**Академики, члены-корреспонденты, заслуженные деятели науки и техники, работающие в институте**	5
4.	**Численность специалистов других НИИ и ВУЗов, привлеченных к выполнению НИОКР, всего**	12
	в том числе: доктора наук	4
	кандидаты наук	2
5.	**Общее число аспирантов**,	9
	в том числе: заочного обучения	1
	обучается в аспирантуре института	9
6.	**Общее число соискателей**,	1
	в том числе: степени доктора наук	-
	степени кандидата наук	1
7.	**Принято в аспирантуру**, всего	3
	в том числе: на заочное обучение	-
8.	**Защищено диссертаций**, всего	2
	в том числе: докторских	2
	кандидатских	-
9.	**Прошли переподготовку и повышение квалификации**	11
	в том числе за рубежом	-

4. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Научный потенциал института сосредоточен в 4-х научных отделах («Физики, физико-химии и биофизики почв», «Физико-химической мелиорации и опытного дела», «Светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем», «Моделирования адаптивных агротехнологий»), в 3-х самостоятельных лабораториях («Агроклимата», «Биохимии почвенно-растительных систем», «Средств инструментального контроля и информационно-измерительных систем») и в Меньковском филиале АФИ.

Действует диссертационный совет Д 006.001.01, утвержденный при ГНУ Агрофизический научно-исследовательский институт Россельхозакадемии, приказом Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки № 105/нк от 11 апреля 2012 г. Диссертационному совету разрешено проводить защиту диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по специальности 06.01.03 – агрофизика с присуждением ученой степени по двум отраслям науки: сельскохозяйственные и биологические.

За отчетный период проведено два заседания диссертационного совета по защите диссертаций. На рассмотрение диссертационного совета были представлены и успешно защищены две диссертации по специальности 06.01.03 – агрофизика, на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. Кроме того, утверждены приказами ВАК две кандидатские диссертации по сельскохозяйственным и биологическим наукам, защищенные в предыдущем году.

В 2018 году ученые Агрофизического института неоднократно выступали в качестве официальных оппонентов при защите докторских и кандидатских диссертаций в диссертационных советах сторонних организаций, а также представляли свои отзывы на рефераты докторских и кандидатских диссертаций.

Ведущие ученые Агрофизического института входят в состав диссертационных советов ряда организаций: Санкт-Петербургского государственного технического университета, Великолукской государственной

сельскохозяйственной академии, Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.

Тесное научное сотрудничество с Санкт-Петербургским государственным университетом, Санкт-Петербургским государственным техническим университетом и Санкт-Петербургским государственным аграрным университетом позволяет проводить набор аспирантов и молодых специалистов из этих ВУЗов.

5. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА И ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

В 2018 году научное оборудование лабораторий института пополнилось новыми приборами, компьютерами и прочими основными средствами на сумму 17,2 тыс. руб. Стоимость основных фондов составляет 252301,9 тыс. руб., в т.ч. по Меньковскому филиалу – 42537,5 тыс. руб. В настоящее время институт оснащен персональными компьютерами в количестве 104 штуки, в том числе Меньковский филиал в количестве 6 штук.

В институте функционирует современная полиграфическая база, обеспечивающая все потребности научного коллектива в изданиях собственного производства. Дальнейшее развитие материально-технической базы института предусматривает строительство нового лабораторного корпуса светофизиологии, а также расширение экспериментально-производственной базы Меньковского филиала, обеспечивающей полный технологический цикл возделывания сельскохозяйственных культур с использованием техники точного земледелия. Финансирование этого развития будет осуществляться за счет реализации инвестиционных проектов.

6. ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКАЯ И ПАТЕНТНО-ЛИЦЕНЗИОННАЯ РАБОТА

За отчетный годовой период по состоянию на 01.12.2018 г.

1. Получены **2** патента на **изобретение**:

1.1. Патент № **2643258** «Способ и устройство одновременного дифференцироанного внесения сыпучих агрохимикатов и сева». Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений РФ **31 января 2018 г.** Автор Михайленко И.М. Правообладатель ФГБНУ АФИ.

1.2. Патент № **2650534** «Способ дифференцированного управления орошением посевов и устройство для его осуществления». Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений РФ **16 апреля 2018 г.** Автор Михайленко И.М. Правообладатель ФГБНУ АФИ.

