

## ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА ПОЧВЫ, СОСТОЯНИЕ ПОСЕВОВ И УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

© 2019 г. А. Х. Куликова<sup>1,\*</sup>, А. В. Козлов<sup>2,\*\*</sup>, В. С. Смывалов<sup>3,\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина  
432017 Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1, Россия

<sup>2</sup> Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина  
603950 Нижний Новгород, ул. Ульянова, 1, Россия

<sup>3</sup> Станция агрохимической службы “Ульяновская”  
432025 Ульяновск, ул. Маяковского, 35, Россия

\*E-mail: [agroec@yandex.ru](mailto:agroec@yandex.ru)

\*\*E-mail: [a\\_v\\_kozlov@mail.ru](mailto:a_v_kozlov@mail.ru)

\*\*\*E-mail: [smyvalov@mail.ru](mailto:smyvalov@mail.ru)

Поступила в редакцию 24.07.2018 г.

После доработки 10.08.2018 г.

Принята к публикации 12.01.2019 г.

Установлено, что кремнийсодержащие материалы способствовали повышению биологической активности почв и улучшению обеспеченности растений элементами питания, проявляли защитные свойства в отношении агрофитоценоза. Применение их как в чистом виде, так и совместно со средними дозами минеральных удобрений (N40P40K40) положительно влияло на урожайность зерновых культур. При этом урожайность ярового ячменя и яровой пшеницы на черноземе выщелоченном повышалась на 0.13–0.76 и 0.13–0.57 т/га соответственно, озимой пшеницы на дерново-подзолистой почве – на 0.29–0.78 т/га с улучшением качества продукции.

*Ключевые слова:* кремнийсодержащие материалы, свойства почвы, состояние посевов, урожайность, зерновые культуры, Среднее Поволжье.

DOI: 10.1134/S0002188119040082

### ВВЕДЕНИЕ

О положительной роли кремния в системе почва–растение свидетельствуют многочисленные исследования российских и зарубежных ученых, проводимые в течение более 2-х веков [1–6]. Несмотря на это, кремниевые удобрения до настоящего времени остаются нетрадиционными и их в нашей стране не производят, а в их качестве активно предлагают природные кремнийсодержащие породы (диатомиты, трепелы, опоки, цеолиты и др.) с высоким содержанием доступного кремния, эффективность которых значительно изучена и доказана [7–10]. Однако есть и другая группа материалов – кремниевые ростстимулирующие препараты, в которых элемент представлен в различных видах и формах. Особенностью таких препаратов является то, что кремний в них может находиться не только в виде неорганического соединения, который усваивают растения как питательный элемент, но также и органиче-

ских веществ – силатранов. Последние выступают в роли доноров непосредственно кремния в доступной форме. Кроме того, они являются веществами, проявляющими свой стимулирующий эффект в отношении роста и развития растений на биохимическом и физиологическом уровнях [11–14].

Учитывая, что применение природных высококремнистых пород в достаточно больших дозах в связи с высокими расходами на их транспортировку и внесение 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 для предпосевной обработки семян и обработки посевов. Цель работы – исследование влияния кремнийсодержащих материалов на свойства почвы, состояние

посевов и урожайность зерновых культур в условиях Среднего Поволжья.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на базе опытных полей Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина и Нижегородского ГПУ им. К. Минина в 2-х мелкоделных и одном микрополевым опытах.

Опыт 1. Схема опыта по изучению эффективности кремнийсодержащих материалов в системе удобрения ячменя включала 10 вариантов: 1 – без удобрений (контроль), 2 – средство защиты растений (СЗР) беномил 500, 3 – диатомит (в рядки), 4 – диатомит (обработка семян – о/с), 5 – препарат мивал-Агро (о/с), 6 – N40P40K40 (фон), 7 – фон + СЗР, 8 – фон + диатомит (в рядки), 9 – фон + диатомит (о/с), 10 – фон + мивал-Агро (о/с). Исследование проводили в 2011–2013 гг.

