

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абакумов Е. В. 2010. Источники и состав гумуса некоторых почв Западной Антарктики. Почвоведение, 2:538-547.
- Абакумов Е. В. 2010. Гранулометрический состав почв Западной Антарктики. Почвоведение, 5:610-613.
- Абакумов Е. В., Помелов В. Н., Крыленков В. А., Власов Д. Ю. 2008. Морфологическая организация почв Западной Антарктики. Вестник СПбГУ. Сер. 3. Вып. 3:102-115.
- Блохин А. Н., Милановский Е. Ю., Кулижский С. П. 2012. Ускоренный метод оценки агрегатного состояния почв с использованием лазерной дифрактометрии. Вестник КрасГАУ. 1:35-39.
- Владимиров В. Е. 1996. Способ подготовки грунтов к гранулометрическому анализу. Авт. свид. № 179606, бюллетень изобретений. № 5.
- Владимиров В. Е. 1973. Изучение диспергирующего действия акустических колебаний и их использование для определения механического состава почв. Дисс. на соиск. канд. с/х наук. Л., 181 с.
- Власов Д. Ю., Абакумов Е. В., Надпорожская М. А., Сафронова Е. В., Лукин В. В., Ковш Н. В. 2005. Литоземы острова Кинг-Джордж, Западная Антарктика. Почвоведение, 7:773-781.
- Глазовская М. А. 1958. Выветривание и первичное почвообразование в Антарктиде // Научные Доклады Высшей Школы, Геолого-Географические науки, 1:с. 63-76.
- ГОСТ 12536-79 Грунты. Методы определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.
- Качинский Н. А. 1970. Физика почвы. М.: Высшая школа. 360 с.
- Конончук П. Ю. 2009. Адаптация метода оптической счетной микроскопии для определения гранулометрического состава почв. Дисс. канд. с.-х. наук. СПб.: Агрофизический институт. 197 с.
- Конончук П. Е. 2007. Определение гранулометрического состава почв при микроскопическом исследовании. Агрохимический вестник, 3:35-37.
- Помелов В. Н. 2003. План управления станцией Беллинсгаузен. Изучение и исследование Антарктики. Отчет ФЦП «Мировой океан». СПб.: АНИИ. С. 132-182.
- Растворова О. Г. 1983. Физика почв (практическое руководство). Л.: Изд-во ЛГУ. 191 с.
- Шейн Е. В., Милановский Е. Ю., Молоч А. З. 2006. Гранулометрический состав: роль органического вещества в различиях данных седиментометрического и лазерно-дифракционного методов. Доклады по экологическому почвоведению. 1:17-30.
- Шейн Е. В. 2005. Курс физики почв. М.: МГУ. 430 с.
- Шейн Е. В. 2009. Гранулометрический состав почв: проблемы методов исследования, интерпретации результатов и классификаций. Почвоведение. 3:309-317.
- Campbell I. B., Claridge G. G. C. 1987. Antarctica: Soils, Weathering Processes and Environment. Elsevier. Amsterdam. 368 p.
- Elberling B., Gregorich E. G., Hopkins D. W., Sparrow A. D., Novis P., Greenfield L. G. 2006. Distribution and dynamics of soil organic matter in an Antarctic dry valley. Soil Biology and Biochemistry. 38:3095-3106.
- Simas F. N. B., Schaefer C. E. G. R., Filho M. R. A., Francelino M. R., Filho E. I. F., da Costa, L. M. 2008. Genesis, properties and classification of Cryosols from Admiralty Bay, maritime Antarctica. Geoderma. 144 (1-2):116-122.

УДК 57.084.2

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ И БИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

К. Г. Моисеев, В. Н. Пищик, Ю. В. Хомяков

*ГНУ Агрофизический научно-исследовательский институт Россельхозакадемии,
Гражданский пр., 14, Санкт-Петербург, 195220
E-mail: kir_moiseev@mail.ru*

Поступила в редакцию 11 апреля 2013 г., принята к печати 12 августа 2013 г.