2. Получены **2** патента на **полезную модель**:

2.1. Патент № **181028** «Устройство для гидропонного бессубстратного выращивания растений». Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей РФ **05 июля 2018 г.** Авторы Конончук П.Ю., Судаков В.Л., Хомяков Ю.В., Панова Г.Г., Удалова О.Р. Правообладатели ООО «Агрофизика» и ФГБНУ АФИ.

2.2. Патент № **182585**1 «Устройство для определения качества обработки почвы почвообрабатывающей машиной». Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей РФ **23 августа 2018 г.** Авторы Ломакин В.С., Якушев В.В., Телал Б.А., Часовских С.В., Конев А.В. Правообладатель ФГБНУ АФИ.

3. Получены **4** свидетельства о государственной регистрации **программы для ЭВМ**:

3.1. Свидетельство № 2018615819 «Программа оптимизации норм высева семян». Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ **17 мая 2018 г.** Авторы Михайленко И.М., Тимошин В.Н. Правообладатель ФГБНУ АФИ.

3.2. Свидетельство № 2018615820 «Программа определения оптимальных сроков весеннего сева сельскохозяйственных культур». Зарегистрировано в

Реестре программ для ЭВМ **17 мая 2018 г.** Авторы Михайленко И.М., Тимошин В.Н. Правообладатель ФГБНУ АФИ.

3.3. Свидетельство № 2018615821 «Программа оценивания параметров состояния биомассы многолетних трав при заготовке кормов». Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ **17 мая 2018 г.** Авторы Михайленко И.М., Тимошин В.Н. Правообладатель ФГБНУ АФИ.

3.4. Свидетельство № 2018660783 «Редактор глоссария автоматизированных компьютерных систем проектирования агротехнологий». Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ **28 августа 2018 г.** Авторы Конев А.В., Часовских С.В., Ломакин В.С., Телал Б.А., Буре В.М., Якушев В.В., Матвеенко Д.А. Правообладатель ФГБНУ АФИ.

4. Поддерживаются в силе 10 патентов на объекты интеллектуальной собственности, из них **5 патентов на изобретение** и **5 патентов на полезную модель**.

Патенты на изобретение:

1. Патент № 2515389 «Кремнийсодержащее хелатное микроудобрение и способ его получения», приоритет 29.08.2012, авторы Аникина Л.М., Панова Г.Г., патентообладатель ФГБНУ АФИ, зарегистрирован 13.03.2014.
2. Патент № 2537912 «Способ автоматизированного управления состоянием посевов», приоритет 29.04.2013, автор Михайленко И.М., патентообладатель ФГБНУ АФИ, зарегистрирован 13.11.2014.
3. Патент № 2554987 «Устройство и способ дифференцированного внесения сыпучих агрохимикатов, приоритет 30.07.2013, автор Михайленко И.М., патентообладатели ФГБНУ АФИ и Михайленко И.М., зарегистрирован 03.06.2015.
4. Патент № 2643258 «Способ и устройство одновременного дифференцированного внесения сыпучих агрохимикатов и сева», приоритет 31.05.2016, автор Михайленко И.М., патентообладатель ФГБНУ АФИ, зарегистрирован 31.01.2018.

5. Патент №2650534 «Способ дифференцированного управления орошением посевов и устройство для его осуществления», приоритет 15.08.2016, автор Михайленко И.М., патентообладатель ФГБНУ АФИ, зарегистрирован 16.04.2018.

Патенты на полезную модель:

1. Патент № 108705 «Устройство для выращивания растений», приоритет 07.10.2010, авторы Желтов Ю.И., Панова Г.Г., патентообладатель ФГБНУ АФИ, зарегистрирован 27.09.2011.
2. Патент № 137446 «Устройство для выращивания растений», приоритет 27.08.2013, авторы Панова Г.Г, Черноусов И.Н., Александров А.В., Желтов Ю.И., патентообладатели ФГБНУ АФИ и ООО «Фитосфера», зарегистрирован 20.02.2014.
3. Патент №142236 «Многоярусное устройство для выращивания растений», приоритет 27.08.2013, авторы Черноусов И.Н., Александров А.В., Панова Г.Г., патентообладатели ООО «Фитосфера», ФГБНУ АФИ, Черноусов И.Н. и Александров А.В, зарегистрирован 20.05.2014.
4. Патент № 181028 «Устройство для гидропонного бессубстратного выращивания растений», приоритет 30.01.2018, авторы Конончук П.Ю., Судаков В.Л., Хомяков Ю.В., Панова Г.Г., патентообладатели ООО «Агрофизика» и ФГБНУ АФИ, зарегистрирован 05.07.2018.
5. Патент № 182585 «Устройство для определения качества обработки почвы почвообрабатывающей машиной», приоритет 12.04.2018, авторы Ломакин В.С., Якушев В.В., Телал Б.А., Часовских С.В., Конев А.В., патентообладатель ФГБНУ АФИ, зарегистрирован 23.08.2018.