Опыт 2. Схема опыта с яровой пшеницей 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 – фон + ЭкSi (о/с), 9 – фон + ЭкSi (о/п), 10 – фон + диатомит (о/с), 11 – фон + мивал-Агро (о/с), 12 – фон + мивал-Агро (о/п). Исследование проводили в 2014–2016 гг.

В качестве минерального удобрения использовали НАФК (17:17:17) в дозе N40P40K40. Препарат мивал-Агро применяли для обработки посевного материала и вегетирующих растений. Для изучения защитных свойств кремнийсодержащих материалов в схему полевого опыта с ячменем включили варианты с протравливанием семян средством защиты растений (СЗР) препаратом беномил 500.

В 2014 г. схему опыта с яровой пшеницей дополнили вариантами с обработкой семян и растительным препаратом нового поколения на основе активного кремния – ЭкSi-универсал (компания “Эккор”). По своему химическому составу препарат представляет собой раствор концентрированной монокремниевой кислоты.

Во все годы исследования предшественником экспериментальных культур была озимая пшеница, размещаемая после чистого пара. Посевная площадь делянок 40 м<sup>2</sup> (4 × 10), учетная – 18 м<sup>2</sup> (1.8 × 10). Повторность опыта четырехкратная, размещение делянок рендомизированное. Уборку урожая проводили с площади всей делянки комбайном “Terrion Sampo SR2010”.

Химические средства защиты растений (кроме вариантов с СЗР) в опыте не применяли. Техно-

логия возделывания культур основывалась на общепринятой в регионе.

Почва опытного поля – чернозем выщелоченный среднемощный среднесуглинистый со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 4.3–4.5% (средняя обеспеченность), подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – 142–180 и 138–141 мг/кг соответственно (высокая обеспеченность), рН<sub>KCl</sub> 5.2–5.4, содержание актуального кремния – 35–38 мг/кг (низкий уровень дефицита по Матыченкову).

Опыт 3. В микрополевым опыте изучали влияние кремнийсодержащих препаратов на агрохимические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и урожайность озимой пшеницы. Схема опыта включала 5 вариантов: 1 – контроль, 2 – препарат крезацин, 3 – препарат силиплант, 4 – препарат энергия–М, 5 – препарат мивал-Агро.

Почва опытного поля – дерново-подзолистая легкосуглинистая с содержанием гумуса 1.2%, рН<sub>KCl</sub> 4.8, содержанием подвижных соединений фосфора и калия – 86 и 110 мг/кг (по Кирсанову, обеспеченность ими почвы средняя), содержание актуального кремния – 16 мг/кг (средний уровень дефицита по Матыченкову). Уборку урожая проводили вручную. Площадь делянок – 1 м<sup>2</sup>, расположение – рендомизированное, повторность четырехкратная. Аналитическая повторность почвенных образцов трехкратная. Исследования проводили в 2014–2015 гг.

Дозы и способы применения препаратов составляли: в опытах 1 и 2 обработка семян диатомитом 30 кг/т семян (для удерживания частиц породы на поверхности семян использовали прилипатель Na-КМЦ), при внесении в рядки при посеве – 40 кг/га; препарат мивал-Агро применяли для обработки посевного материала и вегетирующих растений с расходом 5 г/т и 10 г/га соответственно; предпосевная обработка семян и опрыскивание посевов препаратом ЭкSi проводили с нормой расхода 1 л/т и 3 л/га соответственно. В опыте 3 семена озимой пшеницы обрабатывали препаратом энергия–М с нормой 5 г/т, посева – 10 г/га; препарат мивал-Агро – 5 г/т и 10 г/га; препарат силиплант – 60 мл/т и 3 л/га; препарат крезацин – 0.5 г/т и 6 г/га соответственно. Обработку каждым препаратом проводили трехкратно: семена путем их замачивания в растворах препаратов, посева – в фазах кушения и цветения. Крезацин ввели в схему как препарат, не содержащий кремний.

