

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет  
имени П.А. Столыпина»

На правах рукописи

Смывалов Владимир Сергеевич

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ  
ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ  
В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

Специальность 06.01.04 – Агрохимия

диссертация на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:  
доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор Куликова А.Х.

Ульяновск – 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1. Кремний и кремнийсодержащие материалы в системе удобрения сельскохозяйственных культур (обзор литературных сведений) .....	9
1.1. Кремний в растениях.....	9
1.2. Защитные свойства кремния и кремнийсодержащих материалов...	12
1.3. Кремнийсодержащие материалы в качестве удобрения .....	23
2. Условия и методика проведения исследований.....	35
2.1 Почвенно–климатическая характеристика опытного поля .....	35
2.1.1 Агроклиматические условия.....	35
2.1.2 Особенности почвенного покрова.....	41
2.2. Схемы полевых опытов и их обоснование .....	44
2.3. Технологии возделывания ярового ячменя и яровой пшеницы....	46
2.4. Методы наблюдений, учетов и анализов.....	48
3. Влияние кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения на свойства чернозема выщелоченного .....	51
3.1 Биологическая активность .....	51
3.1.1. Микробиологическая активность почвы под посевами ячменя..	52
3.1.2. Микробиологическая активность почвы под посевами яровой пшеницы .....	54
3.2 Агрохимические показатели .....	58
3.2.1. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы под посевами ярового ячменя.....	60
3.2.2. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы под посевами яровой пшеницы.....	74
4. Состояние посевов, урожайность и качество продукции зерновых культур в зависимости от применения в технологии их возделывания кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения .....	87

4.1 Ячмень .....	87
4.1.1. Фитосанитарное состояние посевов ячменя.....	87
4.1.2. Урожайность .....	91
4.1.3. Содержание и вынос основных макроэлементов.....	94
4.1.4. Экологическая оценка продукции .....	100
4.2 Яровая пшеница .....	103
4.2.1. Фитосанитарное состояние посевов яровой пшеницы.....	103
4.2.2. Урожайность.....	106
4.2.3. Содержание и вынос основных макроэлементов.....	110
4.2.4. Экологическая оценка продукции.....	114
5. Баланс элементов питания в черноземе выщелоченном при использовании в технологии возделывания зерновых культур кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения.....	118
5.1. Ячмень.....	119
5.1.1. Баланс азота.....	119
5.1.2. Баланс фосфора .....	121
5.1.3. Баланс калия .....	122
5.1.4. Интенсивность баланса .....	124
5.2. Яровая пшеница .....	125
5.2.1. Баланс азота .....	125
5.2.2. Баланс фосфора .....	128
5.2.3. Баланс калия .....	129
5.2.4. Интенсивность баланса .....	130
6. Экономическая эффективность применения в технологии возделывания зерновых культур кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения .....	132
6.1. Ячмень .....	133
6.2. Яровая пшеница .....	135

7. Биоэнергетическая эффективность применения в технологии возделывания зерновых культур кремнийсодержащих материалов .....	138
7.1. Ячмень .....	139
7.2. Яровая пшеница .....	142
Заключение .....	147
Предложение производству .....	151
Список литературы .....	152
Приложения .....	179

## Введение

**Актуальность темы.** О положительной роли кремния в системе «почва–растение» свидетельствуют многочисленные исследования российских и зарубежных учёных, проводимые в течение более 2–х веков (Воронков и др., 1978; Матыченков и др., 2002; Самсонова, 2005; Козлов и др., 2015).

Несмотря на это, кремниевые удобрения остаются до настоящего времени нетрадиционными и в нашей стране не производятся, а в качестве их активно предлагаются природные кремнийсодержащие породы (диатомиты, трепелы, опоки, цеолиты и др.) с высоким содержанием активного кремния, эффективность которых значительно изучена и доказана (Лобода, Яковлева, 2000; Капранов, 2009; Куликова, 2013). Однако есть и другая группа препаратов, в которых кремний представлен в виде как неорганических соединений, так и органоминеральных или органических веществ – силатранов. Последние не только содержат кремний в доступной форме, но и являются регуляторами роста, влияющими на развитие растений на биохимическом и физиологическом уровнях. Учитывая, что применение природных высококремнистых пород в достаточно больших дозах не всегда может быть экономически оправдано, несомненный интерес представляет изучение эффективности кремнийсодержащих материалов в системе удобрения сельскохозяйственных культур в значительно меньших количествах, в том числе и для предпосевной обработки семян и обработки посевов.

Исследования являются составной частью плана научной работы ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина» (рег. № АААА–А16–116.041.110.183–9).

**Цель диссертационной работы** – изучить эффективность применения кремнийсодержащих материалов (диатомита, Мивал–Агро, ЭкSi) и минерального удобрения при возделывании ярового ячменя и яровой пшеницы в условиях Среднего Поволжья.

Основные задачи при этом следующие:

– изучить влияние диатомита, кремниевых препаратов Мивал-Агро и ЭкSi,

средства защиты растений Беномил–500 и минерального удобрения на агрохимические свойства и биологическую активность чернозема выщелоченного; урожайность и качество зерна ярового ячменя и яровой пшеницы;

– определить баланс элементов питания в черноземе выщелоченном при возделывании яровых зерновых культур с использованием кремнийсодержащих материалов;

– дать экологическую, экономическую и биоэнергетическую оценку технологиям возделывания ярового ячменя и яровой пшеницы с использованием для предпосевной обработки семян и обработки посевов диатомита, кремниевых препаратов как в чистом виде, так и на фоне минерального удобрения.

**Научная новизна.** В условиях Среднего Поволжья впервые проведено изучение сравнительной эффективности диатомита, кремнийсодержащих препаратов Мивал–Агро, ЭкSi при разных способах применения (предпосевная обработка семян, обработка посевов, внесение в рядки) в технологии возделывания ярового ячменя и яровой пшеницы. Установлено, что кремнийсодержащие материалы способствуют повышению биологической активности чернозема выщелоченного и улучшению обеспеченности растений элементами питания, обладают защитными свойствами. Применение их как в чистом виде, так и совместно со средними дозами минеральных удобрений (N40P40K40) положительно влияет на урожайность и качество зерна ярового ячменя и яровой пшеницы. Определен баланс азота, фосфора и калия в черноземе выщелоченном при возделывании яровых зерновых культур с использованием кремнийсодержащих материалов и минеральных удобрений. Дана экологическая, экономическая и биоэнергетическая оценка технологиям возделывания ярового ячменя и яровой пшеницы с применением в системе удобрения данных препаратов.

**Практическая значимость и реализация результатов исследований.** Результаты исследований позволяют рекомендовать сельхозтоваропроизводителям в условиях Среднего Поволжья использовать в системе удобрения зерновых культур кремнийсодержащие материалы (диатомит, Мивал–Агро и ЭкSi) для предпосевной обработки семян, что повысит урожайность

ярового ячменя на 0,26–0,35 т/га, яровой пшеницы на 0,13–0,37 т/га и обеспечит экологическую безопасность продукции.

Результаты исследований прошли производственные испытания и внедряются в ряде хозяйств Ульяновской области, применяются в учебном процессе ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ при изучении следующих дисциплин: агрохимия, система удобрения, нетрадиционные удобрения сельскохозяйственных культур и сельскохозяйственная экология.

**Защищаемые положения:**

– кремнийсодержащие материалы (диатомит, Мивал–Агро, ЭкSi) способствуют повышению биологической активности на 11–16 % и улучшению питательного режима чернозема выщелоченного. При этом содержание элементов питания в течение всей вегетации ярового ячменя и яровой пшеницы поддерживалось выше контрольного варианта: фосфора на 3–8 и 8–18 %, обменного калия на 5–13 и 5–15 %, минерального азота на 4–13 и 9–15 % соответственно;

– кремнийсодержащие материалы обладают защитными свойствами: пораженность корневыми гнилями посевов ярового ячменя и яровой пшеницы снижалась на 14–24 и 9–23 % (относительных);

– применение диатомита, Мивал–Агро и ЭкSi для предпосевной обработки семян обеспечивает повышение урожайности ярового ячменя и яровой пшеницы на 0,26–0,35 и 0,13–0,37 т/га с улучшением качества продукции. Для формирования более высокой урожайности необходимо использовать их совместно с минеральным удобрением;

– предпосевная обработка семян ярового ячменя и яровой пшеницы диатомитом, Мивал–Агро и ЭкSi экологически безопасна, экономически и энергетически эффективна.

**Личный вклад соискателя.** Соискателем разработана программа исследований, лично проведены полевые и лабораторные эксперименты, сделан анализ и обобщение полученного материала, а также выводы и рекомендации производству.

**Достоверность результатов исследований** подтверждается большим количеством экспериментального материала, проведением полевых опытов и

лабораторных анализов в строгом соответствии с методическими требованиями в сертифицированных лабораториях, математической обработкой данных и положительными результатами при использовании данной системы удобрения в хозяйствах Ульяновской области.

**Апробация работы.** Результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на внутривузовских научных конференциях Ульяновского ГАУ (2011–2016 гг.), Всероссийском конкурсе научно-исследовательских работ в области биологических наук в рамках Всероссийского фестиваля науки (Ульяновск, 2011); конкурсе научно-исследовательских работ в области лесного, водного хозяйства, экологии, Международной научно-практической конференции «Микроэлементы и регуляторы роста в питании растений: теоретические и практические аспекты» (Ульяновск, 2014); IV Поволжском региональном конкурсе научных работ, посвященном памяти Н.И. Глуховцевой (Самара, 2014); молодежной межрегиональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и магистрантов (Нижний Новгород, 2014 г.); научной конференции «Молодежь и наука XXI века» (Ульяновск, 2017).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация изложена на 202 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 7 глав, заключения, предложений производству, включает 37 таблиц, 10 рисунков, 23 таблицы в приложении. Библиографический список включает 235 источников отечественных и зарубежных авторов.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю признательность и благодарность научному руководителю доктору сельскохозяйственных наук профессору Куликовой Алевтине Христофоровне, доценту Яшину Е.А., доценту Захарову Н.Г., доценту Карпову А.В., аспирантке Захаровой Д.А. и всему коллективу кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология» Ульяновского ГАУ за оказанную помощь на различных этапах выполнения исследования.



# 1. Кремний и кремнийсодержащие материалы в системе удобрения сельскохозяйственных культур (обзор литературных сведений)

## 1.1. Кремний в растениях

Кремний является неотъемлемой частью химического состава растений. Диапазон концентрации элемента в 10 раз больше, чем у основных макроэлементов. Количество накапливаемого растениями кремния часто превышает величину поглощения азота, фосфора, калия. Его содержание колеблется в пределах 0,1–10 % от сухой массы, подобный разброс для N составляет 0,5–6 %, для K: 0,8–8 %, для P: 0,15–0,5 %. (Epstein E., 1994).

В.И. Вернадский разделил живые существа по содержанию кремния в их составе на категории: кремнеорганизмы ( $Si > 10\%$ ), богатые кремнием ( $Si$  не менее 1–2 %) и обычные организмы ( $Si$  0,001–0,1 %) (Воронков М.Г., Кузнецов И.Г., 1983). Наибольшее накопление элемента обнаружено в фитоценозах степи, полупустыни, пустыни и горных массивах, что позволяет судить о кремнии как элементе-адаптере (Терещенко Е.В., 2011).

В золе рисовой шелухи содержание кремнезема может достигать 90–97 %, стеблей – 20 % (Ким В.А. и др., 2014; Angladette A., 1969), основной продукции ячменя – более 40 %, побочной – 91% (Дьяков В.М. и др., 1990). Много его содержат овес, конопля, лен, топинамбур, медуница и осоки. Наибольшее количество элемента среди наземных растений накапливают споровые хвощи, содержащие особые ферменты – силиказы, участвующие в синтезе органического кремния из неорганического (Матховский П.Е, Яруллин Р.С, 2011).

В растительных тканях кремний входит в состав водорастворимых соединений типа ортокремниевой кислоты и ортокремниевых эфиров, нерастворимых минеральных полимеров (аморфный кремнезем и поликремниевые кислоты, из которых формируются фитолиты – растительные опалы), кристаллических примесей. В составе органического вещества

кремниевые соединения связаны с белками, пектинами, фосфолипидами и вовлечены в метаболизм кальция, фосфора и липидов (Колесников М.П., 2001). Аморфные образования присутствуют в листьях, междоузлиях и чешуях растений. У злаковых культур они встречаются главным образом как включения или часть эпидермы. Фитолиты помогают растениям поддерживать прямостоячее положение, защищают от заражения грибками, улучшают условия адсорбции солнечного света для осуществления фотосинтеза (Олонова М.В., Мезина Н.С., 2011).

Наиболее значимыми растворимыми неорганическими соединениями кремния в системе почва–растение являются монокремниевая и поликремниевые кислоты, всегда присутствующие в природных водных растворах и имеющие тесную взаимосвязь между собой (Колесников М.П., 2001). Кремниевая кислота в растворах с щелочной реакцией ( $\text{pH} > 8,0$ ) существует в форме аниона метакремниевой кислоты –  $\text{SiO}_3^{2-}$  (силиката). При  $\text{pH} < 8$  в разбавленных растворах ( $\sim 0,1$  мг Si/мл) устойчива мономерная форма ортокремниевой кислоты –  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , растворимая в воде.

При увеличении концентрации и  $\text{pH}$  в пределах 1-8 ед. ортокремниевая кислота полимеризуется, образуя олиго- и поликремниевые кислоты, и, в конечном итоге, переходит в состояние коллоида. Подобный процесс наблюдается в клеточном соке растений по мере увеличения содержания в нем кремния (Колесников М.П., 2001; Heather A. Currie и др., 2007).

Результатом поликонденсации ортокремниевой кислоты в листьях служит образование гелей  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , которые, связываясь с протеинами и полисахаридами, накапливаются на поверхности клеточных стенок (Колесников М.П., 2001) и образуют двойной кутикулярно–кремниевый защитный слой толщиной 2,5 мкм. В дополнение к этому накопление элемента обнаружено в эпидермисе и проводящих тканях вегетативных органов, корней и оболочки зерен (Ma J.F., Yamaji N., 2006). Однако высокая концентрация кремния в клеточных стенках может подавлять интенсивный рост листовой пластины (Капранов В.Н., 2009).

Исследования показали, что растения способны поглощать низкомолекулярные кремниевые кислоты и их анионы через корневую систему в количестве 1–5 % и около 30–40 % этих веществ поступает через поверхность листьев, если опрыскивать их кремнийсодержащими растворами (Матыченков В.В., 2008).

Открыто более 100 специальных белков, способных к транспорту ионов и кислот кремния. Они обнаружены в диатомовых водорослях, тканях ячменя, кукурузы, клеверины, риса, мускатной тыквы и др. (Ma J.F. и др., 2007; Thamatrakoln K., Hildebrand M., 2008; Ma J.F., Yamaji N., Mitani-Ueno N., 2011; Mitani-Ueno N., Yamaji N., Ma J.F., 2011; Mizuta H., Yasui H., 2012).

Кремниевая кислота способствует усилению деления клеток, синтеза хлорофилла, глюкозы и протеина, снижению синтеза жирных кислот, стимуляции образования фосфатов и их распределение в растительных тканях (Пашкевич Е.Б., Кирюшин Е.П., 2008).

Японские исследователи установили, что за транспорт кремния у риса отвечают специальные белки Lsi 1 и Lsi 2, и определили фрагмент ДНК, который отвечает за их синтез. Действие первого белка направлено на закачку кремния внутрь клетки растительной ткани из внешней среды с низким содержанием элемента, второго – на выкачивание кремния из клетки в среду с высокой концентрацией элемента. Белки – транспортеры расположены в плазмолемме: Lsi 1 локализуется с дистальной стороны, а Lsi 2 – с проксимальной (Ma J.F., Yamaji N., Mitani-Ueno N., 2011). Поступление кремния обеспечивают соединения с CYS связями (например, аминокислота цистеин), окисление которых приводит к снижению интенсивности поглощения кремниевых соединений (Maurel C., 1997).

Кремний входит в состав нуклеиновых кислот, повышает их устойчивость к негативному воздействию излучений, способен замещать фосфор в растениях. Элемент участвует в ферментативных процессах: в клетках риса регулирует активность инвертазы, нитраредуктазы, фосфатазы, пероксидазы (Воронков М.Г., 1975; Пашкевич Е.Б., Кирюшин Е.П., 2008).

Кремний играет важную роль в процессах метаболизма растений. Присутствие кремнезема в клеточных стенках повышает прочность стеблей, что снижает степень полегания посевов. При недостатке в почве усваиваемых соединений кремния наблюдается замедление роста растений риса, повышается их чувствительность к воздействию грибковой и бактериальной инфекций, снижается продуктивность. Полное исключение кремния из питательного раствора приводит к блокированию синтеза белков, липидов и хлорофилла, нарушается репродуктивная функция растений риса, у томатов возможна потеря способности к опылению (Матховский П.Е, Яруллин Р.С, 2011). Под влиянием кремния наблюдается повышение содержания ауксинов – фитогормонов, усиливающих процессы роста и активизирующих цветение, формирование плодов (Сластя И.В., Ложникова В.Н., 2010).

Кремний положительно влияет на поглощение азота, ассимиляцию калия, магния и кальция. В его присутствии повышается эффективность использования растениями бора, легче переносится избыток железа, алюминия и марганца в питательной среде (Козлов А.В. и др., 2015).

Потребление кремния дикорастущими растениями и сельскохозяйственными культурами сопоставимо с выносом азота, фосфора и калия (Пашкевич Е.Б., Кирюшин Е.П., 2008). Например, с 1 ц урожая риса, выращенного на почвах Краснодарского края, отчуждается 9,8–18,2 кг кремния (Барчукова А.Я., Бондарчук Е.Ю., Чернышева Н.В., 2016).

Представленные материалы свидетельствуют, что кремний играет важную роль в жизнедеятельности растений и его соединения активно вовлечены в метаболические процессы, протекающие в растениях.

## **1.2. Защитные свойства кремния и кремнийсодержащих материалов**

Кремний важен в жизни растений и особенно необходим в стрессовых условиях. Роль элемента сравнивают с защитными функциями вторичных органических метаболитов (Epstein E., 2009). При оптимальном кремниевом

питании растения приобретают пассивный иммунитет к паразитам и неблагоприятным условиям среды (Пашкевич Е.Б., Кирюшин Е.П., 2008). Элемент влияет на резистентность растений к стрессовым факторам на генетическом уровне. В работе Бочарниковой Е.А. и коллег (2014) показано, что при оптимизации кремниевого питания ячменя наблюдалось улучшение всхожести выращенных зерен и укрепление в них молекул ДНК.

Поражение сельскохозяйственных культур различными патогенами, в том числе и возбудителями корневых гнилей, представляет для растениеводства большую опасность, поэтому важно своевременное и обоснованное применение современных генетически безопасных регуляторов роста, не оказывающих пагубного влияния на состояние экологической обстановки (Торопова Е.Ю., 2003; Лапина В.В. и др., 2011).

Во многих регионах Российской Федерации при поражении культурных растений корневыми гнилями различной этиологии потери урожая составляют в среднем до 15 %, а в отдельные годы эта величина превышает 50 %; в экстремальных ситуациях они способны полностью уничтожить будущий урожай (Кинчаров А.И., 2012).

Массовые вспышки болезней наблюдаются 3–6 раз в течение 10 лет. Возбудителями являются несколько видов патогенных грибов, при этом возможны сходные симптомы поражения. Наиболее часто встречается гельминтоспориозная и фузариозная корневая гниль. Распространение грибов рода фузариум чаще находится в пределах 20–60 %, возбудителя темно-бурого гельминтоспориоза может достигать 80 % и более при сильном колебании по сортам и годам в зонах интенсивного выращивания яровой пшеницы (Ульяненко Л.Н., 2008). Болезнь может привести к выпадению всходов, уменьшению числа зерен в колосе и массы 1000 зерен, продуктивной кустистости, ухудшению товарных качеств урожая (Овсянкина А.В., 2012).

Ученые Поволжского НИИСС провели оценку 63 образцов яровой пшеницы. Сорта и селекционные линии распределили на группы устойчивости по степени развития болезни. Генетические особенности сорта и их реализация в

условиях выращивания служат одним из источников устойчивости культуры к воздействию патогенов корневых гнилей при естественном инфекционном фоне. В сформированной коллекции относительно устойчивых сортов и толерантных форм преобладают местные селекционные образцы (Кинчаров А.И., 2012).

Видовой состав и комплексы фитопатогенных грибов, вызывающие корневые гнили злаковых культур, могут различаться в разных природно-климатических зонах (Буга С.Ф., Линик Л.И., 1974). В Среднем Поволжье с его контрастностью погодных условий в отдельные острозасушливые и засушливые годы вероятно массовое поражение зерновых культур темно-бурой корневой гнилью (*Bipolaris sorokiana*, или *Helminthosporium sativum*), которая распространена повсеместно. Согласно данным Поволжского НИИСС (Глуховцев В.В., 2011), в среднем за период с 2001 по 2007 гг. поражение злаковых культур гельминтоспориозной корневой гнилью зафиксировано на уровне 44 %, а фузариозной – 6 %. Грибы в сильной степени заражают ячмень, яровую пшеницу, злаковые травы, в слабой – озимую пшеницу и рожь.

Из корневых гнилей, согласно исследованиям сотрудников Поволжского НИИСС (Глуховцев В.В., 2011), гельминтоспориум наносит посевам зерновых культур наибольший ущерб, приводя в условиях длительной засухи к полной гибели растений. Данный возбудитель сохраняется на поверхности и внутри семян, инфицированных растительных остатков и в почве. Распространяется в течение вегетационного сезона воздушно-капельным путем при помощи конидий (рисунок 1).

При поражении растений обыкновенной гельминтоспориозной гнилью зараженные семена утрачивают всхожесть, проростки уродливые с темными штрихами, с меньшим количеством корешков в сравнении со здоровыми (Ульяненко Л.Н. и др., 2008).

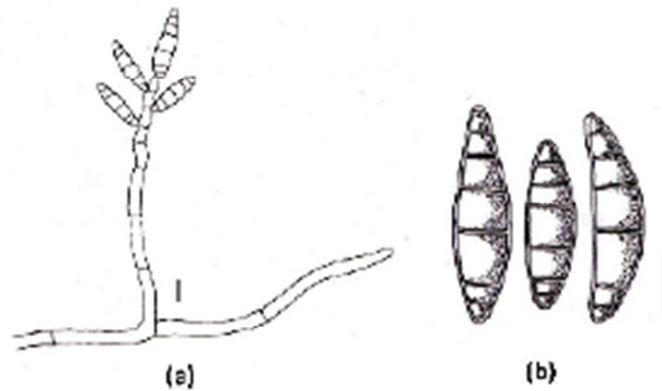


Рисунок 1 – Конидофор (a) и конидии (b) *Bipolaris sorokiana*  
(Krishnendu A., 2011)

В фазе всходов происходит побурение coleoptilya, пожелтение и деформация листьев, общее угнетение растений. При выходе в трубку наблюдается загнивание, побурение и почернение первичных и вторичных корней, подземного междоузлия, основания стеблей (Дорофеева Л.Л., Шкаликов В.А., 2007; Овсянкина А.В., 2012; рисунок 2).

На листьях образуются светло-бурые сливающиеся пятна, которые вытянуты вдоль пластинки, часто окружены хлорозом. На пораженных тканях формируется оливково-черный налет спороношения (Ульяненко Л.Н. и др., 2008).

Меньшее распространение имеют корневые гнили типа фузариум. Широко специализированные патогены этой группы поражают пшеницу, ячмень, рожь, злаковые травы, в меньшей степени – овес. Распространение и заражение осуществляется так же, как и гельминтоспориозной инфекцией. Грибы рода *Fusarium* при определенных условиях способны переходить к паразитарной форме жизнедеятельности, в основном накапливаются на поверхности и внутри семян, в почве, на растительных остатках.

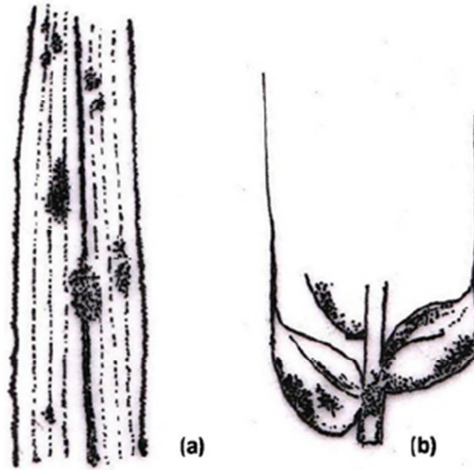


Рисунок 2 – Признаки *Bipolaris sorokiana*:

- а) точечное пятно повреждения на листе пшеницы,  
 (b) инфекция в колоске (Krishnendu A., 2011)

Во влажных условиях на корнях, узлах кушения и основании стеблей сельскохозяйственных культур формируется мицелий и спороношение патогенов в виде розового или желтоватого оттенков. Характерно пожелтение листьев. Развитие болезни приводит к трухлявости корней, изреживанию всходов, сокращению кустистости, белостебельности, образованию недоразвитого колоса, щуплости зерна (Дорофеева Л.Л., Шкаликов В.А., 2007; Глуховцев В.В., 2011; Овсянкина А.В., 2012).

Во всех почвенно-климатических зонах внесение минеральных удобрений под ячмень и яровую пшеницу оказывает оздоравливающее воздействие на почву. Установлено их непосредственное влияние на популяции вредных организмов и антагонистов почвенной микрофлоры (Лапина В.В., 2014).

В опытах, проведенных в республике Марий–Эл на дерново-подзолистой почве, определено, что минеральные удобрения (N60P60K60) на клеверных полях не ухудшали фитосанитарного состояния почвы под зерновыми культурами и в последствии значительно снижали инфекционный потенциал почвы (ИПП) (Замятин С.А. и др., 2009).



В условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья гидротермические условия начального периода развития растений (май–июнь), определяющие режим увлажнения почвы в фазы всходов и кущения играют важную роль в прогнозе эффективности предпосевной обработки семян яровой пшеницы. На реализацию запланированной продуктивности ячменя во многом влияет норма высева и величина полевой всхожести семенного материала. (Торопова Е.Ю., 2003; Лапина В.В. и др., 2011).

Эффективность кремния в борьбе с фитопатогенами обусловлена несколькими причинами. Он повышает окислительно–восстановительный потенциал клеточного сока растений, что снижает возможность поражения растений. Кремний оказывает ингибирующее воздействие на ферменты патогенов, вследствие чего они не могут распознать растение–хозяина. Кремнийцеллюлозный слой в эпидермальных тканях служит барьером для заболеваний и насекомых-вредителей (Пашкевич Е.Б., Кирюшин Е.П., 2008). В настоящее время для защиты растений сельскохозяйственному производству предлагается ряд кремнийсодержащих соединений.

Мивал–Агро относится к рекомендуемым современным стимуляторам роста и обладает уникальным физиологическим действием на растения (Чудаков Н., 2015). В его состав входят 2 компонента: биологически активный кремний (1-хлорметилсилатран, или мивал) и крезацин (триэтаноламмониевая соль орто–крезоксисукусной кислоты), – дополняющие друг друга по спектру действия (Мамонова Л.В., Айдиев Р.А., Шершнева О.М., 2007).

С точки зрения химической природы силатраны относятся к внутрикомплексным трициклическим эфирам ортокремневой кислоты или силантриолов и триэтиноламина. Их производные – удобный источник кремния с нейтральной реакцией кислотности (Писарский Ю.Б., Казимировская В.Б., Воронков М.Г., 1987; Зеленков В.Н., Потапов В.В., 2016). Силатраны способны индуцировать у растений толерантность к воздействиям неблагоприятных факторов. При воздействии супeroптимальных температур (40–45 °С) показано адаптогенное влияние хлорметилсилатрана на фотосинтетическую активность

хлоропластов и состояние мембранных структур тканей проростков пшеницы. Использование метил- и хлорметилсилатрана усиливает выживаемость проростков гороха при воздействии теплового шока (45 °С), однако накопление стрессовых белков не является основой устойчивости (Шигарова А.М. и др., 2012).

Биологическая активность силатранов,  $N(CH_2CH_2O)_3Si-X$ , согласно принятой исследователями парадигме, обусловлена наличием донорно-акцепторной связи  $N \rightarrow Si$ , приводящей к образованию необычной компактной трициклической структуры и высокому дипольному моменту молекул (Адамович С.Н., 2014), который в свою очередь обеспечивает им высокую проницаемость в клеточные мембраны и стабилизирует последние. Альтернативная гипотеза опирается на способность силатранов к гидролизу и образованию наноразмерного кремния в водных средах (Зеленков В.Н., Потапов В.В., 2016).

Силатраны обладают широким спектром активности и находят применение в различных отраслях жизнедеятельности человека. В сельском хозяйстве допущено к применению 1-хлорметилсилатран (Логинов С.В., Петриченко В.Н., 2010), или мивал, который интенсифицирует ростовые процессы, вызревание тканей и плодообразование у зерновых, овощных, бахчевых, масличных, семечковых, косточковых, плодово-ягодных и технических культур (Воронков М.Г., Дьяков В.М., 1978).

В ряде исследований показана возможность снижения количества применяемых пестицидов при совместном применении с препаратами кремния, а также в смеси с регуляторами роста растений. Так, Р.В. Пенкин, Л.А. Дорожкина и А.Н. Смирнов (2013) показали, что использование смесей Циркона или Силипланта (кремнийсодержащие регуляторы роста) способствует значительному снижению развития альтернариоза пасленовых.

Результаты производственных испытаний на черноземе типичном среднесуглинистом в Курском НИИ агропромышленного производства показали, что по влиянию на урожайность ярового ячменя Мивал-Агро превосходит по эффективности химический протравитель Раксил. Лучшим способом его использования была обработка посевов в фазе кущения – выхода в трубку

(Мамонова Л.В., Айдиев Р.А., Шершнева О.М., 2007).

Аналогичные результаты получены В.И. Векленко и др. (2007): применение биологических средств и регуляторов роста растений способствовало снижению заболеваемости яровой пшеницы бурой ржавчиной, мучнистой росой и септориозом. Лучший эффект по сдерживанию листостебельных заболеваний обеспечила обработка семян препаратами Гумат Плодородие и Мивал–Агро. Их биологическая эффективность составила по бурой ржавчине 45,9 и 43,7 %, по мучнистой росе – 39,4 – 35,1 %, по септориозу – 44,0 – 41,1 %. Обработка семян биопрепаратами повышала урожайность яровой пшеницы на 0,25 – 0,28 т/га, тогда как химический протравитель (Раксил) – на 0,19 т/га.

Исследования, проведенные Ю.В. Козловым (Козлов Ю.В., Самсонова Н.Е., Новикова Н.Е., 2010) показали, что по эффективности влияния на устойчивость растений к болезням Мивал–Агро превосходит изучаемые в опыте регуляторы роста (Гомобрассинолид, Эпин–Экстра), а также ТМТД. Данные авторы считают, что на зерновых культурах Мивал–Агро целесообразно применять путем предпосевной обработки семян зерновых культур.

Обработка посевного материала преследует целью мобилизацию и стимулирование в семенах сельскохозяйственных культур процессов роста, повышение устойчивости проростков и вегетирующих растений к поражению внешними инфекциями и воздействию неблагоприятных условий среды (Нижарадзе Т.С., 2012).

О.В. Кадыров, А.А. Корнов и В.А. Задорожная (2011) также установили высокую эффективность Мивал–Агро (5 г/т) при возделывании пивоваренного ячменя. В условиях ЗАО «Данковский солод» Данковского района Липецкой области в производственных условиях обработка семян ячменя сорта «Скарлетт» стимулятором роста Мивал–Агро обеспечила повышение урожайности зерна на 0,7 т/га, при средней урожайности пивоваренного ячменя в целом по хозяйству – 4,2 т/га.

В исследованиях Н.Ю. Петрова, В.В. Белоус и Е.В. Калмыковой (2010) также показана высокая эффективность кремнийсодержащего препарата Энергия–М и Стимулайф. Предпосевная обработка ими способствовала

повышению зерна озимой пшеницы на 12–18 %, а при совместном применении с минеральными удобрениями – на 20–27 %.

Результаты полевого опыта на черноземе обыкновенном, проведенные с зерновым сорго (Васин А.В., Казутина Н.А., 2014), свидетельствуют о получении наибольшего эффекта от применения кремниевого препарата в случае его двукратного применения (обработка посевного материала и опрыскивание вегетирующих растений): урожайность повысилась на 36 % в среднем за трехлетний период. Аналогичный результат получен при обработке семян Мивал–Агро и обработке по вегетации жидким удобрением Мегамикс.

Кремниевые соединения положительно воздействуют на морфометрические показатели растений и стимулируют ростовые процессы на начальных этапах онтогенеза. Опытными испытаниями подтверждено положительное действие обработки семенного материала яровых зерновых культур диатомитом и комплексным препаратом Мивал–Агро.

Согласно результатам лабораторных исследований, наиболее высокий процент всхожести и энергии прорастания получен при замачивании семян ячменя в растворе кремнийорганического стимулятора роста с концентрацией 0,025 %. Обработка препаратом способствовала увеличению длины проростков и площади листьев. Примечательно, что положительный эффект от применения Мивал–Агро сохранялся на протяжении всего лабораторного эксперимента. При предпосевном замачивании в 0,025 %-ном растворе установлена наибольшая масса сырого вещества надземной части и корневой системы растений (Чмелева, Кучер, Решетник, 2013).

В работе Н.А. Зейслер изучена биологическая активность силатранов при прорастании семян ржи посевной, ячменя культурного шестирядного, овса посевного и пшеницы мягкой яровой. Препарат с действующим веществом 1-хлорметилсилатран оказал ростостимулирующий эффект на всхожесть семян всех рассматриваемых зерновых злаков, также пшеница и рожь оказались отзывчивы на обработку раствором этилсилатрана, рожь – винилсилатрана (Зейслер Н.А., 2016).

Действие цеолита Хотынецкого месторождения на урожайность кремнефильной культуры и показатели водного режима в условиях Смоленской области изучено Н.Е. Самсоновой, Н.А. Антоновой и И.А. Шупинской (2016) в полевом опыте. Цеолит и минеральные удобрения активно воздействовали на водный гомеостаз растений. Внесение агрохимических средств способствовало повышению доли связанной воды в листьях, увеличению водоудерживающей способности тканей.

Применение цеолита обеспечило снижение водного дефицита в листьях растений яровой пшеницы до 4,7 раз в 2014 г. и до 1,5 раз в 2015 г. и позволило на 17 % увеличить урожайность зерна, при этом незначительно уступив эффекту полного удобрения (Самсонова Н.Е., Антонова Н.А., Шупинская И.А., 2016).

В Малайзии Ashtiani F.A. и другие (2012) изучили эффективность силикагеля и силиката натрия в борьбе с пирикулярриозом риса. Обработанные кремневыми соединениями растения меньше поражались патогенами. Применение силикагеля в дозе 24 гр/кг почвы снизило на 75 % распространение заболевания.

Бразильскими учеными установлено, что использование соединений кремния способно снизить на 37 % распространение ризоктониоза и на 52 % степень поражения инфекцией растений риса (Rodrigues FÁ и др., 2003).

Предпосевная обработка яровой пшеницы и ячменя диатомитом в дозах 2 и 4 кг/ т повысила на 12–16 % энергию прорастания и увеличила длину проростков на 2,7–3,0 см (Чекаев Н.П., Рябов А.Е., 2015).

Ning D. и коллеги применили в технологии возделывания риса сталеплавильные и железные шлаки, являющиеся побочным продуктом металлургии и содержащие 10–28 % SiO<sub>2</sub>. Их использование значительно увеличило урожайность культуры, биомассу растений, концентрацию в ней кремния, снизило распространение и степень поражения листьев риса бурой пятнистостью, методом электронной микроскопии зафиксировано утолщение стенок эпидермальных клеток листьев за счет формирования кремниевого слоя, который вероятно служит физическим барьером для проникновения и развития грибковой инфекции (Ning D. И др., 2014).

Исследователи из Ирана определили, что применение раствора наночастиц кремния ( $n\text{SiO}_2$ ) размером 20–30 нм при проращивании семян чечевицы смягчило негативное действие высокой концентрации NaCl и способствовало более равномерному развитию растений (Janmohammadi M., Sabaghnia N., Ahadnezhad A., 2015).

Результаты исследования, проведенного в Кубанском СХИ, показали, что для повышения устойчивости растений риса к полеганию необходимо комбинировать высокие дозы азотных удобрений с подкормкой калийными или повышенными дозами фосфорных. При таких вариантах внесения агрохимикатов достигается оптимальное содержание  $\text{SiO}_2$  в стеблях (Е.П. Алешин, Н.Е. Алешин, Э.Р. Авакян, 1978).

На примере микроудобрения Силиплант (содержание Si 7,5–7,8 %) показано положительное действие кремния на повышение биопродуктивности лекарственных трав и их устойчивость в условиях засухи (Пушкина Г.П., Сидельников Н.И., 2016). Листовая подкормка препаратом повышала адаптивность базисных растений винограда к недостатку питательных веществ в песчаной почве (Ребров А.Н., 2015).

Исследования по раскрытию физиологических, биохимических и молекулярных механизмов, лежащих в основе повышения засухоустойчивости растений продолжаются вплоть до настоящего времени, однако в научной среде нет единого мнения в их обосновании.

В условиях дефицитной влагообеспеченности защитная функция кремния, возможно, обусловлена накоплением внутри клеток поликремниевых кислот, молекулы которых способны удерживать воду и высвободить ее в засушливый период (Матыченков В.В., 2008; Balakhnina T., Borkowska A., 2013; Самсонова Н.Е., 2014). Около 20–30 % присутствующего в растениях кремния может участвовать в поддержании внутреннего резерва воды. Один атом Si в гелях поликремниевых кислот способен удерживать до 119 молекул  $\text{H}_2\text{O}$ . При внесении в почву диатомита и монокремниевой кислоты повышается общее содержание кремния в растениях (Пахненко Е.П. и др., 2013).

Gao X. и другие считают, что при достаточной обеспеченности растений кремниевыми соединениями снижается интенсивность транспирации воды с листьев вследствие сужения пор и уменьшения скорости подъема воды по ксилеме стебля (Gao X. И др., 2006).

Применение кремниевых соединений в технологии возделывания сельскохозяйственных культур имеет большое значения для повышения уровня сопротивляемости растений к стрессам абиотической и биотической природы, борьбы с фитопатогенами. Примером стимулирования механической защиты служит утолщение эпидермальных тканей, физиологической – ускорение роста и развития корневой системы, начиная с ранних этапов онтогенеза. Доказана возможность снижения пестицидной нагрузки на агроценозы при совместном применении Si-содержащих соединений и фунгицидов (Матыченков В.В. Бочарникова Е.А., Аммосова Я.М., 2002).

### **1.3. Кремнийсодержащие материалы в качестве удобрения**

Кремний и его соединения широко распространены в природе, однако, количество доступных для растений низкомолекулярных кислот в почве очень низкое (Аммосова Я.М. и др., 1990; Самсонова Н.Е., 2005) и не превышает 150–200 мг/кг в расчете на SiO<sub>2</sub> (Лякина О.А., Самсонова Н.Е., Новикова Н.Е., 2010). В корнеобитаемом слое всегда отмечается отрицательный баланс подвижных соединений Si, который составляет около 6–20 кг/га (Самсонова Н.Е., 2014). Для нормального развития растений их концентрация в почвенном растворе должна быть  $\geq 20$  мг/кг почвы (Красноперова Е.В., Конышева А.А., 2003).

В условиях роста дефицита продовольствия и необходимости увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур на фоне воздействия неблагоприятных факторов среды применение кремнийсодержащих материалов может стать резервом повышения эффективности растениеводства (Крамарев С.М., Полянчиков С.П., Ковбель А.И., режим доступа: [http://quantum.ua/ru/articles/art\\_06.pdf](http://quantum.ua/ru/articles/art_06.pdf)).

Очевидна потребность дополнительного внесения в систему почва-растение растворимых кремнийсодержащих удобрений или веществ, повышающих доступность почвенного кремния для растительных организмов (Капранов В.К., 2010), однако следует рассмотреть некоторые обстоятельства. Концентрация кремниевых соединений в почвенных или питательных растворах не должна быть более  $120 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ , иначе возможен их переход в коллоидную форму, которая практически недоступна растениям (Ермаков Е.И., 2009).

В результате выпадения соединений кремния в осадок с ионами алюминия, закреплению в составе органического вещества почвы, включению в органоминеральные комплексы кремнийсодержащие удобрения могут терять свою доступность для растительных организмов (Панова Г.Г., 2012).

Из пород с высоким содержанием кремнекислородных соединений переход кремнезема в реакционно способные растворимые формы (монокремниевая и олигокремниевая кислоты) происходит в малых масштабах. Более активное растворение кремневой породы происходит при контакте с органическими соединениями почвы, например, фульвокислотами или силикатразрушающими ферментами. Кремнезем диатомита характеризуется высокой растворимостью в гуминовых кислотах с образованием химически устойчивых растворимых кремнийорганических производных, а также, при избытке гуминовых веществ или кремнезема, малорастворимых органоминеральных веществ, которые структурируют почву, формируя почвенные частицы, повышают влагоудерживающие свойства (Офицеров Е.Н. и др., 2011).

Усилия современных исследователей направлены на раскрытие механизмов взаимодействия кремниевых соединений растений и создание доступных для них высокоэффективных кремнийсодержащих удобрений (Панова Г.Г. и др., 2012).

В качестве источников кремния применяют твердые и жидкие вещества. К первым можно отнести отходы металлургической промышленности и высококремнистые породы (диатомит, цеолит, бентонит и др.), являющиеся природными образованиями и имеющие уникальные адсорбционные и биоактивные свойства. Раствор монокремниевой кислоты, который производит



компания «Эккор» из г. Орехово–Зуево (Россия, Московская область), – пример второй группы веществ. Благоприятное воздействие кремнийсодержащих материалов отдельно и в комплексе с минеральными и органическими удобрениями на рост, развитие и повышение продуктивности зерновых культур подтверждено фундаментальными и прикладными исследованиями.

Матыченковым В.В. (2007) предложена градация почв по дефициту доступного для растений кремния. Первая группа включает почвы без дефицита Si. Они характеризуются высоким уровнем плодородия, применение кремниевых удобрений на них целесообразно для оптимизации азотного и фосфорного питания растений. Вторая группа состоит из почв с низким уровнем дефицита элемента с высоким и средним уровнем плодородия и включены почвы, вовлеченные в сельскохозяйственное производство. Внесение кремниевых соединений способствует повышению обеспеченности растений элементом, увеличению эффективности применяемых удобрений и пестицидов. Третья группа – это деградированные почвы с дефицитом Si и низким уровнем плодородия. Кремниевые мелиоранты и удобрения снижают или прекращают деградацию и эродированность почв, обеспечивают требуемый уровень кремниевого питания культур. Песчаные и сильно деградированные почвы включены в четвертую группу. Их отличает высокий уровень дефицита элемента, что значительно снижает продуктивность сельскохозяйственных растений и эффективность применяемых агрохимикатов вследствие недостатка активного Si.

W. Szulc и коллеги рассмотрели воздействие известкования, минеральной и органоминеральной систем удобрения в длительном опыте на содержание соединений кремния в подзолистой почве. За период наблюдений (2011–2013 гг.) установлено, что внесение мелиоративных средств повысило содержание доступных кремниевых соединений на 71,9 % (W. Szulc и др., 2015).

Использование цеолитсодержащей породы Татарско–Шатранского месторождения улучшило агрохимические свойства серой лесной почвы, в сочетании с умеренными дозами минеральных удобрений способствовало повышению продуктивности гороха и зерновых культур на 7–20 %, при внесении в черноземную

почву увеличило урожайность сахарной свеклы на 8–26 %, зеленой массы вико-овсяной смеси на 13–53 %, яровой пшеницы на 7–36 % (Буров А.И., 2013).

А.Н. Арефьев и коллеги (2015) в полевых условиях определили положительную роль природных цеолитов в снижении кислотности чернозема выщелоченного. Максимальную эффективность в опыте показало их совместное использование с мелиоративной дозой навоза (70 т/га или 14 т/га севооборотной площади). Гидролитическая кислотность чернозема выщелоченного на третий год действия удобрений (2013) составила 0,51 мг-экв/100 г почвы по фону Бессоновских и 1,90 мг-экв/100 г почвы – Лунинских цеолитов, снижение общего содержания водородных катионов в пахотном горизонте почвы относительно контроля составило 5,00–6,39 мг-экв/100 г почвы (Арефьев А.Н., 2014). В 2014 г. концентрация водородных ионов на вариантах с применением цеолитсодержащей породы и органического удобрения составляла 0,91–2,10 мг-экв/100 г почвы.

Величина  $pH_{KCl}$  при внесении цеолитов и навоза в дозе 14 т/га севооборотной площади за период с 2011 по 2014 гг. изменилась с 6,1–6,4 до 6,4–6,6 ед., превышая контроль в абсолютном значении на 1,0–1,3 ед. Использование цеолитов на фоне минеральных удобрений снижало подкисляющий эффект последних. На фоне их совместного применения варьировала в пределах 5,6–5,9 ед. в 2011 г. и от 5,9 до 6,2 ед. в 2014 г, что больше контрольного значения показателя на 0,5–0,8 ед. и 0,8–1,1 ед. соответственно (Арефьев А.Н., Кузина Е.Е., Кузин Е.Н., 2016).

Сочетание природных цеолитов и навоза в норме 70 т/кг оказывало наибольшее в опыте существенное положительное влияние на динамику накопления гумуса в пахотном слое изучаемой почвенной разности (Арефьев А.Н., Кузина Е.Е., Кузин Е.Н., 2015). Положительное действие удобрительные свойства оказали и на продуктивность сельскохозяйственных культур. Урожайность сахарной свеклы в 2011 г. увеличилась на 11,60 и 12,68 т/га в зависимости от происхождения породы, сена многолетних трав в 2013 г. – на 2,37 и 2,39 т/га, ячменя в 2012 г. – на 0,88 т/га (Арефьев А.Н. и др., 2015). Максимальное содержание доступных форм основных макроэлементов определено при внесении

повышенных доз минеральных удобрений и природных цеолитов (Арефьев А.Н., Кузина Е.Е., Кузин Е.Н., 2015).

Сочетание применения кремнийсодержащей породы в последствии с повторным внесением навоза позволяет сохранить бездефицитный баланс гумусовых веществ в течение ротации зернопропашного севооборота, создать оптимальную плотность, восстанавливать агрономически ценную структуру серой лесной почвы и улучшать ее физико-химические свойства (Кузин Е.Н., 2014).

Положительно на состояние плодородия черноземной почвы влияет и внесение цеолита в сочетании с осадком сточных вод в норме по 10 т/га. Одностороннее использование агрономической руды способно увеличить содержание аммиачного и нитратного азота, обменного калия в пахотном горизонте чернозема оподзоленного (Степанова Л.П. и др., 2015).