В работе было изучено совместное влияние абиотических и биотических факторов на продуктивность яровой пшеницы при инокуляции ее бактериями *Bacillus subtilis* шт. № 2. Установлено, что существенными причинами, лимитирующими урожайность растений пшеницы, являлись физические свойства пахотных горизонтов почв, совокупное воздействие которых оценивалось при помощи индекса физического состояния – ИФС. Уровень влияния физического фактора на продуктивность яровой пшеницы являлся статистически значимым. Инокуляция пшеницы бактериями снижает стрессовое влияние неблагоприятного водного режима почв и высоких доз азотных удобрений.

Ключевые слова: многофакторный опыт, продуктивность посевов, уровень влияния фактора, физическое состояние почв, инокуляция бактериями.

ВВЕДЕНИЕ

При обосновании оптимальной системы возделывания с/х культур на Северо-Западе РФ, направленной на полную реализацию климатически обеспеченной продуктивности посева и на сохранение экологического состояния ландшафта, учитываются лимитирующие природные и антропогенные факторы.

Неоднородность почвенного покрова, обусловленная разнообразием и взаимным перекрытием почвообразующих пород разного гранулометрического состава, может приводить к нарушению промывного водного режима легких супесчаных почв. Данное нарушение проявляется в неравномерном увлажнении почв, что может являться одной из причин, лимитирующих урожайность сельскохозяйственных растений.

Существующий в настоящее время уровень плодородия почв был достигнут за счет внесения высоких доз минеральных и органических удобрений до 1990 года и приблизился к оптимальному для большинства сельскохозяйственных растений по содержанию элементов питания и кислотности. По данным ЦИНАО, применение удобрений в зонах распространения дерново-подзолистых почв в период с 1986 по 1998 гг. сократилось в 7–15 раз. Вместе с тем уровень плодородия почв существенно не изменился, наметилась лишь тенденция снижения плодородия почв во всех природных сельскохозяйственных зонах вследствие отрицательного баланса азота, фосфора и калия. Содержание гумуса, подвижных форм калия и фосфора, а также рН почв не являются лимитирующими урожайность факторами (Сычев, 2000).

В этой связи одним из основных путей увеличения производства растениеводческой продукции на дерново-подзолистых почвах является применение азотных удобрений. Однако ресурсы минеральных удобрений, в том числе и азотных, в настоящее время во многих сельскохозяйственных предприятиях ограничены. Поэтому необходимо всестороннее исследование экономически и экологически целесообразных доз азота и максимально возможное использование ресурсов почвенного азота (Шафран, 2001). Такой подход необходим и по той причине, что

избыточное внесение азотных удобрений приводит к нарушению баланса основных биогенных элементов, вызывает накопление нитратов и эмиссию закиси азота (Rizhiya и др., 2008; Vuchkina и др., 2012, 2013), стрессовые реакции у растений и изменения в микробоценозе почвы (Кудеяров, 1989, Черняева и др., 1992).

Одним из способов реализации потенциальной продуктивности растений и проявления их новых адаптивных свойств в неблагоприятных экологических условиях является применение биопрепаратов (Завалин, 2005). Биопрепараты способствуют улучшению усвоения питательных веществ растениями и адаптации сельскохозяйственных растений к неблагоприятным условиям окружающей среды (Pishchik et al., 1998; Пищик и др., 2009, Тихонович и др., 2011).

Задачей данного исследования являлась определение роли почвенно-физического и биологического факторов в формировании продуктивности пшеницы в условиях зоны распространения дерново-подзолистых почв равнинного агроландшафта.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В работе изучалось влияние инокуляции бактериями *Bacillus subtilis* шт. № 2 на физиологическое состояние посева яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в условиях почвенно-физической неоднородности. Полевой микроделяночный опыт с мягкой яровой пшеницей сорта «Красноуфимская» был проведен на опытной станции ГНУ МОС АФИ (Гатчинский район Ленинградской области). Почва на опытных деланках является хорошо окультуренной по агрохимической характеристике: рН = 5.1–6.0, мощность пахотного горизонта 0.22–0.25 м, содержание общего углерода 2.32%, содержание подвижного фосфора – 25 мг·100 г⁻¹ почвы, подвижного калия – 30 мг·100 г⁻¹ почвы. В опыте было заложено 12 деланок, площадь каждой из которых составляла 5 м². Азотные удобрения (аммиачная селитра) вносились перед посевом из расчета 0, 60, 90, 120, 150 и 180 кг N га⁻¹. Растения на 6 деланках инокулировались бактериями *Bacillus subtilis* шт. № 2, растения на других 6 деланках (контрольные варианты) не обрабатывались.