Диатомит – очень легкая тонкозернистая кремнистая порода, в основном образовавшаяся

из мелких панцирей диатомовых водорослей с высоким содержанием кремния (до 80% и более  $\text{SiO}_2$ ), в том числе аморфного (>42%). Следует отметить присутствие калия и серы в отдельных месторождениях до 2% и более.

В силу особенностей кристалло-структурного строения и характера пористости диатомит обладает уникальными адсорбционными, каталитическими и обменными свойствами, что предполагает его активное действие на систему почва–растение.

Препарат мивал-Агро – кремнийорганический биостимулятор комплексного действия. Составляет из триэтаноламмониевой соли ортокрезоксиуксусной кислоты (760 г/кг) и хлорметилсилатрана (190 г/кг). Кроме кремнийсодержащего соединения мивал в состав препарата входит аналог фитогормонов из группы ауксинов – крезацин, являющийся фитоадаптогеном и фитоантиоксидантом.

Действие данного препарата направлено на стимулирование синтеза белка и нуклеиновых кислот в клетках растений. Он способствует укреплению защитных свойств растений, повышает выносливость в экстремальных погодных условиях. Применение мивал–Агро активно способствует корнеобразованию, снижению поражаемости растений корневыми гнилями, в том числе инфекционной этиологии.

Препарат энергия-М – кремнеауксиновый регулятор роста растений. В состав препарата входит триэтаноламмониевая соль ортокрезоксиуксусной кислоты, являющаяся синтетическим фитогормоном (биогенным амином) и аналогом содержащихся в растениях фитогормонов, а также 1-хлорметилсилатран (силация) – представитель группы химических веществ силатранов, в которых кремний находится в биологически активной форме.

В отношении культурных растений данный препарат оказывает антиоксидантное действие, направленное на ингибирование перекисного окисления липидов в мембране клетки; адаптогенное действие, направленное на повышение устойчивости сельскохозяйственных культур к экстремальным условиям в течение вегетации (засуха, заморозки, резкая смена погодных условий, грибные и вирусные заболевания и т.п.).

Препарат силиплант – кремнийсодержащее жидкое удобрение. В состав препарата входят кремний и калий (13–21 мг/л), микроэлементы в легкодоступной для растений хелатной форме (г/л): Fe – 0.44–0.54, Mg – 0.12–0.13, Cu – 0.09–0.27, Zn – 0.74–0.87, Mn – 0.32–0.37, Mo – 0.06–

0.074, Co – 0.020–0.024, B – 0.094–0.112. Кремний, представленный ионной формой, в комплексе с микроэлементами, входящими в состав препарата, повышает морозо- и засухоустойчивость, активность фотосинтеза, способствует усиленному росту корневой системы и листового аппарата. Принимает активное участие в нуклеиновом, белковом и углеводном обменах, в том числе транспорте белков и углеводов.

Препарат крезацин (три(2-гидроксиэтил) аммоний *o*-толилоксиацетат) – регулятор роста, в физиологическом смысле является адаптогеном широкого спектра действия растений и животных. Повышает устойчивость организма к длительному воздействию неблагоприятных факторов, в том числе к болезням, способствует усилению биосинтеза белков и нуклеиновых кислот и т.п.

Препарат ЭкSi-универсал (“Эккор”) – кремниевый препарат нового поколения на основе активного кремния. По своему химическому составу представляет собой раствор концентрированной монокремниевой кислоты. Помимо соединений кремния препарат содержит калий, натрий и гуматы. ЭкSi способствует повышению устойчивости к неблагоприятным условиям и различным стрессам биологического и абиотического характера.

Организацию полевых опытов, проведение наблюдений и лабораторных анализов осуществляли по общепринятым методикам и ГОСТам. Все анализы проводили в аккредитованной агрохимической лаборатории “САС ”Ульяновская” (№ RA.RU.510251) и испытательной лаборатории “Ульяновская ГСХА” (№ РОСС RU.0001.513748).