Перечень полученных патентов и поданных заявок на патенты в 2018 г.

№ пп.	Номер патента и дата его регистрации. Номер заявки на патент и дата приоритета	Наименование патента, заявки на патент	**Заявитель:** Фамилия, имя, отчество авторов
1	2	3	4
а) Полученные патенты на изобретения и полезные модели			
1.	Патент на **изобретение** №2643258 зарег. 31.01.2018	Способ и устройство одновременного дифференцироанного внесения сыпучих агрохимикатов и сева	**ФГБНУ АФИ** Михайленко И.М.
2.	Патент на **изобретение** №2650534 зарег.16.04.2018	Способ дифференцированного управления орошением посевов и устройство для его осуществления	**ФГБНУ АФИ** Михайленко И.М.
3.	Патент на **полезную модель** № 181028 зарег. 05.07.2018	Устройство для гидропонного бессубстратного выращивания растений	**ФГБНУ АФИ ООО «Агрофизика»** Конончук П.Ю., Судаков В.Л.. Хомяков Ю.В.. Панова Г.Г., Удалова О.Р.
4.	Патент на **полезную модель** № 182585 зарег. 23.08.2018	Устройство для определения качества обработки почвы почвообрабатывающей машиной	**ФГБНУ АФИ** Ломакин В.С., Якушев В.В., Телал Б.А., Часовских С.В., Конев А.В.
б) Поданные заявки			
1.	Заявка на выдачу патента на **полезную модель** № 2018132302 приоритет 10.09.2018	Фитотехкомплекс для выращивания растений	**ФГБНУ АФИ ООО «Фитосфера»** Черноусов И.Н., Панова Г.Г., Удалова О.Р., Александров А.В.
2.	Заявка на выдачу патента на **селекционное достижение** № 8152826 приоритет 18.01.2018	Сорт турнепса АФИКО	**ФГБНУ АФИ ВИК им. Вильямса** Чесноков Ю.В., Косолапов В.М., Корнюхин Д.Л., Козлов Н.И., Трухан В.А.
3.	Заявка на выдачу патента на **селекционное достижение** № 8152827 приоритет 18.01.2018	Сорт турнепса Удачный	**ФГБНУ АФИ ВИК им. Вильямса** Чесноков Ю.В., Косолапов В.М., Корнюхин Д.Л., Козлов Н.И., Трухан В.А.

Перечень свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, полученных в 2018 г.

№ пп.	Номер свидетельства и дата его регистрации	Наименование программы для ЭВМ	**Заявитель:** ФИО авторов
1	2	3	4
1.	Св-во №2018615819 зарег. 17.05.2018	Программа оптимизации норм высева семян	**ФГБНУ АФИ** Михайленко И.М., Тимошин В.Н.
2.	Св-во №2018615821 зарег. 17.05.2018	Программа оценивания параметров состояния биомассы многолетних трав при заготовке кормов	**ФГБНУ АФИ** Михайленко И.М., Тимошин В.Н.
3.	Св-во №2018615820 зарег. 17.05.2018	Программа определения оптимальных сроков весеннего сева сельскохозяйственных культур	**ФГБНУ АФИ** Михайленко И.М., Тимошин В.Н.
4.	Св-во № 2018660783 зарег. 28.08.2018	Редактор глоссария автоматизированных компьютерных систем проектирования агротехнологий	**ФГБНУ АФИ** Конев А.В., Часовских С.В., Ломакин В.С.. Телал Б.А.. Буре В.М., Якушев В.В., Матвеенко Д.А.

7. МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

В 2018 году Агрофизический научно-исследовательский институт принимал участие в международном научно-техническом сотрудничестве с научными организациями Венгрии, Словакии, Китая, Молдовы, Германии, Швейцарии, Беларуси, Казахстана.

В рамках договора о научном сотрудничестве с Сельскохозяйственным Институтом, Центр Сельскохозяйственных Исследований Венгерской Академии наук (г. Martonvásár, Hungary) по теме: «Оценка изменений продуктивности и эмиссии закиси азота из сельскохозяйственных почв бореальной зоны при разных погодных условиях» (2018-2020 гг.) и гранта Венгерского государственного фонда Eötvös научный сотрудник Сельскохозяйственного Института Рената Шандор (PhD) прошла стажировку в Отделе физики, физической химии и биофизики почв Агрофизического института в феврале-мае 2018 года. Р. Шандор провела подбор и статистическую обработку многолетних экспериментальных данных по оценке изменений в эмиссии углекислого газа и закиси азота из сельскохозяйственных почв бореальной зоны при разных погодных условиях. Также, в рамках действующего договора была подготовлена заявка в фонд «Tempus Foundation» на проведение исследований по теме «Оценка влияния погодных условий и способов управления почвами и урожаями на органическое вещество почв и эмиссию парниковых газов», получившая поддержку. Грант будет реализован в 2019 году.

В рамках договора о научном сотрудничестве со Словацким Сельскохозяйственным Университетом (г. Нитра) по теме: «Потоки воды, газов и энергии в системе почва-растение-атмосфера в Дунайском регионе Словакии и северо-западного региона России» (2018-2022 гг.) в текущем году на основе гранта SAIA проведены совместные научные исследования по теме: «Анализ причин более медленного насыщения влагой пахотного слоя суглинистой лювисоли при сокращённой обработке почвы по сравнению с общепринятой обработкой». Совместные исследования предусматривали

определение основной гидрофизической характеристики и насыщенной влагопроводности в ненарушенных образцах почв, отобранных на участках с сокращённой и общепринятой обработкой. Результаты исследований показали, что объемы мезо- и макропор, а также насыщенная влагопроводность существенно не различались по слоям органогенного горизонта почвы при общепринятой обработке, тогда как при сокращённой обработке эти различия были достоверны. Эти различия являлись причиной более медленного насыщения влагой органогенного горизонта почвы при сокращенной обработке и вызывали задержки высокой эмиссии закиси азота из почвы.

В рамках договора о научном сотрудничестве с Пекинским научно-исследовательским центром интеллектуального оборудования для сельского хозяйства (BRCIEA) в области точного земледелия (2017 - 2021 гг.) и специального соглашения (ExchangeProgramAgreement) по реализации совместного проекта «Исследование и разработка систем навигации и автоматизированного управления движением тракторов и самоходных роботизированных сельскохозяйственных машин» подготовлена заявка на грант РФФИ «Совместный конкурс международных инициативных научно-исследовательских проектов РФФИ и Государственного фонда естественных наук Китая»№18-58-53012 ГФЕН-а, по теме: «Повышение точности и надежности выполнения технологических операций в растениеводстве за счет оптимизации функционирования систем навигации и управления движением тракторов и самоходных роботизированных сельскохозяйственных машин». Срок реализации проекта 2018-2020 гг. Срок рассмотрения заявки – декабрь 2018 г. Фундаментальная научная проблема, на решение которой направлен проект - разработка информационной теории систем автономной навигации и синтеза оптимального управления движением тракторов и самоходных роботизированных сельскохозяйственных машин.

В рамках договоров о научном сотрудничестве с Институтом генетики, физиологии и защиты растений и Университетом Академии наук Молдовы (Кишинев, Молдова) по теме: «Физиология, генетика, селекция и точное земледелие» (2018-2021 гг.) ученые Института генетики, физиологии и защиты растений приняли активное участие в работе Второй Всероссийской научной конференции с международным участием «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве», организованной Агрофизическим институтом, представили пленарный доклад «Methodologicalbasesformanagementofvegetablecropscultivationtechnology».
Дана рецензия на монографию «Основы управления технологическими процессами возделывания овощных культур в открытом грунте» (Ботнарь В.Ф., 2018). При подготовке монографии сотрудники отдела моделирования адаптивных агротехнологий консультировали автора по вопросам применения методов системного анализа и выработки агротехнологических решений.