Использование природных цеолитоподобных глин: Заманкул, Ирлит – в норме 6 т/га для мульчирования посевов столовой свеклы совместно с минеральными удобрениями (N45P80K60) и сидератом обеспечило улучшение фотосинтетической деятельности культуры, повысило урожайность культуры на 34,9–34,2 % и обеспечило выход стандартных корнеплодов более 90 % при возделывании на черноземе выщелоченном (Гаплаев М.Ш., Надежкин С.М., 2015).

Результаты вегетационного опыта со светло–серой лесной почвой свидетельствуют о положительном влиянии диатомита на продуктивность яровой пшеницы сорта Курская 2038. Более активное его действие зафиксировано на фоне минерального удобрения. Эффективная доза диатомита для яровой пшеницы составила 1,5–3,0 г/кг, для растений кукурузы – 6,0 г/кг (Уромова И.П., Копосова Н.Н., 2016).

В условиях микрополевого опыта на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве определена степень влияния различных доз кремниевых агроруд диатомита, цеолита и бентонита – в совместном применении с комплексным минеральным удобрением, синтетическим препаратом Крезацин на биологическую продуктивность и структуру урожайности озимой пшеницы Московская 39. Наибольшее увеличение общей биологической массы культуры получено от

внесения двойных доз пород в количестве 6 т/га: диатомита – 24 % и бентонита – 20 %, при учете урожая зерна – 16 % и 32 % (Козлов А.В, Овезов В.Р., Тарасов И.А., 2016).

Воздействие удобрения Контролфит Si ( $\text{Si}_2\text{O}$  – 17 %,  $\text{K}_2\text{O}$  – 7 %) на посевы риса в условиях полевого эксперимента рассмотрено в работе Чижикова В.Н., Паращенко В.Н. и Швыдкой Л.А. Полученные результаты свидетельствуют, что некорневая обработка растений кремнийсодержащим веществом в норме 1,0 и 2,0 л/га (фазы кущения и трубкования) повысила урожайность зерновой культуры на 0,61 и 0,83 т/га за счет увеличения массы зерна с одного растения на 0,9 и 1,5 г, снижения пустозерности на 3,4 и 4,3 % соответственно. Сроки наступления фенологических фаз растений по вариантам существенно не различались (Чижиков В.Н., Паращенко В.Н., Швыдкая Л.А., 2016).

Результаты двухлетнего микрополевого опыта на светло-серой лесной почве доказывают, что при внесении в почву высококремнистых пород диатомита и цеолита повышается урожайность картофеля на 30–45 % в прямом действии и продуктивность яровой пшеницы на 20–22 % в последствии на фоне минеральных удобрений. Наноконпозитный комплекс ООО «Green Lift», содержащий кремниевые образования размером до 100 нм, был эффективен только при обработке посадочного материала первой культуры (Дабахова Е.В., Забегалов Н.В., 2011).

Применение наноструктурной водно–цеолитной суспензии для обработки посевного материала на фоне минеральных удобрений (N60P60K60) оказало положительное действие на всхожесть семян гречихи сорта Черемшанка, увеличило продуктивность крупяной культуры и пищевую ценность выращенного зерна (Ежков В.О., 2013).

Испытание препарата Силактив (содержание Si 72 %) показало его эффективность в технологии возделывания риса. Обработка семян и вегетирующих растений увеличила урожайность культуры на 8,1–16,0 % (Барчукова А.Я., Бондарчук Е.Ю., Чернышева Н.В., 2016).

И.И. Бубряк и М.И. Менджул в естественных условиях изучили влияние

минеральных удобрений на динамику кремния в зеленой массе белоуса. Внесение N и NPK снижало, а применение извести увеличивало количество элемента в надземных органах кормового злака в сравнении с контрольным вариантом (Бубряк И.И., Менджул М.И., 1968).

Н.А. Забегаловым установлено, что при замачивании семян яровой пшеницы и гороха в растворе кремнийсодержащего нанопрепарата повышается содержание в продукции азота, фосфора и калия, увеличивается интенсивность их усвоения вегетативной массой (Забегалов Н.В., 2012).

Итоги двухлетнего эксперимента (2012–2013 гг.) свидетельствуют об эффективности диатомита при возделывании риса в аллювиальной зоне Западной Бенгалии (Индия). Внесение высококремнистой породы значительно повысило урожайность основной и побочной продукции, содержание в ней азота, фосфора, калия и кремния. Наибольшая прибавка урожайности в опыте получена при сочетании использования 600 кг/га диатомита и традиционных в регионе удобрений (Pati, S. и др., 2016).

Турецкими учеными установлено, что применение клиноптилолита в дозе 6 т/га, являющегося разновидностью цеолита и содержащего 70,9 % оксида кремния, фосфор, калий, др. питательные вещества способствует увеличению средней урожайности риса на 11 % и содержанию в зерне белка (на 9,7 %), макро- и микроэлементов (M.N. Gevrek и др., 2009).

Н.П. Чекаев и А.Е. Рябов в условиях Пензенской области на черноземе выщелоченном изучили влияние диатомита Коржевского месторождения на содержание растворимых сахаров в узлах кущения растений озимой пшеницы, от которого в дальнейшем может зависеть морозоустойчивость культуры. Внесение только высококремнистой породы в количестве 2–8 т/га увеличило на 2,1–5,0 % запасы углеводов в узлах кущения озимой пшеницы, совместно с навозом (16 т/га) – на 8,1–10,8 %, с полным минеральным удобрением (N80P40K96) – на 5,6–8,4 % (Чекаев Н.П., Рябов А.Е., 2014).

Влияние местного цеолита в комплексе с удобрениями на орошаемых каштановых почвах Гянджа–Казахской зоны Азербайджана повышало

урожайность продукции озимой пшеницы и коэффициенты использования азота, фосфора и калия из агрохимических средств (Асланов Г.А., 2016).

Л.И. Кудиновой установлено положительное влияние силиката натрия на вес 20- и 30-дневных растений ячменя, выращенных в водной культуре. Концентрация чистого кремния поддерживалась на уровне 20 мг/л. За период наблюдений абсолютно сухая масса целого растения повысилась на 31%, листьев – на 23 %, корней – на 54 %. Сырой вес листьев увеличился на 25 % и на 18 % всего растения (Кудинова Л.И., 1974).

В работе А.С. Соловьева и Н.В. Верховцевой (2014) показана эффективность применения кремнийсодержащих пород трепела и диатомита в нормах 800 и 600 кг/га соответственно на фоне минерального удобрения (N60P60K60) и как самостоятельных улучшителей грунта в технологии выращивания газонов.

Агрохимические средства оказали большее воздействие во второй год развития трав. При внесении трепела и диатомита содержание кремния в биомассе растений увеличилось на 40 %, скорость задернения газона на 30 % с полным минеральным питанием и на 10 % без него. Определена тесная коррелятивная связь ( $r_{0,05}=0,7$ ) между содержанием азота и кремния в скошенной части трав. Трепел и диатомит способствовали повышению сохранности растений в сухие и избыточно влажные погодные периоды (Соловьев А.С., Верховцева Н.В., 2014).

В условиях кадмиевого загрязнения почвы определено влияние комплексного кремний–органического мелиоранта, монокремниевой кислоты и бурого угля на биомассу ячменя и гороха. Применение кремниевых препаратов обеспечило фактически полное устранение негативного воздействия тяжелого металла на листья и корни представителей однодольных и двудольных растений. В присутствии солей кадмия при внесении монокремниевой кислоты и кремний–органический мелиоранта наблюдали повышение содержания кремния в органах ячменя и гороха. В отсутствие стресса кремниевые соединения не оказывали воздействия на концентрацию элемента в листьях бобовой культуры.

На содержание кадмия в органах испытуемых растений бурый уголь и монокремниевая кислота повлияли незначительно. При внесении кремний–

органического мелиоранта концентрация элемента в листьях ячменя и гороха не превышала ПДК для кадмия в растительных кормах ( $< 30$  мг Cd/ кг) в условиях загрязнения почвы тяжелым металлом и в его отсутствие (Бочарникова Е.А. и др. 2016).

А.В. Ильинский с коллегами оценил перспективность использования комбинированного мелиоранта, состоящего из смеси обработанного  $Fe^{3+}$  диатомита и голубой глины для реабилитации сельскохозяйственных угодий, загрязненных мышьяком. Полевой опыт на оподзоленном черноземе показал, что применение мелиоранта на основе комплекса природных сорбентов в дозе 10 т/га позволило инактивировать в почве подвижные формы поллютанта на 67 %; тем самым снизить его содержание в зерне овса на 94,2 % и в соломе на 81,2 %, получить соответствующую нормативным требованиям товарную продукцию (Ильинский А.В. и др., 2015).

Возможность использования кремнийсодержащих материалов природного происхождения в качестве удобрительных средств при возделывании сельскохозяйственных культур изучается сотрудниками кафедры почвоведения агрохимии и агроэкологии Ульяновского ГАУ более двух десятилетий.

Исследования М.И. Ходько (2000) доказали агрономическую ценность цеолита, добытого на Юшанском участке Майнского месторождения Ульяновской области: при норме внесения 6 т/га улучшились агрохимические показатели почвы, повысилась на 10,9 % продуктивность кукурузы, в основной продукции наблюдалось снижение количества тяжелых металлов и нитратов (Куликова А.Х., 2003).

В полевых и производственных условиях установлено положительное влияние диатомита Инзенского месторождения (Ульяновская область) отдельно и в сочетании с куриным пометом на физико-химические свойства, водный режим, биогенность чернозема выщелоченного в системе удобрения зерновых и овощных культур.

Мелко- и крупнодечные опыты показали, что внесение удобрительных средств не загрязняло почву тяжелыми металлами, более того, в испытаниях с

озимой пшеницей и морковью достоверно уменьшалась подвижность свинца, никеля, кадмия и хрома. Кремниевое соединение в прямом действии и последствии эффективно повлияло на урожайность и качественные показатели зерна озимой и яровой пшеницы, снизило поступление токсичных элементов в основную продукцию. В экспериментальных исследованиях помимо возрастания сбора овощей, на вариантах с применением диатомита также отмечено раннее плодоношение огурцов и томатов, повышение сопротивляемости последних к грибковым заболеваниям, большее накопление фосфора, калия в огурцах и корнеплодах.

Производственные испытания кремнийсодержащего вещества свидетельствовали об увеличении урожайности зерна ячменя на 20 % и содержания основных макроэлементов в продукции по отношению к контрольному значению; на овощных культурах подтвердились ранее полученные результаты (Куликова А.Х., Яшин Е.А., 2008).

Внесение диатомита является одним из действенных и результативных методов для повышения устойчивости растений яровой пшеницы к полеганию, что в дальнейшем способствует снижению потерь основной продукции культуры. В среднем за четырехлетний период исследования (2003–2006 гг.) при использовании высококремнистой породы в дозе 3 т/га устойчивость к полеганию увеличилась на 0,6 ед. и составила 4,5 балла (Куликова А.Х., 2013).

Изучение эффективности диатомита продолжено в исследованиях с озимой и яровой пшеницей, где рассматривалось действие породы в чистом виде и в комплексе с минеральными удобрениями. Кремниевое соединение отдельно и в сочетании с мочевиной оказывало разуплотняющее и оструктурирующее действие на чернозем выщелоченный.

Диатомит по величине положительного влияния на азотный, фосфорный и калийный режимы почвы не уступал полному минеральному удобрению, улучшал кремниевое питание растений, снижал на 11–22 % содержание подвижного кадмия в пахотном горизонте. При совместном внесении минеральных удобрений и кремнийсодержащей породы снижался на 10–21 % коэффициент водопотребления



растениями озимой пшеницы.

Более высокая урожайность и улучшенное качество продукции изучаемых культур в экспериментах получены в случае применения 3 т/га диатомита и 40 кг д.в./га мочевины. При внесении высококремнистой породы увеличилось на 2–36 % содержание кремния в зерне, снизилось поступление кадмия и свинца. Производственные испытания подтвердили эффективность удобрительных средств (Куликова А.Х., Яшин Е.А., Данилова Е.А., 2008).

Высокую урожайность сельскохозяйственных культур и низкую себестоимость относят к существенным факторам повышения конкурентоспособности продукции растениеводства и укрепления ее позиций на экспортном рынке. Увеличение продуктивности посредством введения в принятые технологии возделывания новых форм удобрений, средств защиты, контроля качества семеноводческого материала; решения проблемы влагообеспеченности посевов может привести к снижению затрат на сельскохозяйственное производство и увеличению доходов заинтересованных лиц (Соболев О.С., 2013).

Однократное внесение диатомита в нормах 3–5 т/га не всегда оправдано с экономической точки зрения ввиду значительных расходов на транспортировку, при этом нивелируется его значительная агрономическая ценность и длительное последствие. В связи с вышесказанным, следующие испытания высококремнистой породы направлены на изучение возможности снижения применяемых норм кремниевого соединения и минеральных удобрений, введения сочетаний агрохимикатов с биопрепаратами (Куликова А.Х., Яшин Е.А., Данилова Е.А., 2008).

Обработка посевного материала сахарной свеклы биологическими препаратами: Байкалом ЭМ-1 или Ризоагрином – совместно с диатомитовым порошком (30 кг/т семян) оказала положительное влияние на ферментативную активность чернозема выщелоченного, обеспеченность растений доступным азотом, фосфором, калием и кремнием; при этом отсутствовал подкисляющий эффект на почвенный раствор.

Продуктивность сахарной свеклы в среднем за трехлетний период испытаний

(2006–2008 гг.) на вариантах с биопрепаратами и диатомитом составила 40,6 т/га для Байкала ЭМ-1 и 38,5 т/га – Ризограмма, что превышает контроль на 21,6 и 15,3 % соответственно. На фоне минеральных удобрений прибавка урожайности корнеплодов составила 34,1 % для землеудобрительного препарата и 25,7 % торфяного. В полученной продукции снижено содержание цинка, меди, свинца, никеля, хрома и кадмия в сравнении с контрольным значением.

Инокуляция семян Байкал ЭМ-1 и диатомитовым порошком в сочетании с полным минеральным удобрением способствовала получению наиболее высокого в опыте сбора сахара, который составил 8,4 т/га, и экономического эффекта: уровень рентабельности 100 %, превышая контроль на 18 и 4 % контроль и удобрённый фон (Куликова А.Х., Дронина О.С., 2009).

Краткий обзор литературных данных по изучению эффективности применения кремнийсодержащих материалов в качестве удобрения позволяет сделать следующие выводы:

– внесение кремниевых соединений отдельно, в комплексе с минеральными, органическими удобрениями, мелиорантами оказывает положительное воздействие на показатели почвенного плодородия, урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур;

– применение кремнийсодержащих материалов является перспективным направлением в земледелии вследствие дефицита в почве доступного кремния и положительного влияния на растения. С внесением больших доз кремниевых удобрений связаны высокие материальные затраты, что обуславливает необходимость изучения применения малых доз кремнийсодержащих материалов при возделывании сельскохозяйственных культур, в том числе в условиях Среднего Поволжья.

## **2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **2.1. Почвенно-климатическая характеристика опытного поля**

Влияние агроклиматических и почвенных ресурсов на объекты и процессы сельскохозяйственного производства обуславливает в значительной мере размер и качество будущей продукции, ее себестоимость, производительность труда. Изучение закономерностей формирования урожайности возможно лишь на основе оценки метеорологических факторов и уровня плодородия угодий, поэтому при проведении полевых испытаний возникает необходимость оценки почвенно-климатических условий произрастания культур.

#### **2.1.1 Агроклиматические условия**

Территория Ульяновской области расположена на Русской равнине в лесостепной зоне. Климат умеренно континентальный с отчетливо выраженными сезонами года.

Местности свойственна высокая облачность: около 256 дней небо затянуто облаками. Средняя скорость ветра в летние месяцы составляет 4, а зимние – 6 м/сек, редко отмечается увеличение до 30 м/сек и более, что создает предпосылки для развития ветровой эрозии почв. В период апрель-август вероятны суховейные атмосферные явления, которые чаще всего наблюдаются в июне. С января по март регистрируют самые порывистые ветры и частые сильные метели. В июле наиболее вероятна ветряная погода с градом.

Во второй половине осеннего периода устанавливается средняя суточная температура ниже 0 °С и сохраняется вплоть до начала апреля. Устойчивый снежный покров формируется к середине февраля, в это время его наибольшая мощность достигает 40 см в северо-восточной части региона, 25 см – в южной; и сходит в первой декаде апреля. В ноябре возможны морозы до - 10 °С, в январе и феврале они достигают - 35 °С. Январь считают наиболее холодным месяцем, средние показания термометров в этот период составляют от - 14 °С (Рязаново)

до - 12,7 °С (Сенгилей).

Выше 0 °С среднесуточная температура повышается в начале апреля. В середине мая, начале июня на территории региона велика вероятность заморозков. Июль – самый теплый месяц: средняя температура колеблется от 18,6 °С (Майна) до 20,4 °С (Сенгилей). Для получения высокой и устойчивой урожайности культурных растений в годы с сухими весенне-летними месяцами в области важно проведение мероприятий по накоплению и сохранению влаги в почве. Для сентября характерна сухая тихая солнечная погода, в отдельные годы в начале месяца случаются первые заморозки (География Ульяновской области, 1974).

Погодные условия вегетационного периода оказывают заметное влияние на урожайность зерновых культурных растений и наибольшая роль принадлежит уровню увлажненности в его первую половину. Снижение продуктивности, как правило, наблюдается при сопровождении высоких температур в начале вегетации недостатком осадков (Шарипова Р.Б., 2016).

На территории Ульяновской области среднее значение годовой суммы атмосферных осадков составляет 455 мм, из которых 241 мм приходится на теплый период. При такой норме влаги совместно с оптимальным режимом температуры формируются благоприятные условия для высокой продуктивности зерновых культур. По области среднее значение суммы активных температур составляет 2457 °С (Шарипова Р.Б., 2012).

Однако характер выпадения осадков отличается неравномерностью, и их количество варьирует от 224 мм, как показал 1975 г., до 654 мм (1990 г.), при этом за один месяц может выпасть 44 % нормы (1979 г.) или наблюдаться отсутствие осадков в течение 2–3 месяцев (2010 г.). Последнее создает условия для наступления устойчивой засухи, наступление которой возможно в регионе единожды в 8 лет (Шарипова Р.Б., Сабитов М.М., 2013).

Погодные условия за годы проведения полевых опытов отличались по температурному режиму, количеству выпавших атмосферных осадков, характеру их распределения в течение вегетации культур.

Оценка климатических показателей проведена на основе наблюдений

метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный», находящейся в непосредственной близости от опытного участка (рис.1, 2).

Анализ динамики метеорологических элементов за 2011 – 2013 гг. показал значительную неравномерность выпадения атмосферных осадков как за вегетационный период (приложение 1, 2, 3), так и в целом за год.

2011 год был благоприятным для возделывания зерновых культур, в том числе и ячменя: за период вегетации опытной культуры выпало 225,2 мм осадков, а сумма активных температур ( $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) составила 1800,5  $^{\circ}\text{C}$ .

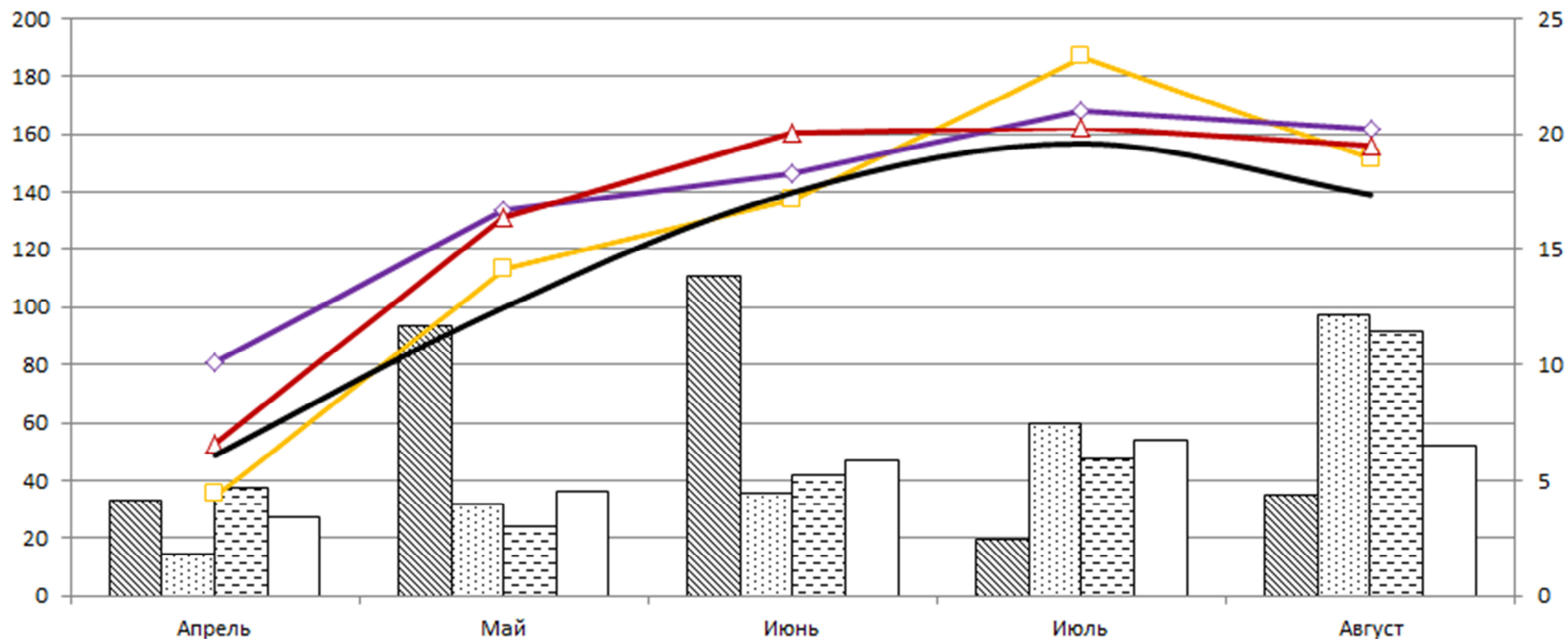
В 2012 году за период вегетации ячменя сумма осадков составила 130,4 мм, что значительно меньше предыдущего года. Кроме того, вначале вегетации (после всходов) в течение почти месяца осадков не было совсем, что отразилось на динамике развития растений.

2013 г. отличался более благоприятными погодными условиями по сравнению с 2012 годом. Однако в мае выпало только 24,0 мм осадков, что возмещалось запасами продуктивной влаги из почвы, сформированной в осеннее – зимний и, частично, весенний периоды. Июнь и июль характеризовались наиболее высоким температурным режимом и чуть низкими показателями осадков по сравнению со среднегодовалными данными.

За 2014–2016 гг. исследований среднегодовое количество осадков составило 518 мм (приложение 4, 5, 6). За вегетационный период яровой пшеницы в 2014 г. выпало 106,6 мм при норме 144,5 мм (74 %), в 2015 г. – 173,3 мм (120 %), в 2016 г.

В 2014 г. погодные условия сложились относительно благоприятно для возделывания культуры. Во второй декаде апреля установилась теплая погода.

Осадки, мм



Среднесуточная температура, °C

Рисунок 3 – Ход метеорологических элементов за вегетационный период 2011-2013 гг.

▨ Среднемесячные осадки за 2011

▤ Среднемесячные осадки за 2012

▧ Среднемесячные осадки за 2013

□ Среднемесячные осадки за многолетие

—□— Среднесуточная температура за 2011

—◇— Среднесуточная температура за 2012

—△— Среднесуточная температура за 2013

— Среднесуточная температура за многолетие

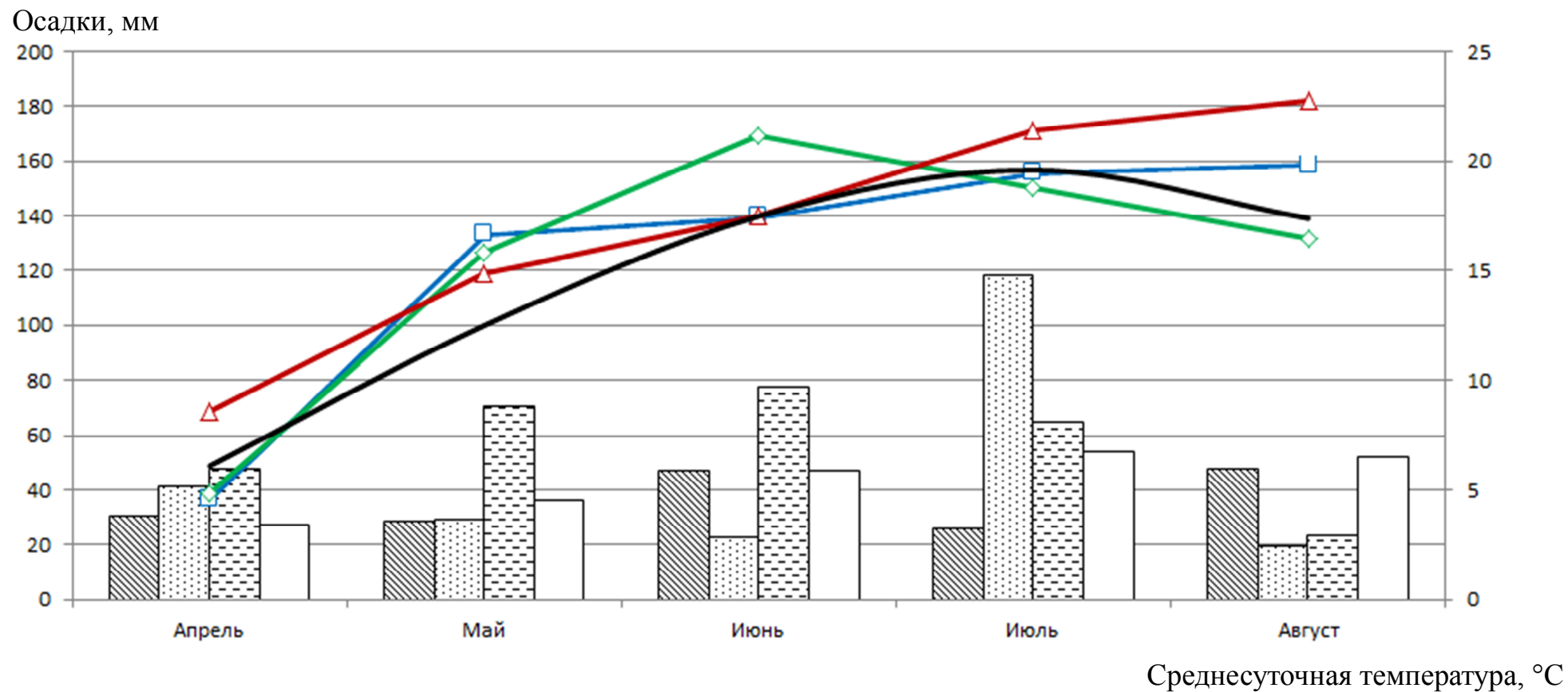


Рисунок 4 – Ход метеорологических элементов за вегетационный период 2014-2016 гг.

▨ Среднемесячные осадки за 2014

▤ Среднемесячные осадки за 2015

▧ Среднемесячные осадки за 2016

□ Среднемесячные осадки за многолетний период

□ Среднесуточная температура за 2014

◇ Среднесуточная температура за 2015

△ Среднесуточная температура за 2016

— Среднемесячная среднесуточная температура

К середине месяца зарегистрировано полное оттаивание почвенного покрова. Осадки – снег, мокрый снег, снежная крупа, дождь – выпали в количестве 30,8 мм, превысив на 14,1 % средне многолетнее значение. После первой декады в мае преобладала аномально теплая погода со среднесуточной температурой месяца 16,7 °С, превышающей норму на 4,2 °С. Суховейные явления привели к потерям почвенной влаги на испарение. Во второй и третьей декадах июня наблюдалась прохладная погода с дождями. Июль связан с установлением умеренно теплой погоды. В течение месяца отмечены небольшие периоды жары с малочисленными осадками.

В 2015 г. наблюдались неблагоприятные для растений яровой пшеницы метеорологические условия. Количество выпавших осадков за апрель превысило среднемноголетний показатель на 53 %. Среднемесячная температура составила 4,8 °С, что ниже обычных значений этого месяца на 1,3 °С. В мае и июне сложилась засушливая обстановка. Дефицит осадков возмещался запасами продуктивной влаги из почвы, сформированными в осеннее – зимний и, частично, весенний периоды. В июне наблюдались повышения температуры воздуха до 33,2 °С, выпало 22,8 мм осадков, 49 % от нормы. Июль характеризовался холодными влажными условиями: фактическая температура воздуха была ниже на 0,8 °С среднемноголетних значений, количество выпавших осадков составило 118,6 мм (норма 54 мм), из которых 78,3 мм пришлось на первую декаду.

В 2016 г. интенсивно засушливая погода сместилась на август. Метеорологические условия вегетационного периода благоприятно влияли на рост и развитие культуры. В апреле при среднесуточной температуре 8,6 °С, на 2,5 °С выше обычной, выпало 47,5 мм осадков, норма 27 мм. Декадные температуры воздуха в мае составили в среднем 14,9 °С, что теплее среднемноголетних значений на 2,4 °С. Осадки, зарегистрированные во второй (35,8 мм) и третьей (23,3 мм) декадах месяца, положительно повлияли на появление дружных всходов. В июне значение среднесуточной температуры воздуха было равно среднемноголетнему – 17,5 °С. В этом месяце сумма выпавших осадков превысила среднемноголетнее значение на 30,8 мм, особенно она была велика в



первой декаде – 59,6 мм, что в почти в четыре раза превысило норму (15,0 мм). В первой декаде июня резкое колебание температуры ночью (3,6 °С) и повышение днем (21,3 °С) нарушали нормальное течение метаболизма в клетках растений. Сложившиеся условия способствовали развитию бурой листовой ржавчины, стеблевой ржавчины, бактериозов, которые отрицательно воздействовали на продуктивность культуры. Развитию болезней способствовали и регулярно выпадавшие осадки, которых за июль выпало 65,0 мм. Среднесуточная температура месяца превысила норму на 1,8 °С и составила 21,4 °С. Вторая и третья декада характеризовались жаркими погодными условиями с повышением температуры воздуха до 32,8 °С и 32,1 °С соответственно.

Таким образом, температурный режим и влагообеспеченность почвы в течение периода исследований были контрастными, что позволило полнее оценить влияние изучаемых факторов на развитие и формирование урожайности яровой пшеницы.

### **2.1.2 Особенности почвенного покрова**

Долина р. Волга делит Ульяновскую область на две части: западную – правобережную возвышенную (Предволжье) и восточную–левобережную низменную (Заволжье). Левобережье сложено молодыми континентальными песчаноглинистыми отложениями, центр и юго–запад Правобережья – песком, трепелами, песчаниками, опоками палеогеновой системы и опокovidными глинами; север и юго-восток – мергелем, песками, мелом, глинами, песчаниками с фосфоритами меловой системы (География Ульяновской области, 1974).

Почвенный покров области отличается неоднородностью. Основной его фон в связи с географическим положением региона занимают лесные и степные почвы. Геологическое строение и рельеф предопределили образование особых типов почвенных разностей: пойменных, болотных, карбонатных, солонцовых. В структуре фонда почв черноземные образования занимают 58,8 %, серые лесные – 27,4 %, дерново–подзолистые– 5,4 %, пойменные слабокислые и нейтральные –

3,2 % (Единый государственный реестр..., 2014).

Земли субъекта Российской Федерации, в том числе Ульяновской области, отличаются высокой освоенностью: на сельскохозяйственные угодья приходится > 60 % земельного фонда, доля пашни в общей площади превышает 80 %. Запасы гумусовых веществ, как правило, увеличиваются в направлении от светло-серых почв к черноземам выщелоченным и типичным.

Агрохимическое обследование площади пашни, проведенное сотрудниками ФГБУ «САС «Ульяновская», выявило: на начало 2014 г. средневзвешенное содержание гумуса составило 4,8 %, подвижных фосфора и калия – 127,9 мг/кг (повышенное) и 136,8 мг/кг (высокое) соответственно. Специалистами установлено преобладание кислых почв: они занимают 635,6 тыс. га (47,7 %), из которых на слабокислые приходится 436,0 тыс. га (32,7%) (Черкасов Е.А., 2014).

Опытное поле Ульяновского ГАУ, на территории которого проведены испытания, расположено в черте муниципального образования «Чердаклинский район» Ульяновской области. Согласно почвенно-экологическому районированию региона, предложенному Антоновой Ж.А. (2011) и основанному на структуре почвенного покрова, местность входит в состав Приволжского левобережного района Заволжского низменно-равнинного округа. В структуре почв района преобладают черноземы выщелоченные и черноземы типичные, сформированные под влиянием средней дренированности территории округа, в основном, на древнеаллювиальных отложениях, представленных различными суглинистыми осадками.

Почва опытного участка представлена черноземом выщелоченным среднесплошным среднесуглинистым, профиль которого имеет следующие морфологические признаки:

Горизонт $A_p$ (0 – 25 см)	Зернистопылевато–комковатый, густо пронизан корнями растений, среднесуглинистый, переход постепенный.
Горизонт $A_1$ (25 – 38 см)	Темный с сероватым оттенком, зернисто-комковатый, среднесуглинистый, полуразложившиеся остатки растений, имеются ходы червей, переход постепенный.
Горизонт $AB$ (38 – 55 см)	Серовато-коричневатый, комковато-ореховидный, среднесуглинистый, уплотнен, нижний переход заметен слабо.
Горизонт $B_1$ (55 – 84 см)	Светлокоричневато-бурый, комковатый или призмовидно комковатый, среднесуглинистый, плотнее, чем $AB$ , с ясным гляncем на структурных отдельностях, переход слабыми языками, более заметен.
Горизонт $B_2$ (84 – 143 см)	Желтовато-коричневый, бесструктурный, легкосуглинистый, рыхлый, гумусовые языки и потеки до 115 см, бурное вскипание от $HCl$ с глубины 84 см.
Горизонт $C$ (143 см и более)	Желтый, бесструктурный, легкосуглинистый, рыхлый, слабые псевдомицелии карбонатов.

Для пахотного слоя почвы опытного участка характерна повышенная и высокая обеспеченность подвижными фосфором 142–180 мг/кг и высокая калием 138–141 мг/кг (по Чирикову), содержание гумуса составляет 4,3–4,5% (средняя обеспеченность), обменная кислотность ( $pH_{KCl}$ ) 5,2–5,4 ед (слабокислая), содержание актуального кремния 35–38 мг/кг (низкий уровень дефицита, по Матыченкову В.В., 2007).

В целом агрохимические свойства чернозема выщелоченного учебно-опытного хозяйства Ульяновского ГАУ позволяют получать высокий валовой сбор районированных зерновых культур, однако в отдельные годы возможно снижение продуктивности вследствие неблагоприятных метеорологических явлений.

## 2.2. Схемы полевых опытов и их обоснование

Испытания по изучению эффективности применения в технологии возделывания яровых зерновых культур кремнийсодержащих материалов в чистом виде и совместно минеральным удобрением проведены на опытном поле кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология» Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина в 2011–2016 гг. Проведены 2 полевых опыта.

Опыт 1. Схема опыта по изучению эффективности кремнийсодержащих материалов в системе удобрения ячменя включала 10 вариантов:

1. **Без удобрений (контроль);**
2. СЗР (Беномил 500);
3. Диатомит (в рядки);
4. Диатомит (обработка семян – о/с);
5. Мивал–Агро (о/с);
6. **N40P40K40 (фон);**
7. N40P40K40 + СЗР;
8. N40P40K40 + диатомит (в рядки);
9. N40P40K40 + диатомит (о/с);
10. N40P40K40 + Мивал–Агро (о/с).

Опыт 2. Схема опыта с яровой пшеницей в 2014–2016 гг. предусматривала 12 вариантов:

1. **Без удобрений (контроль);**
2. ЭкSi (о/с);
3. ЭкSi (обработка посевов – о/п);
4. Диатомит (о/с);
5. Мивал-Агро (о/с);
6. Мивал-Агро (о/п);
7. **N40P40K40 (фон);**
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с);
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п);
10. N40P40K40 + диатомит (о/с);
11. N40P40K40 + Мивал–Агро (о/с);
12. N40P40K40 + Мивал–Агро (о/п).

Полевые опыты закладывались в четырехкратной повторности. Посевная площадь делянки составляла 40 м<sup>2</sup> (4x10), учетная – 18 м<sup>2</sup> (1,8x10), располагались делянки методом полной рендомизации.

Исследования являлись составной частью плана научной работы ФГБОУ ВО Ульяновского ГАУ (рег. № АААА–А16–116.041.110.183–9).

В качестве минерального удобрения использовали нитроаммофоску (17:17:17) в дозе 40 кг д.в./га по главным питательным элементам, величина которой обусловлена тем, что она является средне рекомендованной для зерновых хозяйств региона (Адаптивно-ландшафтная система..., 2013).

Для изучения защитных свойств диатомита в полевом опыте с ячменем были включены варианты с протравливанием растений средствами защиты (Беномил 500).

В составе высококремнистой породы обнаружено более 75 – 85 % оксида кремния, в том числе аморфного > 40 – 50 %, присутствуют 1,06 % оксида калия; 0,05 % оксида фосфора и другие важные элементы для питания растений, что позволяет рассматривать ее в качестве кремниевого удобрения. На вариантах с внесением диатомита при посеве ячменя доза составила 40 кг/га.

Диатомит является очень лёгкой тонкозернистой кремнистой породой, в основном образовавшейся из мелких панцирей диатомей. Залегает огромными линзами среди опок (География Ульяновской области, 1974). Во все годы исследований обработка семян (опудривание) диатомитовым порошком проводилась в день посева в дозе 30 кг/т семян (для удерживания частиц породы на поверхности семян использовался прилипатель – NaKMц). Мивал–Агро применялся для обработки посевного материала и вегетирующих растений, расход препарата 5 г/т и 10 г/га соответственно. Кремнийорганический регулятор роста растений обладает широким спектром биологического действия, адаптогенными и антиоксидантными свойствами. Экологически безопасен, отличается высокой эффективностью и простотой использования, состоит на 80 % из мивала, 1-хлорметилсилатрана, на 20 % – крезацина, триэтаноламмониевой соли ортокрезоксиуксусной кислоты (<http://agrosil.ru>).

В 2014 г. схема опытов дополнена вариантами с обработкой семян и

растений препаратом нового поколения на основе активного кремния ЭкSi–универсал (компания «Эккор»), норма расхода материала 1 л/т и 3 л/га соответственно. По своему химическому составу препарат представляет собой раствор концентрированной монокремниевой кислоты. ЭкSi позволяет повысить урожайность сельскохозяйственных культур и их устойчивость к неблагоприятным условиям и различным стрессам биотического и абиотического характера. Помимо соединений кремния, препарат содержит калий, натрий и гуматы (<http://ek-si.ru/fertilizers/eksi-universal>). Рабочий раствор Мивал–Агро и ЭкSi готовился непосредственно перед обработкой.

### **2.3. Технологии возделывания изучаемых яровых зерновых культур**

Для исследования в 2011–2013 гг. объектом изучения выбран яровой ячмень сорта Нутанс 553. Среднеустойчив к твердой головне, восприимчив к возбудителям пыльной головни и гельминтоспориозных пятнистостей. Сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений с 1997 г. В настоящее время разрешен для производственного использования по Центрально—Черноземному, Средневолжскому, Нижневолжскому и Уральскому регионам РФ. Основное достоинство сорта – высокая засухоустойчивость (Каталог сортов зерновых..., 2013).

В структуре посевных площадей в хозяйствах всех категорий Ульяновской области за период с 2011 по 2016 гг. яровой ячмень занимал 9–13 % (в 2013 г. – 13,0 %) от всей посевной площади и 15–23 % (в 2013 г. – 23 %) от площади посева зерновых и зернобобовых культур. Средняя урожайность культуры составляла 1,5–1,8 т/га, поэтому проблема повышения продуктивности ячменя является достаточно актуальной (Ульяновская область..., 2015).

В 2014–2016 гг. исследований объектом изучения являлась яровая пшеница сорта Маргарита. Оригинатором является ФГБНУ «Ульяновский НИИСХ». В настоящее время сорт допущен для возделывания в Волго-Вятском и Средневолжском регионах, в Государственный реестр селекционных достижений

включен с 2008. В сорте оптимально сбалансированы высокая продуктивность, устойчивость к полеганию, качество зерна, обладает устойчивостью к основным видам болезней и отзывчив на применение минеральных удобрений. Максимальная урожайность сорта Маргарита в Государственном сортоиспытании составила 7,00 т/га.

В структуре посевных площадей в хозяйствах всех категорий Ульяновской области за период с 2011 по 2016 гг. на долю яровой пшеницы приходилось 13-16 % (в 2016 г. – 14,0 %) от всей посевной площади и 22–28 % (в 2016 – 25 %) от площади посева зерновых и зернобобовых культур. Средняя урожайность культуры составляла 1,1 – 1,7 т/га, в связи с чем проблема повышения урожайности яровой пшеницы не теряет своей актуальности (Ульяновская область..., 2015).

Пшеница остается основной продовольственной культурой страны. История изучения и внедрения яровой пшеницы в Ульяновской области насчитывает более 100 лет. За это время по селекции и технологии возделывания накоплен богатый практический и теоретический научный опыт. Однако климатические условия региона таковы, что возможно резкое снижение продуктивности яровой пшеницы вследствие недостаточного количества осадков, что отчасти можно нивелировать применением научно-обоснованных агротехнических приемов (Захаров В.Г., 2014).

Посев яровых зерновых культур проводили в оптимальные сроки (третья декада апреля–первая декада мая) сеялкой ССНП–16 рядовым способом, вслед за культивацией. Норма высева составляла 4,5 млн. всхожих семян на гектар, или 250 кг/га в физическом весе, на глубину заделки 5–6 см. Посевы прикатывались кольчато-шпоровыми катками ЗККШ–6А.

Технология возделывания включала следующие операции: основная обработка почвы опытного участка ежегодно проводилась в оптимальные сроки в период с 25 августа по 15 сентября, лущение стерни – вслед за уборкой озимой пшеницы агрегатом Т-150 + БДТ–7 на глубину 10–12 см. Для вспашки на глубину 20–22 см использовали плуг ПЛН–5–35.

В весенний период при наступлении физической спелости почвы осуществляли закрытие влаги тяжелыми зубowymi боронами БЗТС-1. Внесение минерального удобрения в дозе N40P40K40 проводилось вручную под предпосевную культивацию (КПС-4, на глубину 10–12 см) согласно схеме полевого опыта. Уборка урожая проводилась прямым комбинированием при достижении полной спелости зерна комбайном Terrion Sampo SR2010.

На вариантах с СЗР применяли для борьбы с возбудителями грибковых болезней препарат «Беномил 500», обладающий системной активностью и оказывающий хорошее защитное и лечебное действие. Препарат относится к группе производных бензимидазола, его действие направлено на подавление скорости деления клеток патогенных микроорганизмов, для теплокровных – вещество 2-го класса опасности. В сельском хозяйстве применяется для защиты ярового ячменя от головневых болезней, церкоспореллезных и фузариозных корневых гнилей. Протравливание семян проводилось непосредственно перед посевом. Доза препарата «Беномил 500» составила 0,1 л при расходе рабочей жидкости – 10 л/т.

Для борьбы с вредителями применяли инсектицид широкого спектра действия «Каратэ Зеон». Действующее вещество препарата – лямбда-цигалотрин – проникает через кутикулу и вызывает паралич нервной системы насекомых. На посевах зерновых культур используется для борьбы с листогрызущими и сосущими насекомыми. Для человека умеренно-опасное вещество. После обработки растений препарат характеризуется высокой дождеустойчивостью и фотостабильностью. Опрыскивание проводили в фазу выхода в трубку ручным опрыскивателем. Доза препарата «Каратэ Зеон» составила 0,2 л при расходе рабочего раствора 200 л/га.

#### **2.4. Методы наблюдений, учетов и анализов**

Организация полевых опытов, отбор и лабораторные исследования почвенных и растительных проб, проведение сопутствующих наблюдений



выполнены согласно методическим требованиям: «Методика агрохимических исследований» (Юдин Ф.А., 1980), «Агрохимический анализ почв, растений, удобрений» (Дурынина Е.П., Егоров В.С., 1998), «Методика полевого опыта» (Доспехов Б.А., 2011).

Проводили анализы, учеты и наблюдения:

- фенологические наблюдения по методике государственного сортоиспытания;
- густоту стояния посевов зерновых определяли в фазу трех листьев;
- в почвенных образцах: гумус по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–91), гидролитическую кислотность по методу Каппена–Гильковица в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212–91); нитраты – потенциометрическим методом (ГОСТ 26951–86), обменный аммоний – фотометрическим методом (ГОСТ 26489–85), подвижные соединения фосфора и калия по методу Ф.В. Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204–91), обменную кислотность по методу ЦИНАО ( $pH_{KCl}$ ) – ГОСТ 26483–85;
- учет общей биологической активности почвы проводился по методу льняных полотен (интенсивности разложения естественного источника целлюлозы);
- определение корневых гнилей по методике В.В. Котовой (1986) и др. Развитие болезни определяли методом учетных площадок на делянках в 3-кратной повторности в период колошения.
- в растительных образцах: общий азот по Къельдалю (ГОСТ 13496.4–93), фосфор – фотометрическим методом (ГОСТ 26657–97), калий – методом пламенной фотометрии (ГОСТ 30504–97), содержание белка в зерне определяли путем умножения общего азота на коэффициент 5,7 (Минеев В.Г. и др., 2001), количество массовой доли клейковины по ГОСТ Р 54478–2011, содержание тяжелых металлов (медь, цинк, кадмий, свинец, никель) методом атомно-адсорбционной спектромерии (ГОСТ 30692–2000).

Учет урожайности проводился путем сплошного обмолота всей массы с опытной деланки комбайном Terrion Sampo SR2010 и дальнейшим взвешиванием. Данные приводились к 100 %-й чистоте и 14 %-й влажности (ГОСТ 27548–97).

Экономическая оценка применения кремнийсодержащих материалов отдельно и в комплексе с минеральным удобрением в технологии возделывания зерновых культур проводилась с учетом технологических карт, по системе натуральных и стоимостных показателей с использованием нормативов и расценок, принятых для производственных условий опытного поля Ульяновского ГАУ (2016 г.).

Биоэнергетическая эффективность используемых факторов рассчитывалась по совокупным затратам энергоресурсов на возделывание яровых зерновых культур и накоплению потенциальной энергии в основной и побочной продукции (Базаров Е.И., Глинка Е.В., 1983; Коринец В.В., 1985).

Химические анализы проб выполнены в испытательной лаборатории «Ульяновская ГСХА» (РОСС. RU.0001.513.748) и аккредитованной лаборатории ФГБУ «САС «Ульяновская» (№ RA.RU.510251).

Полученные результаты исследований подвергались математической обработке следующими методами: дисперсионный анализ по двухфакторной схеме – две градации фактора А (без удобрений и фон NPK), 5 (опыт 1) и 6 (опыт 2) градаций фактора В (кремнийсодержащие материалы) (Доспехов, 2011) и корреляционно–регрессионный анализ с использованием программного обеспечения MS Excel 2010, Statistica 6.1.