В опыте был проведён мониторинг физических свойств почвы: плотности сложения, твёрдости и инфильтрации влаги за полевой сезон в пахотных и подпахотных горизонтах почв с учётом их гранулометрического состава и морфологии профиля. Плотность сложения почвы определялась методом режущих колец (Растворова, 1983). Твёрдость почв исследовалась при помощи твердомера Ревякина (Вадюнина, Корчагина, 1986). Определение весовой влажности почв и лизиметрические исследования проводились согласно методикам, изложенным в руководствах по физике почв (Растворова, 1983, Вадюнина, Корчагина, 1986).

Физические свойства почв образуют физический фактор среды обитания растительно-микробной системы. Физический фактор среды обитания определяется значениями физических и морфологических свойств почв, которые учитывались в совокупности величиной индекса физического состояния почвы (ИФС) (Моисеев, 2011, Моисеев и др., 2011). Агрофизическая оценка заключается в расчёте ИФС как среднего геометрического отношений экспериментально определённых значений физических свойств (X_1, X_2, \dots, X_n) к оптимальным физическим свойствам почвы ($X_{1onm}, X_{2onm}, \dots, X_{nonm}$):

$$\text{ИФС} = \left(\frac{X_1}{X_{1onm}} \times \frac{X_2}{X_{2onm}} \times \dots \times \frac{X_n}{X_{nonm}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

где n – число агрофизических параметров; X и X_{onm} – соответственно экспериментально определенное и оптимальное значение показателя для данной почвенной группы.

Полевой опыт был *заложен* на дерново-слабоподзолистой почве, сформированной на озерно-ледниковая супеси, подстилаемой мореной, со сменой пород на глубине 60 см (в среднем). Почва является контактно-глеевой. На делянке 3 (доза азота 90 кг N га⁻¹) развитие глеевого процесса приводит к необходимости выделить другую почвенную разность – дерново-подзолистую глееватую почву.

Физиологическое состояние растений пшеницы в посеве определялось оптически методами. Спектры отражения измерялись при помощи дистанционного спектро-

фотометра АДТ (Kuvardin, Surin, 1998). Для учета максимального отражения с листовой поверхности вегетирующих растений при минимальном влиянии отражения от поверхности почвы использовался вегетационный индекс – VI. Величина VI определялась отношением отражения в двух спектральных областях ($VI = NIR/VIS$), где NIR и VIS – отражение в инфракрасной и видимой части спектра соответственно с максимумом чувствительности в зеленой области спектра (Сурин, 1996, 2011).

Для калибровки оптического тестера АДТ определялся азот в растениях и зерне пшеницы методом Кьельдаля (Аринушкина, 1974). Суммарная концентрация хлорофилла в листьях после экстракции 100% ацетоном определялась на спектрофотометре «Spekol – 11» по методике Е. И. Ермакова (1984).

Для определения агрохимической характеристики почвы отбирались образцы на глубине 20 см. Концентрация углерода в органическом веществе почвы определялась методом Тюрина, содержание подвижных форм фосфора и калия – по методу Кирсанова (Аринушкина, 1974).

Для исследования потоков и баланса влаги в почве в конце июня на опытном поле были заложены лизиметры. Лизиметрический эксперимент производился 2 месяца (до конца августа). За указанный период выпало 100 мм осадков. Лизиметры (общей площадью 300 см²) были заложены под пахотный горизонт и на глубине контакта пород.

Наименьшая полевая влагоёмкость (НВ) определялась термостатно-весовым методом (Растворова, 1983, Вадюнина, Корчагина, 1986).

Ассоциативные ризобактерии изолированы из образца черноземной почвы Тамбовской области и определены по нумерической таксономии как *Bacillus subtilis*. Бактерии обладают фитогормональными свойствами и способностью ускорять рост корней проростков и растений пшеницы (Pishchik et al., 2011, Пищик, 2013).

Достоверность результатов опыта оценивалась методами математической статистики с использованием программного обеспечения MS OFFICE EXCEL07 и STATISTICA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлено морфологическое описание профиля почвы.