Результаты исследования подвергали статистической обработке следующими методами: дисперсионный анализ по двухфакторной схеме – 2 градации фактора А (без удобрений и фон NPK) и 5 (опыт 1), 6 (опыт 2) градаций фактора Б (кремнийсодержащие материалы), в опыте 3 – по однофакторной схеме и корреляционно-регрессионный анализ с использованием программного обеспечения MS Excel 2010, Statistica 6.1.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Биологическая активность почвы.* Биологическое состояние почв является одним из наиболее чувствительных и динамичных критериев оценки стабильности функционирования биоценозов в условиях антропогенного воздействия.

Для оценки микробиологического состояния почвы был использован широко применяемый весовой метод аппликаций с неотбеленным льня-

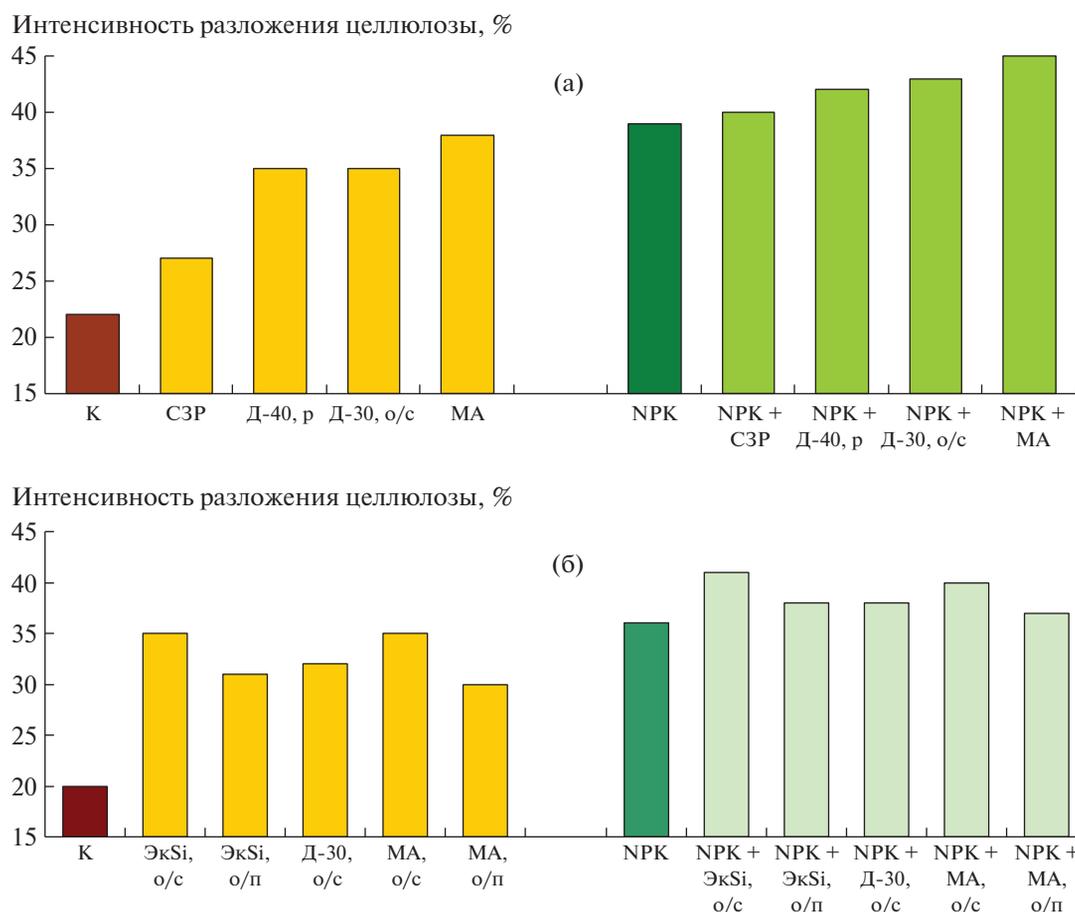


Рис. 1. Интенсивность разложения льняного полотна в пахотном слое чернозема выщелоченного под посевами: (а) – ярового ячменя (2012–2013 гг.), (б) – яровой пшеницы (2014–2015 гг.): о/с – обработка семян, о/п – обработка посева.