### **Глава 3. Влияние кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения на свойства чернозема выщелоченного**

#### **3.1. Биологическая активность**

Биологическая активность – важный показатель способности почвы обеспечивать сельскохозяйственные растения питательными элементами, в значительной степени зависящий от присутствия в почвенных горизонтах энергетического материала (Долгополова Н.В., Павлов А.А., 2012). Антропогенное воздействие на почвенный покров нарушает нормальное течение процессов микробной деструкции и трансформации различных органических веществ, протекание круговоротов важных для растений элементов минерального питания. Почвенная микробиота играет большую роль в детоксикации и снижении поступления опасных веществ в продукцию растениеводства (Марфенина О.Е., 1991).

Учет биологической активности почвы дает оперативную информацию о характере и скорости протекания почвенных процессов, поскольку микробное сообщество ввиду своей лабильности незамедлительно реагирует на происходящие изменения (Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М., 2005; Шахова О.А., 2016).

После внесения удобрения претерпевают сложную цепь физико-химических и микробиологических превращений, что оказывает непосредственное воздействие на биологические свойства почвы, находящиеся в тесной связи с другими показателями плодородия (Картамышев Н.И., Звягина Н.П., Приходько Б.Ю., 2000). Применение сбалансированного по питательным элементам минерального удобрения в умеренных количествах обычно активизирует деятельность почвенной микрофлоры, её разнообразие и численность (Марфенина О.Е., 1991). Содержание доступных веществ в почве определяет активность целлюлозолитической части микробиоценоза (Мишустин Е.Н., 1972).

Для оценки микробиологического состояния чернозема выщелоченного выбран метод льняных полотен, широко применяемый при изучении эффективности различных агротехнических приемов и позволяющий судить о деятельности целлюлозоразрушей микрофлоры по степени распада и убыли массы материала – источника клетчатки, выдержанного в почвенном слое. В отличие от других, метод позволяет наблюдать за особенностью функционирования живого компонента почвы в пространстве и во времени (Федорец Н.Г., Медведева М.В., 2009).

### 3.1.1. Микробиологическая активность почвы под посевами ячменя

Применение диатомита, кремнийсодержащего препарата Мивал–Агро, СЗР и минерального удобрения в течение 2012–2013 гг. оказало заметное влияние на активность целлюлозолитической части почвенного микробного сообщества (таблица 1).

Таблица 1 – Интенсивность разложения льняного полотна под посевами ячменя, %

Вариант	2012 г.	2013 г.	Средняя	Отклонение от контроля
1. Без удобрений (контроль)	20	24	22	–
2. СЗР	22	31	27	5
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	35	36	35	13
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	31	39	35	13
5. Мивал-Агро	34	43	38	16
6. N40P40K40 (фон)	35	43	39	17
7. N40P40K40 + СЗР	35	45	40	18
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	37	46	42	20
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	40	47	43	21
10. N40P40K40 +Мивал-Агро(о/с)	42	47	45	23
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	3	4	
	Фактор В	2	3	

На контрольном варианте в 2012 г. процент разложения льняной ткани составил 20 %. Обработка посевного материала ячменя диатомитом увеличила значение показателя до 31 %, препаратом Мивал-Агро – до 34 %, что соответствует средней степени разрушения целлюлозы по шкале Д.Г. Звягинцева (1978) (30–50 %). При рядковом внесении высококремнистой породы уровень активности целлюлозолитических микробов не превысил 35 %, как и в случае внесения минерального удобрения (N40P40K40). Значение показателя на варианте с СЗР незначительно превысило контрольное и составило 22 %.

На удобренном фоне рассматриваемые агрохимические средства значительно усилили интенсивность разрушения клетчатки. На вариантах с СЗР и применением диатомита в рядки (норма 40 кг/га) уровень показателя составил 35 % и 37 % соответственно. Опудривание семян диатомитом в дозе 30 кг/т способствовало разложению льняного полотна на 40 %, что эффективнее влияния обработки посевного материала СЗР на 5 %. Наибольший уровень активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов почвы определен при использовании кремнийорганического препарата. Обработка семян ячменя Мивал-Агро усилила процесс минерализации клетчатки до 42 %.

В 2013 г. сохранилось общее направление действия рассматриваемых факторов на интенсивность разложения льняной ткани, однако в целом она несколько выше, что обусловлено положительным влиянием сложившегося температурного режима и достаточной влагообеспеченности на деятельность целлюлозолитической части почвенного микробного сообщества.

На контрольном варианте льняное полотно разложилось на 24 %. При использовании СЗР наблюдалось повышение интенсивности процесса деструкции источника целлюлозы до 31 %. Протравители посевного материала способны защищать посевы сельскохозяйственных культур не только от почвенной и семенной инфекций, но и от патогенов вплоть до фазы кущения и улучшать их фитосанитарное состояние в течение всего вегетационного периода (Тимофеев В.Н., Гарбар Л.И., 2014). Возможно, при этом формируются условия для более активной деятельности ценных с агрономической точки зрения микробов почвы,

что находит отражение в положительном изменении рассматриваемого показателя на варианте с применением СЗР в сравнении с контрольным значением на 7 %.

На вариантах с применением кремнийсодержащих материалов процент разрушения льняной ткани составил 36–43 % при отдельном использовании и повышался до 47 % на фоне минерального удобрения.

В среднем за годы исследований, процент разложения льняного полотна на контроле составил 22 %. Применение высококремнистой породы при внесении в рядки и для обработки семян способствовало повышению значения показателя до 35 %. Использование СЗР в среднем увеличило активность микробов на 5 %, при сочетании с NPK значение показателя увеличилось на 18 %.

Совместное использование кремниевого препарата и минерального удобрения способствовало увеличению процента разложения льняного полотна до 42–45 %.

В целом, активность целлюлозотилитической части почвенных микроорганизмов при использовании кремнийсодержащих материалов в технологии возделывания ячменя увеличивалась на 13–16 %, что возможно, обусловлено положительным влиянием кремниевых соединений на биологические свойства почвы (Козлов А.В., Куликова А.Х., Яшин Е.А., 2015). На фоне применения минерального удобрения диатомит и Мивал–Агро повысили активность разрушающих клетчатку микроорганизмов почти вдвое.

### **3.1.2. Микробиологическая активность почвы под посевами яровой пшеницы**

Результаты исследований показали, что применение препаратов ЭкSi и Мивал-Агро, диатомита, минерального удобрения оказало существенное влияние на активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов почвы (таблица 2).

В 2014 г. контрольное значение процента разложившегося льняного полотна составило 23 %, опудривание семян диатомитом увеличило показатель до 35 %. На вариантах с обработкой посевного материала ЭкSi, Мивал-Агро и внесением минерального удобрения активность разлагающих клетчатку микроорганизмов находилась на уровне 38–39 %.

Таблица 2 – Интенсивность разложения льняного полотна  
под посевами яровой пшеницы, %

Вариант	2014 г.	2015 г.	Средняя	Отклонение от контроля
1. <b>Без удобрений (контроль)</b>	23	17	20	–
2. ЭкSi (о/с)	39	30	35	15
3. ЭкSi (о/п)	36	26	31	11
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	35	28	32	12
5. Мивал-Агро (о/с)	39	30	35	15
6. Мивал-Агро (о/п)	34	25	30	10
7. <b>N40P40K40 (фон)</b>	38	33	36	16
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	43	39	41	21
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	40	35	38	18
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	39	36	38	18
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	42	38	40	20
12. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/п)	39	34	37	17
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	3	4	
	Фактор Б	2	2	

Как показали исследования, проведенные С.И. Чуян (1974), использование минеральных удобрений значительно увеличивает количество узловых корней у растений яровой пшеницы и не влияет на закладываемые первичные корешки. Мощное развитие корневой системы позволяет растениям поглощать из почвенного раствора большее количество элементов питания и увеличивается объем выделения корнями углеводов, что способствует формированию в ризосфере более благоприятных условий для микроорганизмов (Завалин А.А., 2005).

Применение диатомита на удобренном фоне увеличило процент разложения льняной ткани до 39 %, использование кремниевых препаратов для обработки семян – до 42–43 %, т.е. почти вдвое больше чем, на контрольном варианте.

2015 г. оказался менее благоприятным для роста и развития яровой пшеницы, и, как следствие, активность почвенных микроорганизмов под посевами культуры снизилась, но сохранилось наметившееся влияние рассматриваемых факторов на значение показателя.

На контрольном варианте процент разрушения льняного полотна составил 17 %, при опудривании посевного материала диатомитом – 28 %, обработке семян

яровой пшеницы кремниевыми препаратами – 30 %. Внесение NPK увеличило интенсивность распада ткани до 33 %.

На удобренном фоне сохранилась тенденция влияния кремнийсодержащих материалов на значение показателя. Опудривание семян диатомитовым порошком по влиянию на процесс разложения клетчатки не уступило действию кремниевых препаратов при обработке вегетирующих растений – деятельность микробов находилась на уровне 34–36 %. Обработка посевного материала ЭкSi и Мивал–Агро по влиянию на процесс минерализации целлюлозы эффективнее на 4 % аналогичного способа их использования: значение показателя составило 39 и 38 % соответственно.

Как показали исследования, на контрольном варианте процент разложения льняного полотна оказался наименьшим в опыте и в среднем составил 20 %. Возможно, значение показателя обусловлено медленным ростом почвенной микрофлоры ввиду более низкого, в сравнении с другими вариантами, содержания доступных растениям яровой пшеницы питательных элементов (Никитин С.Н., Захаров С.А., 2016).

За период наблюдений отдельное применение кремниевых препаратов и диатомита повысило процент разложения льняной ткани до 30–35 %, что больше контрольного значения в среднем на 13 %. Внесение минерального удобрения и предпосевная обработка семян кремниевыми препаратами оказали практически равноценное влияние – уровень активности микробов при использовании данных средств составил 35–36 %.

На фоне минерального удобрения активность целлюлозолитических почвенных микроорганизмов повысилась вдвое в случае применения Мивал–Агро и ЭкSi для обработки посевного материала, и в 1,9 раза – при использовании диатомита.

На вариантах с опрыскиванием ЭкSi и Мивал–Агро вегетирующих растений процент разложения льняной ткани ниже в среднем на 4–5 %, чем при обработке ими семян, а на фоне NPK разница между способами применения кремниевых препаратов составляет 3 %.



Возможно, полученные результаты связаны с тем, что кремниевые соединения, попадая вместе с семенами в почву, способствуют активизации деятельности почвенных микроорганизмов, поскольку находятся с момента начала вегетации в непосредственной близости от ризосферы, где постоянный обмен веществом и энергией между растениями и почвенным микробным сообществом хорошо выражен и протекает наиболее интенсивно (Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М., 2005).

Интенсивность разложения целлюлозы под посевами яровой пшеницы зависит от микробной биомассы, населяющей ризосферу растений (Петров В.Б., Чеботарь В.К., 2009; Никитин С.Н., Захаров С.А., 2016). Литературные данные свидетельствуют о положительном влиянии кремниевых соединений на процесс деструкции растительных субстратов и синтез гумусовых веществ (Матыченков И.В., 2014).

Применение активных форм кремния увеличивает численность такой физиологической группы микроорганизмов ризосферы зерновых культур как азотобактер, относящийся к свободноживущим азотфиксаторам, а также стимулирует рост корней (Кудинова, 1975; Гордеева Т.Х., Масленникова С.Н., Гажеева Т.П., 2012; Матыченков И.В., 2014).

Кремнийорганический препарат Мивал–Агро способен увеличивать общую численность микроорганизмов в ризосфере сельскохозяйственных культур, стимулировать деятельность олигонитрофилов и протеолитических амилитических бактерий, подавлять развитие фитопатогенных актиномицетов и грибов (Воронкова Н.А., Черемисин А.И., Хамова О.Ф., 2012; Черемисин А.И., Кумпан В.Н., 2017).

В работе Козлова А.В. и Уромовой И.П. (2015) доказано положительное действие диатомита на численность и биохимическую активность аммонифицирующей микробиоты под посевами зерновых культур. Эффект сохранился и при использовании высококремнистой породы на фоне минеральных удобрений.

Использование диатомита в системе удобрения озимой пшеницы

активизировало развитие биомассы микроорганизмов, принимающих участие в минерализации целлюлозы и трансформации промежуточных продуктов разложения клетчатки (Козлов А.В., Куликова А.Х., 2016).

Деятельность микробного сообщества почвы во многом способствует экологическому равновесию почвенных экосистем, является важнейшим фактором почвообразовательного процесса. В большей степени питательный режим растений формируется под влиянием почвенной микрофлоры (Фаизова В.И., Перепелкина А.А., режим доступа: <http://kadastr.org/conf/2015/pub/monitprir/harakteristika-pochvennoy-mikrobioty.htm>).

Положительное влияние кремнийсодержащих материалов на активность целлюлозоразлагающей части микрофлоры чернозема выщелоченного создает предпосылки для формирования благоприятных условий питания яровых зерновых культур, что в дальнейшем может способствовать повышению их продуктивности и улучшению качества продукции.

### **3.2 Агрохимические показатели**

Устойчивое функционирование агроландшафтов невозможно без сохранения и воспроизводства почвенного плодородия, важнейшим аспектом которого представляется способность почвы обеспечивать растения оптимальными кислотно-основными и окислительно-восстановительными условиями, необходимым количеством элементов питания в доступных формах.

Улучшение физических и биологических параметров почвы, регулирование питательного режима возможно только в случае применения удобрений – веществ, повышающих почвенное плодородие и общий объем культуры земледелия. Использование минеральных удобрений в сельском хозяйстве значительно повышает обеспеченность культурных растений элементами питания (Вандышев И.А., Панасенко А.Н., Вдовин А.С., 1985).

В характеристике любой почвы одно из главных мест занимает ее обеспеченность доступными для растений элементами питания. В связи с этим

несомненный интерес представляет изменение их количества в зависимости от величины антропогенной нагрузки на почву. Выражают этот показатель через баланс питательных элементов при разных технологиях возделывания культурных растений (Азаров В.Б., 2012).

Азот из почвенных растворов поглощается корневыми системами растений в нитратной и аммонийной формах. Доступные соединения макроэлемента необходимы сельскохозяйственным культурам в течение всего вегетационного периода. При азотном голодании наблюдается ослабление ростовых процессов, уменьшается ветвистость и кустистость растений, задерживается закладка цветочных почек и развитие семян, изменяется зеленая окраска листьев, снижается выход и качество товарной продукции (Титова Э.В., 2000).

Фосфор чрезвычайно важен для нормальной жизнедеятельности сельскохозяйственных культур. Поэтому важно проводить мероприятия по восполнению запасов элемента в почве и поддерживать его содержание на достаточном уровне (Азаров В.Б., 2012).

Калий усваивается растениями в катионной форме. Его роль как элемента питания заключается в укреплении прочности соломины, увеличению устойчивости против патогенных микроорганизмов, ускорении передвижения углеводов из вегетативных органов в колос (Титова Э.В., 2000).

Согласно исследованиям А.Х. Куликовой и О.С. Дрониной (2009), обработка посевного материала диатомитовым порошком и биологическими препаратами способствует увеличению содержания в почвенном растворе нитратного азота ( $\text{NO}_3^-$ ) на 0,6–2,2 мг/кг, подвижного фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) на 4–11 мг/кг, обменного калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ) – 5–12 мг/кг в среднем за вегетационный период.

Как правило, кремниевым породам свойственны высокие сорбционные свойства. При их использовании повышается способность почв к поглощению фосфора, калия и минерального азота (Matichenkov V.V., Calvert D.V., 2000; Тарановская В.Г., 1940). Согласно исследованиям Б.П. Лободы и Н.Н. Яковлевой (2003), применение трепела и диатомита способствует переводу аммонийного азота и калия в поглощенное состояние, что снижает потери элементов из

пахотного слоя на 30–40 %.

В условиях достаточного количества питательных веществ интенсивное размножение почвенных микроорганизмов способствует фиксации биофильных элементов, высвобождаемых после гибели микробов и минерализации их плазмы в доступном для растений состоянии. Параллельно происходит закрепление легкорастворимых соединений и минеральных удобрений (Buchanan M., King L.D., 1992).

В течение 2010–2013 гг. и 2014–2015 гг. мы определяли влияние кремнийсодержащих материалов на содержание минеральных форм азота в почвенном слое, на значение которого оказывают воздействие микробиологические процессы и влажность почвы, погодные условия. Определено воздействие изучаемых агрохимических приемов на динамику кислотности и содержание подвижного фосфора и калия. Отбор образцов проводился в 3 срока.

### **3.2.1. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы под посевами ярового ячменя**

Ячмень отличается высокой требовательностью к плодородию почвы, особенно в начале вегетации, растения весьма чувствительны к уровню азотного, фосфорного и калийного питания, а также к кислотности почвенного раствора (Прокошев В.Н., Попова С.И., 1971).

Поглощение элементов питания происходит в сжатые сроки при слабой усваивающей способности корней и к началу цветения почти заканчивается (Власов В.Г. и др., 2016). На создание 1 т продукции растениям ячменя требуется, кг: 26 азота, 11 фосфора и 28 калия. Отсутствие доступного азота в период от начала кущения до выхода в трубку нарушает образование генеративных органов. Потребность в фосфоре сохраняется от начала роста до созревания (Титова Э.В., 2000).

### *Динамика нитратных и аммонийных соединений азота в почве*

Трансформация азота полностью определяется биохимической активностью почвы, процессами минерализации и гумусообразования. Азот – биогенный элемент, исходно отсутствующий в материнских горных породах. Он поступает в почву с атмосферными осадками, остатками растительного и животного происхождения, с органическими и минеральными удобрениями. Запасы почвенного азота, как правило, истощаются наиболее быстро, однако, частично могут быть восполнены без внесения удобрений за счет фиксации атмосферного азота микроорганизмами (Лукин С.В., Четверикова Н.С., Ероховец М.А., 2011; Маслова И.Я., Якушева Т.Г., 2011; Новиков А.А., 2012).

Результаты наших исследований показали, что при использовании кремнийсодержащих материалов отдельно и в комплексе с минеральным удобрением в технологии возделывания ячменя наблюдается положительная тенденция формирования запасов минерального азота в пахотном слое почвы (таблицы 3, 4; приложения 7–12).

Таблица 3 – Динамика содержания минеральных форм азота в почве (слой 0 – 30 см) под посевами ячменя при использовании кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения, мг/кг почвы (2012 год)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	11,1	5,4	16,5	9,1	6,0	15,1	10,9	5,3	16,2	
2. СЗР	10,7	5,5	16,2	9,2	5,7	14,9	10,5	5,4	15,9	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	11,2	5,5	16,7	9,5	6,2	15,7	11,1	5,7	16,8	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	11,8	6,3	18,1	11,1	6,3	17,4	12,1	6,2	18,3	
5. Мивал-Агро	11,2	5,9	17,1	10,0	6,6	16,6	11,6	6,0	17,6	
<b>6. N40P40K40(фон)</b>	11,5	5,8	17,3	10,0	6,4	16,4	11,1	6,0	17,0	
7. N40P40K40 + СЗР	11,9	6,4	18,3	11,2	6,0	17,2	11,2	6,1	17,3	
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	12,1	6,3	18,4	11,1	6,7	17,8	11,9	6,4	18,3	
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	11,7	6,3	18,0	10,8	7,1	17,9	11,8	6,7	18,5	
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	11,8	6,1	17,9	10,9	6,9	17,8	11,6	6,6	18,2	
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,6	0,3	-	0,4	0,2	-	0,6	0,4	-
	Фактор В	0,4	0,2	-	0,2	0,1	-	0,4	0,2	-

Таблица 4 – Динамика содержания минеральных форм азота в почве (слой 0 – 30 см) под посевами ячменя при использовании кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения, мг/кг почвы (2013 год)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	12,2	5,9	18,1	13,7	6,8	20,5	11,6	6,3	17,9	
2. СЗР	12,3	6,0	18,3	13,8	6,9	20,7	11,6	6,4	18	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	12,8	6,1	18,9	14,3	7,3	21,6	12,2	6,8	19	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	13,6	6,8	20,4	15,1	8,1	23,2	13,3	7,4	20,7	
5. Мивал-Агро	13,1	6,4	19,5	15,0	7,7	22,7	13,3	6,8	20,1	
<b>6. N40P40K40 (фон)</b>	13,1	6,7	19,8	14,8	7,8	22,6	12,8	6,7	19,5	
7. N40P40K40 + СЗР	13,6	7,3	20,9	15,3	8,1	23,4	12,7	7,2	19,9	
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	13,6	7,5	21,1	15,8	8,3	24,1	13,5	7,5	21	
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	13,4	7,4	20,8	15,9	8,5	24,4	13,6	7,6	21,2	
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	13,5	7,5	21,0	16,3	8,0	24,3	13,5	7,5	21	
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,5	0,4	-	0,5	0,2	-	0,5	0,3	-
	Фактор В	0,3	0,2	-	0,3	0,2	-	0,3	0,2	-

Начальный период вегетации ячменя в 2012 г. складывался в условиях относительно высоких температур воздуха и дефицита осадков, который отчасти возмещался запасами влаги, сформированной в предыдущие месяцы.

Дальнейшее увлажнение почвы при увеличении температуры способствовали активизации процессов нитрификации, что положительно повлияло на содержание минеральных форм азота в пахотном слое. На рассматриваемый период приходится также интенсивное поглощение азота растениями ячменя и микроорганизмами почвы.

К концу вегетации культуры на контрольном варианте запасы неорганических соединений азота находилось на уровне 16,2 мг/кг. Обработка семян диатомитовым порошком способствовала увеличению  $N-NO_3 + N-NH_4$  в пахотном слое до 18,3 мг/кг, что соответствовало совместному действию внесения высококремнистой породы в рядки и минерального удобрения и превышало влияние последнего при использовании в чистом виде на 1,3 мг/кг.

Наибольшая обеспеченность минеральным азотом наблюдалась при опудривании семян диатомитом на фоне NPK и составила 18,5 мг/кг, что на 0,3 мг/кг превышает значения показателям при использовании препарата Мивал–Агро с минеральным удобрением, что свидетельствует об относительном преимуществе диатомита в улучшении азотного питания.

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующее заключение: несмотря на интенсивное потребление азота растениями на формирование урожайности культуры, кремнийсодержащие материалы способствуют поддержанию уровня азотного питания на более высоком, чем даже исходном, уровне.

От начала до конца вегетации культуры в 2013 г. на контрольном варианте содержание минерального азота изменилось до 17,9 %.

Опудривание семян ячменя диатомитом увеличило значение показателя до 20,7 %, что превышает вариант с отдельным внесением минерального удобрения на 2,2 мг/кг. На фоне NPK варианты с использованием высококремнистой породой и препаратом Мивал–Агро практически равны по действию на обеспеченность почвы минеральным азотом.



В среднем за 2 года исследований нитратного азота в среднем в пахотном почве содержалось в 1,5–2 раза больше, чем аммиачного. Как утверждает И.В. Верниченко (2002), растения в начале вегетации практически одинаково используют обе формы азота. Согласно мнению И.В. Верниченко (2010), В.В. Огорокова и коллег (2012) к фазе колошения ячмень использует полнее нитратный азот, чем аммонийный, что, возможно, связано с более высокой мобильностью аниона в почвенном растворе.

В 2012 г. в фазу колошения наблюдалось снижение запасов нитратного азота на всех опытных вариантах, вероятно, ввиду недостатка увлажнения в июне (отклонение количества выпавших осадков меньше нормы на 11 мм).

В 2013 г. содержание нитратного азота к фазе колошения увеличилось, что, возможно, обусловлено более благоприятными по режиму влагообеспеченности и температуре условиями возделывания.

На контрольном варианте к концу вегетации культуры запасы нитратного азота снизились на 0,2–0,6 мг/кг, при использовании кремнийорганического препарата Мивал–Агро повысились на 0,4–0,2 мг/кг в 2012 г. и 2013 гг. При совместном использовании минерального удобрения с диатомитом или кремниевым препаратом значение показателя практически не изменилось.

Тенденция динамики запасов аммонийного азота в течение вегетации ячменя аналогична для двух годов наблюдений.

Внесение диатомита в рядки увеличило содержание аммонийной формы азота в почве на 0,2–0,7 мг/кг, применение Мивал–Агро – 0,1–0,4 мг/кг в 2012 г. и 2013 г.

На варианте с опудриванием семян высококремнистой породой и применением минерального удобрения к концу вегетации растений запасы аммонийного азота практически не претерпели изменений.

Ранее нами установлено положительное влияние кремниевых соединений на биологическую активность почвы (пункт 3.1. настоящей главы). Можно предположить, что позитивная тенденция динамики минеральных форм азота в пахотном слое связана с увеличением активности почвенного микробного сообщества.

При статистической обработке экспериментальных данных методом регрессионного анализа нами получены уравнения регрессии, отражающие зависимость содержания  $N-NO_3 + N-NH_4$  в почве в зависимости от активности целлюлозолитической части почвенного микро биоценоза под посевами ячменя.

Для 2012 г. уравнение (в пределах биологической активности от 20 до 45 %) имело вид:  $y = 0,1059 x + 13,904$   $R^2=0,65$ ;

где  $y$  – содержание минерального азота, мг/кг;

$x$  – биологическая активность почвы, %.

Связь описывается линейным уравнением, которое в форме графика представлено на рисунке 3.

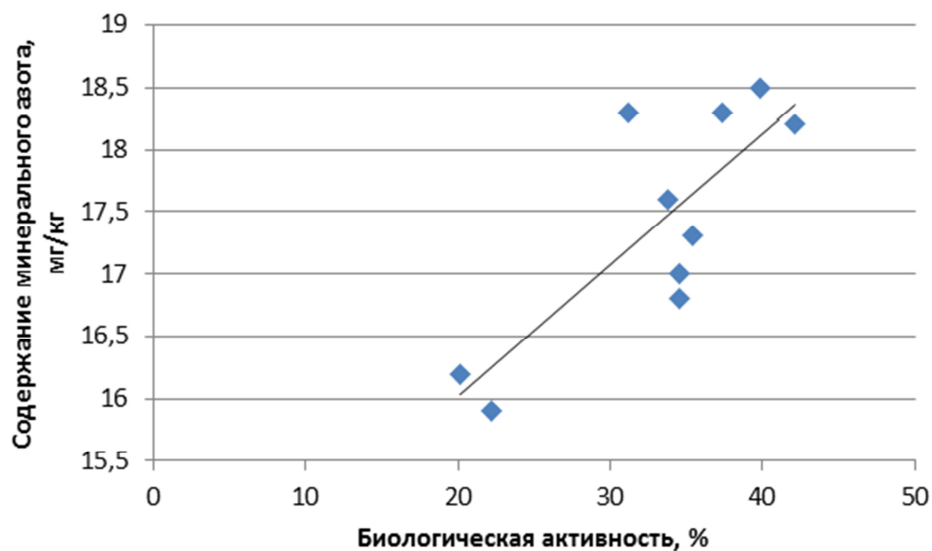


Рисунок 5 – Влияние биологической активности почвы ( $x$ ) на содержание минерального азота ( $y$ ) в 2012 г.

Полученный коэффициент детерминации показывает, что в 65 % случаев изменение концентрации неорганического азота связано с изменением активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов почвы.

Аналогичная зависимость получена и для 2013 г. Описывающее эту связь уравнение (в пределах биологической активности от 20 до 50 %) приняло форму:

$$y = 0,1382 x + 14,303 \quad R^2=0,77;$$

где  $y$  – содержание минерального азота, мг/кг;

$x$  – биологическая активность почвы, %.

В графическом виде оно представлено на рисунке 4.

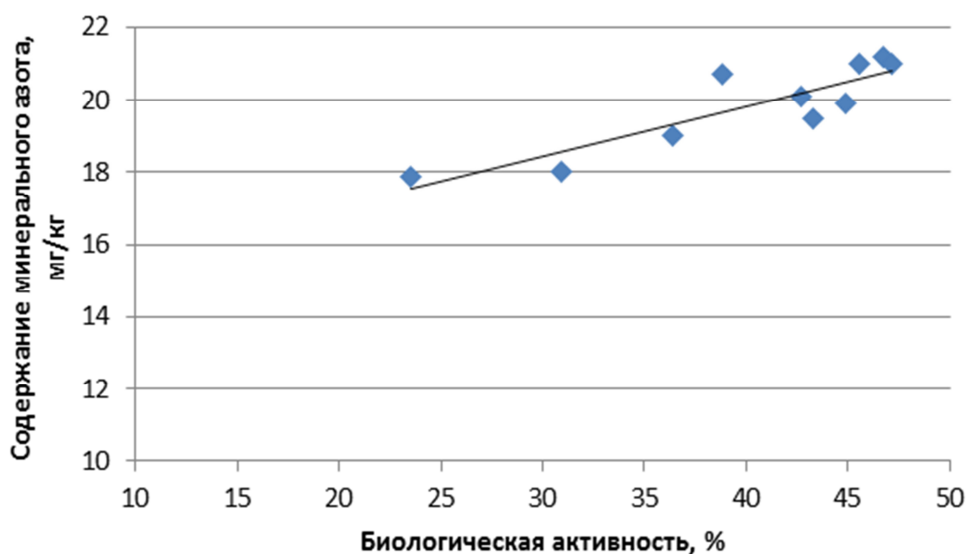


Рисунок 6 – Влияние биологической активности почвы ( $x$ ) на содержание минерального азота ( $y$ ) в 2013 г.

Как показал коэффициент детерминации, в 77 % случаев варьирование содержания минерального азота в почве обусловлено изменением биологической активности почвы.

### ***Динамика содержания гумуса, подвижных соединений фосфора и обменного калия в почве***

Содержание гумуса – наиболее важный показатель плодородия и экологического состояния черноземов. Органическое вещество в значительной степени формирует физико-химические и обменные свойства почвы, определяет ее структуру и продуктивность, обеспечивает устойчивость к внешним воздействиям, является энергетической основой биологических процессов,

выступает в качестве депо питательных элементов. Длительное сельскохозяйственное использование черноземов приводит к значительному снижению их гумусности.

На параметры гумусного состояния почв оказывают мощное воздействие применение удобрений, однако они удовлетворяют потребности возделываемых культур в азоте только на 50–60 %, остальную часть растения усваивают из почвы за счет непрерывной минерализации гумуса, что приводит к снижению его запасов в почве.

В связи с этим при возделывании сельскохозяйственных культур важно оценивать динамику изменения содержания органического вещества в почве (Дьяконова К.В., 1988; Громовик А.И., 2012; Тепелец В.И., Плитинь Ю.С., 2015).

Фосфор потребляется растениями в виде фосфат-ионов. Биофильный элемент оказывает положительное влияние на развитие корневой системы и колосков, ускоряет процесс созревания растений. Фосфор, как питательное вещество, – участник всех жизненно важных биохимических и физиологических процессов (Титова Э.В., 2000).

Поведение фосфора в почве непосредственно связано с ее водно-физическими свойствами и температурным режимом (Бровкин В.И., 1990). Во всех типах почв без применения удобрений высока вероятность уменьшения концентрации подвижного фосфора (Яговенко Г.А., 2010).

Положительный баланс элемента, при котором накапливаются его валовые запасы, достигается путем обоснованного внесения фосфорных удобрений в зависимости от продуктивности сельскохозяйственных культур и типа севооборота (Алексеева Е.Н., 1978). При отрицательном балансе биофила нередко происходит увеличение содержания подвижного фосфора по сравнению с исходным. Возможно, в данном случае имеет место мобилизация природных фосфатов (Гетманец А.Я., Пашова В.Т., Турчин В.В., 1983). Некоторые исследования указывают на постоянность концентрации подвижного фосфора без применения удобрительных средств (Малова, А.В., Ивойлов А.В., Костров К.А., 1989).

Экзогенный фосфор быстро поглощается почвами. На фосфатное равновесие в почвенном растворе оказывают влияние состав твердой фазы фосфатов, процессы адсорбции и десорбции, синтез и распад органических и минеральных соединений, деятельность микроорганизмов и растений. Сельскохозяйственные культуры усваивают фосфаты, образовавшиеся в результате взаимодействия удобрений с почвами (Носко Б.С. и др., 2003).

В отличие от азота и фосфора, почти все почвенные ресурсы подвижного калия находятся в ее минеральной части (Середина В.П., 1984; Якименко В.Н., 2003), а в органической составляющей обнаружено не более 1 % валового содержания элемента (Горбачева С.М., 1977).

До посева яровой пшеницы содержание гумусовых веществ в почве в среднем за годы наблюдений находилось на уровне 4,2–4,6 %, что по градации соответствует группе почв со средней обеспеченностью (4,1–6,0 %) (таблицы 5,6; приложения 13, 14, 15).

Применение диатомита, СЗР, препарата Мивал–Агро и минерального удобрения в технологии возделывания ячменя в 2012-2013 гг. оказало следующее воздействие: изменение содержания гумуса составило от – 0,1 до + 0,1, что лежит пределах ошибки опыта.

Согласно результатам исследования, обеспеченность чернозема выщелоченного подвижными соединениями фосфора и калия характеризовалась как высокая (151–200 мг/кг и 121–180 мг/кг соответственно), на некоторых вариантах в случае фосфора и как очень высокая ( $> 200$  мг/кг). Изменение содержания элементов питания в течение вегетации ячменя зависело от применения диатомита, СЗР, препарата Мивал-Агро и минерального удобрения (таблицы 5,6; приложения 13, 14, 15).

Содержание подвижных соединений фосфора в пахотном слое перед посевом ячменя в среднем составило от 183 до 203 мг/кг, калия – от 141 до 163 мг/кг.

Таблица 5 – Влияние применения кремнийсодержащих соединений в чистом виде и на фоне минерального удобрения на агрохимические показатели почвы (2012 г.)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	4,3	180	141	4,3	178	142	4,2	177	142	
2. СЗР	4,4	188	149	4,4	179	150	4,3	170	149	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	4,5	185	154	4,5	179	157	4,5	173	160	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	4,5	190	148	4,5	189	149	4,4	190	149	
5. Мивал-Агро	4,6	183	152	4,5	185	154	4,5	187	155	
<b>6. N40P40K40 (фон)</b>	4,5	195	153	4,5	194	151	4,6	194	150	
7. N40P40K40 + СЗР	4,4	198	149	4,4	191	148	4,3	185	148	
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	4,5	180	156	4,5	184	152	4,5	187	149	
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	4,5	197	150	4,4	198	149	4,4	198	150	
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	4,6	194	160	4,5	192	158	4,5	199	157	
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,2	5	9	0,3	8	8	0,3	8	9
	Фактор В	0,3	6	5	0,4	5	6	0,3	5	6

Таблица 6 – Влияние применения кремнийсодержащих соединений в чистом виде и на фоне минерального удобрения на агрохимические показатели почвы (2013 г.)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
1. Без удобрений (контроль)	4,2	186	146	4,2	182	145	4,2	179	145	
2. СЗР	4,3	190	153	4,3	179	152	4,3	171	151	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	4,5	193	159	4,5	191	162	4,5	189	164	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	4,5	197	154	4,4	198	155	4,4	199	154	
5. Мивал–Агро	4,5	202	157	4,5	204	158	4,5	208	160	
6. N40P40K40 (фон)	4,6	204	156	4,6	202	156	4,7	201	154	
7. N40P40K40 + СЗР	4,5	207	155	4,5	197	151	4,5	191	153	
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	4,5	191	160	4,6	195	158	4,6	199	154	
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	4,5	195	158	4,5	196	159	4,6	197	160	
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	4,5	199	162	4,5	202	162	4,6	206	163	
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,2	8	8	0,3	7	7	0,2	9	7
	Фактор В	0,3	5	6	0,4	4	5	0,2	5	5

К концу вегетации без дополнительного внесения в почву элементов содержание доступных форм питательных веществ на контрольном варианте в среднем снизилось на 5 мг/кг для фосфора и составило 178 мг/кг и осталось на прежнем уровне в случае калия – 144 мг/кг.

Использование СЗР уменьшило запасы подвижного фосфора и калия до 171 и 150 мг/кг на 14 и 1 мг/кг соответственно. К концу вегетационного периода при опудривании семян диатомитовым порошком содержание элементов осталось практически без изменений как при использовании высококремнистой породы в чистом виде, так и на фоне минерального удобрения. Применение Мивал–Агро способствовало увеличению доступных соединений фосфора и калия в пахотном слое соответственно на 5 и 3 мг/кг до 198 и 158 мг/кг.

При внесении диатомита в рядки наблюдалось увеличение запасов подвижного калия на 5 мг/кг, к концу вегетации ячменя значение показателя составило 162 мг/кг.

К концу наблюдений при совместном воздействии минерального удобрения и кремнийсодержащих материалов произошло увеличение концентрации подвижного фосфора на 6 мг/кг при использовании препарата Мивал-Агро и на 2–7 мг/кг, когда применяли диатомит.

В целом применение в чистом виде кремнийсодержащих соединений и совместно с минеральным удобрением обеспечили более высокое содержание подвижных фосфора и калия в пахотном слое чернозема выщелоченного

### ***Динамика кислотности почвы***

Кислая реакция почвы – одно из основных препятствий для формирования высокой урожайности сельскохозяйственных культур. Повышенная концентрация протонов в почвенном растворе снижает поступление в растение питательных элементов в катионной форме или ведет к потере полезных веществ, особенно калия, из корней.

Многие микроорганизмы не переносят низких значений рН. Их активность заметно снижается, что замедляет высвобождение азота, фосфора, серы и



микроэлементов из растительных остатков. Кислая реакция способствует накоплению в почвенном растворе элементов до токсичной для растений концентраций, особенно в условиях техногенного загрязнения почв (Соколова Т.А., Толпешта И.И., Трофимов С.Я., 2012).

Перед посевом ячменя в 2013 г. реакция почвенной среды чернозема выщелоченного в среднем за 2012-2013 гг. исследований составила от 5,27 до 5,34 ед., что соответствует слабокислой группе по степени кислотности (5,1–5,5 ед.) (таблица 7). Определение рН почвы в конце вегетационного периода 2013 г. позволило выявить изменения в среднем за 2х-летний период, которые варьировались в пределах от – 0,05 до +0,04, и не представляется возможным считать их достоверными.

Таблица 7 – Динамика кислотности почвы в зависимости от применения диатомита, СЗР, препарата Мивал-Агро и минерального удобрения

Вариант	До посева ячменя, 2012 г.		Перед уборкой ячменя, 2013 г.		
	рН <sub>КСІ</sub>	Нг, ммоль/ 100 г	рН <sub>КСІ</sub>	Нг, ммоль/ 100 г	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	5,22	2,2	5,26	2,2	
2. СЗР	5,24	2,1	5,23	2,2	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	5,24	2,0	5,29	1,9	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	5,27	2,0	5,31	1,9	
5. Мивал-Агро	5,23	2,0	5,27	2,0	
<b>6. N40P40K40 (фон)</b>	5,29	2,1	5,30	2,1	
7. N40P40K40 + СЗР	5,27	2,2	5,22	2,3	
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	5,34	2,0	5,37	1,9	
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	5,26	2,1	5,30	1,8	
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	5,30	2,1	5,34	2,0	
НСР05	Фактор А	0,07	0,3	0,07	0,4
	Фактор В	0,05	0,2	0,04	0,2

Слабое влияние рассматриваемые агрохимические приемы оказали и на значение гидролитической кислотности чернозема выщелоченного. Показатель менялся от  $-0,3$  до  $+0,1$  ед., или он оставался на первоначальном уровне, что не позволяет считать его изменение достоверным.

Реакция почвенной среды при применении в технологии возделывания ячменя кремнийсодержащих соединений в чистом виде и на фоне минерального удобрения за период исследований практически не изменилась.

Методом корреляционно-регрессионного анализа нами получено уравнение множественной корреляции, отражающее зависимость биологической активности почвы под посевами ячменя от содержания подвижных фосфора и калия в пахотном слое, которое приняло вид:

$$y = -124,48 + 0,48x_1 + 0,46x_2,$$

где  $y$  – биологическая активность почвы, %;

$x_1$  и  $x_2$  – содержание подвижных фосфора и калия соответственно, мг/кг. Множественный коэффициент корреляции составил 0,88. В активизации жизнедеятельности целлюлозоразлагающих микроорганизмов почвы на долю влияния фосфора пришлось 49 %, немного меньше на калий – 31 %.

### **3.2.2. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы под посевами яровой пшеницы**

Яровая пшеница относится к отзывчивым на внесение удобрений культурам. Корневой системе свойственна пониженная усваивающая способность. В период вегетации растения с высокой интенсивностью потребляют элементы минерального питания, при этом для формирования 1 т продукции требуется, кг: 35–45 азота, 9–12 фосфора, 18–24 калия (Титова Э.В., 2000).

В азоте растения яровой пшеницы нуждаются на протяжении всей вегетации с максимумом ко времени выхода в трубку и колошения. Достаточная обеспеченность биофильным элементом в начальный период стимулирует образование узловых корней, цветков и колосков в колосе. Наибольшая потребность растений в фосфоре отмечается в начале кущения выходе в трубку (Титова Э.В., 2000).

В своей работе Карпеев Н.Е. (1971) отводит фосфорным удобрениям главную роль в повышении урожайности яровой пшеницы, в комбинации с которыми азотные удобрения проявляют свое действие на черноземных почвах Ульяновской области.

### *Динамика нитратных и аммонийных соединений азота в почве*

Результаты проведенных нами исследований в 2014–2015 гг. показали, что при использовании в технологии возделывания яровой пшеницы кремнийсодержащих материалов (диатомита, кремнийсодержащих препаратов: ЭкSi, Мивал–Агро) и минерального удобрения формируются благоприятные условия для азотного питания растений (таблицы 8,9; приложения 10,11,12).

В 2014 году в почве от начала к концу вегетационного периода культуры содержание минерального азота снизилось на 1,1 ед. и составило 15,1 мг/кг. На вариантах с Мивал–Агро наблюдалось повышение показателя на 0,2 ед.

При обработке семян препаратом ЭкSi концентрация неорганических соединений элемента увеличилась на 0,3 ед. до 17,8 мг/кг, при использовании диатомитового порошка – на 0,5 ед. до 17,7 мг/кг, а применение последнего на фоне минерального удобрения – на 0,9 ед. до 19,1 мг/кг.

В 2015 г. на контрольном варианте содержание минерального азота снизилось с 15,8 до 13,6 мг/кг, т.е. на 2,2 ед. Предпосевное опудривание семян высококремнистой породой повысила за период вегетации культуры обеспеченность пахотного слоя доступными азотом с 16,6 до 17,3 мг/кг, т.е. на 0,7 ед. Как показали наблюдения, в пахотном слое нитратная форма элемента преобладает над аммонийной в соотношении 1,5–1,8.

Таблица 8 – Динамика содержания минеральных форм азота в почве (слой 0 – 30 см) под посевами яровой пшеницы при использовании кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения, мг/кг почвы (2014 год)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	10,4	5,8	16,2	11,1	6,5	17,6	9,5	5,6	15,1	
2. ЭКСi (о/с)	11,2	6,3	17,5	12,8	7,6	20,4	11,2	6,6	17,8	
3. ЭКСi (о/п)	10,7	6,1	16,8	12,3	7,3	19,6	10,6	6,3	16,9	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	11,0	6,2	17,2	12,8	7,6	20,4	11,1	6,6	17,7	
5. Мивал-Агро (о/с)	11,2	6,4	17,6	12,9	7,7	20,6	11,1	6,7	17,8	
6. Мивал-Агро (о/п)	11,0	6,4	17,4	12,8	7,7	20,5	11,0	6,6	17,6	
<b>7. N40P40K40 (фон)</b>	11,4	6,6	18,0	12,7	7,6	20,3	10,8	6,5	17,3	
8. N40P40K40 + ЭКСi (о/с)	11,6	6,8	18,4	13,4	8,1	21,5	11,5	6,9	18,4	
9. N40P40K40 + ЭКСi (о/п)	11,9	6,9	18,8	13,6	8,2	21,8	11,6	7,0	18,6	
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	11,5	6,7	18,2	13,9	8,5	22,4	11,9	7,2	19,1	
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	11,7	6,9	18,6	13,5	8,3	21,8	11,4	7,0	18,4	
12. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/п)	11,4	6,7	18,1	13,2	8,1	21,3	11,0	6,8	17,8	
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,6	0,3	-	0,4	0,3	-	0,6	0,3	-
	Фактор В	0,3	0,1	-	0,3	0,1	-	0,4	0,2	-

Таблица 9 – Динамика содержания минеральных форм азота в почве (слой 0 – 30 см) под посевами яровой пшеницы при использовании кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения, мг/кг почвы (2015 год)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	11,1	5,7	16,8	11,4	6,9	18,3	9,6	5	14,6	
2. ЭкSi (о/с)	11,6	6,0	17,6	11,9	7,3	19,2	10,7	5,5	16,2	
3. ЭкSi (о/п)	11,1	5,7	16,8	11,5	7,0	18,5	10,4	5,4	15,8	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	11,6	6,0	17,6	12	7,4	19,4	11,3	6	17,3	
5. Мивал-Агро (о/с)	11,2	5,8	17,0	11,7	7,2	18,9	10,5	5,6	16,1	
6. Мивал-Агро (о/п)	10,9	5,7	16,6	11,4	7,2	18,6	10,3	5,5	15,8	
7. N40P40K40 (фон)	11,4	6,0	17,4	12	7,5	19,5	10,3	5,5	15,8	
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	11,6	6,1	17,7	12,3	7,6	19,9	11	5,9	16,9	
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	11,7	6,2	17,9	12,4	7,8	20,2	11	5,9	16,9	
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	12,2	6,5	18,7	12,9	8,1	21	11,8	6,4	18,2	
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	11,4	6,1	17,5	12,1	7,6	19,7	10,6	5,8	16,4	
12. N40P40K40+ Мивал-Агро (о/п)	11,3	6,0	17,3	12,1	7,7	19,8	10,7	5,9	16,6	
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,4	0,2	-	0,5	0,3	-	0,5	0,4	-
	Фактор В	0,2	0,1	-	0,4	0,2	-	0,3	0,2	-

На контрольном варианте содержание нитратного азота снизилось на 0,9–1,0 мг/кг, при обработке семян диатомитом повысилось на 0,1–0,2 мг/кг, использование последнего на фоне минерального удобрения увеличило запасы  $N-NO_3^-$  на 0,4–0,1 мг/кг для 2014 г. и 2015 г. соответственно.

Незначительное снижение запасов нитратного азота к концу вегетации культуры на других опытных вариантах, возможно, обусловлено интенсивным потреблением растениями микроорганизмами.

Тенденция динамики запасов аммонийного азота в течение вегетационного периода яровой пшеницы аналогична для двух годов наблюдений.

На контрольном варианте к концу вегетации растений наблюдалось снижение содержания аммонийной формы элемента на 0,2 мг/кг, обработка семян диатомитом в чистом виде и на фоне минерального удобрения в среднем за 2014–2015 гг. повысило концентрацию  $N-NH_4^+$  на 0,5 мг/кг.

Метод регрессионного анализа при статистической обработке экспериментальных данных позволил нам рассчитать уравнения регрессии, отражающие зависимость содержания  $N-NO_3^- + N-NH_4^+$  в почве перед уборкой культуры от биологической активности почвы под посевами яровой пшеницы.