На фотографии в таблице 1 видны белесые пятна на контакте пород между 50 и 60 см и довольно темная окраска гумусового горизонта. Это косвенные признаки повышенного увлажнения почвы. Характер границы контакта пород показывает, что супесчаный нанос формировался на размываемой морене более тяжелого грансостава, в итоге все трещины и пустоты верхнего слоя морены оказались заполнены отмытыми песчаными частицами. На контакте пород в верхней части залегают линзы или слои песчаного материала. Такое или подобное строение профиля характерно для большинства почв Меньковского филиала ГНУ АФИ (Моисеев и др., 2013). Песчаные прослойки в профиле почвы часто водонасыщены, в них задерживается верховодка и развиваются процессы оглеения, оказывающие прямое влияние на условия произрастания растений. Глеевый

процесс изменяет химические параметры существования растений и может приводить к «отравлению» почвы двухвалентными катионами алюминия и железа. Чем ближе такой слоистый водонасыщенный слой к дневной поверхности, тем более возможно неблагоприятное физическое и химическое состояние гумусового горизонта почвы, которое усугубляется неоднородностью гранулометрического состава почвенных горизонтов (Гончаров и др., 2011). Несортированность элементов грансостава почв в определённых условиях может приводить к избыточному увлажнению почвы. Коэффициент неоднородности гранулометрического состава почв (K_n), рассчитанный по результатам определения грансостава, имеет величину более 5, т.е. гранулометрический состав всех почвенных разностей на изучаемом участке не однороден. В таблице 2 представлены данные гранулометрического состава гумусовых горизонтов почв и коэффициента фильтрации.

Таблица 1. Морфологическое строение почвы (делянка 3)


Индекс, мощность горизонта	Описание	Фотография
Апах 0–20см	Серый, свежий, рыхлый, супесь, структура комковатая с корнями растений, ходами червей, резкая граница.	
1СВg 20–60см	Палевый, с белесыми пятнами и потеками орг. вещества, песок, свежий, уплотнённый, бесструктурный с ходами червей и щебнем, граница волнистая	
2СВg 60–89см	Бурый с белесыми пятнами, свежий, плотный, супесь, плитчатая структура галька, щебень переход постепенный	
2С 89–120см↓	Бурый, призматическая, свежий, плотный, супесь, камни.	

Таблица 2. Гранулометрический состав и коэффициент фильтрации (K_f) пахотных горизонтов почв опыта

Размер фракции (мм)	Делянка 1 (%)	Делянка 3 (%)	Делянка 6 (%)
0.005–0.001	0	0.70	0
0.01–0.005	1.44	0.77	0.61
0.05–0.01	2.62	2.71	3.00
0.1–0.05	11.28	8.75	12.11
0.25–0.1	32.64	27.99	31.58
0.5–0.25	31.27	36.63	30.61
0.5–1	13.86	15.77	16.18
2–1	2.84	3.05	3.14
2–5	2.92	2.04	1.87
5–10	0.81	0.25	0.54
>10	0.34	0.00	0.38
K_f (м·сутки ⁻¹)	Пахотный. гор. 0.2 Подпахотный. гор. 0.01	0.06 0.01	0.3 0.01

Характерно, что в пахотном горизонте делянки 3 Кф ниже, чем в пахотных горизонтах почвенной разности делянок 1 и 6, тогда как значения Кф подпахотных горизонтов достоверно не различаются. Данный факт объясняет целый комплекс негативных показателей физического состояния почвенной разновидности делянки 3. Двучленные почвообразующие породы способствуют уплотнению подпахотных горизонтов почв и уменьшению величины коэффициента фильтрации. Слоистое строение почв по плотности и грансоставу также приводит к развитию застойных явлений, связанных с водным режимом почв.

Физические параметры и вычисленные индексы физического состояния почвенных разностей сравниваемых делянок представлены в таблице 3. Понятие «физическая окультуренность почв» введено в работе (Балашов, Моисеев 2009) по аналогии с понятием агрохимической окультуренности почв. Данные о физической окультуренности почв делянок опыта отражены в таблице 3.

Различия значений физических параметров почв превышают ошибку экспериментального определения. Увеличение плотности сложения почвы от 1.16 до 1.32 г·см⁻³, наблюдаемое в опыте, оказывало отрицательное влияние практически на все измеряемые характеристики растений. Уменьшение урожайности пшеницы при дозе внесения азота 90 кг·га⁻¹ (делянка 3) объясняется переуплотнением и переувлажнением почвы на данной делянке (таблица 3). На ней же плотность сложения и твердость почвы были достоверно выше на протяжении всего периода наблюдения (от фазы всходов до мо-

лочной спелости), чем на остальных делянках. На фазе выхода в трубку средняя плотность сложения почвы на данной делянке была достоверно выше плотности ее сложения на других делянках и составляла 1.32 г·см⁻³.