В соответствии с договором о стажировке с ТОО «Костанайский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» (Республика Казахстан) в ФГБНУ АФИ проведена стажировка для пяти научных сотрудников Костанайского НИИСХ по теме «Сельскохозяйственное обследование полей и спутниковый мониторинг для целей точного земледелия».

В рамках договоров о научно-техническом сотрудничестве с ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева» (Республика Казахстан) и Республиканским унитарным предприятием «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» (Республика Беларусь) (2018-2022 гг.) в сфере научных разработок и внедрения современных технологий в области сельскохозяйственного производства проведены консультации по адаптации технологий точного земледелия на основе мониторинга и управления агроценозом при производстве сельскохозяйственных культур.

В 2018 году были продолжены совместные исследования в рамках научного сотрудничества коллективов Агрофизического НИИ (Санкт-Петербург, Россия) и Центра Изучения Аграрных Ландшафтов ZALF (Мюнхеберг, Германия) по теме «Разработка и использование динамических моделей продукционного процесса сельскохозяйственных растений в прикладных и теоретических задачах агроэкологии». В лаборатории математического моделирования систем АФИ продолжались работы по интеграции программного продукта немецких коллег – имитационной модели MONICA – в среду автоматизации многофакторных компьютерных экспериментов с динамическими моделями продуктивности APEX.

С 2015 года Институт выступает в роли координатора направления Coordinated Climate –Crop Modeling Project на территории СНГ в рамках международного проекта AgMIP (Agriculture Model Intercomparison and Improvement Project) и участвует в программе INMS (Международная инициатива по управлению азотом).

С 2016 года Агрофизический институт участвует в работе технического комитета ISTA (ISTA Advanced Technologies Committee, Швейцария) по новым технологиям (инструментальным технологиям оценки качества семенного материала: микрофокусная рентгенография, компьютерная микротомография, газоразрядная визуализация, терагерцовая визуализация).

Осуществляется обмен информацией с Институтом экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси в области физиологии и биохимии сельскохозяйственных растений, Менделевским Университетом (г. Брно, Чешская Республика) по изучению динамики продукционного процесса сельскохозяйственных культур в севооборотах для различных климатических условий, Международной организацией по обработке почв ISTRO и механизации полевых экспериментов IAMFE.

8. ПРОПАГАНДА И ОСВОЕНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК

В 2018 году учёные института приняли участие в работе: *выставок – 5, круглых столов – 1, семинаров – 2, форумов – 1, научно-производственных совещаний – 1, заседаниях Президиума Совета при президенте Российской Федерации – 1, дней поля – 1, научных конференций – более 15.*

25-27 января сотрудники АФИ приняли участие в работе Международной научно-практической конференции «Наука и образование как основа устойчивого развития Агропромышленного комплекса» проводимой на базе Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 26 - 28 сентября 2018 года в институте проходила Вторая Всероссийская научная конференция с международным участием «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве». В ней приняло участие 137 ученых и специалистов из 43 научных и образовательных организаций Москвы, Санкт-Петербурга, Новосибирска, Волгограда, Краснодара, Симферополя и других городов России, а также 15 представителей зарубежных стран Беларуси, Казахстана, Молдовы, Болгарии, Венгрии, Китая, активно занимающихся использованием и совершенствованием методов и средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве. Было заслушано 102 доклада. В ходе конференции институт заключил договор о двухстороннем творческом сотрудничестве с научно-исследовательским институтом сельского хозяйства Крыма (ФГБУН «НИИСХ Крыма») в сфере научных разработок в области совершенствования методологии формирования информационных ресурсов о состоянии плодородия земель сельскохозяйственного назначения. Кроме того, подписано соглашение о научно-техническом сотрудничестве с Государственным Университетом Молдовы на тему: «Исследование биохимических признаков качества культурных растений для проведения молекулярно-генетического анализа их геномов». В отчетном году сотрудники АФИ участвовали в международных, всероссийских, региональных