Для 2014 г. уравнение (в пределах биологической активности от 20 до 45 %) приняло выражение:

$$y = 0,172x + 11,31 \quad R^2=0,77;$$

где  $y$  – содержание минерального азота, мг/кг;

$x$  – биологическая активность почвы, %.

Эта связь описывается линейным уравнением, графическая форма которого представлена на рисунке 5.

Рассчитанный коэффициент детерминации свидетельствует, что в 77 % случаев варьирование концентрации неорганического азота в пахотном слое связано с изменением биологической активности почвы.

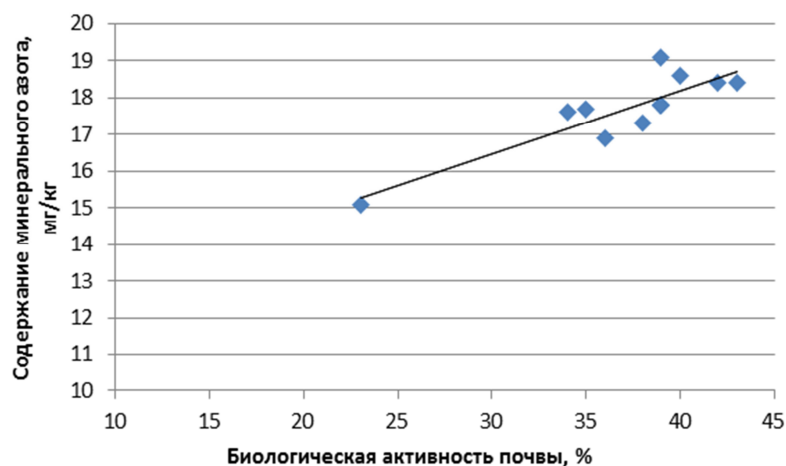


Рисунок 7 – Зависимость содержания минерального азота (y) от биологической активности почвы (x), 2014 г.

Аналогичная зависимость получена и для 2015 г. Описывающее эту связь уравнение (в пределах биологической активности от 20 до 45 %) имело вид:

$$y = 0,133x + 13,184 \quad R^2=0,57;$$

где y – содержание минерального азота, мг/кг;

x – биологическая активность почвы, %.

Графическое изображение уравнения приведено на рисунке 6.

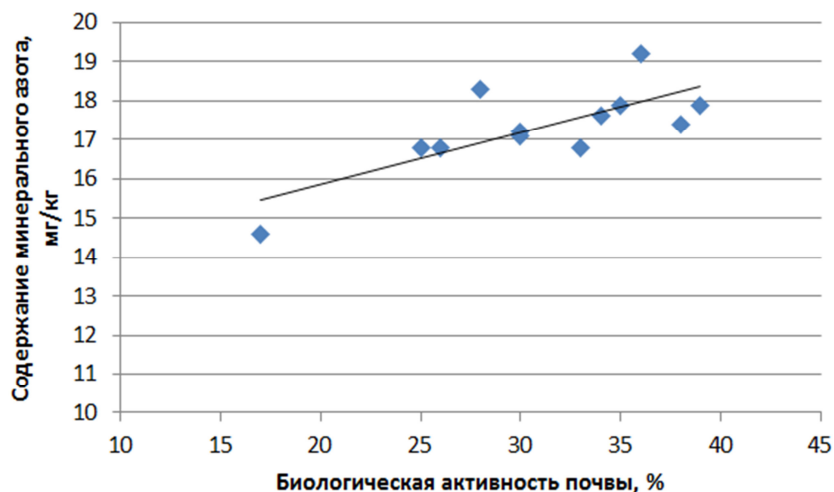


Рисунок 8 – Зависимость содержания минерального азота (y) от биологической активности почвы (x), 2015 г.

Значение коэффициента детерминации позволяет сделать вывод, что в 57 % случаев изменение содержания минерального азота связано с варьированием биологической активности почвы.

Таким образом, применение кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения создает положительную тенденцию динамики содержания минеральных форм азота в пахотном слое, что в большей степени обусловлено стимулирующим влиянием рассматриваемых агрохимических приемов на активность целлюлозоразлагающей части микробного сообщества чернозема выщелоченного.

#### *Динамика кислотности и подвижных соединений фосфора и калия в почве*

До посева яровой пшеницы содержание гумусовых веществ в почве в среднем за годы наблюдений находилось на уровне 4,5–4,7 %, что по градации соответствует группе почв со средней обеспеченностью (4,1–6,0 %) (таблицы 10, 11; приложения 14, 15, 16).

Содержание гумуса в почве под влиянием рассматриваемых факторов оставалось на одном уровне. Изменение показателя от – 0,1 до + 0,1 лежало в пределах ошибки опыта.

Результаты наблюдений за 2014–2015 гг. показали, что обеспеченность пахотного слоя почвы подвижным фосфором характеризуется как повышенная (101–150 мг/кг) и высокая (151–200 мг/кг), калием – высокая (121–180 мг/кг).



Таблица 10 – Влияние применения кремнийсодержащих соединений в чистом виде и на фоне минерального удобрения на агрохимические показатели почвы (2014 г.)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O мг/кг	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	4,5	142	138	4,4	140	136	4,4	138	132	
2. ЭКСi (о/с)	4,6	150	146	4,6	150	148	4,6	151	150	
3. ЭКСi (о/п)	4,5	153	142	4,5	154	143	4,5	156	144	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	4,7	157	149	4,7	160	152	4,6	163	156	
5. Мивал-Агро (о/с)	4,5	153	146	4,6	154	147	4,6	155	149	
6. Мивал-Агро (о/п)	4,6	149	138	4,6	149	140	4,5	150	141	
<b>7. N40P40K40 (фон)</b>	4,5	155	150	4,5	153	148	4,5	152	147	
8. N40P40K40 + ЭКСi (о/с)	4,5	168	155	4,6	170	160	4,6	171	163	
9. N40P40K40 + ЭКСi (о/п)	4,6	163	151	4,6	170	154	4,6	164	157	
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	4,5	171	168	4,5	174	172	4,5	177	172	
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	4,5	166	156	4,5	167	159	4,6	168	162	
12. N40P40K40+ Мивал-Агро (о/п)	4,6	155	158	4,5	140	160	4,5	157	162	
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,2	8	9	0,3	10	8	0,3	7	8
	Фактор В	0,2	5	7	0,2	6	5	0,4	4	4

Таблица 11 – Влияние применения кремнийсодержащих соединений в чистом виде и на фоне минерального удобрения на агрохимические показатели почвы (2015 г.)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	4,4	140	141	4,4	138	137	4,4	135	134	
2. ЭКСi (о/с)	4,6	153	155	4,6	153	156	4,6	153	158	
3. ЭКСi (о/п)	4,4	155	154	4,4	156	155	4,4	156	154	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	4,6	164	157	4,6	168	160	4,6	171	163	
5. Мивал-Агро (о/с)	4,5	154	155	4,5	154	156	4,6	155	156	
6. Мивал-Агро (о/п)	4,6	149	145	4,5	151	146	4,5	152	146	
<b>7. N40P40K40 (фон)</b>	4,5	155	153	4,5	153	151	4,6	150	149	
8. N40P40K40 + ЭКСi (о/с)	4,4	164	156	4,5	165	158	4,5	167	160	
9. N40P40K40 + ЭКСi (о/п)	4,5	163	157	4,5	164	159	4,6	164	159	
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	4,4	167	162	4,4	163	164	4,5	172	165	
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	4,5	162	153	4,5	156	156	4,5	165	158	
12. N40P40K40+ Мивал-Агро (о/п)	4,5	155	154	4,6	157	155	4,6	157	157	
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,2	9	10	0,3	8	9	0,4	9	8
	Фактор В	0,3	6	7	0,3	4	7	0,3	5	6

Варьирование концентрации элементов за вегетационный период яровой пшеницы зависело от применения в технологии ее возделывания кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения (таблицы 10, 11; приложения 14, 15, 16).

Уровень содержания подвижного фосфора в пахотном слое перед посевом культуры в среднем находился в пределах от 141 до 169 мг/кг, при рассмотрении калия – от 140 до 165 мг/кг.

В период от начала до конца вегетационного периода концентрация доступных форм элементов питания на контрольном варианте в среднем снизилась на 4 мг/кг до 137 мг/кг для фосфора и на 7 мг/кг до 133 мг/кг для калия.

Предпосевная обработка семян препаратом ЭкSi в среднем способствовала сохранению обеспеченности пахотного слоя подвижным фосфором на уровне 152 мг/кг и увеличению содержания доступного калия перед уборкой культуры на 3 мг/кг до 154 мг/кг. При опрыскивании вегетирующих растений препаратом на основе активного кремния произошло слабое увеличение запасов питательных веществ в почве. Опудривание посевного материала яровой пшеницы диатомовым порошком увеличило содержание подвижных фосфора и калия на 6 и 7 мг/кг соответственно в среднем за период исследований.

Основой препарата ЭкSi является монокремниевая кислота, которая также образуется в процессе растворения других кремниевых соединений, например, диатомита. В результате взаимодействия монокремниевой кислоты с фосфатами магния и кальция в почвенном слое повышается доступность фосфора растениям или же фосфат-анионы адсорбируются соединениями кремния (Матыченков И.В., 2014).

Использование Мивал–Агро способствовало повышению содержания подвижного калия на 2 мг/кг. Предпосевная обработка семян раствором препарата снизила концентрацию доступных соединений фосфора на 4 мг/кг,

в свою очередь опрыскивание вегетирующих растений Мивал–Агро способствовало повышению запасов элемента питания на 2 мг/кг.

На фоне минерального удобрения применение кремнийсодержащих материалов положительно воздействовало на фосфорное и калийное питание яровой пшеницы. В среднем за период исследований к концу вегетации растений содержание подвижного фосфора увеличивалось от 1 на варианте с обработкой посевов препаратом ЭкSi до 6 мг/кг при опудривании семян диатомитом. Концентрация доступного калия изменилась на 4–6 мг/кг.

При проведении корреляционно-регрессионный анализа нами рассчитано уравнение множественной корреляции, отражающее зависимость биологической активности почвы от содержания подвижных фосфора и калия в пахотном слое, которое имело форму:

$$y = - 33,27 - 0,13x_1 + 0,58x_2$$

где  $y$  – биологическая активность почвы, %;

$x_1$  и  $x_2$  – содержание подвижных фосфора и калия соответственно, мг/кг;

Значение множественного коэффициента корреляции составило 0,78.

В активизации деятельности целлюлолитической части микробного сообщества под посевами яровой пшеницы доли влияния фосфора и калия примерно равны: 44 и 42 % соответственно.

#### ***Динамика кислотности почвы***

До посева яровой пшеницы значение показателя реакции почвенного раствора в среднем за 2014-2015 гг. наблюдений находилось на уровне 5,38–5,42 ед., что по градации соответствует слабокислой группе почв (5,1–5,5 ед.) (таблица 12). Принимая во внимание проведенный анализ кислотности пахотного слоя, можно сделать вывод, что использование ЭкSi, Мивал–Агро, диатомита в чистом виде и на фоне минерального удобрения оказывает незначительное влияние на рассматриваемый показатель, изменение которого к концу вегетационного периода культуры в среднем за период исследований составило от – 0,05 до + 0,06 ед., Использование кремнийсодержащих материалов отдельно и с минеральным удобрением при выращивании яровой

пшеницы не подкисляет почвенный раствор, что, вероятно, обусловлено природой кремниевых соединений (Матыченков И.В., 2014).

Использование кремниевых препаратов (ЭкSi, Мивал–Агро), диатомита в чистом виде и совместно с полным минеральным удобрением воздействовало на изменение гидролитической кислотности следующим образом (таблица 12): оно составило от – 0,1 до +0,2, что не дает возможности говорить о достоверности вариации показателя.

Таблица 12 – Динамика кислотности почвы в зависимости от применения кремниевых препаратов, диатомита и минерального удобрения

Вариант	До посева яровой пшеницы, 2014 г.		Перед уборкой яровой пшеницы, 2015 г.		
	pH <sub>KCl</sub>	Hг, ммоль/ 100 г	pH <sub>KCl</sub>	Hг, ммоль/ 100 г	
<b>1. Без удобрений (Контроль)</b>	5,40	2,3	5,36	2,2	
2. ЭкSi (о/с)	5,36	2,0	5,42	1,8	
3. ЭкSi (о/п)	5,38	2,2	5,41	2,1	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	5,41	2,2	5,45	2,0	
5. Мивал-Агро (о/с)	5,40	2,1	5,35	2,0	
6. Мивал-Агро (о/п)	5,34	2,0	5,40	1,9	
<b>7. N40P40K40 (фон)</b>	5,42	2,0	5,38	2,2	
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	5,39	2,1	5,40	1,9	
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	5,37	2,3	5,42	2,2	
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	5,36	2,3	5,40	2,0	
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	5,42	2,2	5,48	2,2	
12. N40P40K40+ Мивал-Агро(о/п)	5,36	2,0	5,39	2,0	
НСР05	Фактор А	0,09	0,2	0,08	0,3
	Фактор В	0,07	0,3	0,05	0,4

Таким образом, изучение влияния кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения на свойства чернозема выщелоченного показало:

– при воздействии изучаемых факторов под посевами яровых зерновых культур увеличивалась активность почвенных микроорганизмов. Отдельное применение диатомита, Мивал–Агро в системе удобрения ячменя позволило

повысить ее на 13–16 % по сравнению с контролем, на удобренном фоне – на 20–23 %. Использование в системе удобрения яровой пшеницы кремниевых препаратов (Мивал–Агро и ЭкSi) для опрыскивания посевов способствовало усилению биологической активности почвы составило 10-11%, совместно с полным минеральным удобрением – 17–18 % в сравнении с контрольным значением 20 %. При обработке посевного материала кремнийсодержащими материалами (диатомит, Мивал-агро и ЭкSi) активность целлюлозолитической части микробного сообщества почвы находилась на уровне 12–15 %, в сочетании с NPK – 18–21 %.

– под влиянием изучаемых приемов улучшились или сохранились на прежнем уровне агрохимические показатели почвы. При активном потреблении элементов питания растениями яровых зерновых культур на формирование основной и побочной продукции на протяжении вегетационного периода кремнийсодержащие материалы, в большей степени на фоне минерального удобрения, способствовали поддержанию в пахотном слое среднего уровня содержания минерального азота ( $> 16$  мг/кг почвы), высокого – подвижного фосфора ( $>150$  мг/кг почвы) и калия ( $>140$  мг/кг почвы). Такие показатели плодородия почвы, как обменная и гидролитическая кислотность, содержание гумуса, после возделывания ячменя или яровой пшеницы существенных изменений не претерпевали.

## **Глава 4. Состояние посевов, урожайность и качество продукции зерновых культур в зависимости от применения в технологии их возделывания кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения**

Урожайность зерновых культур определяется комплексом взаимодействующих факторов и признаков, таких как: тепло и влага, генетический потенциал сорта, параметры агроценоза, обеспеченность необходимыми питательными веществами в соответствии с биологическими требованиями, уровнем земледелия в целом. В том числе большое значение имеет состояние посевов, пораженность их болезнями, вредителями, насекомыми и пр.

### **4.1. Ячмень**

#### **4.1.1. Фитосанитарное состояние посевов ячменя**

Корневые гнили зерновых – это группа болезней гороха, пшеницы и ячменя со сходными внешними симптомами. Помимо культурных злаков, микроорганизмы, вызывающие корневые гнили, заражают сорные растения, в результате чего наряду с инфицированными послеуборочными остатками они становятся постоянным резерватом возбудителей болезней.

При распространении корневых гнилей зачастую требуется выяснить причины угнетения растений, эффективность защитного действия мероприятия, агротехнического приема (Попов Ю.В., 2011).

У пораженных сельскохозяйственных растений отмечается снижение энергии кущения, нередко увядание, засыхание или загнивание вторичных корешков, угнетение развития вегетативных органов, уменьшение озерненности колоса, образование щуплого зерна или пустого колоса. Нередко заболевание корневой гнилью приводит к изреженности посевов из-за гибели растений (Джиембаев Ж.Т., 1971; Головченко А.П., 2001).

Наиболее опасными являются корневые гнили, вызываемые полупаразитными грибами родов *Fuzarium*, *Bipolaris*, *Cercospora*, *Ophiobolus*, проявляющиеся в виде загнивания, разрушения корневой и прикорневой части растения и приводящие к потере до 30 – 35 % урожая в зависимости от зоны возделывания. Подавление корневой гнили усложняется тем, что возбудители болезни – факультативные паразиты – способны длительное время (2–3 года – *Fuzarium*spp. и до 5 – 6 лет – *B.Sorokiniana*) сохранять свою жизнеспособность в почвенном слое и на растительных остатках (Григорьев М.Ф., Хохлова И.К., Зинченко В.А., 2010).

Агротехнические мероприятия, погодные и почвенные условия оказывают влияние на численность и патогенность возбудителей корневых гнилей, наиболее распространенных в Поволжье. Снижение продуктивности больных растений в сравнении со здоровыми зависит от многих факторов: принятой системы земледелия, генетических особенностей сорта, степени интенсивности проявления заболевания и др.

Неблагоприятные условия выращивания способствуют поражению посевов зерновых культур болезнью. Высокий температурный режим при низкой влагообеспеченности или недостаток тепла при избытке влаги приводит к ослаблению иммунной защиты растений и снижает их устойчивость к имеющимся в почве возбудителям инфекции. В условиях часто повторяющихся засух ячмень сильно подвержен воздействию патогенов и может стать источником накопления почвенной инфекции при возделывании в севооборотах зерновой направленности.

Обоснованное внесение минеральных удобрений формирует неблагоприятные условия для жизнедеятельности возбудителей корневой гнили, способствует повышению устойчивости растений к болезням, повышает сопротивляемость слабо пораженных (Джиембаев Ж.Т., 1971; Гайнуллина Р.Г., Подсевалов М.И., 1985).

В Ульяновской области характерно распространение возбудителей корневых гнилей через посевной материал (Прогноз развития..., 2015).



Химические протравители семян эффективно и стабильно подавляют многие болезни и, прежде всего, головневые, обыкновенную корневую гниль и др. Однако с учетом возможных негативных последствий их применения, накопления в почве и растениях в последнее десятилетие ведется интенсивный поиск экологически безопасных препаратов, обладающих высокой иммуно–стимулирующей и антистрессовой активностью.

Нами рассмотрено влияние кремнийсодержащих материалов при использовании в чистом виде и совместно с минеральным удобрением на пораженность посевов ярового ячменя и яровой пшеницы корневыми гнилями.

Как отмечалось ранее, одна из основных функций кремния в системе «почва – растение» – защитная. Приведенные в таблице 14 данные подтверждают, что она в полной мере проявилась при возделывании ячменя.

Таблица 14 – Поражение посевов ячменя корневыми гнилями, %

Вариант	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Среднее
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	19,9	25,0	15,3	20,1
2. СЗР	18,1	12,8	11,8	14,2
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	19,0	21,9	11,0	17,3
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	17,4	17,4	11,3	15,4
5. Мивал-Агро	16,1	14,8	15,0	15,3
<b>6. N40P40K40 (фон)</b>	18,2	20,8	16,0	18,3
7. N40P40K40 + СЗР	13,6	17,8	12,0	14,5
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	16,8	16,9	11,3	15,0
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	16,1	11,2	12,0	13,1
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	15,5	10,0	10,3	11,9
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,6	0,7	1,2
	Фактор В	1,0	1,1	1,9

Наибольшее поражение ячменя корневыми гнилями в 2011 г. наблюдалось на контроле и составило 19,9 %.

При применении средства защиты растений пораженность посевов снизилась на 1,8 %. Меньше всего поражились растения ячменя при

использовании Мивал-Агро, что составило 16,1 %. Использование диатомита для предпосевной обработки семян позволило уменьшить пораженность посевов культуры на 2,5 % (19,9 %) по отношению к контрольному варианту.

Таким образом, по влиянию на поражаемость растений грибковыми заболеваниями предпосевная обработка семян кремниевыми соединениями, в том числе диатомитом, в 2011 году не уступала средству защиты растений, более того, превосходила. Отмеченная закономерность проявлялась и при использовании данных препаратов на удобренном фоне.

При использовании минеральных удобрений пораженность растений была на уровне применения средства защиты растений и составила 18,2 %. Предпосевная обработка семян диатомитом позволила снизить пораженность корневыми гнилями растений ячменя на 19 % (относительных), Мивал–Агро – на 22 %.

Следовательно, использование кремнийсодержащих препаратов на фоне минеральных удобрений максимально защищает посевы ячменя от корневых гнилей. Последнее обусловлено, по-видимому, не только защитными свойствами данных препаратов, но и лучшим развитием растений на фоне оптимального их питания, что, несомненно, повлияло на урожайность культуры. Результаты первого года исследований полностью подтвердились в 2012 году.

В менее благоприятный 2012 год пораженность посевов ячменя корневыми гнилями была значительно выше и составила 25,0 %. Однако действие изучаемых препаратов на инфекцию была существенно выше. Так, средство защиты растений Беномил 500 снизил пораженность корней растений практически в 2 раза, предпосевная обработка семян диатомитом на 30 % (относительных), Мивал–Агро на 41 % (относительных). В 2,5 раза меньше поражались растения ячменя при использовании данных препаратов на фоне минеральных удобрений (варианты 9 и 10), что составило 11,2 и 10 % (абсолютные величины) соответственно.

Из двух способов применения диатомита по подавлению развития корневых гнилей растений ячменя в оба года исследований более эффективной являлась предпосевная обработка семян, чем внесение его в рядки, что позволило снизить

пораженность посевов данным заболеванием до 17,4 % (при внесении диатомита в рядки она составила 19,4 и 21,9 %).

Аналогичное закономерное защитное влияние кремнийсодержащих препаратов на посевы ячменя наблюдалось и в 2013 году пораженности их корневыми гнилями на варианте N40P40K40 + Мивал-Агро составило 33 относительных процента. При этом по эффективности как Мивал-Агро, так и диатомит превосходили химическое средство защиты растений (Беномил 500) при применении как в чистом виде, так и на фоне минерального удобрения (N40P40K40).

Таким образом, кремнийсодержащие материалы обладают несомненными защитными свойствами и могут снизить пораженность корневыми гнилями посевов ячменя в отдельные годы до 2,5 раз. Наиболее эффективным в этом отношении является Мивал–Агро.

#### **4.1.2. Урожайность**

Согласно результатам опыта, проведенного А.В. Ивойловым, М.И. Сорокиным и Л.Н. Сорокиной (1989), на изменение урожайности ячменя в большей степени влияет погодный фактор – на 89 %, удобрения и норма посева – 7 %, прочие обстоятельства – 4 %.

Как показали массовые полевые опыты агрохимической службы страны, доля минерального удобрения при внесении на почвах лесостепной зоны в формировании продуктивности зерновых культур может составлять до 30 % (Державин Л.М., 1992).

Результаты исследований по изучению урожайности ячменя в зависимости от применения в технологии его возделывания СЗР, кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Урожайность зерна ячменя в зависимости от применения в технологии его возделывания диатомита, кремнийсодержащего препарата

Мивал–Агро, СЗР и минерального удобрения

Вариант	Урожайность, т/га				Отклонение от контроля	
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	средняя	т/га	%
1. <b>Без удобрений (контроль)</b>	3,08	1,54	2,62	2,41	-	-
2. СЗР	3,22	1,63	3,03	2,63	0,22	9
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	3,25	1,71	2,67	2,54	0,13	5
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	3,28	1,62	3,08	2,67	0,26	11
5. Мивал-Агро	3,35	1,72	3,22	2,76	0,35	15
6. <b>N40P40K40 (фон)</b>	3,45	2,04	3,25	2,91	0,50	21
7. N40P40K40 + СЗР	3,51	2,10	3,37	2,99	0,58	24
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	3,55	2,18	3,41	3,05	0,64	27
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	3,61	2,19	3,57	3,12	0,71	29
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	3,66	2,24	3,60	3,17	0,76	32
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,10	0,05	0,11		
	Фактор В	0,12	0,07	0,18		

При анализе данных таблицы обращает на себя внимание практически двукратная разница в продуктивности ячменя в различные годы, что обусловлено особенностями погодных условий вегетационных периодов 2011–2013 гг.

2011–й год отличался оптимальными температурным и водным режимами, что способствовало формированию достаточно высокой урожайности зерна, которая варьировала в пределах 3,08 – 3,66 т/га (в 2 раза выше средней по области).

2013–й год также был относительно благоприятным для вегетации ячменя. Урожайность зерна на контроле составила 2,62 т/га. Применение средства защиты растений и кремнийсодержащих препаратов позволило достоверно повысить её на 0,41 – 0,60 т/га. В отличие от двух предыдущих лет внесение в рядки диатомита оказалось менее эффективным по сравнению с использованием его для предпосевной обработки семян.

В среднем за 3 года в группе вариантов с использованием средства защиты растений, диатомита для предпосевной обработки семян урожайность ячменя была на одинаковом уровне (2,63 и 2,67 т/га). Последнее подтверждает несомненную защитную роль диатомита.

Эффективность Мивал–Агро при применении в чистом виде превышает изучаемые препараты; так, урожайность культуры при его использовании на 0,09 – 0,22 т/га выше, чем в других вариантах.

Результаты исследования свидетельствуют, что минеральные удобрения остаются незаменимым средством повышения урожайности: прибавка зерна ячменя в данном варианте превысила контрольный в среднем на 0,5 т/га, а варианты со средством защиты растений и диатомитом – на 0,28–0,37 т/га.

Эффективность испытуемых препаратов резко возрастала на фоне минеральных удобрений и повышалась по отношению к контрольному варианту в среднем за 3 года на 24 – 32 %. Последнее обуславливает необходимость возделывания ячменя с обязательным применением минеральных удобрений (как правило, данной культуре отводится последнее поле севооборота и удобрения не вносятся) с одной стороны и доказывает высокий синергизм взаимодействия минеральных удобрений с кремнийсодержащими препаратами, в том числе диатомитом, – с другой.

В среднем за 3 года исследования наиболее высокая урожайность ячменя сформировалась на варианте с применением Мивал–Агро на фоне минеральных удобрений (N40P40K40) и составила 3,17 т/га, что на 0,76 т/га превышает контроль, или она была выше на 32 %. Прибавка урожайности от внесения диатомита как в рядки, так и при предпосевной обработке семян находилась или на уровне применения средства защиты растений (Беномил 500), или в отдельные годы превышала. Последнее доказывает не только несомненную агрономическую эффективность диатомита, но и его защитную роль.

Сложные связи между растениями и микробиоценозом почвы оказывают непосредственное влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур,

поскольку микроорганизмы разносторонне действуют на питание растений (Гордеева Т.Х., Масленникова С.Н., Гажеева Т.П., 2012).

Нами установлена зависимость между урожайностью и биологической активностью почвы, которую отражает следующее уравнение первой степени (действительно в пределах интенсивности разложения полотна 20-45%):

$$y = 0,0357 x + 1,2351 \text{ при } R^2=0,76;$$

где  $y$  – урожайность ячменя, т/га

$x$  – биологическая активность почвы, %.

На продуктивность ячменя оказала негативное воздействие пораженность посевов культуры возбудителями корневых гнилей, о чем свидетельствует обратная связь между показателями (рисунок 5).

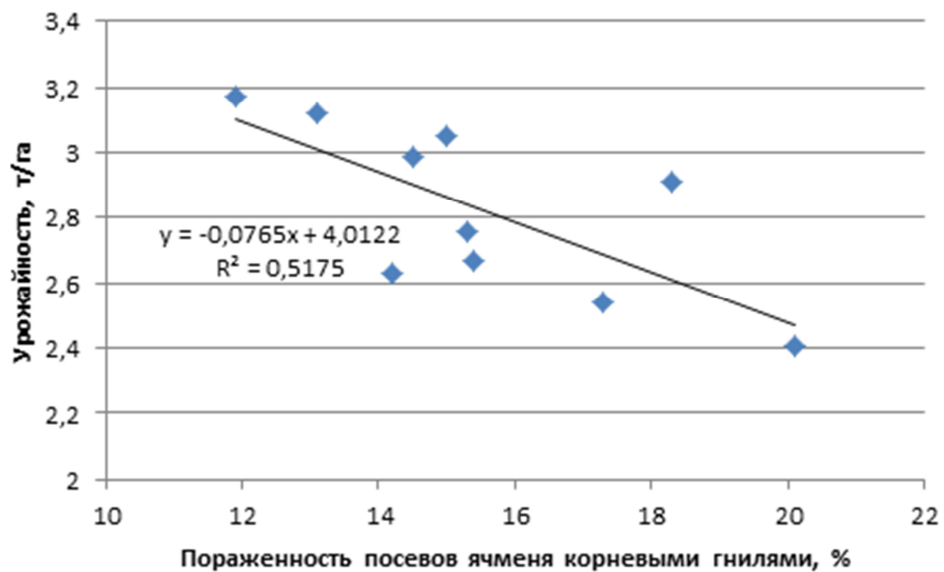


Рисунок 5 – Зависимость урожайности ячменя ( $y$ ) от пораженности посевов корневыми гнилями ( $x$ )

#### 4.1.3. Содержание и вынос основных макроэлементов

Минеральное питание растений является определяющим фактором при формировании высокой урожайности и качества растениеводческой продукции.

Питание растений по сравнению с другими организмами уникально, так как только растения способны усваивать минеральные вещества и синтезировать из них высокомолекулярные, богатые энергией органические вещества. Качественные показатели основной продукции зерновых культур представляют собой сложные полигенные признаки, зависящие от некоторых физиологических и морфологических свойств растений (Никитин С.Н., 2015).

При внесении удобрений ячмень и яровая пшеница заметно интенсивнее потребляют азот и калий, при этом расход фосфора изменяется в меньшей степени (Петербургский А.В., Аникст Д.М., 1973 г.).

Азотные удобрения повышают в зерне яровой пшеницы содержание протеина и сырой клейковины, фосфорные – оказывают неоднозначное влияние: снижают, не воздействуют или же улучшают качество основной продукции зерновых культур. Калий увеличивает крахмалистость зерновок ячменя и пшеницы (Соловьев А.Г., 1975).

В наших исследованиях изучалось влияние СЗР, диатомита, препарата Мивал-Агро и минеральных удобрений на потребление ячменем трех важнейших компонентов – азота, фосфора и калия.

Азот является элементом, безусловно, необходимым для растений. Данный элемент определяет ряд важнейших процессов, влияющих на рост и продуктивность культур. Среди них важнейшей является фотосинтетическая емкость – показатель, определяющий максимальную величину фиксации углерода при фотосинтезе (Below F., 2001).

Многочисленными исследованиями установлено, что увеличение азотного питания до определенных пределов способствует повышению фотосинтетической активности листьев, так как азот входит в состав хлорофилла и регулирует активность карбоксилирующих ферментов. При достаточной обеспеченности элементом, в конечном счете, увеличивается поглощение солнечного света, следовательно, и продуктивность сельскохозяйственных растений.

Внесение минеральных удобрений способно оказать влияние на содержание азота в зерне ячменя (В.Н. Прокошев, С.И. Попова, 1971). Исследования

Шюляускаса А.К. и коллег (1981) показали, что накопление азотных соединений в основной продукции культуры заметно увеличивалось при повышении уровня азотно-фосфорно-калийного питания растений.

Улучшение условий минерального питания за счет применения диатомита и Мивал-Агро в чистом виде и на фоне NPK способствовало изменению содержания азота в продукции ячменя в среднем за годы исследований (таблица 15; приложение 19).

Таблица 15 – Влияние изучаемых факторов на содержание NPK в продукции ячменя, % (2012–2013 гг.)

Вариант	Содержание NPK, % на сухое вещество					
	в зерне			в соломе		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	1,99	0,95	0,56	0,51	0,31	0,94
2. СЗР	2,05	0,97	0,58	0,52	0,33	0,94
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	2,05	0,97	0,61	0,52	0,31	0,96
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	1,96	0,98	0,62	0,49	0,32	0,97
5. Мивал-Агро	2,18	1,01	0,63	0,55	0,33	1,00
<b>6. N40P40K40 (фон)</b>	2,20	1,03	0,65	0,55	0,33	1,03
7. N40P40K40+ СЗР	2,26	1,06	0,67	0,57	0,35	1,02
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	2,14	1,09	0,70	0,54	0,36	1,06
9. N40P40K40 + (о/с)	2,20	1,12	0,69	0,62	0,38	1,05
10. N40P40K40 + Мивал-Агро	2,44	1,13	0,69	0,62	0,39	1,06
НСР <sub>05</sub>	В приложении 19					

Под влиянием применения высококремнистой породы содержание макроэлемента увеличивалось в зерне с 1,99 до 2,05 %, или в относительном выражении на 3 %, с внесением минерального удобрения – с 1,99 по 2,20 %, или на 11 % (относительных). При использовании кремнийорганического препарата азота накопилось до 2,18 %, или на относительных 10 % больше, чем на контроле.



На фоне минерального удобрения обработка семян Мивал–Агро позволила получить зерно с содержанием азота 2,44 %, что на 23 % (относительных) выше, чем на варианте с естественным уровнем плодородия почвы.

Недостаток фосфора в растительных тканях замедляет синтез ферментов и поступление воды. Существуют также сведения о влиянии недостатка фосфора на поглощение углекислого газа и образование кислорода. Одним из наиболее важных соединений фосфора, участвующих в фотосинтезе, дыхании, открытии устьиц и переносе органических соединений через клеточные мембраны является кофермент АТФ (Terry N., Ulrich A., 1973).

На содержание фосфора в зерне ячменя наиболее сильное влияние оказало применение диатомита и Мивал-Агро при внесении NPK. Уровень накопления элемента на этих вариантах в среднем составил 1,09–1,13 %, что выше контрольного значения на 15–20 % (относительных).

Содержание калия в зерне ячменя при использовании диатомита увеличивалось до 0,62 %, на удобренном фоне – 0,70 %. При обработке посевного материала Мивал-Агро уровень накопления калия составил 0,63 %, при сочетании с внесением минерального удобрения – 0,69 %.

Тенденция к увеличению содержания азота, фосфора и калия под действием рассматриваемых факторов сохранилась и в отношении соломы ячменя.

Вынос азота, фосфора и калия основной и побочной продукцией ячменя в среднем зависел от ее массы и от концентрации питательных элементов в растениях (таблица 16).

Таблица 16 – Влияние кремнийсодержащих материалов  
и минерального удобрения на вынос NPK основной и побочной продукцией  
ячменя (2012–2013 гг.)

Вариант	Вынос NPK, кг/га						Общий вынос			Вынос на 1 т		
	зерно			солома			NPK, кг/га			зерна, кг/га		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1.	41,4	19,7	11,6	13,8	8,5	25,7	55,2	28,2	37,3	27	14	18
2.	47,8	22,6	13,5	15,7	9,9	28,7	63,5	32,5	42,2	27	14	18
3.	44,9	21,1	13,4	14,8	8,9	27,4	59,7	30,0	40,8	27	14	19
4.	46,1	23,0	14,5	15,0	9,7	29,8	61,1	32,7	44,3	26	14	19
5.	53,7	24,9	15,4	17,9	10,7	32,3	71,6	35,6	47,7	29	14	19
6.	58,1	27,1	17,2	18,9	11,5	35,7	77,0	38,6	52,9	29	15	20
7.	61,7	29,0	18,2	20,3	12,6	36,6	82,0	41,6	54,8	30	15	20
8.	59,8	30,3	19,4	19,6	13,2	38,7	79,4	43,5	58,1	28	16	21
9.	63,2	32,1	19,7	23,2	14,1	39,4	86,4	46,2	59,1	30	16	21
10.	71,1	33,0	20,1	23,7	14,7	40,5	94,8	47,7	60,7	32	16	21

Количество выносимого азота при применении диатомита в среднем на 11,0 кг/га меньше, чем при обработке семян препаратом Мивал–Агро, а при сравнении с СЗР – на 3,1 кг/га. На фоне NPK с использованием кремниевых соединений хозяйственный вынос элемента повысился до 79,4–94,8 кг/га.

На вариантах с СЗР и опудриванием семян диатомитом вынос фосфора в среднем находился на уровне 32,5–32,7 кг/га, а внесение высококремнистой породы в рядки снизило его значение до 30,0 кг/га. При использовании диатомита и Мивал-Агро с минеральным удобрением количество выносимого элемента составило 43,5–47,7 %.

Вынос калия при использовании кремнийорганического препарата в среднем на 5,2 кг/га выше, чем значение такового на вариантах с высококремнистой породой.

На удобренном фоне применение диатомита и Мивал–Агро повышали количество выносимого калия до 58,1–59,1 и 60,7 кг/га соответственно.

Рассматривая вынос элементов на 1 т основной продукции ячменя, следует отметить, что при использовании диатомита наблюдается снижение показателя для азота на 2–4 кг/га, в сравнении с Мивал–Агро.

Таким образом, использование кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения увеличивает вынос основных видов макроэлементов, что, вероятно, связано с интенсивным потреблением питательных веществ на формирование основной и побочной продукции культуры.

Ячмень является универсальной культурой, однако основное его предназначение – переработка на корм. В рационе сельскохозяйственных животных и птиц зерно культуры – незаменимый ингредиент ввиду того, что содержание незаменимых аминокислот в зерне составляет 30,6 г/100 г белка, следовательно, чем выше содержание белковых веществ в основной продукции, тем ценнее считается ячмень для комбикормового производства. Синтез и накопление белка в зерновках злаковых растений происходит, главным образом, за счет оттока азотистых соединений из вегетативных органов (Рядчиков В.Г., 1978).

Применение диатомита, Мивал-Агро и минерального удобрения в среднем за годы наблюдений оказали влияние на содержание белковых веществ в зерне ячменя (таблица 17).

Существенное влияние оказала обработка посевного материала ячменя препаратом Мивал-Агро и внесение минерального удобрения: количество сырого протеина в зерне увеличилось с 11,4 до 12,4 %, на 1,0 %, или относительных 9 %.

На фоне NPK опудривание семян диатомитом обеспечило накопление белковых веществ до уровня 12,5 %, а применение СЗР – 12,9 %, что на 1,1–1,5 %, или 10–13 % (относительных) выше, чем на контрольном варианте.

Таблица 17 – Содержание сырого протеина (Nx5,7) в зерне ячменя, %  
(2012–2013 гг.)

Вариант	2012 г.	2013 г.	среднее	Отклонение от контроля
				%
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	11,1	11,6	11,4	-
2. СЗР	11,4	11,9	11,7	0,3
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	11,3	12,0	11,7	0,3
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	10,7	11,6	11,2	-0,2
5. Мивал-Агро	12,2	12,6	12,4	1,0
<b>6. N40P40K40 (фон)</b>	12,3	12,7	12,4	1,1
7. N40P40K40 + СЗР	12,7	13,0	12,9	1,5
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	11,9	12,5	12,2	0,8
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	12,2	12,8	12,5	1,1
10. N40P40K40+ Мивал– Агро	13,8	13,9	13,9	2,5
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,6	0,3	
	Фактор В	0,4	0,2	

Сочетание минерального удобрения и кремнийорганического препарата Мивал-Агро обеспечило наиболее высокое содержание белка, значение которого составило 13,9 %, что на 2,5 %, или 22 % (относительных) лучше контрольного, что, по-видимому, обусловлено благоприятными условиями для азотного питания растений, сложившихся под влиянием этих факторов.

Таким образом, кремнийсодержащие материалы и полное минеральное удобрение способны привести к положительному изменению содержания белка в зерне, что представляет практическую значимость для использования основной продукции ячменя на фуражные цели.

#### 4.1.4. Экологическая оценка продукции

Содержание тяжелых металлов в продукции растениеводства может достигать существенных значений и зависит от характера и местоположения

источников поступления, степени токсичности, миграционной способности элементов, устойчивости растений к воздействию вредных соединений (Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И., 2005; Никитин С.Н., 2014).

Результаты исследований Зариповой Н.Р. и коллег (2011) показали, что ионы Cd, Cu и Ni в растениях ячменя, выращенных в водной культуре, оказывают активное воздействие на экспрессию транспортных генов, способны к регулированию скорости транскрипции, уровня транскриптов отдельных хлоропластных генов, могут оказывать влияние на их сплайсинг.

С точки зрения получения экологически безопасной продукции важно не общее содержание тяжелых металлов в почве (ТМ), а их доступность растениям. ТМ претерпевают в почве, в зависимости от используемых в сельском хозяйстве технологий, химические превращения, в ходе которых их токсичность может сильно варьироваться. Наибольшую опасность представляют подвижные формы ТМ, так как они являются наиболее доступными для живых организмов (Соколов О.А., Черников В.А., 1999). Мобильность элементов зависит от типа почвы, содержания органического вещества, кислотности, плотности и других факторов (Мотианова О.Е., 2001).

В связи с этим важное практическое значение имеет познание механизмов и закономерностей поведения, распределения и поступления ТМ в растениеводческую продукцию в зависимости от применяемых в сельскохозяйственном производстве технологий. Следовательно, при внесении в почву любых материалов в качестве мелиорантов или удобрений необходим контроль над поступлением при этом токсикантов, в том числе и тяжелых металлов, в растениеводческую продукцию.

Открытая нанопористая структура диатомита позволяет его рассматривать как эффективный природный сорбент. Его использование в системе удобрения культурных растений значительно снижает поступление в продукцию токсических элементов. Преимуществом диатомита является и отсутствие в его составе загрязняющих веществ (Куликова А.Х., 2011).

Общее содержание ТМ в тканях и органах растений зависит, главным образом, от интенсивности поглощения металла клетками корня и эффективности его перемещения по растению при радиальном транспорте ионов (Титов А. Ф., Казнина Н. М., Таланова В. В., 2014). ТМ, в основном, локализуются в корневой системе, а в зерне накапливается их меньше вследствие биологических барьеров (Никитин С.Н., 2014).

В кормовом зерне содержание тяжелых металлов должно соответствовать физиологическим нормам и не превышать временно максимальный допустимый уровень (ВМДУ) (Никитин С.Н., 2014).

В среднем за 2012-2013 гг. исследования показали (таблица 18, приложение 20), что значение показателя ни по одному элементу, кроме никеля, не превышало ВМДУ.

Таблица 18 – Содержание тяжелых металлов в зерне ячменя (2012-2013 гг.)

Вариант	Содержание тяжелых металлов в зерне ячменя, мг/кг				
	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
1. Без удобрений (контроль)	22,0	4,5	1,07	0,160	1,25
2. СЗР	17,2	3,8	0,99	0,135	1,15
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	15,1	3,7	0,65	0,110	0,88
4. Диатомит 30 кг/т (обр. семян)	18,2	4,4	0,72	0,120	1,16
5. Мивал-Агро	15,6	4,1	1,01	0,145	1,25
6. N40P40фК40 (фон)	15,5	4,3	1,00	0,165	1,06
7. N40P40K40 + СЗР	15,3	4,1	1,01	0,180	0,96
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	17,0	4,2	1,12	0,175	1,06
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (обр. семян)	17,4	4,3	1,07	0,145	1,07
10. N40P40K40 + Мивал–Агро	16,0	4,4	0,94	0,175	1,20
	ВДМУ в зерне (1987 г.)				
	50,0	30,0	5,0	0,3	1,0
НСР <sub>05</sub>	В приложении 20				

Накопление цинка было ниже ВМДУ от 2,3 до 3,3 раз, меди – в 6,7–8,1 раза, свинца – от 4,7 до 7,7 раз, кадмия – в 1,7–2,7 раз. Следовательно, большую

опасность представляет никель, содержание которого в зерне находится на уровне ВМДУ, а по некоторым вариантам превышает. В связи с чем, представляется важным контроль содержания никеля в почве и продукции ячменя, если при его выращивании найдут применение рассматриваемые агрохимические средства. Следует отметить, что при применении как средства защиты растений, так и кремнийсодержащих препаратов наблюдалось значительное снижение содержания в продукции количества токсичных элементов. Последнее согласуется с литературными данными (Williams D., 1957, Neumann D. 2001., Никифорова С.А., 2004).

Наиболее эффективным в этом отношении является диатомит. Так, при внесении его в рядки содержание свинца в зерне уменьшалось с 1,07 до 0,65 мг/кг, или почти в 1,7 раз; при обработке семян – на 33 %; кадмия соответственно с 0,16 мг/кг до 0,11 мг/кг (на 31 %) и 0,12 мг/кг (на 25 %). Последнее объясняется тем, что диатомит обладает высокими адсорбционными свойствами и удерживает металлы от поступления в продукцию.

Данная закономерность проявлялась и при применении средства защиты растений и кремнийсодержащих материалов совместно с минеральными удобрениями. По-видимому, это связано с антагонистическим действием поступающих в растения в большом количестве макроэлементов на токсичные вещества и повышением устойчивости растений к действию последних.

Следовательно, использование диатомита и кремнийсодержащих материалов в технологии возделывания ячменя может стать действенным средством получения более высокой экологически безопасной продукции.

## **4.2. Яровая пшеница**

### **4.2.1. Фитосанитарное состояние посевов яровой пшеницы**

Применение препаратов ЭкSi, Мивал-Агро и диатомита отдельно и на удобренном фоне стимулировало развитие у растений яровой пшеницы устойчивости к возбудителям корневых гнилей (таблица 19).

Таблица 19 – Поражение посевов яровой пшеницы корневыми гнилями, %

Вариант		2014 г.	2015 г.	Среднее
1. Без удобрений (контроль)		16,4	23,1	19,8
2. ЭкSi (о/с)		14,2	16,4	15,3
3. ЭкSi (о/п)		14,7	17,0	15,9
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)		15,2	20,9	18,1
5. Мивал-Агро (о/с)		13,3	17,5	15,4
6. Мивал-Агро (о/п)		13,8	18,2	16,0
7. N40P40K40 (фон)		14,6	19,0	16,8
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)		12,1	14,6	13,4
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)		12,9	15,1	14,0
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)		14,2	17,4	15,8
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)		12,6	15,5	14,1
12. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/п)		13,1	16,0	14,6
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,9	1,1	
	Фактор В	0,5	0,7	

На контрольном варианте в 2014 г. наблюдалось наибольшее поражение яровой пшеницы патогенами оно составило 16,4 %.

Опудривание семян диатомитом улучшило показатель на 1,2 %. Наименьшее поражение растений – 13,3 % – наблюдалось при обработке посевного материала Мивал–Агро, что на 0,9 % превосходит результат применения ЭкSi для аналогичной цели (14,2 %). Опрыскивание вегетирующих растений кремниевыми препаратами незначительно уступает их альтернативному способу применения – 0,5 % (13,8 % при использовании Мивал-Агро и 14,7 % – ЭкSi соответственно).

При внесении минерального удобрения пораженность посевов гнилью корней была на уровне влияния ЭкSi и составила 14,6 %. Сочетание предпосевной обработки диатомитом и удобренного фона по воздействию на состояние посевов яровой пшеницы аналогично отдельному действию препарата с активным кремнием – 14,2 %. Поражение растений корневыми гнилями на вариантах с применением ЭкSi и Мивал-Агро с внесением минерального существенно различалось при обработке семян препаратом на основе активного кремния и опрыскиванием растений кремнийорганическим регулятором соответственно 12,1 % и 13,1 %.