ным полотном, который позволил наблюдать за функционированием живого компонента почвы в пространстве и во времени непосредственно в полевых условиях [15, 16].

Применение диатомита, кремнийсодержащего препарата мивал-Агро, СЗР и минеральных удобрений оказало существенное влияние на активность целлюлозоразлагающей части почвенного микробного сообщества под посевами ярового ячменя и яровой пшеницы (рис. 1).

Несмотря на разные сложившиеся погодные условия, целлюлозоразлагающая активность почвы под посевами обеих культур находилась в среднем на уровне 20–22%. Использование кремнийсодержащих материалов повысило процессы деструкции льняного полотна на 13–16% при возделывании ярового ячменя и на 10–15% – яровой пшеницы. На удобренном фоне сохранилась тенденция их влияния на активность почвенных целлюлозоразлагающих микроорганизмов, усиливая ее: на фоне NPK она повышалась до 42–45% (под ячменем) и 37–41% (под яровой пшеницей). При

этом в технологии возделывания ячменя более эффективной была предпосевная обработка семян препаратом мивал-Агро, яровой пшеницы – препаратами ЭкSi и мивал-Агро. Влияние последних на биологическую активность чернозема типичного было равнозначным. Кремниевые соединения, попадая в почву, способствуют активизации деятельности почвенных микроорганизмов и развитию их биомассы, принимающих участие в минерализации целлюлозы и трансформации промежуточных продуктов разложения клетчатки [17].

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

*Агрохимические показатели.* В течение вегетационного периода всех годов исследования под посевами культур определяли агрохимические

**Таблица 1.** Динамика содержания минерального азота, доступных фосфора и калия в пахотном слое чернозема выщелоченного под посевами ячменя при использовании кремнийсодержащих материалов, мг/кг почвы

Вариант	Посев			Колошение			Перед уборкой			
	N-NO <sub>3</sub> + + N-NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub> + + N-NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub> + + N-NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
1. Без удобрений (контроль)	16.5	180	141	15.1	178	142	16.2	177	142	
2. СЗР (беномил 500)	16.2	188	149	14.9	179	150	15.9	170	149	
3. Диатомит 40 кг/га (в рядки)	16.7	185	154	15.7	179	157	16.8	173	160	
4. Диатомит 30 кг/т (о/с)	18.1	190	148	17.4	189	149	18.3	190	149	
5. Мивал-Агро (о/с)	17.1	183	152	16.6	185	154	17.6	187	155	
6. N40P40K40 (фон)	17.3	195	153	16.4	194	151	17.0	194	150	
7. Фон + СЗР	18.3	198	149	17.2	191	148	17.3	185	148	
8. Фон + диатомит 40 кг/га (в рядки)	18.4	180	156	17.8	184	152	18.3	187	149	
9. Фон + диатомит 30 кг/т (о/с)	18.0	197	150	17.9	198	149	18.5	198	150	
10. Фон + мивал-Агро (о/с)	17.9	194	160	17.8	192	158	18.2	199	157	
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	Фактор А	0.6–0.3	5	9	0.4–0.2	8	8	0.6–0.4	8	9
	Фактор Б	0.4–0.2	6	5	0.2–0.1	5	6	0.4–0.2	5	6