Из литературных источников известно, что при переуплотнении почвы происходит изменение водного режима и режима аэрации почв, возникает дефицит кислорода и вследствие этого – гипоксия растений пшеницы и всего растительно-микробного сообщества. Снижение содержания кислорода в почве ведет к снижению продуктивности растений и существенным потерям урожая (Цыганов и др., 2006). Снижение аэрации произошло в почве третьей делянки опыта вследствие совокупного действия антропогенного и природного факторов. Переуплотнение почвы делянки 3 привело к её переувлажнению и развитию в данной почвенной разности интенсивного глеевого процесса.

На МОС АФИ может возникать ситуация, при которой в почвах легкого гранулометрического состава на водоразделах формируется застойный водный режим, иногда наблюдается вымокание агроценозов, инфильтрация влаги в почву чрезвычайно мала. Избыток влаги удаляется из почвы поверхностным стоком (если позволяет рельеф) и/либо физическим испарением и транспирацией растений.

Данные лизиметрического эксперимента (Таблица 4), организованного в полевом опыте и на Агрофизическом стационаре опытного филиала АФИ, подтверждают описанную ситуацию в почвенном покрове МОС АФИ.

Таблица 3. Физические параметры, ИФС и физическая окультуренность пахотных горизонтов почвенных разностей опыта

Делянка № (и доза азота кг·га ⁻¹)	Плотность сложения почв, г·см ⁻³ *		Содержание общего углерода, %	Удельная поверхность почв, м ² ·г ⁻¹ *	Твёрдость почв (МПа) средняя за сезон 0–5 см *	% или содержание гранулометрической фракции <0,001 мм.	Наименьшая полевая влагоёмкость, %*	ИФС	Физическая окультуренность почвы
	в начале вегетационного сезона	в конце вегетационного сезона							
1 (0)	1.24	1.32	2.3	21.76	1.0	0.64	33	0.89	средняя
3 (90)	1.31	1.32	2.3	18.03	1.1	0.62	32	0.86	низкая
6 (180)	1.16	1.21	3.1	23.02	1.0	1.12	35.5	0.99	средняя

* Экспериментальная ошибка определения плотности сложения почв 0.04 г·см⁻³, наименьшей полевой влагоёмкости – не более 2%, удельной поверхности почв 1.5 м²·г⁻¹, твёрдости 0.06 МПа.

Таблица 4. Результаты лизиметрического эксперимента

осадки	физическое испарение	Объём инфильтрата			Транспирация, испаряемость и поверхностный сток (по разности) поле 26	Транспирация, испаряемость и поверхностный сток (по разности) стационар	
		полевой опыт		агрофизический стационар			
		под пахотный горизонт	на глубине 50 см	под пахотный горизонт			
мм	100	55	0.001	4	4.1	41.0	40.9
%	100	55	0.001	4	4	41	41

Внутрипочвенный сток влаги в лизиметрических экспериментах составил лишь 4%. Большая часть выпадающих осадков скатывается по поверхности почвы и в случае замкнутых депрессий рельефа приводит к формированию вымочек.

Корреляционная матрица, показывающая связи между факторами X и откликами Y в опыте, представлена в таблице 5. Фактор X₁ – физическое состояние почв, характеризуемое ИФС, достоверно и на высоком уровне определяет продуктивность посева пшеницы. Фактор X₂ (уровень азота в почве), напротив, не имеет сильной и достоверной корреляционной связи с продуктивностью посева.

В результате взаимодействия с почвенным микробоценозом в различных экологических условиях интродуцированные бактерии *Vacillus subtilis* шт. № 2 оказывают положительный эффект на биологические

показатели агроценоза, который зависит от физического состояния почв (рис.). Рисунок показывает, что исследованные биологические показатели растительно–микробной системы зависят от различий в строении почвенного покрова опыта и физического состояния почв. Влияние фактора X₂ было достоверно только в одном случае – уменьшение биомассы растений (на рис. (а)) при высоких дозах азотных удобрений (180 кг·га⁻¹), обусловленное угнетающим действием избытка азотных удобрений.