В 2015 г. возбудители корневых гнилей оказали более негативное воздействие на посевы яровой пшеницы вследствие неблагоприятных условий возделывания культуры, что позволило в полной мере оценить влияние рассматриваемых кремнийсодержащих материалов.

Пораженность растений на удобренном фоне составила 23,1 %. Использование диатомита улучшило состояние посевов до 20,9 %. Опрыскивание вегетирующих растений Мивал–Агро позволило уменьшить пораженность растений на 2,4 % (17,5 %) по отношению к высококремнистой породе. Наименьшее поражение посевов наблюдалось при обработке посевного материала ЭкSi и составило 16,4 %.

При изучении влияния на состояние посевов одного кремниевого препарата и другого не установлено существенных различий в способе их применения: разница между предпосевной обработкой семян и опрыскиванием не превышала 0,6 % в случае ЭкSi и 0,7 % – Мивал-Агро.

На варианте с внесением минерального удобрения уровень пораженности растений грибковыми заболеваниями составил 19,0 %. Опудривание семян яровой пшеницы диатомитовым порошком на удобренном фоне снизило поражение посевов до 17,4 %.

Кремниевые препараты с N40P40K40 на поражение растений корневыми гнилями оказали схожее влияние, как наблюдаемое в 2014 г.

Таким образом, кремнийсодержащие материалы оказывают защитное действие и могут в отдельные годы снизить пораженность корневыми гнилями посевов яровой пшеницы в относительном выражении на 26–37 %, что, несомненно, влияет на урожайность культуры. Наиболее эффективными в этом отношении является Мивал–Агро при благоприятных условиях возделывания культуры и ЭкSi, результативность которого повышается в случае значительных отклонений температурного режима и влагообеспеченности от средних многолетних показателей.

На фоне минерального удобрения кремниевые препараты максимально защитили посевы яровой пшеницы от корневых гнилей. Последнее, вероятно,

обусловлено не только протекторной функцией кремниевых соединений, но и с лучшими условиями питания растений, подавлением развития патогенной микрофлоры почвы, что, без сомнений, оказало влияние на продуктивность яровой пшеницы.

#### 4.2.2. Урожайность

Применение кремниевых препаратов, диатомита и минерального удобрения, улучшая агрохимические и биологические свойства чернозема выщелоченного, способствовали увеличению продуктивности яровой пшеницы за 2014–2016 гг. исследований (таблица 20).

Погодные условия 2014 г. сложились благоприятно для роста и развития растений. Урожайность сформировалась достаточно высокой и ее значение лежало в пределах от 2,69 до 3,25 т/га.

Прибавка урожайности от обработки посевов и семян препаратом ЭкSi составила 0,18–0,21 т/га, или 8–9 %. Опрыскивание вегетирующих растений Мивал–Агро увеличило продуктивность культуры на 0,33 т/га, или на 12 %, что практически не уступает действию NPK. При обработке семян кремнийорганическим препаратом урожайность повысилась до 3,1 т/га, что лучше контрольного значения на 0,41 т/га, или на 15 %.

При совместном использовании кремниевых соединений (диатомита, Мивал-Агро, ЭкSi) и минерального удобрения достигнуты одни из высоких значений урожайности культуры – 3,06–3,25 т/га. При этом опудривание семян диатомитовым порошком оказалось менее эффективной на 5 % обработки посевного материала Мивал–Агро и на 6 % – препаратом ЭкSi.

Таблица 20 – Урожайность зерна яровой пшеницы в зависимости от применения в технологии ее возделывания кремнийсодержащих препаратов, диатомита и минеральных удобрений

Вариант	2014	2015	2016	Среднее за 3 года	Отклонение от контроля	
					т/га	%
1. <b>Без удобрений (контроль)</b>	2,69	2,06	1,74	2,16	-	-
2. ЭкSi (о/с)	2,90	2,51	2,03	2,48	0,32	15
3. ЭкSi (о/п)	2,87	2,37	1,96	2,40	0,24	11
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2,79	2,23	1,85	2,29	0,13	6
5. Мивал-Агро (о/с)	3,10	2,41	2,07	2,53	0,37	17
6. Мивал-Агро (о/п)	3,02	2,22	1,84	2,36	0,20	9
7. <b>N40P40K40 (фон)</b>	2,99	2,35	2,15	2,50	0,34	16
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	3,25	2,59	2,36	2,73	0,57	26
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	3,10	2,40	2,09	2,53	0,37	17
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	3,06	2,43	2,23	2,57	0,41	19
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	3,20	2,56	2,31	2,69	0,53	24
12. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/п)	3,14	2,40	2,14	2,56	0,40	19
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,20	0,10	0,13		
	Фактор В	0,11	0,06	0,07		

В 2015 г. вегетационный период отличался количеством атмосферных осадков и резкими перепадами температур, несмотря на это урожайность яровой пшеницы получена на уровне 2,06–2,59 т/га. Обработка семян диатомитовым порошком повысила продуктивность культуры на 0,17 т/га, или 8 %, по отношению к значению на контрольном варианте. При использовании Мивал-Агро в зависимости от способа применения препарата получена прибавка урожайности на уровне 0,16-0,35 т/га (8–17 %). От применения препарата ЭкSi продуктивность культуры увеличилась на 0,31–0,45 т/га, или 15–22 %.

Тенденция влияния кремниевых соединений на урожайность зерна яровой пшеницы сохранилась и при их использовании фоне NPK. Наиболее высокая продуктивность сформировалась на вариантах с проведением предпосевной обработки семян Мивал–Агро или ЭкSi при внесении минерального удобрения и составила 2,56–2,59 т/га (на контроле 2,06 т/га).

Метеорологические условия 2016 г. сложились относительно благоприятно для роста и развития растений яровой пшеницы. Обработка семян кремниевыми препаратами достоверно увеличивала продуктивность на 0,29–0,33 т/га (17–19 %). При внесении минерального удобрения наблюдалась прибавка урожайности 0,41 т/га (на 24 %). Использование диатомита, Мивал-Агро и ЭкSi для обработки семян на фоне NPK способствовало положительному изменению продуктивности культуры до 2,23–2,36 т/га (контрольное значение 1,74 т/га).

На опытных вариантах с обработкой семян ЭкSi, Мивал–Агро и внесением традиционного удобрения наблюдалось почти равнозначное повышение урожайности: средняя прибавка за 3 года составила 15, 17 и 16 % соответственно.

Совместное применение кремнийсодержащих материалов и комплексного удобрения резко усиливало их эффективность, что свидетельствует об их синергизме.

При этом использование препарата ЭкSi для предпосевной обработки семян на фоне минерального удобрения способствовало росту продуктивности пшеницы на 10 %, в сравнении со значением при отдельном внесении последнего. В случае с кремнийорганическим регулятором роста Мивал–Агро соответствующая прибавка урожайности составила 8 %.

Результаты исследований отечественных ученых свидетельствуют о возможности получения наибольшего эффекта при использовании кремниевых удобрений в комплексе с другими минеральными удобрениями. Это соответствует принципу возвращения в систему почва–растение питательных веществ, вынесенных с урожаем, а так же закону минимума Ю. Либиха (Матыченков И.В., 2014).

Выявлено преимущество корневого внесения кремниевых препаратов перед опрыскиванием посевов. В случае с ЭкSi разница в росте урожайности составила 4 %, минерального удобрения и ЭкSi – 9 %. Преимущество обработки семян регулятором роста перед опрыскиванием составило 8 % отдельно и 5 % при совместном применении с традиционным удобрением.

Таким образом, применение кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения в технологии возделывания зерновых культур способствует формированию условий для повышения их продуктивности от 5 до 29 %.

Между урожайностью и биологической активностью почвы под посевами яровой пшеницы нами установлена зависимость, которую описывает уравнение первой степени (действительно в пределах интенсивности разложения полотна 15-45%), имеющее вид:

$$y = 0,025 x + 1,853 \text{ при } R^2=0,86;$$

где  $y$  – урожайность яровой пшеницы, т/га

$x$  – биологическая активность почвы, %.

На величину продуктивности яровой пшеницы в среднем за 2014-2015гг. отрицательно повлияла пораженность посевов культуры корневыми гнилями (рисунок 8).

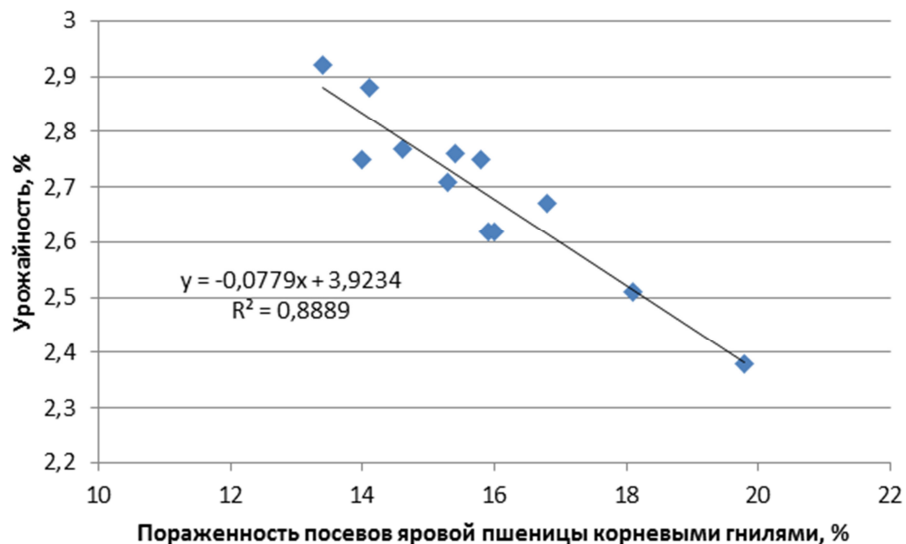


Рисунок 8 – Зависимость урожайности яровой пшеницы ( $y$ ) от пораженности посевов корневыми гнилями ( $x$ )

Полученное уравнение регрессии подтверждает обратную связь между показателями.

### 4.2.3. Содержание и вынос основных макроэлементов

Концентрации азота, фосфора и калия в зерне яровой пшеницы приведены в таблице 21 (приложение 21).

Установлено, что содержание в основной продукции азота изменялось в пределах от 2,36–2,57 %. На вариантах с отдельным использованием кремниевых соединений и внесением минерального удобрения в чистом виде уровень накопления азота в зерне значительно не менялся и составил 2,38–2,44 %. На фоне NPK применение диатомита, ЭкSi, Мивал–Агро для предпосевной обработки зерна повысило содержание азота до 2,54–2,57 %. В соломе яровой пшеницы концентрация элемента изменялась от 0,39–0,44 %.

Таблица 21 – Влияние изучаемых факторов на содержание NPK в продукции яровой пшеницы, % (2014–2015 гг.)

Вариант	Содержание NPK, % на сухое вещество					
	в зерне			в соломе		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1. Без удобрений (контроль)	2,36	0,77	0,35	0,39	0,28	0,82
2. ЭкSi (о/с)	2,44	0,86	0,41	0,41	0,32	0,86
3. ЭкSi (о/п)	2,41	0,80	0,37	0,39	0,30	0,84
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2,38	0,87	0,44	0,40	0,30	0,85
5. Мивал-Агро (о/с)	2,49	0,83	0,41	0,40	0,30	0,84
6. Мивал-Агро (о/п)	2,40	0,80	0,37	0,40	0,28	0,86
7. N40P40K40 (фон)	2,40	0,83	0,38	0,41	0,32	0,88
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	2,54	0,93	0,49	0,44	0,34	0,88
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	2,40	0,86	0,42	0,43	0,33	0,88
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2,55	0,94	0,53	0,42	0,32	0,88
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2,57	0,86	0,46	0,42	0,32	0,88
12. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/п)	2,44	0,82	0,40	0,41	0,33	0,88
НСР <sub>05</sub>	В приложении 21					

Обработка семян ЭкSi и диатомитом обеспечили практически одинаковое содержание фосфора в зерне, которое при использовании кремниевых соединений в чистом виде составило 0,86 и 0,87 % и на удобренном фоне – 0,93 и 0,94 %, при этом контрольное значение показателя равно 0,77 %.

Применение диатомита увеличило концентрацию калия в зерне от 0,35 до 0,44 %. Обработка посевного материала кремниевыми соединениями с внесением НРК обеспечили накопление элемента до 0,46–0,53 %.

Как и в зерне, при использовании ЭкSi, Мивал–Агро, диатомита и минерального удобрения имела место тенденция увеличения концентрации азота, фосфора и калия в соломе.

Вынос основных макроэлементов растениями яровой пшеницы также претерпевал изменения под влиянием рассматриваемых факторов (таблица 22).

На варианте с обработкой семян кремниевыми препаратами количество выносимого азота находилось на уровне 81–83,5 кг/га, что в среднем на 3,4 кг/га выше контрольного значения, на фоне минерального удобрения изменилось до 90,2–91,5 кг/га.

При использовании кремниевых соединений вынос фосфора составил от 30,8 до 34,8 кг/га. На удобренном фоне предпосевная обработка семян препаратом ЭкSi увеличила количество выносимого фосфора до 40,4 кг/га. На оставшихся вариантах с применением кремниевых веществ показатель находился в пределах от 34,9 до 37,5 кг/га.

Общий вынос калия изменялся от 34,7 кг/га на контрольном варианте до 49,0 кг/га при обработке посевного материала ЭкSi. При внесении минерального удобрения количество выносимого элемента составило 41,7 кг/га. Сочетание его с опрыскиванием вегетирующих растений кремниевыми препаратами увеличило значение показателя до 44,0 кг/га. Обработка семян диатомитом или Мивал–Агро на удобренном фоне вынос калия достигает уровня 47,1–47,2 кг/га.

Таблица 22 – Влияние кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения на вынос NPK основной и побочной продукцией яровой пшеницей (2014–2015 гг.)

Вариант	Вынос NPK, кг/га						Общий вынос			Вынос на 1 т		
	зерно			солома			NPK, кг/га			зерна		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1.	55,9	18,3	8,3	12,1	8,9	26,4	68,0	27,1	34,7	29	11	15
2.	66,0	23,3	11,1	15,0	11,5	31,5	81,0	34,8	42,6	30	13	16
3.	63,0	21,0	9,7	13,8	10,5	29,6	76,9	31,4	39,3	29	12	15
4.	59,6	21,7	11,0	13,4	10,2	28,9	73,0	31,9	39,9	29	13	16
5.	68,6	22,9	11,3	14,9	11,0	31,2	83,5	33,9	42,5	30	12	15
6.	62,7	20,8	9,7	14,1	10,0	30,6	76,8	30,8	40,3	29	12	15
7.	64,1	22,2	10,0	14,8	11,4	31,7	78,9	33,6	41,7	30	13	16
8.	74,2	27,2	14,2	17,4	13,2	34,8	91,5	40,4	49,0	31	14	17
9.	66,0	23,5	11,4	16,0	12,3	32,6	82,0	35,8	44,0	30	13	16
10.	69,9	25,8	14,4	15,6	11,7	32,7	85,5	37,5	47,1	31	14	17
11.	74,0	24,6	13,1	16,2	12,5	34,1	90,2	37,1	47,2	31	13	16
12.	67,6	22,7	11,1	15,4	12,2	32,9	83,0	34,9	44,0	30	13	16

Одно из приоритетных направлений развития современного растениеводства связано с увеличением производства сильных сортов пшеницы, зерно которых содержит большее количество белка и клейковины. Мука сильных пшениц, обладающая высокими хлебопекарными качествами, увеличивает выход хлеба на 27 %, что важно для экономического состояния отрасли (Еремина Т.Н., Костин В.И., Захаров А.И., 1985).

Качество производимого зерна является интегрирующим показателем взаимного влияния генотипа сорта, природно-климатических особенностей, агротехнических и организационно-экономических условий возделывания культуры.



Содержание белка и клейковины в зерне пшеницы большинство исследователей относят к основным качественным показателям. Для повышения их значения одновременно с урожайностью культуры в благоприятные для вегетации годы рекомендуют обеспечивать растения сбалансированным и достаточным азотным питанием, более всего в период налива зерна, а в засушливые годы – вносить азотные удобрения в умеренных дозах при сохранении влаги и повышении влагообеспеченности посевов (Головченко А.П., 2001).

Показатели качества основной продукции яровой пшеницы изменялись от условий минерального питания культуры (таблица 23; приложение 22).

Таблица 23 – Основные показатели качества зерна яровой пшеницы, % (2014-2015 гг.)

Вариант	Массовая доля	
	белка (Nx5,7)	сырой клейковины
1. <b>Без удобрений (контроль)</b>	13,4	23,9
2. ЭкSi (о/с)	13,9	29,1
3. ЭкSi (о/п)	13,7	28,0
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	13,6	29,9
5. Мивал-Агро (о/с)	14,2	30,1
6. Мивал-Агро (о/п)	13,7	26,3
7. <b>N40P40K40 (фон0)</b>	13,7	30,9
8. N40P40K40+ ЭкSi (о/с)	14,5	30,4
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	13,7	30,9
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	14,5	30,3
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	14,7	30,0
12. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/п)	14,0	27,8
НСР <sub>05</sub>	В приложении 22	

В среднем за период исследований содержание белка изменялось от 13,4 до 14,7 %, то есть зерно, выращенное при использовании ЭкSi, Мивал-Агро, диатомита и минерального удобрения по этому параметру соответствовало как 1-му, так и 2-му, и 3-му классам согласно ГОСТ Р 52554–2006. На контроле основная продукция соответствовала требованиям 3-го, при обработке семян

кремниевыми соединениями на удобренном фоне – 1-го, на остальных вариантах – 2-го класса.

Содержание сырой клейковины в зерне яровой пшеницы может варьироваться в пределах от 7 до 50 %, если ее количество превышает 28 %, то значение показателя характеризуется как высокое (Захаров В.Г., 2014).

В зависимости от воздействия изучаемых факторов содержание сырой клейковины изменялось от 23,9 до 30,9 %. В соответствии с требованиями нормирующего документа по данному показателю выращенное зерно соответствует второму и третьему классам.

#### **4.2.4. Экологическая оценка продукции**

Зерно яровой пшеницы, предназначенное на продовольственные цели, по содержанию тяжелых металлов должно соответствовать физиологическим требованиям и допустимым уровням, обозначенным в Санитарных правилах и нормах (СанПин 2.3.2.1078–01) (Никитин С.Н., 2014).

Применение кремниевых препаратов, диатомита и минерального удобрения способствовало снижению поступления тяжелых металлов в зерно (таблица 24; приложение 23).

Результаты исследований за 2014–2015 гг. показали, что уровень накопления по цинку в продукции яровой пшеницы на опытных вариантах ниже ПДК в 1,6–1,8 раз, меди – до 9 раз, свинцу – от 1,3 до 1,7 раз, кадмию в 1,5–2,0 раз, никелю от 4,2 до 5,6 раз.

Среди изучаемых факторов предпосевная обработка семян препаратом ЭкSi, в состав которого входит активный кремний, представленный монокремниевой кислотой, оказала более заметное влияние на поступление тяжелых металлов в зерно яровой пшеницы. При использовании ЭкSi в чистом виде концентрация цинка в зерне снизилась с 32,2 до 28,9 мг/кг (на 10 %) и кадмия – с 0,062 до 0,047 мг/кг (на 24 %). На фоне минерального удобрения применение кремниевого препарата способствовало уменьшению содержания Zn с 32,2 до 27,5 мг/кг (на 15 %).

Таблица 24 – Содержание тяжелых металлов в зерне яровой пшеницы (2014–2015 гг.)

Вариант	Содержание тяжелых металлов в зерне яровой пшеницы, мг/кг				
	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
1. Без удобрений (контроль)	32,2	3,5	0,38	0,062	1,19
2. ЭКСi (о/с)	28,9	3,4	0,34	0,047	1,10
3. ЭКСi (о/п)	29,7	3,4	0,39	0,050	1,10
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	30,6	3,4	0,32	0,053	1,10
5. Мивал-Агро (о/с)	29,1	3,4	0,40	0,049	1,13
6. Мивал-Агро (о/п)	29,7	3,5	0,30	0,058	1,14
7. <b>N40P40K40 (фон)</b>	30,8	3,5	0,44	0,066	0,98
8. N40P40K40+ ЭКСi (о/с)	27,5	3,4	0,32	0,057	0,98
9. N40P40K40 + ЭКСi (о/п)	28,6	3,4	0,34	0,054	0,91
10. N40P40K40+диатомит 30 кг/т (о/с)	28,2	3,3	0,35	0,050	0,90
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	28,3	3,4	0,35	0,054	0,99
12. N40P40K40+ Мивал-Агро (о/п)	28,9	3,4	0,35	0,053	0,99
	ПДК в продукции				
	50	30	0,5	0,1	5,0
НСР <sub>05</sub>	В приложении 23				

Возможно, воздействие препарата обусловлено способностью монокремниевой кислоты снижать подвижность металлов за счет образования с ними труднорастворимых соединений (Матыченев В.В., 2008; Куликова А.Х., 2011).

При использовании кремнийсодержащих материалов в технологии возделывания яровой пшеницы содержание тяжелых металлов в зерне не превышало допустимых норм. Данная тенденция сохранилась и на фоне минерального удобрения. В связи с чем представляется возможным использование вышеуказанных средств для получения экологически безопасной продукции яровой пшеницы.

Подводя итог вышесказанному, можно констатировать следующее:

– применение кремнийсодержащих материалов оказало защитное действие на состояние посевов яровых зерновых культур, которое проявилось и при их

использовании совместно с внесением минерального удобрения. Пораженность растений ячменя корневыми гнилями в среднем за годы исследований составила 15,3–17,3 % при использовании диатомита, Мивал-агро в чистом виде и 11,9–15,0% на удобренном фоне (контроль 20,1 %). Пораженность посевов яровой пшеницы данными патогенами в среднем изменялась от 15,3 до 18,1 % при отдельном использовании ЭкSi, Мивал–Агро, диатомита и от 13,4 до 15,8 % совместно с внесением минерального удобрения при значении показателя (контроль 19,8 %). При этом наиболее эффективными являлись варианты. Более при этом являлись варианты с обработкой семян ячменя Мивал–Агро с внесением минерального удобрения и применением кремниевых препаратов на удобренном фоне.

– использование кремнийсодержащих материалов в технологии возделывания яровых зерновых культур способствовало повышению их продуктивности. При их использовании в чистом виде прибавка урожайности ячменя составила 0,13–0,35 т/га (5–15 %), в случае сочетания с внесением минерального удобрения – 0,64–0,76 (27–32 %). Опрыскивание вегетирующих растений яровой пшеницы кремниевыми препаратами (Мивал–Агро, ЭкSi) увеличивало продуктивность культуры на 0,20–0,24 т/га (9–11 %) при отдельном применении и на 0,37–0,40 т/га (17–19 %) совместно с минеральным удобрением. Обработка семян яровой пшеницы кремнийсодержащими материалами (диатомит, Мивал-агро, ЭкSi) обеспечило повышение урожайности культуры на 0,13–0,37 т/га (6–17 %), на удобренном фоне прибавка составила 0,41–0,57 т/га (19–26 %). Более высокая продуктивность ячменя получена на варианте с сочетанием Мивал–Агро с внесением минерального удобрения и составила в среднем за 3 года 3,17 т/га (контроль 2,41 т/га), яровой пшеницы – при сочетании предпосевной обработки семян кремниевым препаратом ЭкSi с применением NPK на уровне 2,73 т/га (контроль 2,16 т/га).

– применение кремнийсодержащих материалов способствовало увеличению выноса азота, фосфора и калия основной и побочной продукцией яровых зерновых культур, на вариантах с внесением минерального удобрения основные макроэлементы усваивались растениями более интенсивно. Вынос азота ячменем

при этом превысил контроль на 4,5–39,8 кг/га, фосфора – на 1,8–19,5 кг/га, калия – на 3,5–23,4 кг/га. Максимальное потребление элементов наблюдалось на варианте с сочетанием Мивал-агро с минеральным удобрением. Вынос азота яровой пшеницей увеличился в сравнении с контрольным значением на 5–23,5 кг/га, фосфора – 4,3–13,3 кг/га, калия – 4,6–14,3 кг/га. Наиболее высокое усвоение макроэлементов отмечено при обработке посевного материала кремниевым препаратом ЭкSi и внесении минерального удобрения.

– кремнийсодержащие материалы позволяют увеличить содержание белка клейковины в зерне яровой пшеницы. При их использовании в чистом виде показатели равны 13,9–14,2 % и 26,3–30,1 %, на удобренном фоне – 13,7–14,7 и 27,8–30,9 % соответственно. Наибольшее влияние на изменение уровня накопления белка и клейковины в зерне яровой пшеницы оказала предпосевная обработка семян кремниевым препаратом ЭкSi и диатомитом с внесением минерального удобрения.

– использование кремнийсодержащих материалов в технологии возделывания яровых зерновых культур позволяет получать экологически более безопасную продукцию. Под их действием наблюдалось снижение накопления в зерне ячменя цинка на 27–31 %, меди на 2–18 %, свинца на 6–39 %, кадмия на 9–16 %, никеля 4–30 %. В основной продукции яровой пшеницы содержание цинка уменьшилось на 4–10 %, меди на 3 %, свинца на 11–21 %, кадмия 6–24 %, никеля 4–18 %. Закономерность выявлена и при совместном применении кремнийсодержащих материалов с минеральным удобрением. Наиболее эффективными при выращивании ячменя являются варианты с внесением диатомита в рядки в чистом виде и совместно на удобренном фоне, при возделывании яровой пшеницы – обработка семян препаратом ЭкSi и диатомитом отдельно и совместно с внесением минерального удобрения.

## **Глава 5. Баланс элементов питания в черноземе выщелоченном при использовании в технологии возделывания зерновых культур кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения**

Плодородие почв и продуктивность систем земледелия заметно уменьшается, если при длительном возделывании сельскохозяйственных культур наблюдается отрицательный баланс элементов питания. Нарушение баланса биогенных веществ приводит к снижению устойчивости агрофитоценозов, замедлению темпов производства растениеводческой продукции, ухудшению ее качества. Устранение дефицита биологически важных элементов относится к важнейшим экологическим проблемам (Солдат И.Е. и др., 2014).

Рассмотрение баланса веществ в агроландшафтах позволяет определить состояние сельскохозяйственных угодий в зависимости от интенсивности и характера воздействия антропогенных факторов, разработать эффективные приемы по восполнению и стабилизации запасов биогенных элементов в почве (Шилов А.Н., Плотников А.М., 2014). На основании данных баланса биофильных элементов рассчитываются дозы удобрений при возделывании различных сельскохозяйственных культур с учетом их биологических требований к условиям питания (Оленченко Е.А., 2015).

При положительным балансе биогенных элементов создаются условия для расширенного воспроизводства плодородия почвы, однако, существует вероятность загрязнения среды; при отрицательном – наблюдается истощение почвенных запасов полезных веществ, возможно очищение среды; при нулевом – свойства почвы и состояние среды сохраняются или поддерживаются на определенном уровне (Ряховский А.В. и др., 2010).

Расчет баланса элементов питания проводился по всем опытным вариантам с учетом нормативных показателей, всей сельскохозяйственной продукции, отчуждаемой с урожаями, и содержания в ней N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O.

## 5.1. Ячмень

### 5.1.1. Баланс азота

Азот – один из основных макроэлементов, от обеспеченности пахотного слоя почвы которым во многом зависит устойчивость и эффективность функционирования агроэкосистем. Ряд внешних факторов определяет поступление биогена в почву. На вариантах с применением минерального удобрения суммарная доза азота равна 40 кг/га. С атмосферными осадками поступление азота составляет около 5 кг/га (Бюллетень..., 2013), с посевным материалом – 3 кг/га (Мязин Н.Г., 2009).

Свободноживущие почвенные микроорганизмы осуществляют поглощение атмосферного азота и превращают его в органические соединения. За счет несимбиотической фиксации в зависимости от почвенно-климатических особенностей региона продуцируется от 3 до 10 кг N на 1 га (Методические указания..., 1999).

В расходных статьях азота большая часть приходится на вынос элемента с отчуждаемой основной и побочной продукцией ячменя – зерном и соломой. За счет денитрификации потери азота обычно составляют 10-20 % в зависимости от дозы внесенного с удобрением элемента. Если доза 45–60 кг д.в. N/га и менее, то они примерно равны 10 %. Средняя величина газообразных потерь за счет азота почвы составляет 6 кг N/га.

Потери азота при вымывании зависят от почвенно климатических условий территории, и, в первую очередь, от типа водного режима. В лесостепной зоне на почвах среднего гранулометрического состава вымывается до 5-6 кг/га. Нами принято минимально значение показателя 5 кг/га (Методические указания..., 1999).

Баланс азота в зависимости от применения кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения при выращивании ячменя представлен в таблице 25.

Таблица 25 – Баланс азота в черноземе выщелоченном в зависимости от применения кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения при выращивании ячменя, кг/га (2012–2013 гг.)

Вариант	Вынос элемента					Поступление элемента						Баланс, ±
	с зерном	с соломой	потери азота за счет денитрификации	газообразные потери азота почвы	потери за счет вымывания	всего	с семенами	с осадками	с удобрениями	несимбиотическая азотфиксация	всего	
1. Без удобрений (контроль)	41	14	–	6	5	66	3	5	–	6	14	-52
2. СЗР	48	16	–	6	5	75	3	5	–	6	14	-61
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	45	15	–	6	5	71	3	5	–	6	14	-57
4. Диатомит 30 кг/т (обр. семян)	46	15	–	6	5	72	3	5	–	6	14	-58
5. Мивал-Агро	54	18	–	6	5	83	3	5	–	6	14	-69
6. N40P40K40 (фон)	58	19	4	6	5	92	3	5	40	6	54	-38
7. N40P40K40 + СЗР	62	20	4	6	5	97	3	5	40	6	54	-43
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	60	20	4	6	5	95	3	5	40	6	54	-41
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (обр. семян)	63	23	4	6	5	101	3	5	40	6	54	-47
10. N40P40K40 + Мивал–Агро	71	24	4	6	5	110	3	5	40	6	54	-56



Анализ данных показал, что в среднем за период исследований при использовании СЗР, диатомита, Мивал–Агро поступление элемента составило 14 кг/га, которое обусловлено содержанием азота в посевном материале и осадках, а также накоплению азота в почве благодаря деятельности свободноживущих бактерий; на удобренном фоне показатель увеличился до 54 кг/га вследствие применения минерального удобрения в дозе 40 кг/га по каждому макроэлементу.

В структуре выноса азота большая часть приходится на отчуждение элемента с основной и побочной продукцией ячменя. На группе вариантов с внесением минерального удобрения также наблюдались потери элемента за счет процессов денитрификации. Суммарное значение расходной части баланса по вариантам опыта в среднем варьировало от 66 до 110 кг/га.

На всех вариантах опыта наблюдался отрицательный баланс азота, однако следует обратить внимание, что при адекватном росте урожайности ячменя на вариантах с применением минерального удобрения и кремниевых соединений по сравнению с аналогичными относительное значение показателя снижается: при внесении диатомита в рядки на 16 кг/га (28 %), опудривании семян порошком высококремнистой породы – 9 кг/га (16 %), обработке семян препаратом Мивал–Агро – 13 кг/га (19 %).

### **5.1.2. Баланс фосфора**

Баланс фосфора в зависимости от применения СЗР, диатомита, препарата Мивал–Агро и минерального удобрения приведен в таблице 26.

Поступление элемента связано с внесением согласно схеме исследований минерального удобрения в дозе 40 кг/га.

Расходная часть представлена выносом элемента отчуждаемой продукцией ячменя и ее значение варьировало в пределах от 29 до 48 кг/га.

За исключением варианта с NPK, где баланс элемента близок к нейтральному, на остальных отрицательный: на группе вариантов без внесения минерального удобрения в относительном выражении колеблется от 29 на

контроле до 36 при обработке семян препаратом Мивал–Агро, что, вероятно, связано с более интенсивным потреблением элемента на формирование урожайности культуры.

На фоне NPK при использовании СЗР или внесении диатомита в рядки баланс почти бездефицитный и составил – 2 и – 3 кг/га соответственно.

Обработка семян кремниевыми соединениями, диатомитом или Мивал-Агро, совместно с использованием минерального удобрения снизили соответственно значение показателя до – 6 кг/га и – 8 кг/га.

Таблица 26 – Баланс фосфора в черноземе выщелоченном в зависимости от применения кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения при выращивании ячменя, кг/га (2012–2013 гг.)

Вариант	Вынос фосфора			Поступление фосфора		
	с зерном	с соломой	всего	с удобр.	всего	баланс
1. Без удобрений (контроль)	20	9	29	–	–	– 29
2. СЗР	23	10	33	–	–	– 33
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	22	9	31	–	–	– 31
4. Диатомит 30 кг/т (обр. семян)	23	10	33	–	–	– 33
5. Мивал-Агро	25	11	36	–	–	– 36
6. N40P40K40 (фон)	27	12	39	40	40	+ 1
7. N40P40K40 + СЗР	29	13	42	40	40	– 2
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	30	13	43	40	40	– 3
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (обр. семян)	32	14	46	40	40	– 6
10. N40P40K40 + Мивал–Агро	33	15	48	40	40	– 8

### 5.1.3. Баланс калия

Как и в случае с фосфором, поступление калия в почву обусловлено внесением минерального удобрения в дозе 40 кг/га согласно схеме опыта.

Расходная часть баланса элемента складывалась из выноса его отчуждаемой продукцией культуры и потерь за счет вымывания, величина которых для почв среднего гранулометрического состава лесостепной зоны составляет до 2–3 кг/га.

При этом нами принят минимальный уровень показателя – 2 кг/га (Методические указания..., 1999).

Таблица 27 – Баланс калия в черноземе выщелоченном в зависимости от применения кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения при выращивании ячменя, кг/га (2012–2013 гг.)

Вариант	Вынос калия		Потери за счет вымывания	всего	Поступление калия		баланс
	с зерном	с солом.			с удоб.	все го	
1. <b>Без удобрений (контроль)</b>	12	26	2	40	–	–	– 40
2. СЗР	14	29	2	45	–	–	– 45
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	13	27	2	42	–	–	– 42
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	15	30	2	47	–	–	– 47
5. Мивал-Агро	15	32	2	49	–	–	– 49
6. <b>N40P40K40 (фон)</b>	17	36	2	55	40	40	– 15
7. N40P40K40 + СЗР	18	37	2	57	40	40	– 17
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	19	39	2	60	40	40	– 20
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	20	40	2	62	40	40	– 22
10. N40P40K40 + Мивал–Агро	20	41	2	63	40	40	– 23

Анализ данных таблицы показал, что в результате применения изучаемых агрохимических средств и их сочетаний наблюдается отрицательный баланс калия. Однако при сравнении аналогичных вариантов с применением кремниевых соединений без удобрения и на фоне полной дозы NPK наблюдалось снижение абсолютного значения показателя в пределах от 2,1 раза при опудривании семян диатомитом до 2,7 раз в случае его внесения в рядки. Возможно, данный факт обусловлен тем, что при совместном использовании высококремнистой породы и минерального удобрения формируются условия для оптимального поглощения калия растениями ячменя.

### 5.1.4. Интенсивность баланса

После подсчета приходных и расходных статей баланса питательных элементов, можно приступить к определению показателя его интенсивности, представляющего собой отношение суммарной величины прироста к общему расходованию, выраженное в процентах.

Данные по интенсивности баланса азота, фосфора и калия при использовании СЗР, диатомита, Мивал–Агро отдельно и на удобренном фоне приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Интенсивность баланса питательных элементов в почве (2012–2013 гг.), %

Вариант	Интенсивность баланса		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1. Без удобрений (контроль)	23	0	0
2. СЗР	20	0	0
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	21	0	0
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	21	0	0
5. Мивал-Агро	18	0	0
6. <b>N40P40K40 (фон)</b>	62	103	75
7. N40P40K40 + СЗР	58	95	73
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	60	93	69
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	56	87	67
10. N40P40K40 + Мивал-Агро	51	83	66

Как показали результаты расчетов, интенсивность баланса азота в блоке опытных вариантов без внесения минерального удобрения находится в пределах от 18 до 23 %, а показатель для фосфора и калия имеет нулевое значение, поскольку других источников поступления указанных элементов в почву не наблюдалось. Однако, ввиду того, что почва опытного участка хорошо обеспечена доступными для растений соединениями основных макроэлементов (содержание на начало опыта N – 16,5 мг/кг, P – 180 мг/кг, K – 141 мг/кг), данный факт не вызывает серьезных опасений.

При совместном использовании диатомита и препарата Мивал–Агро с традиционным минеральным удобрением интенсивность азота в 2,7–2,9 раза выше, чем на аналогичных вариантах, что, по-видимому, обусловлено как более высоким поступлением элемента в почву, так и более рациональным его расхождением при сочетании соединений кремния с полной дозой NPK.

На фоне NPK с применением кремниевых соединений уровень интенсивности баланса фосфора составил 83–93 %, калия – 66–69 %, что меньше контрольного значения показателя. Вероятно, последнее обусловлено более интенсивным потреблением элементов растениями ячменя для формирования более высокой урожайности.

## **5.2. Яровая пшеница**

### **5.2.1. Баланс азота**

При сопоставлении общей суммы попавшего в почву азота, формируемой из поступлений элемента с осадками и вносимым удобрением, а также производимого свободноживущими микроорганизмами, к расхождению элемента, складывающемуся из усвоения питательных элементов растениями, потерь азота за счет денитрификации, вымывания, газообразных потерь азота почвы, рассчитан баланс азота после применения кремниевых препаратов, диатомита и минерального удобрения в технологии возделывания яровой пшеницы (таблица 30).

При использовании кремниевых препаратов в чистом виде поступление азота составило 14 кг/га, на вариантах с внесением NPK значение показателя увеличилось до 54 кг/га.

Под влиянием изучаемых факторов расход элемента изменялось от 84 кг/га при опрыскивании вегетирующих растений ЭКСi, до 106 кг/га при обработке данным препаратом посевного материала яровой пшеницы на удобренном фоне. В структуре расходной части баланса азота большая часть приходилось на вынос элемента с отчуждаемой продукцией, или 85–88 %. На вариантах с внесением минерального удобрения также отмечались потери элемента в количестве 4 кг/га. На газообразные потери элемента почвы и за счет вымывания, согласно нормативным значениям, пришлось 11 кг/га.

Таблица 30 - Баланс азота в черноземе выщелоченном в зависимости от применения кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения при выращивании яровой пшеницы, кг/га (2014–2015 гг.)

Вариант	Вынос элемента						Поступление элемента					Баланс, ±
	с зерном	с соломой	потери азота за счет денитрификации	газообразные потери азота почвы	Потери за счет вымывания	всего	с семенами	с осадками	с удобрениями	несимбиотическая азотфиксация	всего	
1. Без удобрений (контроль)	60	12	–	6	5	83	3	5	–	6	14	-69
2. ЭКSi (о/с)	66	15	–	6	5	92	3	5	–	6	14	-78
3. ЭКSi (о/п)	63	14	–	6	5	88	3	5	–	6	14	-74
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	60	13	–	6	5	84	3	5	–	6	14	-70
5. Мивал–Агро (о/п)	69	15	–	6	5	95	3	5	–	6	14	-81
6. Мивал–Агро (о/п)	63	14	–	6	5	88	3	5	–	6	14	-74
7. N40P40K40 (фон)	64	15	4	6	5	94	3	5	40	6	54	-40
8. N40P40K40 + ЭКSi (о/с)	74	17	4	6	5	106	3	5	40	6	54	-52
9. N40P40K40 + ЭКSi (о/п)	66	16	4	6	5	97	3	5	40	6	54	-43
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	70	16	4	6	5	101	3	5	40	6	54	-47
11. N40P40K40 + Мивал–Агро (о/с)	74	16	4	6	5	105	3	5	40	6	54	-51
12. N40P40K40 + Мивал–Агро (о/п)	68	15	4	6	5	98	3	5	40	6	54	-44

Как показали расчеты, на всех опытных вариантах наблюдается отрицательный баланс азота. Разность между приходной и расходной частями баланса составила от – 70 кг/га при использовании ЭкSi по вегетации до – 43 кг/га в случае обработки препаратом семян на удобренном фоне, что, вероятно, связано с ростом урожайности культуры.

Следует отметить, что значение баланса азота уменьшилось 1,5–1,7 раз при совместном применении кремниевых соединений и минерального удобрения, в отличие от использования их в чистом виде.

### 5.2.2. Баланс фосфора

Применение кремниевых препаратов, диатомита и минерального удобрения в технологии возделывания яровой пшеницы оказало значительное влияние на изменение баланса фосфора (таблица 31).

Таблица 31 – Баланс фосфора в черноземе выщелоченном в зависимости от применения кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения при выращивании ярового ячменя, кг/га (2014–2015 гг.)

Вариант	Вынос фосфора		всего	Поступление фосфора		баланс
	с зерном	с соломой		с удобр.	всего	
1. Без удобрений (контроль)	18	9	28	–	–	– 28
2. ЭкSi (о/с)	23	12	37	–	–	– 37
3. ЭкSi (о/п)	21	11	35	–	–	– 35
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	22	10	36	–	–	– 36
5. Мивал–Агро (о/п)	23	11	39	–	–	– 39
6. Мивал–Агро (о/п)	21	10	37	–	–	– 37
7. N40P40K40 (фон)	22	11	40	40	40	0
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	27	13	48	40	40	– 8
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	24	12	45	40	40	– 5
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	26	12	48	40	40	– 8
11. N40P40K40 + Мивал–Агро (о/с)	25	13	49	40	40	– 9
12. N40P40K40 + Мивал–Агро (о/п)	23	12	47	40	40	– 7



Других существенных источников поступления фосфора кроме почвенных запасов и внесенного удобрения согласно схеме опыта не имелось. Усвоенное растениями количество элемента (его вынос) находилось на уровне 35 кг/га при опрыскивании посевов ЭкSi и не превышало 49 кг/га как в случае обработки посевного материала Мивал-Агро на фоне NPK.

Расчет баланса элемента показал следующее: на варианте с внесением минерального удобрения наблюдался бездефицитный баланс, на остальных – отрицательный. Однако следует обратить внимание, что разница между приходной и расходной частями фосфора при совместном внесении кремниевых соединений и минерального удобрения уменьшается в 4,3–7,0 раз в сравнении с аналогичными данными при использовании ЭкSi, диатомита и Мивал–Агро в чистом виде.

### 5.2.3. Баланс калия

Данные по влиянию факторов на баланс калия представлены в таблице 32.

Таблица 32 – Баланс калия в черноземе выщелоченном в зависимости от применения кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения при выращивании яровой пшеницы, кг/га (2012–2013 гг.)

Вариант	Вынос калия		Потер и за счет вымывания	всего	Поступление калия	всего	баланс
	с зерн.	с соломо			с удобр.		
1. <b>Без удобрений (контроль)</b>	8	26	2	37	–	–	– 37
2. ЭкSi (о/с)	11	32	2	47	–	–	– 47
3. ЭкSi (о/п)	10	30	2	45	–	–	– 45
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	11	29	2	46	–	–	– 46
5. Мивал–Агро (о/п)	11	31	2	49	–	–	– 49
6. Мивал–Агро (о/п)	10	31	2	49	–	–	– 49
7. <b>N40P40K40 (фон)</b>	10	32	2	51	40	40	– 11
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	14	35	2	59	40	40	– 19
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	11	33	2	55	40	40	– 15
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	14	33	2	59	40	40	– 19
11. N40P40K40 + Мивал–Агро (о/с)	13	34	2	60	40	40	– 20
12. N40P40K40 + Мивал–Агро(о/п)	11	33	2	58	40	40	– 18

Анализ их показал, что поступление калия происходило только за счет внесения минерального удобрения по схеме опыта.

Вынос калия товарной и побочной продукцией яровой пшеницы с учетом потерь элемента за счет вымывания (2 кг/га) составил расходную часть баланса элемента и ее значение лежало в пределах от 45 кг/га при опрыскивании препаратом ЭкSi посевов культуры до 60 кг/га в случае обработки посевного материала препаратом Мивал-Агро на фоне NPK.

Сопоставление прихода и расхода элемента показало, что баланс калия на вариантах опыта имеет отрицательное значение, однако использование кремниевых соединений совместно с внесением минерального удобрения уменьшает его в 2,4-3,0 раз, чем при использовании ЭкSi, диатомита и Мивал-Агро в чистом виде.

#### 5.2.4. Интенсивность баланса

При использовании ЭкSi, диатомита и Мивал-Агро в чистом виде возмещение азота находилось на уровне 15–18 %, фосфора и калия на нулевом, т.е. использовались почвенные запасы данных элементов.

Таблица 33 – Интенсивность баланса питательных элементов  
в почве (2014–2015 гг.),%

Вариант	Интенсивность баланса		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1. Без удобрений (контроль)	18	0	0
2. ЭкSi (о/с)	16	0	0
3. ЭкSi (о/п)	17	0	0
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	18	0	0
5. Мивал–Агро (о/п)	15	0	0
6. Мивал–Агро (о/п)	17	0	0
7. <b>N40P40K40 (фон)</b>	60	100	82
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	53	83	70
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	58	89	75
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	56	83	70
11. N40P40K40 + Мивал–Агро (о/с)	54	82	69
12. N40P40K40 + Мивал–Агро (о/п)	58	85	71

Совместное использование кремниевых препаратов и диатомита с минеральным удобрением способствовало увеличению показателя: для азота до 53–58%, фосфор и калий возмещались соответственно на 82–89 % и 69–75 %, что в настоящее время не вызывает опасений благодаря хорошей обеспеченности чернозема подвижными соединениями основных макроэлементов (содержание на начало опыта N – 16,2 мг/кг, P – 142 мг/кг, K – 138 мг/кг).

В почве подвижные и малоподвижные формы питательных веществ пребывают в состоянии динамического равновесия, что позволяет высокоплодородным почвам, к которым относятся черноземы, сохранять накопленный потенциал даже при дефицитном балансе основных питательных элементов. Однако, как показали многочисленные полевые испытания, длительное возделывание сельскохозяйственных культур в условиях отрицательного баланса неминуемо порождает снижение показателей почвенного плодородия и уменьшение продуктивности земледелия (Лукин С.В., 2012).

При применении СЗР, диатомита, Мивал-агро в чистом виде и на удобренном фоне в технологии возделывания ячменя баланс основных элементов питания находился в пределах: по азоту от – 38 до – 69 кг/га, по фосфору от + 1 до – 36 кг/га, по калию от – 15 до – 49 кг/га. При использовании диатомита, Мивал-агро, ЭкSi отдельно и в комплексе с полным минеральным удобрением при выращивании яровой пшеницы значение баланса основных элементов питания изменялось в пределах: по азоту от – 40 до – 81 кг/га, по фосфору от 0 до – 39 кг/га, по калию от – 11 до – 49 кг/га. На вариантах с применением кремнийсодержащих материалов в чистом виде сложился напряженный баланс основных макроэлементов в связи с большим выносом питательных веществ и возросшей массой продукции яровых зерновых культур. Однако применение диатомита и Мивал-агро на удобренном фоне в технологии возделывания ячменя способствовало возмещению затрат основных макроэлементов: азота на 51–60 %, фосфора – 83–93 %, калия 66–69 %; при использовании диатомита и кремниевых препаратов с внесением минерального удобрения при выращивании яровой пшеницы уровень восполнения питательных элементов составил: для азота – 53–58 %, фосфора – 83–93 %, калия – 69–75 %.