конференциях, проходивших в Санкт-Петербурге, Москве, Краснодаре, Ставрополе, Владимире, Твери, Суздали и Рязани. Выезжали с докладами за рубеж в Италию, Австрию, и др. страны. В конце августа коллектив АФИ принял активное участие в работе Международной агропромышленной выставки-ярмарки «Агрорусь-2018» (Санкт-Петербург). Организовано три конференции по таким актуальным направлениям как: На пути к умному сельскому хозяйству; Селекция новых сортов и гибридов растений, устойчивых к неблагоприятным условиям, болезням и вредителям, а также качество продовольствия и рациональное питание - залог здоровья нации. Сделано 7 научных докладов. 2 ноября 2018 года в Агрофизическом научно-исследовательском институте (АФИ) состоялась встреча с директором Департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений МСХ России, академиком РАН Петром Александровичем Чекмаревым в связи с подготовкой к «Всероссийскому Дню поля», проведение которого запланировано на 10-12 июля 2019 года в Ленинградской области. Директор институт Ю.В. Чесноков коротко рассказал об истории института, о передовых законченных научных разработках. Были представлены научно-методические основы и перспективы дифференцированного внесения удобрений по результатам мониторинга измерений оптических характеристик посевов, а также современные информационные технологии с использованием бортовой электроники, GPS/ГЛОНАСС-приемников, методы дистанционного зондирования, геоинформационных системах и системы поддержки принятия решений. показали полевой влагомер свежескошенных трав. Макет скважинного диэлькометрического измерителя вертикального профиля влажности почв. Большой интерес у гостей вызвали работы по использованию спутниковых и наземных наблюдений автоматизированным мобильным полевым агрометеорологическим комплексом с целью мониторинга составляющих энергетического и водного балансов на полях с различными культурами. Данный комплекс может одновременно измеряет скорость ветра, влажность воздуха, атмосферное давление, радиационный

баланс, радиационную температуру поверхности, суммарную радиацию. Был показан мобильный комплекс для внутрипочвенного измерения и картирования агротехнологических характеристик пахотного слоя почвы. Данное устройство обеспечивает непрерывное контактное измерение и определение в движении на ступенчато устанавливаемых глубинах от 15 до 30 см диэлектрическую проницаемость почвы, ее электропроводность, объемную влажность, температуру, плотность сложения и некоторые другие агрофизические свойства. Заведующая отделом светофизиологии Г.Г. Панова рассказала о современных фитотехкомплексах, представляющих собой совокупность инженерно-технических сооружений с регулируемыми условиями микроклимата и вегетационно-облучательным оборудованием, а также ресурсосберегающих технологий выращивания овощных культур. Данные комплексы весьма мобильны, просты в эксплуатации, высоко технологичны, более производительны. Сокращают срок вегетации и фитосанитарные риски выращиваемых культур в 1,5 раза.

Сотрудники АФИ совместно с Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого провели 22-23 ноября 13-ю ежегодную Всероссийскую научно-практическую конференцию с международным участием "Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения".

Опубликовано 194 статей, в том числе в изданиях ВАК – 55, число публикаций с участием зарубежных авторов – 10, в журналах, входящих в Web of Science или Scopus – 20; монографий – 2, сборников трудов – 1.

9. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ И КОММЕРЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Полевые исследования Института выполнялись на землях Меньковского филиала АФИ, осуществляющего научную деятельность в соответствии с Положением о Филиале, Планом финансово-хозяйственной деятельности филиала и Планом научно-исследовательских работ ФГБНУ АФИ.

Используемый земельный участок сельскохозяйственного назначения находится на балансе института и составляет 538,56 га, в т. ч. 444 га сельхозугодий, из них пашни 278,1 га.

В 2018 г. выполнялись работы по 15 методическим программам полевых экспериментов, утверждённых Научно-методическим советом института.

На опытных полях и базе Меньковского филиала АФИ в текущем году проходили выездные заседания: Научно-методического совета ФГБНУ АФИ; сотрудники АФИ прочитали обзорные лекции по теме "Точное сельское хозяйство" для студентов Санкт-Петербургского аграрного университета (СПбГАУ) и продемонстрировали на базе Меньковского филиала АФИ технику для точного земледелия, включая беспилотный летательный аппарат собственной разработки.

Институт выполнял работы по 1 государственному контракту с Правительством Ленинградской области, 4-м грантам РФФИ, по 1 договору с научной организацией и 8-и договорам с товаропроизводителями.