Инокуляция посева пшеницы бактериями практически в два раза снижает тесноту корреляционной связи между ИФС и урожайностью посева. Это, по мнению авторов, является результатом влияния микробного сообщества на стрессовое состояние растений, вызванное неблагоприятным физическим состоянием почв.

Таблица 5. Корреляционная матрица (множественный регрессионный анализ)*

	X ₁ ИФС	X ₂ уровень азота в почве	Y ₁ биомасса	Y ₂ содержание азота в растениях	Y ₃ урожай ц/га	Y ₄ урожай ц/га при обработке бактериями
X ₁ ИФС	1					
X ₂ уровень азота в почве	0.72	1				
Y ₁ биомасса	0.79	0.39	1.00			
Y ₂ содержание азота в растениях	0.77	0.35	0.73	1.00		
Y ₃ урожай ц/га	0.78	0.35	0.90	0.64	1.00	
Y ₄ урожай ц/га при обработке бактериями	0.41	0.09	0.21	0.14	0.60	1

* Значения коэффициентов корреляции достоверны на уровне 0.95 при значении равном и большем 0.6.

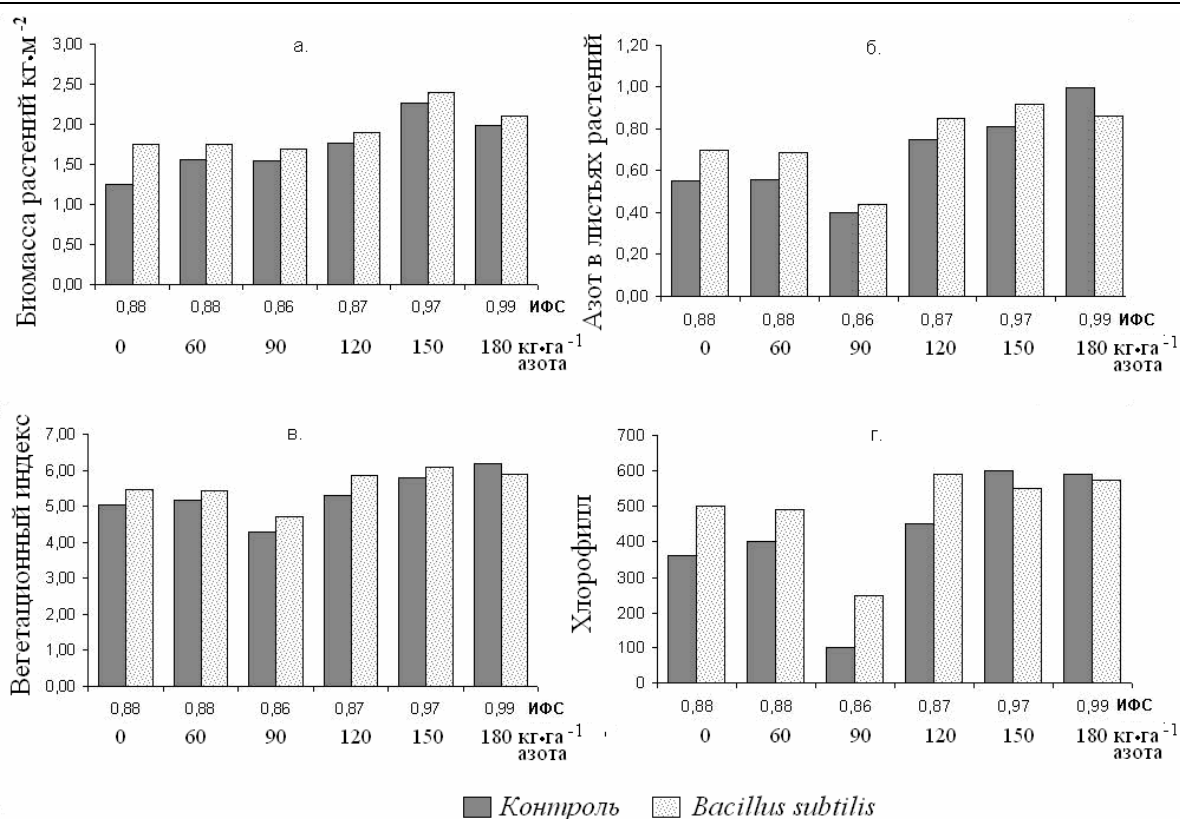


Рис. Зависимости показателей состояния посева от ИФС почв и дозы внесённого азота на контрольных делянках и на делянках при инокуляции почвенно-растительного сообщества *Bacillus subtilis*.