## **Глава 6. Экономическая эффективность применения в технологии возделывания зерновых культур кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения**

В обеспечении продовольственной безопасности государства выращивание злаковых культур является приоритетным направлением (Державин Л.М., 2007). Продукты питания, производимые из зерна, обеспечивают около 50 % суточной потребности населения в углеводах и белках, до 35–38 % калорийности пищевого рациона. Используемые в зоотехнии фуражное зерно и продукты его переработки покрывают потребность сельскохозяйственных животных в энергии на 60 %, до 80 % – в белках и до 62 % – в углеводах (Алтухов В.И., Васютин А.С., 2002).

Технико-технологическое обеспечение производства продукции растениеводства является сложно структурированной многокомпонентной системой, организационно-экономические и технические вмешательства в которую могут повлиять как положительно, так и отрицательно. Поэтому при внедрении инновационных технологий и приемов в производственную практику должно быть обосновано с позиции технической, агрономической, экологической и экономической эффективности (Мазнев Г.Е. и др., 2008).

Под экономической эффективностью зернового производства понимают получение наибольшего количества зерновой продукции с единицы посевной площади при минимальных затратах живого и овеществленного труда в расчете на 1 т продукции, что обеспечивает максимальную прибыль (Зимин Н.Е., Солопова В.Н., 2004; Гаврилкова Н.Ю., 2015).

Предпосевная обработка семян является низко затратным элементом технологий возделывания сельскохозяйственных культур, однако позволяет получать существенную прибавку урожайности (Козлобаева Е.А., Козлобаев А.В., 2015; Воскобулова Н.И., Неверов А.А., Верещагина А.С., 2017).

Анализ технологий возделывания яровых зерновых культур с применением кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения проводился с учетом прямых затрат установленных по ценам, принятым для производственных условий опытного поля ФГБОУ ВО Ульяновского ГАУ (2016 г.) путем

сопоставления производственных издержек со стоимостью полученного урожая (Шашкаров Л.Г., Воробьева Т.М., 2013). Амортизацию и затраты на текущий ремонт сельскохозяйственных машин и тракторов рассчитывали по принятым нормативам. Средние урожайные данные культур использованы за три года (для ячменя 2011–2013 гг., для яровой пшеницы 2014–2016 гг.). Расчеты выполнены на основе данных технологических карт.

В соответствии с приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Минсельхоза России) от 18 марта 2016 г. № 103 г. Москва «Об определении предельных уровней минимальных цен на зерно урожая 2016 года при проведении государственных закупочных интервенций в 2016–2017 годах» реализационная цена 1 т зерна ячменя составляла 8 тыс. р., яровой пшеницы: 3 класса – 10,9 тыс. р. и 4 класса – 10,4 тыс. р.

### **6.1. Ячмень**

В связи с резким изменением цен на сельскохозяйственную и промышленную продукцию целесообразность применения минеральных удобрений должна быть обоснована экономическими расчетами.

Основные экономические показатели производства ячменя в зависимости от применения СЗР, диатомита, Мивал–Агро отдельно и совместно с минеральным удобрением приведены в таблице 34.

Анализ данных показал, что в среднем за годы исследований при использовании кремнийсодержащих материалов стоимость зерна ячменя увеличивалась с 16,70 до 19,32 тыс. руб., на удобренном – с 20,37 до 22,19 тыс. руб.

Таблица 34 – Экономическая эффективность производства зерна ячменя с применением кремнийсодержащих материалов, СЗР и минерального удобрения (на 1 га посева)

Показатель	Вариант									
	Без удобрений (контроль)	СЗР	Диатомит 40 кг/га (в рядки)	Диатомит 30 кг/т (обр. семян)	Мивал-Агро	N40P40K40 (фон)	N40P40K40 + СЗР	N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	N40P40K40 + Мивал-Агро
Урожайность, т	2,41	2,63	2,54	2,67	2,76	2,91	2,99	3,05	3,12	3,17
Цена реализации, тыс. руб./т	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Стоимость продукции, тыс. руб.	16,87	18,41	17,78	18,69	19,32	20,37	20,93	21,35	21,84	22,19
Производственные затраты, тыс. руб.	6,69	7,21	7,00	7,25	7,27	12,37	12,84	12,62	12,59	13,06
Условный чистый доход, тыс. руб.	10,18	11,2	10,78	11,44	12,05	8	8,09	8,73	9,25	9,13
Уровень рентабельности, %	152	155	154	158	166	65	63	69	73	70

На опытных вариантах без внесения минерального удобрения величина производственных затрат варьировала от 7,00 до 7,27 тыс. руб./га (контроль 6,69 тыс. руб./га), на фоне NPK – от 12,59 до 13,06 тыс. руб. /га.

Следует отметить, что при внесении минерального удобрения производственные затраты повышаются почти в 1,7–1,8 раз по сравнению с вариантами без них. Последнее обусловлено достаточно высокой стоимостью удобрений и затратами на их внесение (нитроаммофоска от 18 тыс. р./т).

На вариантах с применением кремнийсодержащих материалов условный чистый доход повышался на 6–18 %. Использование Мивал-агро для предпосевной обработки семян ячменя более рентабельно по сравнению с сочетанием препарата с внесением удобрения. Уровень рентабельности на данном варианте составил 166 %, что на 14 % выше контроля. Применение диатомита в рядки повышало уровень рентабельность на 2 %, при этом опудривание семян повысило показатель до 6 %. Использование СЗР в чистом виде повышало уровень показателя на 3 %.

Оценка экономической эффективности показала, что применение кремнийсодержащих материалов в системе удобрения ячменя экономически выгодно. Их использование способствует повышению уровня рентабельности без внесения минерального удобрения на 2–14 %.

Наиболее рентабельным является применение кремниевого препарата Мивал-агро для предпосевной обработки, на удобренном фоне – использование диатомита для опудривания семян.

## **6.2. Яровая пшеница**

Сравнительная экономическая оценка применения кремнийсодержащих материалов в чистом виде и совместно с минеральным удобрением в системе удобрения яровой пшеницы показала, что в среднем за годы исследований при отдельном использовании кремниевых препаратов и диатомита стоимость продукции увеличивалась с 18,32 до 20,24 тыс. руб./т, на удобренном фоне – с 20,24 до 21,84 тыс. руб./т. (таблица 35).

Таблица 35 – Экономическая эффективность производства яровой пшеницы при использовании в технологии его возделывания кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения (на 1 га посева)

Показатель	Вариант											
	Без удобрений (контроль)	ЭкSi (о/с)	ЭкSi (о/п)	Диатомит 30 кг/т (о/с)	Мивал-Агро (о/с)	Мивал-Агро (о/п)	Н40Р40К40 (фон)	Н40Р40К40 + ЭкSi (о/с)	Н40Р40К40 + ЭкSi (о/п)	Н40Р40К40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	Н40Р40К40 + Мивал-Агро (о/с)	Н40Р40К40 + Мивал-Агро (о/п)
Урожайность, т	2,16	2,48	2,4	2,29	2,53	2,36	2,5	2,73	2,53	2,57	2,69	2,56
Цена реализации, тыс. руб./т	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
Стоимость продукции, тыс. руб.	17,28	19,84	19,2	18,32	20,24	18,88	20	21,84	20,24	20,56	21,52	20,48
Производственные затраты, тыс. руб./га	7,10	7,56	7,53	7,31	7,69	7,63	13,17	13,15	13,08	12,90	13,14	13,19
Условный доход, тыс. руб.	10,18	12,28	11,67	11,01	12,55	11,25	6,83	8,69	7,16	7,66	8,38	7,29
Рентабельность, %	143	162	155	151	163	147	52	66	55	59	64	55



На опытных вариантах с применением кремнийсодержащих материалов производственные затраты на производство зерна яровой пшеницы изменялись от 7,31 до 7,69 тыс. руб./га (контроль 7,10 тыс. руб./га), на фоне NPK – с 12,90 до 13,17 тыс. руб./га, что обусловлено увеличением урожайности культуры, высокой стоимостью минеральных удобрений и затратами на их внесение.

Использование ЭкSi, Мивал-Агро и диатомита способствовало повышению условного чистого дохода на 8–23 %. Уровень рентабельности применения кремнийсодержащих материалов в чистом виде составил 147–163 %, на удобренном фоне значение показателя не более 66 %.

Наибольший экономический эффект был получен при обработке семян яровой пшеницы ЭкSi и Мивал–Агро: рентабельность 162 и 163 % соответственно.

Оценка экономической эффективности применения диатомита и кремниевых препаратов показала, что использование кремнийсодержащих материалов при возделывании яровой пшеницы является экономически обоснованным. Данный агроприем способствует повышению рентабельности на 4–20 % в сравнении с контрольным значением. На фоне минерально удобрения показатель не превышает 55–64 %.

Таким образом, применение кремнийсодержащих материалов в технологии возделывания ячменя и яровой пшеницы является целесообразным с экономической точки зрения. Использование их совместно с внесением минеральных удобрений менее эффективно, однако дополнительное применение последних обеспечивает поддержание эффективного плодородия на оптимальном для большинства сельскохозяйственных культур уровне.

## **Глава 7. Биоэнергетическая эффективность применения в технологии возделывания зерновых культур кремнийсодержащих материалов**

Сельскохозяйственное производство – крупнейший потребитель энергии среди отраслей народного хозяйства страны. В структуре общего расходования ресурсов на его долю приходится 40-45 % дизельного топлива, 30–35 % бензина и 7 % электроэнергии (Полевщиков С.И., 2005).

Агроландшафты на всех этапах производства продукции вместе с солнечной радиацией для своего функционирования и повышения устойчивости неблагоприятным экологическим факторам потребляют антропогенную энергию в виде минеральных удобрений, пестицидов, орошения, топлива и других энергоносителей (Голомолзин Р.С., 2011).

Увеличение продуктивности культурных растений сопровождается возрастанием энергетических затрат, поэтому для повышения устойчивости сельскохозяйственного производства на современном этапе важным является оптимальное управление энергетическими потоками агрофитоценоза.

Оценить энергетический потенциал агроэкосистем и целесообразность применения антропогенной энергии при выращивании культурных растений позволяет биоэнергетический анализ, использование которого помогает вывить расходные статьи невозполнимой энергии и измерить в сопоставимых единицах затраты живого и прошлого труда (Абрамов Н.В., Селюкова Г.П., 2001; Карпухин М.Ю., 2011).

Более полную оценку системам земледелия можно провести на основе системно-энергетического подхода, который дает возможность количественно определить энергозатраты, степень их окупаемости при производстве растениеводческой продукции, сравнить агроценозы по расходу энергии в зависимости от типа севооборотов, применяемой системы удобрения и в целом технологий возделывания сельскохозяйственных культур (Коринец В.В., 1985).

Интенсификация сельскохозяйственного производства неизбежно сопровождается повышением затрат не возобновляемой энергии. Качественная и

количественная оценка вещественно-энергетических потоков в агроэкосистемах позволяет выявить пути для обеспечения сбалансированного, энергосберегающего и экологически безопасного ведения сельского хозяйства (Коринец В.В., 1990; Володин В.М., 1992; Внукова М.А., Титова Е.М., 2008).

В отличие от животноводства и перерабатывающей промышленности, где энергия преобразуется в различные формы, растениеводство – единственная отрасль сельского хозяйства, где наблюдается накопление полезной энергии в результате фотосинтеза (Полевщиков С.И., 2005).

Анализируя эффективность технологий возделывания яровых зерновых культур, мы пользовались методикой, разработанной Е.И. Базаровым и Е.В. Глинкой (1983). В современных условиях представленные в методике энергетические эквиваленты требуют конкретизации и уточнения, учитывающие как региональные особенности, так и изменения, происходящие в результате появления новых препаратов, средств защиты растений, удобрений, совершенствования машинотракторного парка, и др.

Однако, несмотря на существующие недостатки, ряд исследований по анализу биоэнергетической эффективности технологий возделывания зерновых культур показали высокую объективность проводимой оценки (Внукова М.А., Титова Е.М., 2008; Карпухин М.Ю., 2011; Соловченко В.Д. и др., 2013).

## **7.1. Ячмень**

Биоэнергетическая оценка применения диатомита, Мивал-Агро и минерального удобрения проведена по следующим показателям: совокупности энергозатрат на возделывание ячменя, накоплению потенциальной энергии органического вещества и расчету коэффициента энергетической эффективности, исходя из соотношения энергии всей фитомассы к совокупным затратам антропогенной энергии.

Энергозатраты, пошедшие на производство зерна, полностью окупались выходом валовой энергии на всех опытных вариантах, однако, эффективность их была различна (таблица 36).

Таблица 36 – Биоэнергетическая эффективность возделывания ячменя в зависимости от использования в технологии его возделывания диатомита кремнийорганического препарата и минерального удобрения

Вариант	Урожайность, т/га	Затраты техногенной энергии на производство зерна	Накоплено энергии в зерне	Биоэнергетический коэффициент
		ГДж/га		
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2,41	16,16	39,65	2,45
2. СЗР	2,63	16,63	43,27	2,60
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	2,54	16,65	41,79	2,51
4. Диатомит 30 кг/т (обр. семян)	2,67	16,59	43,93	2,65
5. Мивал-Агро	2,76	16,62	45,41	2,73
<b>6. N40P40K40 (фон)</b>	2,91	20,98	47,87	2,28
7. N40P40K40 + СЗР	2,99	21,78	49,19	2,26
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	3,05	22,17	50,18	2,26
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (обр. семян)	3,12	21,87	51,33	2,35
10 N40P40K40+ Мивал-Агро	3,17	21,87	52,15	2,38

Среди опытных вариантов без применения минерального удобрения величина затрат совокупной энергии изменялась в пределах от 16,59 ГДж/га при обработке семян диатомитом до 16,65 ГДж/га при внесении его в рядки. На удобренном фоне уровень энергозатрат увеличивался и составил 21,78–22,17 ГДж/га, что на 31–33 % выше, в сравнении со значением показателя на однотипных вариантах опыта без NPK.

Биоэнергетическая эффективность технологии возделывания ячменя зависит не только от совокупных энергетических затрат, но и от энергии, накопленной в продукции. Согласно данным таблицы 36, ее количество изменялось от 41,79 ГДж/га при внесении высококремнистой породы в рядки до 52,15 ГДж/га при сочетании минерального удобрения с препаратом Мивал–Агро и находилось в зависимости от урожайности основной продукции ячменя.

Как показали расчеты, в блоке опытных вариантов без применения удобрений технология возделывания ячменя с обработкой семян Мивал–Агро или диатомитом обладала большей эффективностью, т.е. достигнуто оптимальное соотношение энергозатрат. Биоэнергетический коэффициент находился на уровне 2,73 при использовании кремнийорганического препарата и 2,65 – высококремнистой породы.

Использование средств для предпосевной обработки семян совместно с внесением минерального удобрения способствовало более интенсивному накоплению энергии в зерне среди вариантов опыта, однако и затраты на ее получение оказались велики, поэтому биоэнергетический коэффициент в среднем находился на уровне 2,37.

Наименьшей энергетической эффективностью обладали варианты с применением средств защиты растений и внесением диатомита в рядки на фоне НРК: так, значение критерия составило 2,26.

При рассмотрении биоэнергетической эффективности применения тех или иных технологий следует обязательно учитывать энергетический потенциал почвы, под влиянием которого кардинальным образом может измениться функционирование агроэкосистемы в целом. Проведенный нами ранее анализ указывает на эффективность использования кремний-содержащих материалов и минерального удобрения при возделывании ячменя.

Для более объективной оценки технологий возделывания сельскохозяйственных культур необходимо знание структуры затрат энергии как по видам работ, так и по категориям затрат (рисунок 9).

В структуре затрат энергии наибольший удельный вес занимает топливо – 28,7–40,2 %, на минеральные удобрения приходится 22,0–28,5 %, посевной материал – 24,0–35,5 %.

Затраты на сельскохозяйственные машины и оборудование варьируют в пределах от 10 до 13 %. На применение средств защиты растений пошло около 5 %. Трудовые ресурсы и электроэнергия составляют в сумме не более 3–6% от общих затрат энергии на возделывание культуры. Доля затрат при использовании препаратов не превышает 0,5 % от общих энергозатрат.

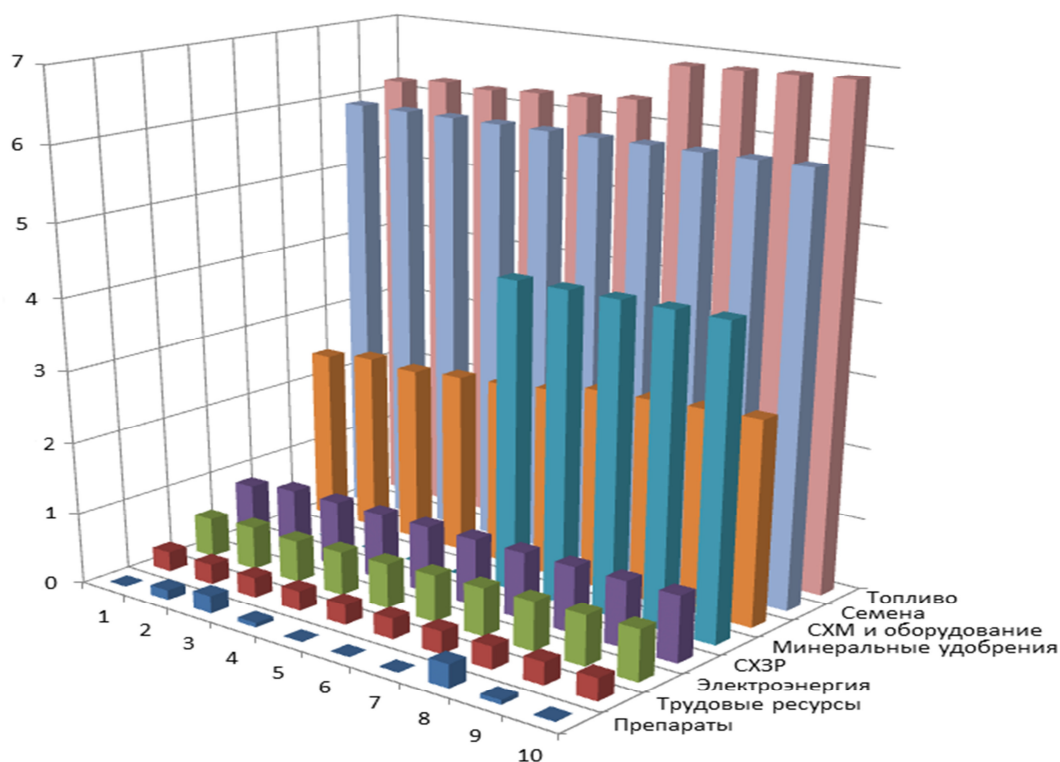


Рисунок 9 – Структура затрат энергии при возделывании ячменя в зависимости от применения диатомита, Мивал-Агро и минерального удобрения ( 1 – 10) – варианты опыта.

## 7.2. Яровая пшеница

Для проведения биоэнергетической оценки возделывания яровой пшеницы сорта Маргарита при использовании кремниевых препаратов, диатомита и минерального удобрения рассчитаны показатели: совокупность энергозатрат,

направленных на производство зерна, количество энергии, получаемой с урожаем товарной части культуры, коэффициент агроэнергетической эффективности.

При использовании кремниевых соединений в чистом виде суммарные энергетические затраты изменялись в пределах от 16,20 ГДж/га при опудривании семян диатомитом до 16,95 % при обработке посевов препаратом ЭкSi (таблица 37).

Таблица 37 – Биоэнергетическая эффективность возделывания яровой пшеницы в зависимости от применения в технологиях ее возделывания кремнийсодержащих препаратов, диатомита и минерального удобрения

Вариант	Урожайность, т/га	Затраты техногенной энергии на производство зерна	Накоплено энергии в зерне	Биоэнергетический коэффициент
		ГДж/га		
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2,16	16,01	35,87	2,24
2. ЭкSi (о/с)	2,48	16,48	41,18	2,50
3. ЭкSi (о/п)	2,40	16,95	39,86	2,35
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2,29	16,20	38,03	2,35
5. Мивал-Агро (о/с)	2,53	16,39	42,01	2,56
6. Мивал-Агро (о/п)	2,36	16,22	39,19	2,42
7. <b>N40P40K40 (фон)</b>	2,50	21,28	41,52	1,95
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	2,73	21,65	45,34	2,09
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	2,53	22,01	42,01	1,91
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2,57	21,41	42,68	1,99
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2,69	21,48	44,67	2,08
12. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/п)	2,56	21,48	42,51	1,98

Применение кремниевых препаратов, диатомита на удобренном фоне повышало количество суммарной энергии общих вложений на производство зерна яровой пшеницы с 42,01 до 44,67 ГДж/га, что отразилось на величине биоэнергетического коэффициента в этой группе вариантов.

Без применения минерального удобрения под влиянием кремниевых соединений накапливалось энергии в количестве от 39,19 до 42,01 ГДж/га, на фоне полной дозы NPK – 42,01–45,34 ГДж/га.

Анализируя значения биоэнергетического коэффициента в зависимости от применяемых средств, отмечаем, что среди опытных вариантов энергетически более эффективна обработка семян ЭкSi или Мивал–Агро, при которых критерий равен 2,50 или 2,56 соответственно. Немного меньше биоэнергетический коэффициент при опрыскивании вегетирующих растений кремнийорганическим препаратом и составляет – 2,42. На одном уровне энергетической эффективности находятся применение ЭкSi для обработки посевов и использование диатомита для опудривания семян, значение которого составило 2,35.

Среди вариантов блока с внесением удобрений, учитывая значения биоэнергетического коэффициента, которые составили 2,08–2,09, более предпочтительна предпосевная обработка посевного материала ЭкSi или Мивал–Агро.

Однозначно, что проведение энергетической оценки требует обязательного рассмотрения энергетического потенциала почвы. При учете показателей почвенного плодородия возможно кардинальное изменение степени полезности изучаемых технологий. Однако проведенный нами анализ указывает на эффективность использования ЭкSi, Мивал–Агро, диатомита и минерального удобрения при выращивании яровой пшеницы.

Знание структуры затрат энергии по видам работ и категориям затрат позволяет получить более объективную оценку технологий возделывания сельскохозяйственных культур (рисунок 10).



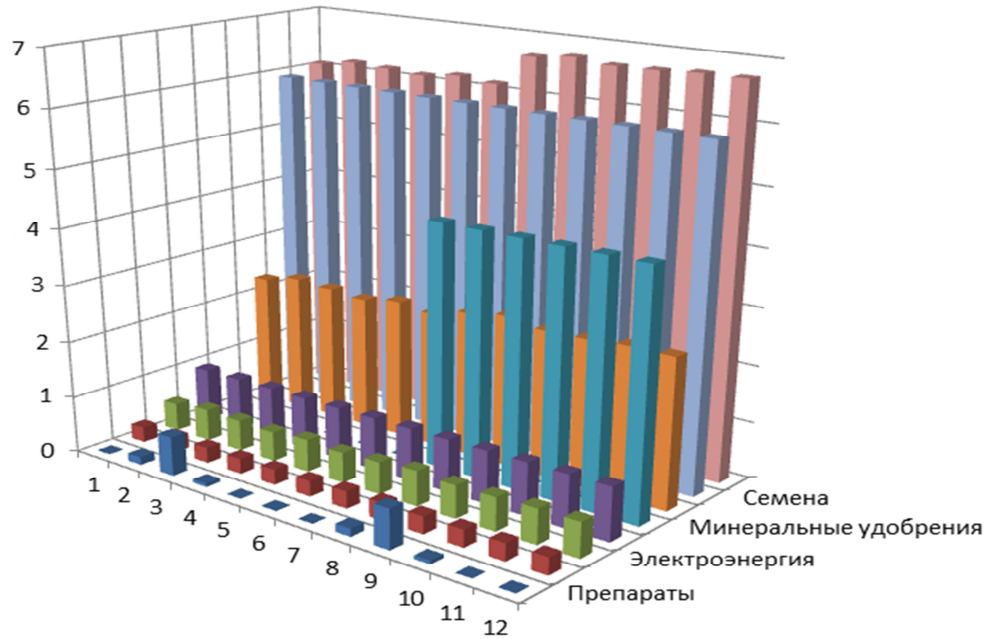


Рисунок 10 – Структура затрат энергии при возделывании яровой пшеницы в зависимости от применения кремнийсодержащих препаратов, диатомита и минеральных удобрений

( 1 – 12) – варианты опыта.

При анализе структуры затрат наибольший удельный вес занимают топливо – 26,6–38,8 %, минеральные удобрения – 24,0–31,0 % и семена – 24,0–35,5 %. Затраты на сельскохозяйственные машины и оборудование – от 11 до 15 %. Трудовые ресурсы и электроэнергия составляют в сумме не более 4–5% от общих затрат энергии на возделывание культуры. Доля затрат при использовании кремнийсодержащих препаратов и диатомита не превышает 0,3 % от совокупности энергетических затрат.

Анализ биоэнергетической оценки технологий возделывания яровых зерновых культур при использовании кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения позволяет сделать следующие выводы:

- при выращивании ячменя наиболее энергетически эффективными в группе вариантов без внесения минерального удобрения являлись технологии с использованием Мивал-Агро и диатомита для предпосевной обработки семян (коэффициенты биоэнергетической эффективности – 2,73 и 2,65 соответственно);

на удобренном фоне аналогичные варианты также более выгодны с позиций управления энергетическими потоками в агроэкосистеме;

- доля затрат при использовании кремнийсодержащих препаратов и диатомита не превышает 0,5 % от общих энергетических затрат. Увеличение продуктивности, а следовательно, энергетической эффективности технологий возделывания ячменя позволяют сделать вывод о достаточно высокой эффективности их применения.

- более энергетически эффективными при возделывании яровой пшеницы среди вариантов без внесения минерального удобрения являлись технологии с применением кремнийсодержащих препаратов (ЭкSi и Мивал–Агро) для обработки семян (коэффициенты биоэнергетической эффективности – 2,54 и 2,48 соответственно); аналогичные варианты на удобренном фоне также выглядели предпочтительней остальных;

- в структуре общих энергетических затрат при возделывании яровой пшеницы доля затрат при использовании кремниевых препаратов и диатомита составляет не более 0,3 %. Однако прибавка урожайности, а, следовательно, энергетическая эффективность технологий возделывания данной культуры позволили сделать вывод о достаточно высокой эффективности кремнийсодержащих материалов при выращивании яровой пшеницы.

## Заключение

1. Под воздействием изучаемых факторов под посевами яровых зерновых культур увеличивалась активность почвенных микроорганизмов. При обработке посевного материала кремнийсодержащими материалами (диатомит, Мивал–Агро и ЭкSi) активность целлюлозолитической части микробного сообщества почвы находилась на уровне 12–15 %, в сочетании с NPK – 18–21 %. Отдельное применение диатомита, Мивал-Агро в системе удобрения ячменя позволило повысить ее на 13–16 % по сравнению с контролем, на удобренном фоне – на 20–23 %. Использование в системе удобрения яровой пшеницы кремниевых препаратов (Мивал–Агро и ЭкSi) для опрыскивания посевов способствовало увеличению биологической активности почвы на 10–11%, совместно с минеральным удобрением – на 17–18 %.

2. Под влиянием изучаемых приемов улучшились или сохранились на прежнем уровне агрохимические показатели почвы. Несмотря на активное потребление элементов питания растениями на формирование основной и побочной продукции на протяжении всего вегетационного периода кремнийсодержащие материалы, в большей степени на фоне полного минерального удобрения, способствовали поддержанию в пахотном слое среднего уровня содержания минерального азота ( $> 16$  мг/кг почвы), высокого – подвижного фосфора ( $>150$  мг/кг почвы) и калия ( $>140$  мг/кг почвы). Содержание гумуса, обменная и гидролитическая кислотность существенных изменений не претерпевали.

3. Применение кремнийсодержащих материалов оказало защитное действие на состояние посевов яровых зерновых культур, которое проявилось и при их использовании совместно с внесением минерального удобрения. Пораженность растений ячменя корневыми гнилями в среднем за годы исследований при использовании диатомита и Мивал–Агро в чистом виде составила 15,3–17,3 %, на удобренном фоне 11,9–15,0 % при значении показателя на контроле 20,1 %. Пораженность посевов яровой пшеницы при отдельном применении ЭкSi,

Мивал–Агро, диатомита в среднем изменялась от 15,3 до 18,1 %, совместно с полным минеральным удобрением от 13,4 до 15,8 %, при этом контрольное значение показателя составило 19,8 %.

4. Использование кремнийсодержащих материалов в технологии возделывания яровых зерновых культур способствовало повышению их продуктивности. При использовании диатомита, Мивал–Агро в чистом виде прибавка урожайности ячменя составила 0,13–0,35 т/га (5–15 %), в случае сочетания с внесением минерального удобрения – 0,64–0,76 (27–32 %).

Опрыскивание вегетирующих растений яровой пшеницы кремниевыми препаратами (Мивал–Агро, ЭкSi) увеличивало продуктивность культуры на 0,20–0,24 т/га (9–11 %) при отдельном применении и на 0,37–0,40 т/га

(17–19 %) совместно с минеральным удобрением. Обработка семян яровой пшеницы кремнийсодержащими материалами (диатомит, Мивал-Агро, ЭкSi) обеспечило повышение урожайности культуры на 0,13–0,37 т/га (6–17 %), на удобренном фоне прибавка составила 0,41–0,57 т/га (19–26 %). Более высокая продуктивность ячменя получена на варианте с сочетанием Мивал-Агро с внесением минерального удобрения и составила 3,17 т/га (контроль 2,41 т/га), яровой пшеницы – при сочетании предпосевной обработки семян кремниевым препаратом ЭкSi с применением NPK и равна 2,73 т/га (контроль 2,16 т/га).

5. Применение кремнийсодержащих материалов способствовало увеличению выноса азота, фосфора и калия основной и побочной продукцией яровых зерновых культур, на вариантах с внесением минерального удобрения основные макроэлементы усваивались растениями более интенсивно. Вынос азота ячменем при этом превысил контроль

на 4,5–39,8 кг/га, фосфора – на 1,8–19,5 кг/га, калия – на 3,5–23,4 кг/га. Максимальное потребление элементов наблюдалось на варианте с сочетанием Мивал-агро и минеральным удобрением. Вынос азота яровой пшеницей увеличился в сравнении с контрольным вариантом на 5–23,5 кг/га, фосфора – 4,3–13,3 кг/га, калия – 4,6–14,3 кг/га. Наиболее высокое усвоение макроэлементов

отмечено при обработке посевного материала кремниевым препаратом ЭкSi и внесением минерального удобрения.

6. При использовании кремнийсодержащих материалов в чистом виде сложился напряженный баланс основных макроэлементов в связи с большей урожайностью основной и побочной продукцией. Баланс основных элементов питания при выращивании ячменя был дефицитным: по азоту от – 57 до 69 кг/га, по фосфору от – 31 до – 36 кг/га, калию от –42 до –49 кг/га; яровой пшеницы – по азоту от – 70 до – 81 кг/га, по фосфору от – 36 до – 39 кг/га, по калию от – 46 до – 49 кг/га. Однако применение диатомита и Мивал-Агро на удобренном фоне в технологии возделывания ячменя способствовало возмещению затрат основных макроэлементов: азота на 51–60 %, фосфора – 83–93 %, калия 66–69%; при использовании диатомита и кремниевых препаратов при выращивании яровой пшеницы: азота – 53–58 %, фосфора – 83–93 %, калия – 66–69 %. Наиболее высокое усвоение макроэлементов отмечено при обработке посевного материала кремниевым препаратом ЭкSi и совместно с внесением минерального удобрения.

7. Кремнийсодержащие материалы позволяют увеличить содержание белка и клейковины в зерне яровой пшеницы. При их использовании в чистом виде показатели равны 13,9–14,2 % и 26,3–30,1 %, на удобренном фоне –13,7–14,7 и 27,8–30,9 % соответственно, на контроле оно составило 13,4 % и 23,9 %.

8. Использование кремнийсодержащих материалов в технологии возделывания яровых зерновых культур позволяет получать экологически более безопасную продукцию. Под их действием наблюдалось снижение накопления в зерне ячменя цинка на 27–31 %, меди на 2–18 %, свинца на 6–39 %, кадмия на 9–16 %, никеля 4–30 %. В основной продукции яровой пшеницы содержание цинка уменьшилось на 4–10 %, меди на 3 %, свинца на 11–21 %, кадмия 6–24 %, никеля 4–18 %. Аналогичная закономерность наблюдалась при совместном применении кремнийсодержащих материалов с минеральным удобрением.

9. Применение диатомита, Мивал–Агро и ЭкSi в технологии возделывания яровых зерновых культур является экономически целесообразным. При этом уровень рентабельности достигает 154–156 % при возделывании ячменя и

147–162 % – яровой пшеницы. Использование их совместно с внесением минеральных удобрений менее эффективно, однако дополнительное применение последних обеспечивает поддержание эффективного плодородия почвы на оптимальном для большинства сельскохозяйственных культур уровне.

10. При выращивании ячменя наиболее энергетически эффективными при применении в чистом виде являются технологии с обработкой семян Мивал–Агро и диатомитом: коэффициенты биоэнергетической эффективности составили 2,73 и 2,65 соответственно (контроль – 2,45); яровой пшеницы – с обработкой посевного материала Мивал–Агро и ЭкSi: коэффициенты эффективности 2,56 и 2,50 (контроль – 2,24) соответственно. Аналогичные варианты на фоне минерального удобрения с точки зрения управления энергетическими потоками более выгодны с коэффициентами 2,38; 2,35 и 1,91; 1,98. В структуре затрат энергии наибольший удельный вес при возделывании зерновых культур занимают топливо – 26,6–40,2 %, затем минеральные удобрения – 22,0–31,0 % и посевной материал – 24,0–35,5 %. Доля затрат при использовании кремнийсодержащих препаратов и диатомита не превышает 0,3–0,5 % от общих энергозатрат.

### **Предложение производству**

1. С целью повышения урожайности и получения экологически более безопасной продукции при возделывании ярового ячменя на черноземе выщелоченном Среднего Поволжья рекомендуем обрабатывать семена перед посевом кремнийсодержащими материалами: диатомитом с дозой 30 кг, Мивал–Агро с дозой 5 г. на 1 тону семян.

2. При возделывании яровой пшеницы на черноземе выщелоченном Среднего Поволжья с целью повышения урожайности, содержания белка и клейковины в зерне рекомендуем проводить предпосевную обработку кремнийсодержащими препаратами Мивал–Агро с дозой 5 г/т семян, ЭкSi–универсал с дозой 1 л/т семян.

3. Предпосевную обработку семян проводить в день посева согласно рекомендациям производителей.

### Список литературы

1. Абрамов, Н.В. Оптимизация структуры посевных площадей на биоэнергетической основе / Н.В. Абрамов, Г.П. Селюкова. – Екатеринбург: УрГСХА, 2001. – 143 с.
2. Адамович С.Н. Атраны и ионные комплексы в дизайне биологически активных соединений: диссертация ... доктора химических наук: 02.00.08 / Адамович Сергей Николаевич; [Место защиты: ИрИХ им. А.Е. Фаворского СО РАН]. – Иркутск, 2014. – 270 с.
3. Азаров, В.Б. Баланс элементов питания в почве в зависимости от технологии возделывания сельскохозяйственных культур в ЦЧЗ / В.Б. Азаров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 77. – С. 760–769.
4. Алексеева, Е.Н. Влияние длительного применения удобрений на почвенное плодородие и урожай культур на средневыхщелочном черноземе в зоне неустойчивого увлажнения/ Е.Н. Алексеева // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. – М: Колос, 1978. – С. 99–117.
5. Аммосова, Я.М. Кремнезем в системе почва-растение / Я.М. Аммосова, П.Н. Балабко, В.В. Матыченков, Н.А. Аветян // Агрохимия. – 1990. – № 10. – С. 103–108.
6. Антонова, Ж.А. Почвенно-экологическое районирование Ульяновской области: автореф. дис... канд. биол. наук: 03.02.08 / Антонова Жанна Анатольевна. – Ульяновск, 2011. – 21 с.
7. Арефьев, А.Н. Влияние природных цеолитов и навоза на кислотность чернозема выщелоченного / А.Н. Арефьев // Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза: РИО ПГСХА, 2014. – С.10–13.
8. Арефьев, А.Н. Влияние природных цеолитов и удобрений на



агрохимические свойства чернозема выщелоченного / А.Н. Арефьев, Е.Е. Кузина, Е.Н. Кузин // Нива Поволжья. – 2015. – № 3 (36). – С. 18–26.

9. Арефьев, А.Н. Изменение плодородия чернозема выщелоченного и урожайности сельскохозяйственных культур / А.Н. Арефьев, Е.Н. Кузин, Е.Н. Ефремова, Е.В. Калмыкова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. – 2015. – №2 (38). – С. 1–6.

10. Арефьев, А.Н. Кислотность чернозема выщелоченного при применении природных цеолитов и удобрений / А.Н. Арефьев, Е.Е. Кузина, Е.Н. Кузин // Успехи современной науки и образования. – 2016. – № 1. – С. 6-10.

11. Асланов, Г.А. Эффективность применения цеолита с удобрениями под озимую пшеницу в Гаянджа-Казахской зоне Азербайджана / Г.А. Асланов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 3 (31). – С. 8-11.

12. Базаров, Е.И. Методика биоэнергетической оценки технологий производства продукции растениеводства / Е.Н. Базаров, Е.В. Глинка. – М.: [б. и.], 1983. – 31 с.

13. Барчукова, А.Я. Урожайность риса в зависимости от применения в технологии его возделывания агрохимиката Силактив / А.Я. Барчукова, Е.Ю. Бондарчук, Н.В. Чернышева // В сборнике: Энтузиасты аграрной науки Сборник статей по материалам международной конференции, посвященной советскому и российскому организатору сельского хозяйства, академику ВАСХНИЛ и РАН, Герою Социалистического Труда Трубилину Ивану Тимофеевичу. А.Х. Шеуджен (науч. ред.). – 2016. – С. 125–129.

14. Бюллетень Географической сети опытов с удобрениями. Выпуск 14. Влияние дождевых осадков на загрязнение сельскохозяйственных угодий (по данным локального мониторинга). – М.: ВНИИА. – 2013. – 30 с.

15. Бочарникова, Е.А. Эффективность кремниевых удобрений / Е.А. Бочарникова, С.В. Логинов, В.В. Матыченков, П.А. Стороженко // Российская сельскохозяйственная наука. – 2010. – № 6. – С. 37–39.

16. Бочарникова, Е.А. Влияние оптимизации кремниевого питания на

устойчивость ДНК ячменя / Е.А. Бочарникова, Е.П. Пахненко, В.В. Матыченков, И.В. Матыченков // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2014. – № 2. – С. 40–43.

17. Бочарникова, Е.А. Влияние бурого угля, монокремниевой кислоты и кремний-органического мелиоранта на их основе на поглощение кадмия ячменем и горохом / Е.А. Бочарникова, В.В. Матыченков, В.П. Сафоронов, С.И. Носенко // Агрохимия. – 2016. – № 5. – С. 41–46.

18. Бровкин, В.И. Динамика подвижного фосфора в пахотном слое выщелоченного чернозема / В.И. Бровкин // Бюлл. ВНИИ удобрений и агропочв. вып. 102, 1990. – С. 27–31.

19. Бубряк, И.И. О накоплении кремния белоусом в высокогорье Украинских Карпат / И.И. Бубряк, М.И. Менджул // Агрохимия. – 1968. – №12. – С. 110–111.

20. Буга, С.Ф. Патогенность возбудителей, вызывающих фузариозную и гельминтоспориозную гниль ячменя и яровой пшеницы / С.Ф. Буга, Л.И. Линик // Сборник научных работ Белорусского НИИ защиты растений. – Минск. – 1956.

21. Буров, А.И. «Живой» камень Татарстана / А.И. Буров // Научно-технический журнал «Георесурсы». – 2013. – № 3 (53). – С. 5–7.

22. Вандышев, И.А. Влияние расчетных доз удобрений на изменение физических свойств почвы и продуктивность яровой пшеницы / И.А. Вандышев, А.Н. Панасенко, А.С. Вдовин // Сборник научных трудов «Прогрессивные приемы возделывания зерновых культур». – Ульяновск. – 1985. – С.52–57.

23. Васин, А.В. Влияние приемов предпосевной обработки семян и посевов стимуляторами роста на урожайность зернового сорго / А.В. Васин, Н.А. Казутина // Известия Самарской государственной академии. – 2014. – №4. – С. 7–10.

24. Власов, В.Г. Формирование агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур в Ульяновской области / В.Г. Власов, Р.А. Хакимов, С.А. Никифорова, Л.Г. Захарова // Пути повышения эффективности возделывания сельскохозяйственных культур в Ульяновской области: научно-

практическое руководство / под ред. А.И. Захарова. – Ульяновск, 2016. – 127 с.

25. Векленко, В.И. Эффективность биологических препаратов и регуляторов роста на посевах зерновых / В.И. Векленко, Р.А. Айдиев, Д.В. Шамин // НТП: земледелие и растениеводство. – 2007. – № 10. – С. 46–47.

26. Верниченко, И. В. Эндогенные образования нитратов в растениях / И. В. Верниченко // Агрохимия. – 2002. – № 4. – С. 73–85.

27. Верниченко, И.В. Коэффициент использования сельскохозяйственными культурами меченного  $^{15}\text{N}$  аммиачного и нитратного азота при известковании и внесении молибдена / И. В. Верниченко // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 3. – С. 24–35.

28. Внукова, М.А. Энергетическая оценка технологий возделывания ячменя /М.А. Внукова, Е.М. Титова // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2008. – Т. 13. – № 4. – С. 5–7.

29. Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках / Государственный агропромышленный комитет СССР; Главное управление ветеринарии. – М., 1987 г.

30. Володин, В.М. Агробιοэнергетика – новое научное направление / В.М. Володин // Земледелие.–1992.– №11-12.– С. 2-5.

31. Воскобулова, Н.И. Экономическая эффективность применения регуляторов роста в технологии возделывания кукурузы на зерно / Н.И. Воскобулова, А.А. Неверов, А.С. Верещагина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1. – С. 44–46.

32. Воронков, М.Г. Кремний в нуклеиновых кислотах / М.Г. Воронков и др.// Докл. АН СССР. – 1975. – Т 220. – № 3.

33. Воронков, М.Г. Земная кремниевая жизнь / М.Г. Воронков, И.Г. Кузнецов // Химия и жизнь. – 1983. – № 12. – С. 95–99.

34. Воронков, М.Г. Силатраны / М.Г. Воронков, В.М Дьяков. – Новосибирск: Наука, 1978. – 208 с.

35. Воронкова, Н.А. Агроэкологические аспекты применения бактериальных удобрений на черноземных почвах Западной Сибири / Н.А. Воронкова, А.И. Черемисин, О.Ф. Хамова // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 14–20.

36. Гаврилкова, Н.Ю. Экономическая эффективность производства в зерновой отрасли / Н.Ю. Гаврилкова // Научный альманах. – 2015. – № 5 (7). – С. 11-14.

37. Гайнуллина, Р.Г. Поражаемость корневой гнилью и урожайность ячменя в севооборотах / Р.Г. Гайнуллина, М.И. Подсевалов // Сборник научных трудов «Прогрессивные приемы возделывания зерновых культур». – Ульяновск. – 1985. – С.76–80.

38. Галиакберов, А.Г. Адаптивно-ландшафтная система земледелия Ульяновской области: учебное пособие / А.Г.Галиакберов, К.И. Карпович, А.Х. Куликова, В.И. Морозов, С.Н. Немцев, Захаров, С.Н. Никитин, М.М. Сабитов, Р.В. Науметов, А.И. Кузина Е.В., В.Г. Захаров, В.Г. Власов, С.Н. Федорычев, И.Ф. Тимергалиев, Р.А. Хакимов, С.А. Никифорова, Г.В. Сайдяшева, Р.Б. Шарипова, С.В. Карпенко, Г.В. Колсанов, А.В. Чепухин, А.И. Золотов, Е.А. Черкасов, Б.К. Саматов, Р.И. Махмутов, Т.В. Нарышкина, Н.С. Дубова, С.В. Стрельцов, В.А. Кольцов. – Ульяновск. – 2013. – 355 с.

39. Гаплаев, М.Ш. Повышение эффективности выращивания свеклы столовой (*Beta vulgaris* L.) за счет использования удобрений / М.Ш. Гаплаев, С.М. Надежкин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 1 (29). – С. 36–40.

40. Гетманец, А.Я. Баланс питательных элементов в интенсивных севооборотах в Степной зоне УССР / А.Я. Гетманец, В.Т. Пашова, В.В. Турчин // Повышение плодородия почв и продуктивности сельского хозяйства при интенсивной химизации. – М.: Наука, 1983. – С. 192–195.

41. Глуховцев, В.В. Особенности адаптивной устойчивости селекции зерновых культур, устойчивых к внутрстебельным вредителям и корневым

гнилям в условиях Среднего Поволжья / В.В. Глуховцев // Вестник Казанского ГАУ. – 2011. – № 4 (22). – С. 119–121.

42. Головченко, А.П. Особенности адаптивной селекции яровой мягкой пшеницы в лесостепной зоне среднего Поволжья (монография) / А.П. Головченко. – Кинель, 2001. – 380 с.

43. Голомолзин, Р.С. Биоэнергетическая эффективность севооборотов в условиях лесостепи Поволжья / Р.С. Голомолзин // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2011. – № 2. – С. 31–34.

44. Горбачева, С.М. Формы калия в почвах Красноярской лесостепи: автореф. дис. ... канд. С.-х. наук. Новосибирск, 1977. – 28 с.

45. Гордеева, Т.Х. Формирование микробно-растительных сообществ ризосферы в онтогенезе зерновых культур / Т.Х. Гордеева, С.Н. Масленникова, Т.П. Гажеева / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 81. – С. 611–620.

46. Громовик, А.И. Многолетняя динамика содержания гумуса в черноземе выщелоченном в условиях длительного применения удобрений / А.И. Громовик // Вестник Воронежского государственного университета. – 2012. – № 1. – С. 71–76.

47. Гулянов, Ю.А. Продуктивность фотосинтеза озимой пшеницы / Ю.А. Гулянов // Земледелие. – 2006. – № 6. – С. 30–31.

48. Дабахов, М.В. Экотоксикология и проблемы нормирования / М.В. Дабахов, Е.В. Дабахова, В.И. Титова // Нижегородская гос. с.-х. академия. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. – 165 с.

49. Дабахова, Е.В. Изучение кремнийсодержащих препаратов / Е.В. Дабахова, Н.В. Забегалов // Агрехимический вестник. – 2011. – № 2. – С.26–28.

50. Державин, Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии / Л.М. Державин. – М.: Колос, 1992. – 272 с.

51. Державин, Л.М. Интегрированное применение агрохимических средств в зерновом хозяйстве / Л.М. Державин // Агрохимия. – 2007. – № 12. – С. 3–17.
52. Долгополова, Н.В. Биологическая активность и плотность почвы при возделывании яровой твердой пшеницы / Долгополова Н.В., Павлов А.А. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. – С. 31–33.
53. Дорофеева, Л.Л. Болезни зерновых культур / Л.Л. Дорофеева, В.А. Шкаликов. – Издательство: Байер КропСайенс. – 2007. – 96 с.
54. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований: учебник / Б.А. Доспехов. – М.: ИД Альянс. – 2011. – 352 с.
55. Джиембаев, Ж.Т. Корневая гниль зерновых культур / Ж.Т. Джиембаев. – Алма-Ата: Изд-во «Кайнар», – 1971. – 56 с.
56. Дурынина Е.П. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений / Е.П. Дурынина, В.С. Егоров. – Москва, МГУ. – 1998. – 113 с.
57. Дьяков, В.М. Использование соединений кремния в сельском хозяйстве / В.М. Дьяков, В.В. Матыченков, В.А. Чернышев, Я.М. Аммосова // Актуальные вопросы химической науки и технологии и охраны окружающей среды. Вып. 7. – М.: НИИТЭХИМ, 1990. – 32 с.
58. Дьяконова, К.В. Блок «органическое вещество» в моделях почвенного плодородия / К.В. Дьяконова // Расширенное воспроизводство почв в интенсивном земледелии. – М., 1988. - С. 80–86.
59. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2014. – 768 с.
60. Еремина, Т.Н. Влияние физических воздействий на химический состав и качество зерна яровой пшеницы / Т.Н. Еремина, В.И. Костин, А.И. Захаров // Сборник научных трудов «Прогрессивные приемы возделывания зерновых культур». – Ульяновск. – 1985. – С.67–71.

61. Ерошенко, Ф.В. Фотосинтетическая деятельность посевов высокорослых и короткостебельных сортов озимой пшеницы в зависимости от уровня азотного питания // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2010. – Т. 3. – № 27(1). – С. 221–224.
62. Ермаков, Е.И. Избранные труды / Е.И. Ермаков. – Изд-во ПИЯФ РАН: Санкт-Петербург. – 2009. – 191 с.
63. Забегалов, Н.В. Оценка возможности использования природных и модифицированных кремнийсодержащих материалов в агроэкосистеме: автореф. кан. биол. наук / Н.В. Забегалов. – Балашиха, 2012. – 20 с.
64. Завалин, А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай / А.А. Завалин. – М.: издательство ВНИИА, 2005. – 302 с.
65. Замятин, С.А. Фитосанитарное состояние почвы и продуктивность севооборотов в зависимости от насыщенности их зерновыми культурами / С.А. Замятин, О.Г. Марьина-Чермных, Н.И. Богачук, А.В. Соловьев // АГРО XXI. – 2009. – № 1–3. – С. 26-31.
66. Зарипова, Н.Р. Регуляция тяжелыми металлами экспрессии хлоропластных генов ячменя на транскрипционном и посттранскрипционном уровнях / Зарипова Н.Р., Холодова В.П., Зубо Я.О., Кузнецов В.В., Кузнецов Вл.В. // Физиология растений. – 2011. – Т. 58. – № 6. – С. 898–906.
67. Захаров, В.Г. Методологические аспекты селекции яровой мягкой пшеницы в Среднем Поволжье: диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.05 / Захаров Владимир Григорьевич; [Место защиты: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия]. – Пенза, 2014. – 303 с.
68. Звягинцев, Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. – 1978. – №6. – С.48–53.
69. Звягинцев, Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – М.: МГУ, 2005. – 445 с.
70. Зимин, Н.Е. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия / Н.Е. Зимин, В.Н. Солопова. – М.: КолосС, 2004. – 384 с.
71. Зейслер, Н.А. Влияние силантранов на прорастание семян хлебных

злаков / Н.А. Зейслер // Интеллектуальный потенциал XXI: ступени познания. – 2016. – № 31. – С. 6–10.

72. Зеленков, В.Н. Биологическая активность соединений кремния. Часть 1. Природные и синтетические кремнийсодержащие соединения. Медико-биологические аспекты (обзор литературы) / В.Н. Зеленов, В.В. Потапов // Вестник РАЕН. – 2016.–№ 2. – С. 3–12.

73. Ивойлов, А.В. Влияние минеральных удобрений на урожай ячменя и его качество в зависимости от погодных условий и норм высева семян / А.В. Ивойлов, М.И. Сорокин, Л.Н. Сорокина // Агрехимия. – 1989. – № 8. – С. 43–46.

74. Ильинский, А.В. К вопросу детоксикации загрязнённого мышьяком оподзоленного чернозёма с помощью комбинированного мелиоранта на основе диатомита и голубой глины / А.В. Ильинский, Л.В. Кирейчева, Д.В. Виноградов, Л.И. Московкина // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2015. – № 3 (27). – С. 9–13.

75. Кадыров С.В., Корнов А.А., Задорожная В.А. Урожайность пивоваренного ячменя в условиях ЦЧР при применении стимуляторов роста и комплексных микроудобрений // Вестник Воронежского ГАУ им. К.Д. Глинки. – 2011. – № 2. – С. 9–14.

76. Кальянов, К.С. География Ульяновской области / К.С. Кальянов, Г.З. Веснина, В.И. Лебедев // Учебное пособие для учащихся средних школ Ульяновской области. Изд. 3, перераб. и доп.– Ульяновск: Приволжское книжное издательство, 1974. – 130 с.

77. Капранов, В.К. Влияние диатомита и минеральных удобрений на фенотипические признаки растений / В.К. Капранов // Агрехимия. – 2009. – № 7 – С. 34-43.

78. Капранов, В.К. Эффективность кремнийсодержащего вещества диатомита на дерново-подзолистой почве / В.К. Капранов // Проблемы агрохимии и экологии. – 2010. – № 2 – С. 10–14.

79. Каргин, И.Ф. Сравнительная оценка эффективности использования ресурсов влаги и фотосинтетически активной радиации озимыми культурами /



И.Ф. Каргин, В.Е. Камалихин, В.С. Калентьев, Р.А. Захаркина, Ю.И. Каргин, А.А. Ерофеев // Нива Поволжья. – 2012. – № 2. – С. 31–35.

80. Карпеев, Н.Е. Повышение эффективности минеральных удобрений путем регулирования соотношения азота и фосфора в почве [Текст]: Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. (533) / Башк. с.-х. ин-т. – Уфа: [б. и.], 1971. – 23 с.: ил.

81. Карпухин, М.Ю. Энергетическая эффективность приемов предпосадочной обработки почвы под поукосный картофель на Среднем Урале / М.Ю. Карпухин // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 1. – С. 56–59.

82. Картамышев, Н.И. Пути совершенствования технологии возделывания сахарной свеклы / Н.И. Картамышев, Н.П. Звягина, Б.Ю. Приходько. – Курск: Изд-во КГСХА, 2000. – 67 с.

83. Каталог сортов зерновых, зернобобовых и крупяных культур Ульяновского научно-исследовательского института сельского хозяйства. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 52 с.

84. Ким, В.А. Получение технического кремния и карбида кремния из рисовой шелухи / В.А. Ким, Т.А. Требухова, С.Х. Кударников, Се.С. Квон, А.У. Тусупова // Труды Университета. – 2014. – № 1 – С. 18–21.

85. Кинчаров, А.И. Источники устойчивости яровой пшеницы к корневым гнилям / А.И. Кинчаров, Е.А. Демина, О.Ф. Абдряева, Л.М. Михальченко // Защита и карантин растений. – 2012. – № 7. – С. 22–24.

86. Козлов, А.В. Роль и значение кремния и кремнийсодержащих веществ в агроэкосистемах / А.В. Козлов, А.Х. Куликова, Е.А. Яшин // Вестник Мининского университета. – 2015. – № 2 (10). – С. 23.

87. Козлов, А.В. Изменение численности N-сапротрофов и биохимической активности светло-серой лесной легкосуглинистой почвы под действием диатомита / А.В. Козлов, И.П. Уромова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 1-1. – С. 79–81.

88. Козлов, А.В. Физиологическое значение кремния в онтогенезе культурных растений и при их защите от фитопатогенов / А.В. Козлов,

И.П. Уромова, Е.А. Фролов, К.Ю. Мозолева // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 1.;

URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=12227> (дата обращения: 30.01.2017).

89. Козлов, А.В. Влияние высококремнистых пород на структуру, численность и ферментативную активность целлюлозосапротрофного микробного пула дерново-подзолистой почвы в условиях выращивания озимой пшеницы и картофеля / Козлов А.В., Куликова А.Х. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 1 (33). – С. 56–65.

90. Козлов, А.В. Влияние полного минерального удобрения, Крезацина и кремниевых агроруд на биопродуктивность и структуру урожая озимой пшеницы Московская 39 / А.В. Козлов, В.Р. Овезов, И.А. Тарасов // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 3. – С. 70–73.

91. Козлов, Ю.В. Сравнительная оценка Мивал-Агро, брассино-стероидных препаратов и протравителя семян при выращивании яровых зерновых на дерново—подзолистой почве / Ю.В. Козлов, Н.Е. Самсонова, Н.Е. Новикова // Вестник Орловского ГАУ. – 2010. – № 2. – С. 54–59.

92. Козлобаева, Е.А. Агрэкономический аспект обработки семян и растений гречихи стимуляторами роста и микроудобрениями / Е.А. Козлобаева, А.В. Козлобаев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 108. – С. 633–642

93. Коринец, В.В. Энергетическая оценка севооборотов / В.В. Коринец // Земледелие. – 1990. – № 4. – С. 58–60.

94. Красноперова, Е.В. Выявление дефицита доступных для растений растворимых форм кремнезема при анализе грунтовых вод / Роль почвы в формировании агроландшафтов / Е.В. Красноперова, А.А. Конышева. – Казань: ФЭН, 2003. – 163 с.

95. Колесников, М.П. Формы кремния в растениях / М.П. Колесников // Успехи биологической химии. – 2001. – Т. 41. – С. 301–332.

96. Коринец, В.В. Системно-энергетический подход к изучению агроценоза / В.В. Коринец. – Волгоград: Изд-во Волгогр. ГАУ, 1985. – 15 с.
97. Котова, В.В. Корневые гнили зерновых культур / В.В. Котова. – Л.: Агропромиздат Ленингр. отд-ние 1986. – С. 30.
98. Крамарев, С.М. Кремний и защита растений от стресса: теория, практика, перспективы [Текст] / С. М. Крамарев, С. П. Полянчиков, А. И. Ковбель // Quantum. – Режим доступа: [http://quantum.ua/ru/articles/art\\_06.pdf](http://quantum.ua/ru/articles/art_06.pdf)
99. Кудинова, Л.И. Влияние кремния на вес растений / Л.И. Кудинова // Агрохимия. – 1974. – 31. – С. 142–144.
100. Кудинова, Л.И. Влияние кремния на рост, величину площади листьев и адсорбирующую поверхность корней растений / Л.И. Кудинова // Агрохимия. – 1975. – № 10. – С. 117-120.
101. Кузин, Е.Н. Изменение плодородия серой лесной почвы на фоне последствий природного цеолита и повторного внесения удобрений / Е.Н. Кузин // Нива Поволжья. – 2014. – № 2 (31). – С. 28–33.
102. Куликова, А.Х. Нетрадиционные сырьевые ресурсы Ульяновской области в качестве удобрения сельскохозяйственных культур / А.Х. Куликова // Инновационные технологии в аграрном образовании, науке и АПК России»: сборник статей Международной научно-производственной конференции. – Ульяновск: УГСХА, 2003. – С.91–94.
103. Куликова, А.Х. Эффективность использования диатомита и его смесей с куриным пометом в качестве удобрения сельскохозяйственных культур / А.Х. Куликова, Е.А. Яшин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 1. – С. 3–11.
104. Куликова, А.Х. Эффективность использования диатомита и его смеси с минеральными удобрениями при возделывании озимой и яровой пшеницы / А.Х. Куликова, Е.А. Яшин, Е.В. Данилова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 1. – С. 11–24.
105. Куликова, А.Х. Эффективность предпосевной обработки семян сахарной свёклы биопрепаратами и диатомитовым порошком в условиях

Среднего Поволжья / А.Х. Куликова, О.С. Дронина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 2 (9). – С. 55–63.

106. Куликова, А.Х. Роль высококремнистых пород в получении экологически безопасной продукции / А.Х. Куликова // Экология, генетика, селекция на службе человечества: материалы международной научной конференции (п. Тимирязевский, 28-30 июня 2011 г.). – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 461 с.

107. Куликова, А.Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур / А.Х. Куликова. – Ульяновск, Издательство Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. – 176 с.

108. Лапа, В.В. Влияние минеральных удобрений на фотосинтетическую деятельность зерновых культур / В.В. Лапа, В.Н. Босак // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. – 2004. – № 2. – С. 35–39.

109. Лапина, В.В. Влияние регуляторов роста на структуру патогенного комплекса корневых гнилей ячменя / В.В. Лапина, Н.В. Смолин, А.С. Савельев, А.П. Овчинников // Нива Поволжья. – 2011. - № 3. – С. 33–38.

110. Лапина, В.В. Агроэкологическое обоснование защиты яровых зерновых культур от корневых гнилей в условиях юга Нечерноземной зоны России: диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.07 / Лапина Валентина Васильевна; [Место защиты: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»].- Саратов, 2014.- 370 с.

111. Лобода, Б.П. Диатомиты и трепелы как почвоулучшители и источники биогенных элементов / Б.П. Лобода, Н.Н. Яковлева // Плодородие. – 2003. – №5. – С. 11–14.

112. Логинов, С.В. Изучение кремнийорганического препарата Энергия–М / С.В. Логинов, В.Н. Петриченко // Агрехимический вестник. – 2010. – № 2. – С. 22-24.

113. Лукин, С.В. Агроэкологическая оценка содержания азота в сельскохозяйственных растениях и почвах Белгородской области / С.В. Лукин, Н.С. Четверикова, М.А. Ероховец // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2011. – Т. 17. – № 21. – С. 95–101.
114. Лукин, С.В. Круговорот основных питательных элементов в земледелии Белгородской области / С.В. Лукин // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 4. – 15–17.
115. Мазнев, Г.Е. Экономическая эффективность инновационных технологий возделывания зерновых культур / Г.Е. Мазнев, А.Ю. Бобловский, А.А. Красноруцкий, А.А. Артеменко, С.А. Заика. – Никоновские чтения. – 2008. – № 13. – С. 569–571.
116. Малова, А.В. Влияние длительного применения удобрений в севообороте на урожай культур и агрохимические показатели выщелоченного тяжелосуглинистого чернозема / А.В. Малова, А.В. Ивойлов, К.А. Костров // Агрохимия. – 1989. – № 12. – С. 12–17.
117. Мамонова, Л.В. Эффективность препарата Мивал–Агро на посевах яровых зерновых культур / Л.В. Мамонова, Р.А. Айдиев, О.М. Шершнева // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 5. – С. 47–48.
118. Маслова, И.Я. Оценка изменения почвенных ресурсов подвижного калия под влиянием растений / И.Я. Маслова, Т.Г. Якушева // Агрохимия. – 2011. – № 11. – С. 52–63.
119. Марфенина, О.Е. Микробиологические аспекты охраны почв / О.Е. Марфенина. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 118 с.
120. Матковский, П. Кремний в мире человека / П.Е. Матковский, Р.С. Яруллин // The Chemical Journal. – 2011. – Июнь-Июль. – С. 36–39.
121. Матыченков, В.В. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву / В.В. Матыченков, Е.А. Бочарникова, Я.М. Аммосова // Агрохимия, 2002. – № 2. – С. 86–93.

122. Матыченков, В.В. градация почв по дефициту доступного растениям кремния / В.В. Матыченков // *Агрохимия*. – 2007. – № 7. – С. 22–27.
123. Матыченков, В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва-растение: автореф. дис. д-ра биол. наук. / В.В. Матыченков. – Пущино, 2008. – 34 с.
124. Матыченков, И.В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе почва–растение: диссертация ... кандидата биологических наук: 06.01.04 / Матыченков Иван Владимирович; [Место защиты: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова]. – Москва, 2014. – 136 с.
125. Методические указания по определению баланса питательных веществ: азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. – М.: Изд-во ЦИНАО, 1999. – 40 с.
126. Мишустин, Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия / Е.Н. Мишустин. – М. Наука, 1972. – 343 с.
127. Мотианова, О.Е. Особенности распределения подвижных форм тяжелых металлов в почвах лесостепи Заволжья / О.Е. Мотианова // Тезисы докл. VIII междун. конференции студентов и аспирантов по фунда. наукам «Ломоносов–2001». – М., 2001. – С. 81–84.
128. Мязин, Н.Г. Система удобрения: учебное пособие / Н.Г. Мязин. – Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2009. – 350 с.
129. Новиков, А.А. Формирование азотного фонда основных подтипов черноземов Юга России / А.А. Новиков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 78(04). – С. 2–11.
130. Носко, Б.С. Динамика фракционного состава минеральных фосфатов чернозема типичного при длительном применении удобрений / Б.С. Носко, В.И. Бабынин, Т.А. Юнакова, Л.Н. Бурлакова // – *Агрохимия*. – 2003. – № 3. – С. 27–34.
131. Нижарадзе, Т.С. Эффективность предпосевной обработки семян в защите яровой пшеницы от корневых гнилей / Т.С. Нижарадзе // *Вестник*

Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 10 (96). – С. 14–17.

132. Никитин, С.Н. Изменение содержания ТМ в зерне сельскохозяйственных культур при применении средств химизации и биологизации / Никитин С.Н.// Науч. тр. Ульян. НИИСХ / Ульян. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва. – Ульяновск, 2014. – Т. 20. – С. 34–44.

133. Никитин, С.Н. Эффективность применения удобрений, биопрепаратов и диатомита в лесостепи Среднего Поволжья: диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.04 / Никитин Сергей Николаевич; [Место защиты: Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева [http://www.mrsu.ru/ru/diss/diss.php?ELEMENT\\_ID=32494](http://www.mrsu.ru/ru/diss/diss.php?ELEMENT_ID=32494)]. – Саранск, 2015. – 419 с.

134. Никитин, С.Н. Влияние минеральных удобрений, биопрепаратов и последствий навоза на биологические свойства почвы и урожайность яровой пшеницы / С.Н. Никитин, С.А. Захаров // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2 (34). – С. 37–42.

135. Никифоров, В.М. Урожайность и качество зерна сортов яровой пшеницы при разных технологиях возделывания на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья: диссертация ... канд. с.-х. наук: 06.01.01 / Владимир Михайлович Никифоров; [Место защиты: ФГБНУ «Московский НИИСХ «Немчиновка»]. – Немчиновка, 2013. – 170 с.

136. Никифорова, С.А. Эффективность предпосевной обработки семян ячменя биопрепаратами и диатомитовым порошком в условиях Среднего Поволжья: автореф. дисс... канд. с.-х. наук / С.А. Никифорова. – Ульяновск, 2004. – 17 с.

137. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах: методы и задачи учёта в связи с формированием урожая / А.А. Ничипорович. – М., 1961. – 135с.

138. Овсянкина, А.В. Корневые гнили зерновых / А.В. Овсянкина // Теория и практика паразитарных болезней животных. – 2012. – № 13. – С.300–303.

139. Оленченко, Е.А. Баланс питательных веществ и изменение плодородия почвы разной степени окультуренности в агрофизическом стационаре / Е.А. Оленченко // Агрофизика. – 2015. – № 4. – С.13–20.

140. Олонова, М.В. Фитолиты некоторых мезофильных видов мятликов (*Poa l.*) секции *Stenopoa* и возможность их использования в систематике / М.В. Олонова, Н.С. Мезина // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – № 1 (13). – С. 51–60.

141. Огороков, В.В. Эффективность местных органических удобрений на серых лесных почвах Владимирского ополья / В.В. Огороков, Л.А. Огорокова, О.А. Фенова, И.В. Семин // Владимирский зеленец. – 2012. – № 3. – С. 9–19.

142. Офицеров, Е.Н. Кремний и гуминовые кислоты: моделирование взаимодействий в почве / Е.Н. Офицеров, Г.К. Рябов, Ю.А. Убаськина, А.Б. Климовский, Е.Г. Фетюхина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 13. – 2011. – №4 (2). – С. 550–557.

143. Пашкевич, Е.Б. Роль кремния в питании растений и в защите сельскохозяйственных культур от патогенов / Е.Б. Пашкевич, Е.П. Кирюшин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 2. – С. 52–57.

144. Пахненко, Е.П. Влияние кремниевых препаратов на засухоустойчивость ячменя / Е.П. Пахненко, Е.А. Бочарникова, В.В. Матыченков, И.В. Матыченков // АгрЭкоИнфо. – 2013. – № 2. – С. 1–8.

145. Пенкин, Р.В. Фунгицидная активность Силипланта и Циркона / Р.В. Пенкин, Л.А. Дорожкина, А.Н. Смирнов // Гавриш. – 2013. – № 1. – С. 16–19.

146. Петербургский, А.В. Вынос питательных веществ зерновыми культурами в разных почвенно-климатических зонах / А.В. Петербургский, Д.М. Аникст // Агрохимия. – № 2. – 1973. – С. 144–150.

147. Петров, Н.Ю. Влияние биопрепаратов на продуктивность зерна озимой пшеницы в условиях Волгоградской области / Н.Ю. Петров, В.В. Билоус, Е.В. Калмыкова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2010. – № 2. – С. 55–58.



148. Петров, В.Б. Микробиологические препараты в практическом растениеводстве России: функции, эффективность, перспектив / В.Б. Петров, В.К. Чеботарь // Рынок АПК. – 2009. – №7. – С. 16–18.

149. Полевщиков, С.И. Биоэнергетическая эффективность возделывания сахарной свеклы / С.И. Полевщиков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2005. – Т. 11. – № 2. – С. 495–498.

150. Попов, Ю. В. Метод оценки развития корневых гнилей зерновых культур / Ю.В. Попов // Защита и карантин растений. – 2011. – № 8. – С. 45–47.

151. Писарский, Ю.Б. О механизме мембранстабилизирующего действия 1-(хлорметил)силатрана / Ю.Б. Писарский, В.Б. Казимировская, М.Г. Воронков // Докл. АН. – 1987. – Т. 293. – С. 724–727.

152. Прогноз развития и распространения вредителей и болезней сельскохозяйственных культур в Ульяновской области и меры борьбы с ними на 2015 год. – Филиал ФГБУ «Россельхозцентр» по Ульяновской области. – Ульяновск, 2016. – 52 с.

153. Прокошев, В.Н. Влияние длительного применения удобрений на урожай и качество ячменя / В.Н. Прокошев, С.И. Попова // Агрехимия. – 1971. – №8. – С. 63–68.

154. Пушкина, Г.П. Роль кремния в повышении биопродуктивности и адаптации лекарственных культур к засушливым погодным условиям / Г.П. Пушкина, Н.И. Сидельников // Новые и нетрадиционные растений и перспективы их использования. – 2016. – № 12. – С. 249–252.

155. Ребров, А.Н. Влияние кремния и меламиновой соли на повышение адаптивности маточных растений сорта Каберне Северный в условиях песчаного массива / А.Н. Ребров // Русский виноград. – 2015. – Т 2. – С. 46–51.

156. Рядчиков, В.Г. Улучшение зерновых белков и их оценка / В.Г. Рядчиков. – М.: Колос, 1978. – 368 с.

157. Ряховский, А.В. Биологический баланс азота и фосфора в земледелии Оренбургской области / А.В. Ряховский, В.Н. Яичкин, А.Н. Косых,

И.И. Сотникова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2010. – Т. 2. – № 26-1. – С. 35–37.

158. Самсонова, Н.Е. Влияние соединений кремния и сложного NPK-удобрения на водный режим листьев и урожайность яровой пшеницы / Н.Е. Самсонова // Агрохимия. – 2014. – № 9. – С. 58–66.

159. Самсонова, Н.Е. Влияние цеолита и минеральных удобрений на водный режим растений и урожайность яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / Н.Е. Самсонова, Н.А. Антонова, И.А. Шупинская // Агрохимия. – 2016. – № 10. – С. 48–55.

160. Самсонова, Н.Е. Кремний в почве и растениях / Н.Е. Самсонова // Агрохимия. – 2005. – № 6. – С. 76–86.

161. Середина, В.П. Калий в автоморфных почвах на лессовидных суглинках В.П. Середина. Томск: Изд-во ТГУ, 1984. – 216 с.

162. Сластя, И.В. Влияние кремния на рост растений и баланс эндогенных фитогормонов ярового ячменя / И.В. Сластя, В.Н. Ложникова // Агрохимия. – 2010. – № 3. – С. 34–55.

163. Соболев, О.С. Урожайность и себестоимость растениеводческой продукции / О.С. Соболев // Никоновские чтения. – 2013. – № 18. – С. 395–399.

164. Соколова, Т.А. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и в почвенном растворе // Т.А. Соколова, И.И. Толпешта, С.Я. Трофимов. Изд. 2-е, испр. и доп. – Тула: Гриф и К, 2012. – 124 с.

165. Солдат, И.Е. Продуктивность севооборотов и баланс основных элементов питания в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия / И.Е. Солдат, Л.А. Кононенко, Ю.В. Мирошникова, С.В. Лукин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2004. – Т. 4. – № 4-1. – С. 18–19.

166. Соколов, О.А. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды / О.А. Соколов, В.А. Черников. – Пушино, – 1999. – 164 с.

167. Соловьев, А.Г. Система удобрений в севооборотах нечерноземной зоны СССР. Лекция / А.Г. Соловьев. – М.: Всесоюзный сельскохозяйственный институт заочного образования. – 1975. – С. 63.

168. Соловьев, А.С. Кремнесодержащие агоруды диатомит и трепел в устойчивости газонных травостоев / А.С. Соловьев, Н.В. Верховцева // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 3. – С. 23–30.

169. Степанова, Л.П. Влияние удобрительных форм на основе отходов производства и природных минералов на экологическую устойчивость агрофизических и физико-химических свойств чернозема оподзоленного / Л.П. Степанова, Е.А. Коренькова, Е.В. Яковлева, Е.И. Степанова // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2015. – № 13. – С. 19–25.

170. Тарановская, В.Г. Значение силикатирования для цитрусовых, тунга и сидератов / В.Г. Тарановская // Советские субтропики. – 1940. – № 5. – С. 38–42.

171. Терпелец, В.И. Гумусное состояние чернозема выщелоченного в агроценозах Азово-Кубанской низменности: монография / В.И. Тепелец, Ю.С. Плитинь. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 127 с.

172. Терещенко, Е.В. Влияние кремния на развитие кукурузы / Е.В. Терещенко // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2011. – № 4. – Т 7– С. 38–41.

173. Тимофеев, В.Н. К защите яровой пшеницы в Тюменской области / В.Н. Тимофеев, Л.И. Гарбар // Агропродовольственная политика России. – 2014. – № 4 (28). – С. 33–37.

174. Титов, А.Ф. Тяжелые металлы и растения. / А.Ф. Титов, Н.М. Казнина, В.В. Таланова. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. – 194 с.: ил. 40, табл. 19. Библиогр. 779 назв.

175. Титова, Э.В. Почва, растение, удобрение / Э.В. Титова. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. – 172 с.

176. Торопова, Е.Ю. Технология посева и фитосанитарное состояние всходов ячменя / Е.Ю. Торопова // Защита и карантин растений. – 2003. – №9. – С. 22–23.

177. Ульяненко, Л.Н. Комплексная система защиты посевов зерновых культур от болезней, вредителей и сорных растений / Л.Н. Ульяненко, А.С. Филипас, Л.Л. Дорофеева, В.Н. Орлов // Технологии Байер КропСайенс. – М.: Печатный Город, 2008. – 64 с.: илл.

178. Ульяновская область в цифрах.2016: Крат. стат. сб. – Ул., 2015 – 144 с.

179. Уромова, И.П. Влияние кремнийсодержащей агроруды на продуктивность и качество злаковых культур / И.П. Уромова, НН. Копосова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 6.– С. 908–911.

180. Фаизова, В.И. Характеристика почвенной микробиоты и градаций количественного и качественного состава микроорганизмов в процессе антропогенного воздействия / В.И. Фаизова, А.А. Перепелкина // Материалы международной научно-технической интернет-конференции «Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов».

URL: <http://kadastr.org/conf/2015/pub/monitprir/harakteristika-pochvennoy-mikrobioty.htm> (дата обращения: 05.06.2017).

181. Федорец, Н.Г. Методика исследования почв урбанизированных территорий / Н.Г. Федорец, М.В. Медведева. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. – 84 с.

182. Ходько, М.И. Использование цеолитсодержащих пород Майнского месторождения в системе почва-растение / М.И. Ходько // Материалы научно-практической конференции, посвященной 90-летию Ульяновского НИИ. – п. Тимирязеский, 2000. – С. 67–68.

183. Чекаев, Н.П. Содержание сахаров в узлах кущения озимой пшеницы в зависимости от применения диатомита и удобрений / Н.П. Чекаев, А.Е. Рябов // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: сборник статей X Международной научно-практической конференции / МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2014. – С.137–142.

184. Чекаев, Н.П. Возможности использования диатомитов Коржевского месторождения пензенской области / Н.П. Чекаев, А.Е. Рябов // Инновационные технологии в АПК: теория и практика: сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции/МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА. – 2015. – С. 139–145.

185. Черемисин, А.И. Применение биопрепаратов комплексного действия и биоудобрений в оригинальном семеноводстве картофеля / А.И. Черемисин, В.Н. Кумпан // Вестник Омского ГАУ. – 2017. – № 1 (25). – С. 28–34

186. Черкасов Е.А. Динамика основных показателей плодородия пахотных почв Ульяновской области за 50 лет// Достижения науки и техники АПК. – 2014. – №7. – С. 27 – 29.

187. Чижиков, В.Н. Эффективность некорневой подкормки посевов риса удобрением Контролфит Кремний / В.Н. Чижиков, В.Н. Парашенко, Л.А. Швыдка // Actual science. – 2016. – Т. 2. – № 10. – С. 59–60.

188. Чмелева, С.И. Влияние препарата Мивал–Агро на ростовые процессы растений ячменя на ранних этапах онтогенеза / С.И. Чмелева, Е.Н. Кучер, Г.В. Решетник // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2013. – Вып. 9. – С. 206-214.

189. Чудаков, Н. Яровая пшеница: опыт возделывания в Среднем Поволжье / Н. Чудаков // Аграрное обозрение. – 2015. – № 5(51). – С. 36–48.

190. Чуян, С.И. Отзывчивость сортов яровой пшеницы на минеральные удобрения на светло-каштановых почвах Волгоградской области / Чуян, С.И. // Агрохимия. – 1974. – №1. – С. 80–86.

191. Шюляускас, А.К. Влияние условий выращивания на качество зерна ячменя / А.К. Шюляускас, В.П. Крищенко, Т.П. Тамилис, К.К. Жигулев // Агрохимия, 1981. – № 11. – 1981. – С.72–80.

192. Шарипова, Р.Б. Современные изменения климата и агроклиматических ресурсов на территории Ульяновской области: автореф. дис... канд. геог. наук: 25.00.30 / Шарипова Разиде Бариевна. – Казань, 2012. – 24 с.

193. Шарипова, Р.Б. Агроклиматическая оценка атмосферных засухи урожайности на территории ГНУ УНИИСХ / Р.Б. Шарипова, М.М. Сабитов // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2013. – № 1-2 (8-9). – С. 70–72.

194. Шарипова, Р.Б. Оценка степени влияния метеорологических условий Ульяновской области на урожайность зерновых культур / Р.Б. Шарипова // Разработка и внедрение почвозащитных энергосберегающих технологий – основной путь повышения рентабельности и экологической безопасности растениеводства на современном этапе: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием, 7-8 июля 2016 г. / ФГБНУ Удмуртский НИИСХ. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2016. – С. 306–308.

195. Шашкаров, Л.Г. Экономическая и агроэнергетическая оценка возделывания яровой пшеницы при использовании препарата Нано-Гро в условиях темно-серых лесных почв Нижегородской области / Л.Г. Шашкаров, Т.М. Воробьева // Вестник Казанского ГАУ. – 2013. – № 3 (39). – С. 152–155.

196. Шашко, Д.И. Агроклиматическое районирование СССР / Д.И. Шашко. – М.: Колос. – 1967. – С. 247.

197. Шатилов, И.С. Формирование и продуктивность работы фотосинтетического аппарата сельскохозяйственных растений в севообороте / И.С. Шатилов, А.Г. Замараев, Г.В. Чаповская // Известия ТСХА. – 1969. – Выпуск № 6. – С.18–26.

198. Шахова, О.А. Влияние агрохимикатов на микробиологическую активность чернозёма выщелоченного в Северной лесостепи Тюменской области / О.А. Шахова // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2016. – № 2 (33). – С. 102–109.

199. Шигапова, А.М. Влияние триэтаноламина и силатранов на термоустойчивость и накопление стрессовых белков у проростков гороха / А.М. Шигапова, Н.Е. Коротаева, Г.Б. Боровский, М.Г. Воронков // Физиология растений. – 2012. – Т. 59. – № 6. – С. 730–739.

200. Шилов, А.Н. Баланс элементов питания в зернопаровом севообороте при совместном применении азотных, фосфорных удобрений и почвенного

кондиционера / А.Н. Шилов, А.М. Плотников // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 11 (129). – С. 22–25.

201. Юдин, Ф.А. Методика агрохимических исследований / Ф.А. Юдин. – М.: Колос, 1980. – 368 с.

202. Щукин, В.Б. Фотосинтетический потенциал посева озимой пшеницы и его окупаемость зерном при различных сроках внесения микроэлементов в условиях степной зоны Южного Урала / В.Б. Щукин, Громов А.А., Щукина Н.В. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2007. – Т. 2. – № 14(1). – С. 29-31.

203. Ягovenко, Г.А. Фосфатный режим серой лесной почвы в севооборотах с люпином / Г.А. Ягovenко // Агрохимический вестник. – 2010. – № 3. – С. 9–11.

204. Якименко, В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: изд-во СО РАН, 2003. – 231 с.

205. Ярцев, Г.Ф. Фотосинтетическая деятельность посевов яровой пшеницы / Г.Ф. Ярцев, Р.К. Байкаенов // Региональная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов Оренбургской области: сборник материалов. Ч. III. – Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. – С. 38–40.

206. Angladette, A. El Arroz Ed. Blume, Tuset – Barcelona – Madrid, 1969.

207. Ashtiani, F.A. Effect of silicon on rice blast disease / F.A. Ashtiani, J.B. Kadir, A. Nasehi, S.R.H. Rahaghi, H. Sajili // Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science. – 2012. – № 35. – P. 1-12.

208. Balakhnina, T. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses / T. Balakhnina, A. Borkowska // Rev. Int. Agrophys. – 2013. – V. 27. – P. 225–232.

209. Below, F. Nitrogen metabolism and crop productivity / F. Below // Handbook of plant and crop physiology. – 2001. – P. 385–406.

210. Buchanan, M. Seasonal fluctuations in soil microbial biomass carbon, phosphorus, and activity in no-till and reduced-chemical-input maize agroecosystems / M. Buchanan, L.D. King // Biol. Fertil. Soil, 1992. – V. 13. – P. 211–217.

211. Ciecierski, W. Impact of silicon based fertilizer OPTYSIL on abiotic stress reduction and yield improvement in field crops / W. Ciecierski, H. Kardasz // 6 th Int. Conference on Silicon in Agriculture, 26–30 August 2014, Stockholm Sweden. – P. 54.
212. Dongfeng, Ning. Effects of Slag-Based Silicon Fertilizer on Rice Growth and Brown-Spot / Ning Dongfeng, Song Alin, Fan Fenliang, Li Zhaojun, Liang Yongchao // Resistance. – 2014. – V. 9. – I. 7. – P. 1–9.
213. Epstein, E. The anomaly of silicon in plant biology / E. Epstein // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1994. – V. 91. – P.11–17.
214. Gao, X. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants / X. Gao, , C. Zou, L. Wang, F. Zhang // Plant Nutrition. – 2006. – V. 29 (2). – P. 1637-1647.
215. Gevrek M.N. The effects of clinoptilolite application on growth and nutrient ions content in rice grain / M.N. Gevrek, Ö. TataR, B. Yamur, N.S. Özeydi // Turkish j. of field crops. – 2009. – V. 14(2) – P. 79 – 88.
216. Heather, A. Currie. Silica in Plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies / A. Currie Heather, C. Perry Carole // Ann Bot. – 2007. – V. 100(7). – P. 1383–1389.
217. Kim, Y.H. Regulation of jasmonic acid biosynthesis by silicon application during physical injury to *Oryza sativa* L. J. / Y.H. Kim, A.L. Khan, M. Waqas, H.J. Jeong, D.H. Kim, J.S. Shin, J.G. Kim, M.H. Yeon, I.J. Lee // Plant Res. – 2014. – V.127. – P. 525–532.
218. Krishnendu, Acharya. *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem.: The most destructive wheat fungal pathogen in the warmer areas / Krishnendu Acharya, Arun K. Dutta and Prakash Pradhan // Australian Journal of Science Crop. – 2011. – P. 1064-1071.
219. Ma, J.F. Silicon uptake and accumulation in higher plants / J.F. Ma, N. Yamaji //Trends Plant Sci. – 2006. – V. 11(8). – P. 392-7.
220. Ma, J.F. Transport of silicon from roots to panicles in plants / J.F. Ma, N. Yamaji, N. Mitani-Ueno // Proc. Jpn. Acad. – 2011. – V. 87. – P. 377-385.



221. Ma, J.F. Genotypic Difference in Silicon Uptake and Expression of Silicon Transporter Genes in Rice / J.F. Ma, N. Yamaji, K. Tamai, N. Mitani // *Plant Physiology*. – 2007. – V. 145. – P. 919-924.
222. Maurel, C. Aquaporins and water permeability of plant membranes / C. Maurel // *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology*. – 1997. – V. 48. – P. 399–429.
223. Matichenkov, V.V. Silicon as a beneficial element for sugarcane / V.V. Matichenkov, D.V. Calvert // *Journal American Society of Sugarcane Technologists*. – Vol. 22. – 2000. – P. 21-30.
224. Mitani-Ueno, N. Silicon efflux transporters isolated from two pumpkin cultivars contrasting in Si uptake / N. Mitani-Ueno, N. Yamaji, J.F. Ma // *Plant Signaling & Behavior*. – 2011. – Vol. 6, № 7. – P. 991–994.
225. Mizuta, H. Protective function of silicon deposition in *Saccharina japonica* sporophytes (Phaeophyceae) / H. Mizuta, H. Yasui // *J. Appl. Phycol.* – 2012. – Vol. 24. – P. 1177–1182.
226. Muneer, S.; Park, Y.G.; Manivannan, A.; Soundararajan, P.; Jeong, B.R. Physiological and Proteomic Analysis in Chloroplasts of *Solanum lycopersicum* L. under Silicon Efficiency and Salinity Stress. *Int. J. Mol. Sci.* – 2014. – V. 15. – P. 21803–21824.
227. Mohsen, J. Impact of silicon dioxide nanoparticles on seedling early growth of lentil (*lens culinaris medik.*) Genotypes with various origins / J. Mohsen, S. Naser, A. Amin // *Agriculture & Forestry*. – 2015. – Vol. 61. – Issue 3. P. 19-33.
228. Neumann, D. Silicon and heavy metal tolerance of higher plants / D. Neumann, U. Nieden // *Phytochemistry*. – 2001. – № 56. – P.685–692.
229. Pati, S. Effect of Silicon Fertilization on Growth, Yield, and Nutrient Uptake of Rice / S. Pati, B. Pal, S. Badole, G. Hazra & B. Mandal // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. – 2016. – V. 47(3). – P. 284–290.
230. Rodrigues, F.Á. Effect of rice growth stages and silicon on sheath blight development / F.Á. Rodrigues, FXR Vale, L.E. Datnoff, A.S. Prabhu, G.H. Korndörfer // *Phytopathology*. – 2003. – V. 93 (26). – P. 256.

231. Szulc W., Rutkowska B., Hoch M., Spychaj-Fabisiak E., Murawska B.
232. Exchangeable silicon content of soil in a long-term fertilization experiment / W. Szulc, B. Rutkowska, M. Hoch, E. Spychaj-Fabisiak, B. Murawska // *Plant Soil Environ.* – 2015. – V. 61(10). – P. 458–461.
233. Terry, N. Effect of phosphorus deficiency on the photosynthesis and respiration of leaves of sugar beet / N. Terry, A. Ulrich // *Plant Physiol.* – 1973. – № 51. – P.43–47.
234. Thamtrakoln K. Silicon Uptake in Diatoms Revisited: A Model for Saturable and Nonsaturable Uptake Kinetics and the Role of Silicon Transporters / K. Thamtrakoln, M. Hildebrand // *Plant Physiology.* – 2008. – V. 146. – P. 1397–1407.
235. Williams, D. Manganese toxicity in standard culture solutions / D. Williams, J. Vlamis // *Plant Soil.* – 1957. – №8. – P.193–193.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Значения среднесуточной температуры воздуха и количества осадков за 2011 год исследований (по данным метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный»)

Месяц	Период	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма
		Среднее	Отклонение		Сумма	Отклонение	
Январь	Мес.	- 12,8	1	- 13,8	82,1	52,1	30
Февраль	Мес.	- 18,7	-5,5	- 13,2	18,0	-7	25
Март	Мес.	- 6,8	0,2	- 7,0	22,2	-7,8	30
Апрель	1 декада	2,1	1,4	0,7	2,5	-6,5	9
	2 декада	3,4	-0,7	4,1	25,2	16,2	9
	3 декада	7,8	0,6	7,2	5,6	-3,4	9
	Мес.	4,4	-1,7	6,1	33,0	6	27
Май	1 декада	13,8	3,7	10,1	41,3	29,3	12
	2 декада	12,8	0,2	12,6	1,7	-10,3	12
	3 декада	15,9	1,1	14,8	51,0	39	12
	Мес.	14,2	1,7	12,5	94,0	58	36
Июнь	1 декада	15,4	-0,9	16,3	52,0	37	15
	2 декада	16,3	-1,4	17,7	22,9	6,9	16
	3 декада	19,7	1,1	18,6	36,2	20,2	16
	Мес.	17,2	-0,3	17,5	111,0	64	47
Июль	1 декада	23,6	4,2	19,4	19,0	0	19
	2 декада	21,6	1,7	19,9	0,0	-19	19
	3 декада	24,7	5,1	19,6	1,1	-16,9	18
	Мес.	23,4	3,8	19,6	20,0	-34	54
Август	1 декада	19,6	0,9	18,7	26,0	8	18
	2 декада	21,6	4	17,6	0,3	-16,7	17
	3 декада	15,9	-1	16,9	8,3	-8,7	17
	Мес.	19,0	1,6	17,4	35,0	-17	52
Сентябрь	Мес.	12,4	1,1	11,3	135,0	88	47
Октябрь	Мес.	6,3	2,7	3,6	47,1	0,1	47
Ноябрь	Мес.	- 4,2	-0,3	- 3,9	38,3	-1,7	40
Декабрь	Мес.	- 6,2	4,2	- 10,4	46,0	10	36

-

Значения среднесуточной температуры воздуха и количества осадков за 2012 год исследований (по данным метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный»)

Месяц	Период	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма
		Среднее	Отклонение		Сумма	Отклонение	
Январь	Мес.	- 11,5	2,3	- 13,8	24,3	-5,7	30
Февраль	Мес.	- 16,4	-3,2	- 13,2	20,5	-4,5	25
Март	Мес.	- 3,9	3,1	- 7,0	44,0	14	30
Апрель	1 декада	3,2	2,5	0,7	8,7	-0,3	9
	2 декада	12,7	8,6	4,1	2,6	-6,4	9
	3 декада	14,5	7,3	7,2	3,6	-5,4	9
	Мес.	10,1	4	6,1	14,9	-12,1	27
Май	1 декада	15,0	4,9	10,1	0	-12	12
	2 декада	18,4	5,8	12,6	0,4	-11,6	12
	3 декада	16,7	1,9	14,8	31,3	19,3	12
	Мес.	16,7	4,2	12,5	31,7	-4,3	36
Июнь	1 декада	17,4	1,1	16,3	22,4	7,4	15
	2 декада	17,5	-0,2	17,7	1,6	-14,4	16
	3 декада	20,2	1,6	18,6	12,0	-4	16
	Мес.	18,3	0,8	17,5	36,0	-11	47
Июль	1 декада	21,1	1,7	19,4	15,0	-4	19
	2 декада	22,8	2,9	19,9	39,3	20,3	19
	3 декада	19,3	-0,3	19,6	5,4	-12,6	18
	Мес.	21,0	1,4	19,6	59,7	5,7	54
Август	1 декада	23,5	4,8	18,7	9,5	-8,5	18
	2 декада	20,5	2,9	17,6	12,7	-4,3	17
	3 декада	16,6	-0,3	16,9	75,5	58,5	17
	Мес.	20,2	2,8	17,4	97,7	45,7	52
Сентябрь	Мес.	12,3	1	11,3	56,0	9	47
Октябрь	Мес.	7,6	4	3,6	54,0	7	47
Ноябрь	Мес.	0,8	4,7	- 3,9	21,0	-19	40
Декабрь	Мес.	- 9,3	1,1	- 10,4	33,8	-2,2	36

Значения среднесуточной температуры воздуха и количества осадков за 2013 год исследований (по данным метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный»)

Месяц	Период	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма
		Среднее	Отклонение		Сумма	Отклонение	
Январь	Мес.	- 11,1	2,7	- 13,8	30	0	30
Февраль	Мес.	- 8,4	4,8	- 13,2	5,3	-19,7	25
Март	Мес.	- 6,2	0,8	- 7,0	62	32	30
Апрель	1 декада	5,2	4,5	0,7	9,9	0,9	9
	2 декада	6,3	2,2	4,1	0,9	-8,1	9
	3 декада	8,4	1,2	7,2	27	18	9
	Мес.	6,6	0,5	6,1	37,8	10,8	27
Май	1 декада	13,2	3,1	10,1	7,1	-4,9	12
	2 декада	17,6	5	12,6	1,0	-11	12
	3 декада	18,3	3,5	14,8	16,0	4	12
	Мес.	16,4	3,9	12,5	24,1	-11,9	36
Июнь	1 декада	17,7	1,4	16,3	5,3	-9,7	15
	2 декада	20,1	2,4	17,7	12,5	-3,5	16
	3 декада	22,5	3,9	18,6	24,5	8,5	16
	Мес.	20,1	2,6	17,5	42,3	-4,7	47
Июль	1 декада	22,4	3	19,4	16,8	-2,2	19
	2 декада	20,6	0,7	19,9	8,4	-10,6	19
	3 декада	18,1	-1,5	19,6	22,3	4,3	18
	Мес.	20,3	0,7	19,6	47,5	-6,5	54
Август	1 декада	19,8	1,1	18,7	52,6	34,6	18
	2 декада	21,6	4	17,6	16,0	-1	17
	3 декада	17,2	0,3	16,9	23,1	6,1	17
	Мес.	19,5	2,1	17,4	91,7	39,7	52
Сентябрь	Мес.	12,2	0,9	11,3	166,2	119,2	47
Октябрь	Мес.	5,3	1,7	3,6	29,2	-17,8	47
Ноябрь	Мес.	2,8	6,7	- 3,9	21,7	-18,3	40
Декабрь	Мес.	- 4,5	5,9	- 10,4	27,8	-8,2	36