а) зависимость биомассы растений от физического состояния почв (величины ИФС – доли единицы) по делянкам с дозой внесённого азота от 0 до 180 кг·га⁻¹; б) зависимость содержания азота (%) в листьях растений от физического состояния почв (величины ИФС – доли единицы) по делянкам с дозой внесённого азота от 0 до 180 кг·га⁻¹; в) Зависимость оптических показателей (вегетационный индекс) состояния посева от физического состояния почв (величины ИФС – доли единицы) по делянкам с дозой внесённого азота от 0 до 180 кг·га⁻¹; г) Зависимость содержания хлорофилла мг 100 г⁻¹ растения от физического состояния почв (величины ИФС – доли единицы) по делянкам с дозой внесённого азота от 0 до 180 кг·га⁻¹.

ВЫВОДЫ

Полученные в ходе опыта биологические и оптические показатели, отражающие состояние растительно-микробной системы агроценоза, зависят от физических свойств почв.

Физические свойства почв формируют абиотический фактор среды обитания растительно-микробной системы. По уровню влияния на продуктивность посева абиотический фактор среды в проведенных исследованиях являлся определяющим, сопоставимым по величине воздействия с дозой вносимых минеральных удобрений.

Установлено, что инокуляция растений пшеницы бактериями *B. subtilis* шт. № 2

приводит к адаптации растений пшеницы к неблагоприятным условиям (переуплотнение почвы, избыток азотных удобрений) и повышению продуктивности растений на 15–110%.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность коллективу испытательной лаборатории ГНУ АФИ, сотрудникам А. П. Сахарчук и Е. В. Вертебному за предоставленные данные по биохимическому анализу растений, сотруднику лаборатории средств инструментального контроля В. Г. Сурина за предоставленные экспериментальные данные по оптическим свойствам посева пшеницы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аринушкина Е. В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 2-е изд.
- Балашов Е. В., Моисеев К. Г. 2009. Нормативы оценки оптимизации физических параметров почв, обеспечивающие совершенствование технологий возделывания с/х культур в полевых и регулируемых условиях. Методические рекомендации. СПб.: ГНУ АФИ Россельхозакадемии. 22 с.
- Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. 1986. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Агропромиздат.
- Гончаров В. Д., Маглыш Е. Г., Моисеев К. Г. 2009. Агрофизический мониторинг и построение базы экспериментальных данных физических параметров почв // Материалы координационного совещания и научной сессии Агрофизического института. Санкт-Петербург. С. 143–147.
- Завалин А. А. 2005. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ВНИИА. 305 с.
- Кудеяров В. Н. 1989. Цикл азота в почве и эффективность удобрений. М.: Наука. 302 с.
- Моисеев К. Г. 2011. Исследование агрофизических свойств почв СЗ РФ. Методическое руководство. Санкт-Петербург. 51 с.
- Моисеев К. Г., Рижия Е. Я., Бучкина Н. П., Балашов Е. В. 2011. Агрофизическая оценка состояния почвенно-растительного комплекса сельскохозяйственных земель Северо-Западного региона Российской Федерации // Матинян Н. Н. (ред.). 2008–2011. Сборник докладов, заседаний Санкт-Петербургского отделения почвоведов им. В. В. Докучаева. Санкт-Петербург, ВВМ. С. 97.
- Моисеев К. Г., Рижия Е. Я., Бойцова Л. В., Зинчук Е. Г., Гончаров В. Д. 2013. Корректировочные работы крупномасштабного почвенного картографирования Меньковского филиала Агрофизического института. Агрофизика. 1(9):30-36.
- Пищик В. Н., Воробьев Н. И., Сурин В. Г., Моисеев К. Г. 2013. Фитодиагностика посева яровой мягкой пшеницы при инокуляции бактериями *Bacillus subtilis* по спектрам оптических сигналов, отраженных от листовой поверхности растений // Биотехнология: реальность и перспективы в сельском хозяйстве. С. 161–163.