## Приложение 4

Значения среднесуточной температуры воздуха и количества осадков за 2014 год исследований (по данным метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный»)

Месяц	Период	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма
		Среднее	Отклонение		Сумма	Отклонение	
Январь	Мес.	- 10,5	3,3	- 13,8	44,5	14,5	30
Февраль	Мес.	- 11,1	2,1	- 13,2	21,8	-3,2	25
Март	Мес.	- 1,1	5,9	- 7,0	14,2	-15,8	30
Апрель	1 декада	0,0	-0,7	0,7	17	8	9
	2 декада	6,0	1,9	4,1	1,7	-7,3	9
	3 декада	7,7	0,5	7,2	12,1	3,1	9
	Мес.	4,6	-1,5	6,1	30,8	3,8	27
Май	1 декада	10,9	0,8	10,1	16,1	4,1	12
	2 декада	19,7	7,1	12,6	8,3	-3,7	12
	3 декада	19,5	4,7	14,8	4,2	-7,8	12
	Мес.	16,7	4,2	12,5	28,6	-7,4	36
Июнь	1 декада	21,1	4,8	16,3	6,6	-8,4	15
	2 декада	15,0	-2,7	17,7	19,5	3,5	16
	3 декада	16,3	-2,3	18,6	21,0	5	16
	Мес.	17,5	0	17,5	47,1	0,1	47
Июль	1 декада	20,4	1	19,4	5,6	-13,4	19
	2 декада	19,5	-0,4	19,9	9,1	-9,9	19
	3 декада	18,6	-1	19,6	11,2	-6,8	18
	Мес.	19,5	-0,1	19,6	25,9	-28,1	54
Август	1 декада	21,9	3,2	18,7	2,5	-15,5	18
	2 декада	21,4	3,8	17,6	22,4	5,4	17
	3 декада	16,5	-0,4	16,9	22,8	5,8	17
	Мес.	19,9	2,5	17,4	47,7	-4,3	52
Сентябрь	Мес.	11,9	0,6	11,3	44,6	-2,4	47
Октябрь	Мес.	2,9	-0,7	3,6	40,8	-6,2	47
Ноябрь	Мес.	- 3,5	0,4	- 3,9	35,1	-4,9	40
Декабрь	Мес.	- 6,3	4,1	- 10,4	57,6	21,6	36

Значения среднесуточной температуры воздуха и количества осадков за 2015 год исследований (по данным метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный»)

Месяц	Период	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма
		Среднее	Отклонение		Сумма	Отклонение	
Январь	Мес.	- 10,0	3,8	- 13,8	22,1	-7,9	30
Февраль	Мес.	- 7,7	5,5	- 13,2	35,4	10,4	25
Март	Мес.	- 3,6	3,4	- 7,0	7,7	-22,3	30
Апрель	1 декада	1,5	0,8	0,7	12,9	3,9	9
	2 декада	5,8	1,7	4,1	16,3	7,3	9
	3 декада	7,0	-0,2	7,2	12,2	3,2	9
	Мес.	4,8	-1,3	6,1	41,4	14,4	27
Май	1 декада	13,1	3	10,1	0,0	-12	12
	2 декада	12,6	0	12,6	21,8	9,8	12
	3 декада	21,6	6,8	14,8	7,6	-4,4	12
	Мес.	15,8	3,3	12,5	29,4	-6,6	36
Июнь	1 декада	17,9	1,6	16,3	15,5	0,5	15
	2 декада	20,7	3	17,7	0,0	-16	16
	3 декада	25,0	6,4	18,6	7,3	-8,7	16
	Мес.	21,2	3,7	17,5	22,8	-24,2	47
Июль	1 декада	19,1	-0,3	19,4	78,3	59,3	19
	2 декада	17,4	-2,5	19,9	38,3	19,3	19
	3 декада	19,9	0,3	19,6	2,0	-16	18
	Мес.	18,8	-0,8	19,6	118,6	64,6	54
Август	1 декада	18,4	-0,3	18,7	5,3	-12,7	18
	2 декада	15,7	-1,9	17,6	7,3	-9,7	17
	3 декада	15,5	-1,4	16,9	7,0	-10	17
	Мес.	16,5	-0,9	17,4	19,6	-32,4	52
Сентябрь	Мес.	15,6	4,3	11,3	19,3	-27,7	47
Октябрь	Мес.	2,8	-0,8	3,6	43,2	-3,8	47
Ноябрь	Мес.	- 0,3	3,6	- 3,9	80,4	40,4	40
Декабрь	Мес.	- 3,1	7,3	- 10,4	37,3	1,3	36



Значения среднесуточной температуры воздуха и количества осадков за 2016 год исследований (по данным метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный»)

Месяц	Период	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма
		Среднее	Отклонение		Сумма	Отклонение	
Январь	Мес.	- 12,7	1,1	- 13,8	72,0	42	30
Февраль	Мес.	- 2,6	10,6	- 13,2	28,3	3,3	25
Март	Мес.	- 1,3	5,7	- 7,0	39,8	9,8	30
Апрель	1 декада	4,9	4,2	0,7	23,7	14,7	9
	2 декада	10,7	6,6	4,1	16,5	7,5	9
	3 декада	10,2	3,0	7,2	7,3	-1,7	9
	Мес.	8,6	2,5	6,1	47,5	20,5	27
Май	1 декада	12,7	2,6	10,1	12,0	0	12
	2 декада	13,0	0,4	12,6	35,8	23,8	12
	3 декада	18,9	4,1	14,8	23,3	11,3	12
	Мес.	14,9	2,4	12,5	71,1	35,1	36
Июнь	1 декада	13,6	- 2,7	16,3	59,6	44,6	15
	2 декада	20,4	2,7	17,7	11,9	-4,1	16
	3 декада	18,6	0	18,6	6,3	-9,7	16
	Мес.	17,5	0	17,5	77,8	30,8	47
Июль	1 декада	19,7	0,3	19,4	21,0	2	19
	2 декада	22,8	2,9	19,9	2,0	-17	19
	3 декада	21,7	2,1	19,6	42,0	24	18
	Мес.	21,4	1,8	19,6	65,0	11	54
Август	1 декада	23,5	4,8	18,7	17,0	-1	18
	2 декада	24,4	6,8	17,6	2,3	-14,7	17
	3 декада	20,6	3,7	16,9	4,0	-13	17
	Мес.	22,8	5,4	17,4	23,3	-28,7	52
Сентябрь	Мес.	11,4	0,1	11,3	111,0	64	47
Октябрь	Мес.	4,2	0,6	3,6	22,5	-24,5	47
Ноябрь	Мес.	- 3,8	0,1	- 3,9	55,9	15,9	40
Декабрь	Мес.	- 10,9	- 0,5	- 10,4	25,0	-11	36

Содержание доступных соединений азота в черноземе выщелоченном  
перед посевом ячменя, мг/кг (2012 – 2013 гг.)

Вариант	Годы исследований	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	
1. Без удобрений (контроль)	2012	11,1	5,4	16,5	
	2013	12,2	5,9	18,1	
	<b>Среднее</b>	<b>11,7</b>	<b>5,7</b>	<b>17,3</b>	
2. СЗР	2012	10,7	5,5	16,2	
	2013	12,3	6,0	18,3	
	<b>Среднее</b>	<b>11,5</b>	<b>5,8</b>	<b>17,3</b>	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	11,2	5,5	16,7	
	2013	12,8	6,1	18,9	
	<b>Среднее</b>	<b>12,0</b>	<b>5,8</b>	<b>17,8</b>	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	11,8	6,3	18,1	
	2013	13,6	6,8	20,4	
	<b>Среднее</b>	<b>12,7</b>	<b>6,6</b>	<b>19,3</b>	
5. Мивал-Агро	2012	11,2	5,9	17,1	
	2013	13,1	6,4	19,5	
	<b>Среднее</b>	<b>12,2</b>	<b>6,2</b>	<b>18,5</b>	
6. N40P40K40 (фон)	2012	11,5	5,8	17,3	
	2013	13,1	6,7	19,8	
	<b>Среднее</b>	<b>12,3</b>	<b>6,3</b>	<b>18,6</b>	
7. N40P40K40 + СЗР	2012	11,9	6,4	18,3	
	2013	13,6	7,3	20,9	
	<b>Среднее</b>	<b>12,8</b>	<b>6,9</b>	<b>19,6</b>	
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	12,1	6,3	18,4	
	2013	13,6	7,5	21,1	
	<b>Среднее</b>	<b>12,9</b>	<b>6,9</b>	<b>19,8</b>	
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	11,7	6,3	18,0	
	2013	13,4	7,4	20,8	
	<b>Среднее</b>	<b>12,6</b>	<b>6,9</b>	<b>19,4</b>	
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2012	11,8	6,1	17,9	
	2013	13,5	7,5	21,0	
	<b>Среднее</b>	<b>12,7</b>	<b>6,8</b>	<b>19,5</b>	
НСР <sub>05</sub>	2012	Фактор А	0,6	0,3	-
		Фактор В	0,4	0,2	-
	2013	Фактор А	0,5	0,4	-
		Фактор В	0,3	0,2	-

Содержание доступных соединений азота в черноземе выщелоченном  
в фазу колошения ячменя, мг/кг (2012 – 2013 гг.)

Вариант	Годы исследований	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	
1. Без удобрений (контроль)	2012	9,1	6,0	15,1	
	2013	13,7	6,8	20,5	
	<b>Среднее</b>	<b>11,4</b>	<b>6,4</b>	<b>17,8</b>	
2. СЗР	2012	9,2	5,7	14,9	
	2013	13,8	6,9	20,7	
	<b>Среднее</b>	<b>11,5</b>	<b>6,3</b>	<b>17,8</b>	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	9,5	6,2	15,7	
	2013	14,3	7,3	21,6	
	<b>Среднее</b>	<b>11,0</b>	<b>7,2</b>	<b>20,3</b>	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	11,1	6,3	17,4	
	2013	15,1	8,1	23,2	
	<b>Среднее</b>	<b>13,1</b>	<b>7,2</b>	<b>19,6</b>	
5. Мивал-Агро	2012	10,0	6,6	16,6	
	2013	15,0	7,7	22,7	
	<b>Среднее</b>	<b>12,5</b>	<b>7,1</b>	<b>19,5</b>	
6. N40P40K40 (фон)	2012	10,0	6,4	16,4	
	2013	14,8	7,8	22,6	
	<b>Среднее</b>	<b>12,4</b>	<b>6,6</b>	<b>20,3</b>	
7. N40P40K40 + СЗР	2012	11,2	6,0	17,2	
	2013	15,3	8,1	23,4	
	<b>Среднее</b>	<b>13,3</b>	<b>7,5</b>	<b>21,0</b>	
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	11,1	6,7	17,8	
	2013	15,8	8,3	24,1	
	<b>Среднее</b>	<b>13,5</b>	<b>7,5</b>	<b>21,0</b>	
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	10,8	7,1	17,9	
	2013	15,9	8,5	24,4	
	<b>Среднее</b>	<b>13,4</b>	<b>7,8</b>	<b>21,2</b>	
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2012	10,9	6,9	17,8	
	2013	16,3	8,0	24,3	
	<b>Среднее</b>	<b>13,6</b>	<b>7,5</b>	<b>21,1</b>	
НСР <sub>05</sub>	2012	Фактор А	0,4	0,2	-
		Фактор В	0,2	0,1	-
	2013	Фактор А	0,5	0,2	-
		Фактор В	0,3	0,2	-

Содержание доступных соединений азота в черноземе выщелоченном  
перед уборкой ячменя, мг/кг (2012 – 2013 гг.)

Вариант	Годы исследований	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	
1. Без удобрений (контроль)	2012	10,9	5,3	16,2	
	2013	11,6	6,3	17,9	
	<b>Среднее</b>	<b>11,3</b>	<b>5,8</b>	<b>17,1</b>	
2. СЗР	2012	10,5	5,4	15,9	
	2013	11,6	6,4	18,0	
	<b>Среднее</b>	<b>11,1</b>	<b>5,9</b>	<b>17,0</b>	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	11,1	5,7	16,8	
	2013	12,2	6,8	19,0	
	<b>Среднее</b>	<b>11,7</b>	<b>6,3</b>	<b>17,9</b>	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	12,1	6,2	18,3	
	2013	13,3	7,4	20,7	
	<b>Среднее</b>	<b>12,7</b>	<b>6,8</b>	<b>19,5</b>	
5. Мивал-Агро	2012	11,6	6,0	17,6	
	2013	13,3	6,8	20,1	
	<b>Среднее</b>	<b>12,5</b>	<b>6,4</b>	<b>18,9</b>	
6. N40P40K40 (фон)	2012	11,1	6,0	17,0	
	2013	12,8	6,7	19,5	
	<b>Среднее</b>	<b>12,0</b>	<b>6,4</b>	<b>18,3</b>	
7. N40P40K40 + СЗР	2012	11,2	6,1	17,3	
	2013	12,7	7,2	19,9	
	<b>Среднее</b>	<b>12,0</b>	<b>6,7</b>	<b>18,6</b>	
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	11,9	6,4	18,3	
	2013	13,5	7,5	21,0	
	<b>Среднее</b>	<b>12,7</b>	<b>7,0</b>	<b>19,7</b>	
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	11,8	6,7	18,5	
	2013	13,6	7,6	21,2	
	<b>Среднее</b>	<b>12,7</b>	<b>7,2</b>	<b>19,9</b>	
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2012	11,6	6,6	18,2	
	2013	13,5	7,5	21,0	
	<b>Среднее</b>	<b>12,6</b>	<b>7,1</b>	<b>19,6</b>	
НСР <sub>05</sub>	2012	Фактор А	0,6	0,4	-
		Фактор В	0,4	0,2	-
	2013	Фактор А	0,5	0,3	-
		Фактор В	0,3	0,2	-

Содержание доступных соединений азота в черноземе выщелоченном перед посевом яровой пшеницы, мг/кг (2014 – 2015 гг.)

Вариант	Годы исследований	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2014	10,4	5,8	16,2	
	2015	11,1	5,7	16,8	
	<b>Среднее</b>	<b>10,8</b>	<b>5,8</b>	<b>16,5</b>	
2. ЭкSi (о/с)	2014	11,2	6,3	17,5	
	2015	11,6	6,0	17,6	
	<b>Среднее</b>	<b>11,4</b>	<b>6,2</b>	<b>17,6</b>	
3. ЭкSi (о/п)	2014	10,7	6,1	16,8	
	2015	11,1	5,7	16,8	
	<b>Среднее</b>	<b>11,4</b>	<b>5,9</b>	<b>16,8</b>	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	11,0	6,2	17,2	
	2015	11,6	6,0	17,6	
	<b>Среднее</b>	<b>11,3</b>	<b>6,1</b>	<b>17,4</b>	
5. Мивал-Агро (о/с)	2014	11,2	6,4	17,6	
	2015	11,2	5,8	17,0	
	<b>Среднее</b>	<b>11,2</b>	<b>6,0</b>	<b>17,3</b>	
6. Мивал-Агро (о/п)	2014	11,0	6,4	17,4	
	2015	10,9	5,7	16,6	
	<b>Среднее</b>	<b>11,0</b>	<b>6,1</b>	<b>17,0</b>	
<b>7. N40P40K40 (фон)</b>	2014	11,4	6,6	18,0	
	2015	11,4	6,0	17,4	
	<b>Среднее</b>	<b>11,4</b>	<b>6,3</b>	<b>17,7</b>	
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	2014	11,6	6,8	18,4	
	2015	11,6	6,1	17,7	
	<b>Среднее</b>	<b>11,6</b>	<b>6,5</b>	<b>18,1</b>	
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	2014	11,9	6,9	18,8	
	2015	11,7	6,2	17,9	
	<b>Среднее</b>	<b>11,8</b>	<b>6,6</b>	<b>18,4</b>	
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	11,5	6,7	18,2	
	2015	12,2	6,5	18,7	
	<b>Среднее</b>	<b>11,9</b>	<b>6,6</b>	<b>18,5</b>	
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2014	11,7	6,9	18,6	
	2015	11,4	6,1	17,5	
	<b>Среднее</b>	<b>11,6</b>	<b>6,5</b>	<b>18,1</b>	
12. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/п)	2014	11,4	6,7	18,1	
	2015	11,3	6,0	17,2	
	<b>Среднее</b>	<b>11,4</b>	<b>6,4</b>	<b>17,7</b>	
НСР <sub>05</sub>	2014	Фактор А	0,6	0,3	-
		Фактор В	0,3	0,1	-
	2015	Фактор А	0,4	0,2	-
		Фактор В	0,2	0,1	-

Содержание доступных соединений азота в черноземе выщелоченном  
в фазу колошения яровой пшеницы, мг/кг почвы, (2014 – 2015 гг.)

Вариант	Годы исследований	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	
1. Без удобрений (контроль)	2014	11,1	6,5	17,6	
	2015	12,9	6,9	19,8	
	<b>Среднее</b>	<b>12,0</b>	<b>6,7</b>	<b>18,7</b>	
2. ЭКСi (о/с)	2014	12,8	7,6	20,4	
	2015	13,4	7,3	20,7	
	<b>Среднее</b>	<b>13,1</b>	<b>7,5</b>	<b>20,6</b>	
3. ЭКСi (о/п)	2014	12,3	7,3	19,6	
	2015	13,0	7,0	20,0	
	<b>Среднее</b>	<b>12,7</b>	<b>7,2</b>	<b>19,8</b>	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	12,8	7,6	20,4	
	2015	13,5	7,4	20,9	
	<b>Среднее</b>	<b>13,2</b>	<b>7,5</b>	<b>20,7</b>	
5. Мивал-Агро (о/с)	2014	12,9	7,7	20,6	
	2015	13,2	7,3	20,4	
	<b>Среднее</b>	<b>13,1</b>	<b>7,5</b>	<b>20,5</b>	
6. Мивал-Агро (о/п)	2014	12,8	7,7	20,5	
	2015	12,9	7,2	20,1	
	<b>Среднее</b>	<b>12,9</b>	<b>7,5</b>	<b>20,3</b>	
7. N40P40K40 (фон)	2014	12,7	7,6	20,3	
	2015	13,5	7,5	21,0	
	<b>Среднее</b>	<b>13,1</b>	<b>7,6</b>	<b>20,7</b>	
8. N40P40K40 + ЭКСi (о/с)	2014	13,4	8,1	21,5	
	2015	13,8	7,6	21,4	
	<b>Среднее</b>	<b>13,6</b>	<b>7,9</b>	<b>21,5</b>	
9. N40P40K40 + ЭКСi (о/п)	2014	13,6	8,2	21,8	
	2015	13,9	7,8	21,7	
	<b>Среднее</b>	<b>13,7</b>	<b>8,0</b>	<b>21,8</b>	
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	13,9	8,5	22,4	
	2015	14,4	8,1	22,5	
	<b>Среднее</b>	<b>14,2</b>	<b>8,3</b>	<b>22,5</b>	
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2014	13,5	8,3	21,8	
	2015	13,6	7,6	21,2	
	<b>Среднее</b>	<b>13,6</b>	<b>8,0</b>	<b>21,5</b>	
12. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/п)	2014	13,2	8,1	21,3	
	2015	13,6	7,7	21,3	
	<b>Среднее</b>	<b>13,4</b>	<b>7,9</b>	<b>21,3</b>	
НСР <sub>05</sub>	2014	Фактор А	0,4	0,3	-
		Фактор В	0,3	0,1	-
	2015	Фактор А	0,5	0,3	-
		Фактор В	0,4	0,2	-

Содержание доступных соединений азота в черноземе выщелоченном перед уборкой яровой пшеницы, мг/кг (2014 – 2015 гг.)

Вариант	Годы исследований	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	
1. Без удобрений (Контроль)	2014	9,5	5,6	15,1	
	2015	9,1	5,5	14,6	
	<b>Среднее</b>	<b>9,8</b>	<b>5,6</b>	<b>15,4</b>	
2. ЭкSi (о/с)	2014	11,2	6,6	17,8	
	2015	11,2	6,0	17,2	
	<b>Среднее</b>	<b>11,2</b>	<b>6,3</b>	<b>17,5</b>	
3. ЭкSi (о/п)	2014	10,6	6,3	16,9	
	2015	10,9	5,9	16,8	
	<b>Среднее</b>	<b>10,8</b>	<b>6,2</b>	<b>16,9</b>	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	11,1	6,6	17,7	
	2015	11,8	6,5	18,3	
	<b>Среднее</b>	<b>11,5</b>	<b>6,6</b>	<b>18,0</b>	
5. Мивал-Агро (о/с)	2014	11,1	6,7	17,8	
	2015	11,0	6,1	17,1	
	<b>Среднее</b>	<b>11,1</b>	<b>6,4</b>	<b>17,5</b>	
6. Мивал-Агро (о/п)	2014	11,0	6,6	17,6	
	2015	10,8	6,0	16,8	
	<b>Среднее</b>	<b>10,9</b>	<b>6,3</b>	<b>17,2</b>	
7. N40P40K40 (фон)	2014	10,8	6,5	17,3	
	2015	10,8	6,0	16,8	
	<b>Среднее</b>	<b>10,8</b>	<b>6,3</b>	<b>17,1</b>	
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	2014	11,5	6,9	18,4	
	2015	11,5	6,4	17,9	
	<b>Среднее</b>	<b>11,5</b>	<b>6,7</b>	<b>18,2</b>	
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	2014	11,6	7,0	18,6	
	2015	11,5	6,4	17,9	
	<b>Среднее</b>	<b>11,6</b>	<b>6,7</b>	<b>18,3</b>	
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	11,9	7,2	19,1	
	2015	12,3	6,9	19,2	
	<b>Среднее</b>	<b>12,1</b>	<b>7,1</b>	<b>19,2</b>	
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2014	11,4	7,0	18,4	
	2015	11,1	6,3	17,4	
	<b>Среднее</b>	<b>11,3</b>	<b>6,7</b>	<b>17,9</b>	
12. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/п)	2014	11,0	6,8	17,8	
	2015	11,2	6,4	17,6	
	<b>Среднее</b>	<b>11,1</b>	<b>6,6</b>	<b>17,7</b>	
НСР <sub>05</sub>	2014	Фактор А	0,6	0,3	-
		Фактор В	0,4	0,2	-
	2015	Фактор А	0,5	0,4	-
		Фактор В	0,3	0,2	-

## Агрохимические показатели почвы перед посевом ячменя (2012 – 2013 гг.)

Вариант	Годы исследований	Мг/кг		Гумус, %	
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
1. Без удобрения (контроль)	2012	180	141	4,3	
	2013	186	146	4,2	
	<b>Среднее</b>	183	144	4,3	
2. СЗР	2012	188	149	4,4	
	2013	190	153	4,3	
	<b>Среднее</b>	189	151	4,3	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	185	154	4,5	
	2013	193	159	4,5	
	<b>Среднее</b>	189	157	4,5	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	190	148	4,5	
	2013	197	154	4,5	
	<b>Среднее</b>	194	151	4,5	
5. Мивал-Агро	2012	183	152	4,6	
	2013	202	157	4,5	
	<b>Среднее</b>	193	155	4,6	
6. N40P40K40 (фон)	2012	195	153	4,5	
	2013	204	156	4,5	
	<b>Среднее</b>	200	155	4,5	
7. N40P40K40 + СЗР	2012	198	149	4,4	
	2013	207	155	4,5	
	<b>Среднее</b>	203	152	4,5	
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	180	156	4,5	
	2013	191	160	4,5	
	<b>Среднее</b>	186	158	4,5	
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	197	150	4,5	
	2013	195	158	4,5	
	<b>Среднее</b>	196	154	4,5	
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2012	194	160	4,6	
	2013	199	162	4,5	
	<b>Среднее</b>	197	161	4,5	
НСР <sub>05</sub>	2012	Фактор А	5	9	0,2
		Фактор В	6	5	0,3
	2013	Фактор А	8	8	0,2
		Фактор В	5	6	0,3



## Агрохимические показатели почвы в фазу колошения ячменя (2012 – 2013 гг.)

Вариант	Годы исследований	Мг/кг		Гумус, %	
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
1. Без удобрения (контроль)	2012	178	142	4,3	
	2013	182	145	4,2	
	<b>Среднее</b>	180	144	4,3	
2. СЗР	2012	179	150	4,4	
	2013	179	152	4,3	
	<b>Среднее</b>	179	151	4,4	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	179	157	4,5	
	2013	191	162	4,5	
	<b>Среднее</b>	185	160	4,5	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	189	149	4,5	
	2013	198	155	4,4	
	<b>Среднее</b>	194	152	4,4	
5. Мивал–Агро	2012	185	154	4,5	
	2013	204	158	4,5	
	<b>Среднее</b>	194	156	4,5	
6. N40P40K40 (фон)	2012	194	151	4,5	
	2013	202	156	4,6	
	<b>Среднее</b>	198	154	4,6	
7. N40P40K40 + СЗР	2012	191	148	4,4	
	2013	197	151	4,5	
	<b>Среднее</b>	194	150	4,5	
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	184	152	4,5	
	2013	195	158	4,6	
	<b>Среднее</b>	190	155	4,6	
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	198	149	4,4	
	2013	196	159	4,5	
	<b>Среднее</b>	197	154	4,5	
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2012	192	158	4,5	
	2013	202	162	4,5	
	<b>Среднее</b>	197	160	4,5	
НСР <sub>05</sub>	2012	Фактор А	8	8	0,3
		Фактор В	5	6	0,4
	2013	Фактор А	7	7	0,3
		Фактор В	4	5	0,4

## Агрохимические показатели почвы перед уборкой ячменя (2012 – 2013 гг.)

Вариант	Годы исследований	Мг/кг		Гумус, %	
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
1. Без удобрения (контроль)	2012	177	142	4,2	
	2013	179	145	4,2	
	<b>Среднее</b>	178	144	4,2	
2. СЗР	2012	170	149	4,3	
	2013	171	151	4,3	
	<b>Среднее</b>	171	150	4,3	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	173	160	4,5	
	2013	189	164	4,5	
	<b>Среднее</b>	181	162	4,5	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	190	149	4,4	
	2013	199	154	4,4	
	<b>Среднее</b>	195	152	4,4	
5. Мивал-Агро	2012	187	155	4,5	
	2013	208	160	4,5	
	<b>Среднее</b>	198	158	4,5	
6. N40P40K40 (фон)	2012	194	150	4,6	
	2013	201	154	4,7	
	<b>Среднее</b>	198	152	4,7	
7. N40P40K40 + СЗР	2012	185	148	4,3	
	2013	191	153	4,5	
	<b>Среднее</b>	188	151	4,4	
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	187	149	4,5	
	2013	199	154	4,6	
	<b>Среднее</b>	193	152	4,6	
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	198	150	4,4	
	2013	197	160	4,6	
	<b>Среднее</b>	198	155	4,5	
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2012	199	157	4,5	
	2013	206	163	4,6	
	<b>Среднее</b>	203	160	4,6	
НСР <sub>05</sub>	2012	Фактор А	8	9	0,3
		Фактор В	5	6	0,3
	2013	Фактор А	9	7	0,2
		Фактор В	5	5	0,2

Агрохимические показатели почвы перед посевом яровой пшеницы  
(2014 – 2015 гг.)

Вариант	Годы исследований	Мг/кг		Гумус, %	
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
1. Без удобрения (контроль)	2014	142	138	4,5	
	2015	140	141	4,4	
	<b>Среднее</b>	141	140	4,5	
2. ЭкSi (о/с)	2014	150	146	4,6	
	2015	153	155	4,6	
	<b>Среднее</b>	152	151	4,6	
3. ЭкSi (о/п)	2014	153	142	4,5	
	2015	155	154	4,4	
	<b>Среднее</b>	154	148	4,5	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	157	149	4,7	
	2015	164	157	4,6	
	<b>Среднее</b>	161	153	4,7	
5. Мивал-Агро (о/с)	2014	153	146	4,5	
	2015	154	155	4,5	
	<b>Среднее</b>	154	151	4,5	
6. Мивал-Агро (о/п)	2014	149	138	4,6	
	2015	149	145	4,6	
	<b>Среднее</b>	149	142	4,6	
7. N40P40K40 (фон)	2014	155	150	4,5	
	2015	155	153	4,5	
	<b>Среднее</b>	155	152	4,5	
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	2014	168	155	4,5	
	2015	164	156	4,4	
	<b>Среднее</b>	166	156	4,5	
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	2014	163	151	4,6	
	2015	163	157	4,5	
	<b>Среднее</b>	163	154	4,6	
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	171	162	4,5	
	2015	167	168	4,4	
	<b>Среднее</b>	169	165	4,5	
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2014	166	156	4,5	
	2015	162	153	4,4	
	<b>Среднее</b>	164	155	4,5	
12. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/п)	2014	155	158	4,6	
	2015	155	154	4,5	
	<b>Среднее</b>	155	156	4,6	
НСР <sub>05</sub>	2014	Фактор А	8	9	0,2
		Фактор В	5	7	0,2
	2015	Фактор А	9	10	0,2
		Фактор В	6	7	0,3

Агрохимические показатели почвы в фазу колошения яровой пшеницы  
(2014 – 2015 гг.)

Вариант	Годы исследований	Мг/кг		Гумус, %	
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
1. Без удобрения (контроль)	2014	140	136	4,4	
	2015	138	137	4,4	
	<b>Среднее</b>	139	137	4,4	
2. ЭкSi (о/с)	2014	150	148	4,6	
	2015	153	156	4,6	
	<b>Среднее</b>	152	152	4,6	
3. ЭкSi (о/п)	2014	154	143	4,5	
	2015	156	155	4,4	
	<b>Среднее</b>	155	149	4,5	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	160	152	4,7	
	2015	168	160	4,6	
	<b>Среднее</b>	164	156	4,7	
5. Мивал-Агро (о/с)	2014	154	147	4,6	
	2015	154	156	4,5	
	<b>Среднее</b>	154	152	4,6	
6. Мивал-Агро (о/п)	2014	149	140	4,6	
	2015	151	146	4,5	
	<b>Среднее</b>	150	143	4,6	
7. N40P40K40 (фон)	2014	153	148	4,5	
	2015	153	151	4,5	
	<b>Среднее</b>	153	150	4,5	
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	2014	170	160	4,6	
	2015	165	158	4,5	
	<b>Среднее</b>	168	159	4,6	
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	2014	170	154	4,6	
	2015	164	159	4,5	
	<b>Среднее</b>	167	157	4,6	
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	174	172	4,5	
	2015	163	164	4,4	
	<b>Среднее</b>	169	168	4,5	
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2014	167	159	4,5	
	2015	156	156	4,4	
	<b>Среднее</b>	162	158	4,5	
12. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/п)	2014	140	160	4,5	
	2015	157	155	4,6	
	<b>Среднее</b>	149	158	4,6	
HCP <sub>05</sub>	2014	Фактор А	10	8	0,3
		Фактор В	6	5	0,2
	2015	Фактор А	8	9	0,3
		Фактор В	4	7	0,3

Агрохимические показатели почвы перед уборкой  
яровой пшеницы (2014 – 2015 гг.)

Вариант	Годы исследований	Мг/кг		Гумус, %	
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
1. Без удобрения (контроль)	2014	138	132	4,4	
	2015	135	134	4,4	
	<b>Среднее</b>	137	133	4,4	
2. ЭкSi (о/с)	2014	151	150	4,6	
	2015	153	158	4,6	
	<b>Среднее</b>	152	154	4,6	
3. ЭкSi (о/п)	2014	156	144	4,4	
	2015	156	154	4,5	
	<b>Среднее</b>	156	149	4,5	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	163	156	4,6	
	2015	171	163	4,6	
	<b>Среднее</b>	167	160	4,6	
5. Мивал-Агро (о/с)	2014	155	149	4,6	
	2015	155	156	4,6	
	<b>Среднее</b>	150	153	4,6	
6. Мивал-Агро (о/п)	2014	150	141	4,5	
	2015	152	146	4,5	
	<b>Среднее</b>	151	144	4,5	
7. N40P40K40 (фон)	2014	152	147	4,6	
	2015	150	149	4,5	
	<b>Среднее</b>	151	148	4,6	
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	2014	171	163	4,5	
	2015	167	160	4,6	
	<b>Среднее</b>	169	162	4,6	
9. N40P40K40 + ЭкSi (о/п)	2014	164	157	4,6	
	2015	164	159	4,6	
	<b>Среднее</b>	164	158	4,6	
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	177	172	4,5	
	2015	172	165	4,5	
	<b>Среднее</b>	175	169	4,5	
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2014	168	162	4,5	
	2015	165	158	4,6	
	<b>Среднее</b>	167	160	4,6	
12. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/п)	2014	157	162	4,6	
	2015	157	157	4,5	
	<b>Среднее</b>	157	160	4,6	
НСР <sub>05</sub>	2014	Фактор А	7	8	0,3
		Фактор В	4	4	0,4
	2015	Фактор А	9	8	0,4
		Фактор В	5	6	0,3

Влияние кремнийсодержащих материалов и минеральных удобрений на  
содержание питательных элементов в продукции ячменя, мг/кг  
(2012 – 2013 гг.)

Вариант	Годы	Содержание NPK, % на сух. вещество						
		В зерне			В соломе			
		N	P	K	N	P	K	
1	2	3	4	5	6	7		
1. Без удобрения (контроль)	2012	1,94	0,92	0,54	0,48	0,30	0,95	
	2013	2,04	0,97	0,58	0,53	0,32	0,93	
	<b>Среднее</b>	<b>1,99</b>	<b>0,95</b>	<b>0,56</b>	<b>0,51</b>	<b>0,31</b>	<b>0,94</b>	
2. СЗР	2012	2,00	0,95	0,56	0,49	0,31	0,95	
	2013	2,10	0,99	0,6	0,54	0,34	0,93	
	<b>Среднее</b>	<b>2,05</b>	<b>0,97</b>	<b>0,58</b>	<b>0,52</b>	<b>0,33</b>	<b>0,94</b>	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	1,99	0,95	0,58	0,49	0,30	0,97	
	2013	2,11	0,98	0,64	0,54	0,32	0,94	
	<b>Среднее</b>	<b>2,05</b>	<b>0,97</b>	<b>0,61</b>	<b>0,52</b>	<b>0,31</b>	<b>0,96</b>	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	1,88	0,95	0,58	0,46	0,30	0,98	
	2013	2,04	1,01	0,65	0,51	0,33	0,95	
	<b>Среднее</b>	<b>1,96</b>	<b>0,98</b>	<b>0,62</b>	<b>0,49</b>	<b>0,32</b>	<b>0,97</b>	
5. Мивал-Агро	2012	2,14	0,99	0,60	0,53	0,31	1,01	
	2013	2,21	1,03	0,65	0,57	0,35	0,98	
	<b>Среднее</b>	<b>2,18</b>	<b>1,01</b>	<b>0,63</b>	<b>0,55</b>	<b>0,33</b>	<b>1,00</b>	
6. N40P40K40 (фон)	2012	2,16	1,00	0,62	0,53	0,31	1,05	
	2013	2,23	1,05	0,68	0,56	0,35	1,01	
	<b>Среднее</b>	<b>2,20</b>	<b>1,03</b>	<b>0,65</b>	<b>0,55</b>	<b>0,33</b>	<b>1,03</b>	
7. N40P40K40 + СЗР	2012	2,23	1,04	0,62	0,55	0,34	1,04	
	2013	2,28	1,08	0,71	0,58	0,36	1	
	<b>Среднее</b>	<b>2,26</b>	<b>1,06</b>	<b>0,67</b>	<b>0,57</b>	<b>0,35</b>	<b>1,02</b>	
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	2,09	1,08	0,66	0,52	0,34	1,08	
	2013	2,19	1,09	0,73	0,55	0,38	1,03	
	<b>Среднее</b>	<b>2,14</b>	<b>1,09</b>	<b>0,70</b>	<b>0,54</b>	<b>0,36</b>	<b>1,06</b>	
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	2,15	1,11	0,65	0,6	0,35	1,07	
	2013	2,24	1,12	0,72	0,63	0,40	1,02	
	<b>Среднее</b>	<b>2,20</b>	<b>1,12</b>	<b>0,69</b>	<b>0,62</b>	<b>0,38</b>	<b>1,05</b>	
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2012	2,42	1,12	0,63	0,6	0,36	1,11	
	2013	2,45	1,14	0,75	0,64	0,41	1,01	
	<b>Среднее</b>	<b>2,44</b>	<b>1,13</b>	<b>0,69</b>	<b>0,62</b>	<b>0,39</b>	<b>1,06</b>	
НСР05	2012	Фактор А	0,09	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03
		Фактор В	0,06	0,02	0,02	0,03	0,03	0,07
	2013	Фактор А	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
		Фактор В	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04	0,05

Влияние кремнийсодержащих материалов и минеральных удобрений на содержание тяжелых металлов в зерне ячменя, мг/кг (2012 – 2013 гг.)

Вариант	Годы	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	
1. Без удобрения (контроль)	2012	22,5	3,85	0,95	0,12	1,20	
	2013	21,5	5,15	1,18	0,20	1,29	
	<b>Среднее</b>	<b>22,0</b>	<b>4,5</b>	<b>1,07</b>	<b>0,160</b>	<b>1,25</b>	
2. СЗР	2012	16,0	3,2	0,85	0,10	1,10	
	2013	18,3	4,37	1,13	0,17	1,2	
	<b>Среднее</b>	<b>17,2</b>	<b>3,8</b>	<b>0,99</b>	<b>0,135</b>	<b>1,15</b>	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	14,0	3,2	0,50	0,08	0,80	
	2013	16,1	4,28	0,79	0,14	0,95	
	<b>Среднее</b>	<b>15,1</b>	<b>3,7</b>	<b>0,65</b>	<b>0,110</b>	<b>0,88</b>	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	17,0	3,7	0,60	0,09	1,10	
	2013	19,3	5,04	0,84	0,15	1,21	
	<b>Среднее</b>	<b>18,2</b>	<b>4,4</b>	<b>0,72</b>	<b>0,120</b>	<b>1,16</b>	
5. Мивал-Агро	2012	14,5	3,6	0,90	0,12	1,20	
	2013	16,7	4,68	1,12	0,17	1,3	
	<b>Среднее</b>	<b>15,6</b>	<b>4,1</b>	<b>1,01</b>	<b>0,145</b>	<b>1,25</b>	
6. N40P40K40 (фон)	2012	14,5	3,7	0,90	0,14	1,00	
	2013	16,4	4,90	1,10	0,19	1,11	
	<b>Среднее</b>	<b>15,5</b>	<b>4,3</b>	<b>1,00</b>	<b>0,165</b>	<b>1,06</b>	
7. N40P40K40 + СЗР	2012	14,4	3,5	0,90	0,16	0,90	
	2013	16,2	4,79	1,11	0,20	1,02	
	<b>Среднее</b>	<b>15,3</b>	<b>4,1</b>	<b>1,01</b>	<b>0,180</b>	<b>0,96</b>	
8. N40P40K40 + диатомит 40 кг/га (в рядки)	2012	16,0	3,6	1,00	0,16	1,00	
	2013	17,9	4,81	1,23	0,19	1,11	
	<b>Среднее</b>	<b>17,0</b>	<b>4,2</b>	<b>1,12</b>	<b>0,175</b>	<b>1,06</b>	
9. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2012	16,5	3,7	0,95	0,13	1,00	
	2013	18,3	4,92	1,19	0,16	1,13	
	<b>Среднее</b>	<b>17,4</b>	<b>4,3</b>	<b>1,07</b>	<b>0,145</b>	<b>1,07</b>	
10. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2012	15,0	3,8	0,85	0,18	1,20	
	2013	16,9	4,90	1,03	0,17	1,2	
	<b>Среднее</b>	<b>16,0</b>	<b>4,4</b>	<b>0,94</b>	<b>0,175</b>	<b>1,20</b>	
ВДМУ в зерне		50,0	30,0	5,0	0,3	1,0	
НСР <sub>05</sub>	2012	Фактор А	1,31	0,12	0,10	0,02	0,08
		Фактор В	0,83	0,07	0,06	0,01	0,05
	2013	Фактор А	1,32	0,14	0,12	0,03	0,09
		Фактор В	0,85	0,09	0,08	0,01	0,06





Влияние кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения на содержание белка и сырой клейковины в основной продукции яровой пшеницы, % (2014 – 2015 гг.)

Вариант	Годы	Белок	Клейковина	
1	2	3	4	
1. Без удобрения (контроль)	2014	13,3	26,4	
	2015	13,5	21,4	
	<b>Среднее</b>	<b>13,4</b>	<b>23,9</b>	
2. ЭкSi (о/с)	2014	13,6	28,9	
	2015	14,2	29,3	
	<b>Среднее</b>	<b>13,9</b>	<b>29,1</b>	
3. ЭкSi (о/п)	2014	13,6	29,5	
	2015	13,8	26,5	
	<b>Среднее</b>	<b>13,7</b>	<b>28,0</b>	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	13,5	30,0	
	2015	13,6	29,7	
	<b>Среднее</b>	<b>13,6</b>	<b>29,9</b>	
5. Мивал-Агро (о/с)	2014	14,1	30,6	
	2015	14,3	29,6	
	<b>Среднее</b>	<b>14,2</b>	<b>30,1</b>	
6. Мивал-Агро (о/п)	2014	13,6	27,1	
	2015	13,7	25,4	
	<b>Среднее</b>	<b>13,7</b>	<b>26,3</b>	
7. N40P40K40 (фон)	2014	13,5	31,0	
	2015	13,9	30,8	
	<b>Среднее</b>	<b>13,7</b>	<b>30,9</b>	
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	2014	14,4	29,4	
	2015	14,6	31,4	
	<b>Среднее</b>	<b>14,5</b>	<b>30,4</b>	
9. N40P40K40+ ЭкSi (о/п)	2014	13,5	32,1	
	2015	13,9	29,6	
	<b>Среднее</b>	<b>13,7</b>	<b>30,9</b>	
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	14,4	30,0	
	2015	14,6	30,5	
	<b>Среднее</b>	<b>14,5</b>	<b>30,3</b>	
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2014	14,6	30,4	
	2015	14,7	29,5	
	<b>Среднее</b>	<b>14,7</b>	<b>30,0</b>	
12. N40P40K40+ Мивал-Агро (о/п)	2014	13,9	28,4	
	2015	14,0	27,1	
	<b>Среднее</b>	<b>14,0</b>	<b>27,8</b>	
НСР <sub>05</sub>	2014	Фактор А	0,5	1,0
		Фактор В	0,3	0,6
	2015	Фактор А	0,4	0,8
		Фактор В	0,2	0,5

Влияние кремнийсодержащих материалов и минерального удобрения на  
содержание тяжелых металлов в зерне яровой пшеницы, мг/кг

(2014 – 2015гг.)

Вариант	Годы	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	
1	2	3	4	5	6	7	
1. Без удобрения (контроль)	2014	33,4	3,65	0,41	0,067	1,25	
	2015	30,9	3,43	0,35	0,056	1,13	
	<b>Среднее</b>	<b>32,2</b>	<b>3,5</b>	<b>0,38</b>	<b>0,062</b>	<b>1,19</b>	
2. ЭкSi (о/с)	2014	30,1	3,46	0,36	0,053	1,14	
	2015	27,7	3,24	0,32	0,041	1,05	
	<b>Среднее</b>	<b>28,9</b>	<b>3,4</b>	<b>0,34</b>	<b>0,047</b>	<b>1,10</b>	
3. ЭкSi (о/п)	2014	30,9	3,52	0,42	0,054	1,17	
	2015	28,5	3,28	0,35	0,046	1,03	
	<b>Среднее</b>	<b>29,7</b>	<b>3,4</b>	<b>0,39</b>	<b>0,050</b>	<b>1,10</b>	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	31,7	3,56	0,34	0,059	1,15	
	2015	29,5	3,30	0,29	0,047	1,05	
	<b>Среднее</b>	<b>30,6</b>	<b>3,4</b>	<b>0,32</b>	<b>0,053</b>	<b>1,10</b>	
5. Мивал-Агро (о/с)	2014	30,5	3,54	0,42	0,054	1,19	
	2015	27,6	3,32	0,38	0,043	1,07	
	<b>Среднее</b>	<b>29,1</b>	<b>3,4</b>	<b>0,40</b>	<b>0,049</b>	<b>1,13</b>	
6. Мивал-Агро (о/п)	2014	31,2	3,58	0,33	0,063	1,22	
	2015	28,2	3,35	0,27	0,052	1,05	
	<b>Среднее</b>	<b>29,7</b>	<b>3,5</b>	<b>0,30</b>	<b>0,058</b>	<b>1,14</b>	
7. N40P40K40 (фон)	2014	32,0	3,61	0,44	0,072	1,02	
	2015	29,6	3,37	0,43	0,060	0,93	
	<b>Среднее</b>	<b>30,8</b>	<b>3,5</b>	<b>0,44</b>	<b>0,066</b>	<b>0,98</b>	
8. N40P40K40 + ЭкSi (о/с)	2014	28,6	3,46	0,35	0,060	0,99	
	2015	26,4	3,28	0,29	0,053	0,96	
	<b>Среднее</b>	<b>27,5</b>	<b>3,4</b>	<b>0,32</b>	<b>0,057</b>	<b>0,98</b>	
9. N40P40K40+ ЭкSi (о/п)	2014	29,7	3,49	0,39	0,058	0,96	
	2015	27,5	3,27	0,29	0,049	0,86	
	<b>Среднее</b>	<b>28,6</b>	<b>3,4</b>	<b>0,34</b>	<b>0,054</b>	<b>0,91</b>	
10. N40P40K40 + диатомит 30 кг/т (о/с)	2014	27,1	3,23	0,33	0,045	0,88	
	2015	27,1	3,23	0,33	0,045	0,88	
	<b>Среднее</b>	<b>28,2</b>	<b>3,3</b>	<b>0,35</b>	<b>0,050</b>	<b>0,90</b>	
11. N40P40K40 + Мивал-Агро (о/с)	2014	29,5	3,52	0,36	0,059	1,03	
	2015	27,0	3,28	0,33	0,048	0,94	
	<b>Среднее</b>	<b>28,3</b>	<b>3,4</b>	<b>0,35</b>	<b>0,054</b>	<b>0,99</b>	
12. N40P40K40+ Мивал-Агро (о/п)	2014	30,1	3,55	0,37	0,063	1,08	
	2015	27,6	3,25	0,32	0,043	0,89	
	<b>Среднее</b>	<b>28,9</b>	<b>3,4</b>	<b>0,35</b>	<b>0,053</b>	<b>0,99</b>	
ПДК		50	30	0,5	0,1	5,0	
НСР05	2014	Фактор А	1,52	0,16	0,08	0,03	0,14
		Фактор В	1,12	0,11	0,05	0,02	0,10
	2015	Фактор А	1,45	0,13	0,06	0,04	0,13
		Фактор В	1,02	0,09	0,05	0,03	0,09