- Пищик В. Н., Проворов Н. А., Воробьев Н. И., Чижевская Е. П., Сафронова В. И., Туев А. Н., Кожемяков А. П. 2009. Взаимодействие растений с ассоциативными бактериями при загрязнении почвы тяжелыми металлами // Микробиология. Т. 78. № 6. С. 826–835.
- Растворова О. Г. 1983. Физика почв. Изд-во ЛГУ. 193 с.
- Сычев В. Г. 2000. Динамика изменения, пути воспроизводства и совершенствование методов оценки плодородия почв Европейской части России. Автореферат дисс. доктора с/х наук. Курск. 48 с.
- Сурин В. Г. 1996. Полевая прецизионная спектрофотометрия: возможности и перспективы // Исследования Земли из Космоса. 6:88-96.
- Сурин В. Г., Моисеев К. Г., Пищик В. Н. 2011. Использование вегетационного индекса для калибровки оптических тестеров по азотному питанию растений в посевах // Материалы научной сессии по итогам года Агрофизического института. ГНУ АФИ, Санкт - Петербург, 27–28 декабря 2011. С. 90–94.
- Тихонович И. А., Завалин А. А., Благовещенская Г. Г., Кожемяков А. П. 2011. Использование биопрепаратов - дополнительный источник элементов питания растений. Плодородие. 3:9-13.
- Цыганов А. Р., Гордеев А. М., Вильдфлуш И. Р. 2006. Биофизические основы рациональных способов внесения минеральных удобрений. Горки, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
- Черняева И. И., Пищик В. Н., Козлов Л. Л., Лазарев А. М. 1992. Физиолого-биохимические свойства бактерий рода *Erwinia* в зависимости от источников азотного питания. Сельскохозяйственная биология. № 1. С. 112–118.
- Шафран С. А., Андреев С. С. 2001. Эффективность дифференциации доз минеральных удобрений в зависимости от агрохимических свойств почвы // Бюлл. ВИУА. № 114. С. 182–183.
- Bremner, J. M., and C. S. Mulvaney. 1982: Total nitrogen. // *Methods of soil Analysis* // American society of Agronomy and Soil Science Society of America. (Eds): .A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeny, Madison. P. 1119–1123.
- Buchkina N, Rizhiya E, Balashov E. 2012. N₂O Emission from a loamy sand Spodosol as related to soil fertility and N fertilizer application for barley and cabbage. *Archives of Agronomy and Soil Sciences*. 58 (supplement 1): S141–S146.
- Buchkina N. P., Rizhiya E. Y., Pavlik S. V., Balashov E. V. 2013. Soil Physical Properties and Nitrous Oxide Emission from Agricultural Soils. In: *Advances in Agrophysical Research*. S. Grundas (Ed.), InTech. ISBN: 978-953-51-1184-9, DOI: 10.5772/53061.
- Kachigan Sam Kash. 1982. *Multivariate statistical analysis: a conceptual*. New York: Radius Press.
- Kuvaldin E. V., Surin V. G. 1998. Specialized photometer for measuring pathological and physiological changes in plants. *J. Opt. Technol.* 65(5):362-365.
- Pishchik V. N., Chernyaeva I. I., Kozhemaykov A. P., Vorobyov N. I., Lazarev A. M., Kozlov L. P. 1998. Effect of inoculation with nitrogen-fixing *Klebsiella* on potato yield. In: Malik K.A. et.al. (eds.). *Nitrogen Fixation with Non-Legumes*. Kluwer academic publishers. P. 223–235.
- Pishchik V. N., Ktitorova I. N., Skobeleva O. V., Mirskaya G. V., Vorobyov N. I. 2011. Method of instrumental assessment of plant-bacterial interaction in agricultural system in forecasting the yield. *EFITA/WCCA. Proc. 8th European Federation of Information Technology in Agriculture. Food and the Environment. World Congress on Computers in Agriculture, Prague, Czech Republic 11–14 July*. P. 597–605.
- Rizhiya E. Y., Olenchenko E. A., Pavlik S. V., Balashov E. V., Buchkina N. P. 2008. Effect of mineral fertilisers on crop yields and N₂O emission from a loamy-sand Spodosol of North-Western Russia. 2008. *Cereal Research Communications*. Vol. 36, p. 1299–1302.