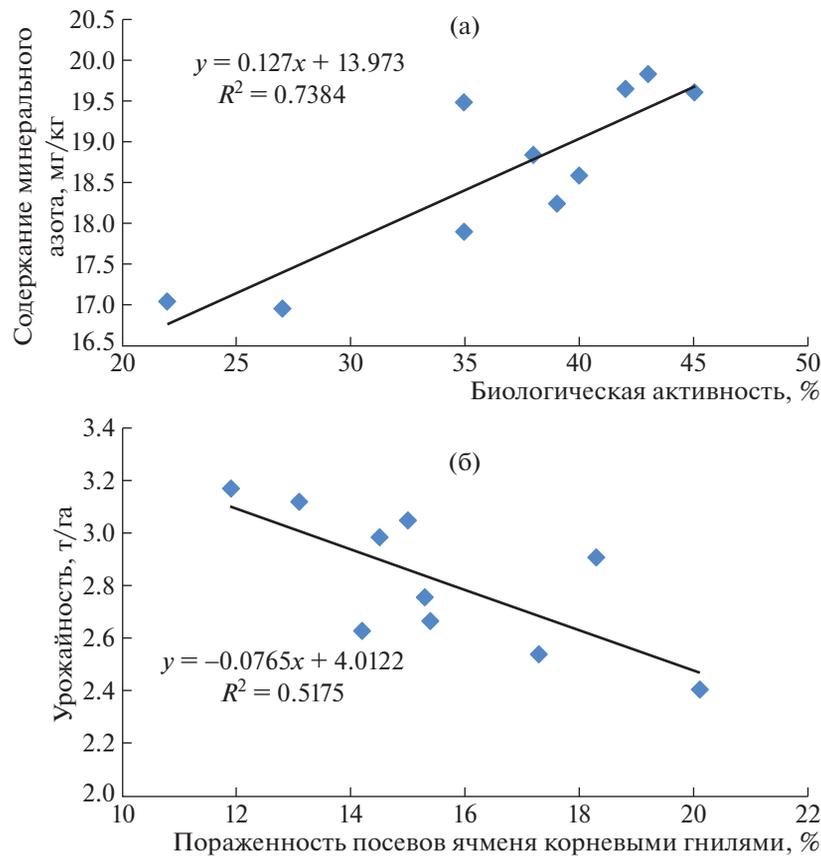
Примечания. 1. СЗР – средство защиты растений, о/с – обработка семян. 2. Градации фактора А: без NPK и с NPK, градации фактора Б – другие добавки. То же в табл. 3–5.

показатели почвы (содержание гумуса, подвижных соединений фосфора и калия, гидролитическую и обменную кислотность, содержание актуального и потенциального кремния). Отбор почвенных образцов осуществлялся в 3 срока (табл. 1).

При использовании кремнийсодержащих материалов отмечено улучшение всех агрохимических показателей почвы, или они оставались на прежнем уровне. При этом, несмотря на активное потребление элементов питания растениями для формирования урожайности культур, в среднем за вегетацию в пахотном слое поддерживался средний уровень содержания минерального азота (16–18 мг/кг почвы), высокий – подвижного фосфора (170–190 мг/кг почвы) и калия (148–160 мг/кг почвы). Более эффективными являлись варианты с предпосевной обработкой семян диатомитом (30 кг/т) и препаратом мивал-Агро (5 г/т). Последнее, по-видимому, было обусловлено тем, что препараты вместе с семенами поступали непосредственно в зоны развития корневой системы растений. Содержание гумуса, обменная и гидролитическая кислотность существенных изменений не претерпели.

Питательный режим почвы в значительной степени определялся биологической активностью почвы. На рис. 2а отображена зависимость между содержанием минерального азота и активностью целлюлолитической части почвенного микробиоценоза.

Аналогичную закономерность наблюдали при внесении кремнийсодержащих материалов в дерново-подзолистую почву (табл. 2). При анализе данных показано, что внесение в почву с семенами кремнийсодержащих препаратов приводило к изменениям в той или иной степени всех агрохимических показателей, тогда как при использовании некремниевого препарата крезацин достоверных различий (судя по величине *HCP*<sub>05</sub>) между данными вариантами и контролем не имелось. Последнее дает возможность предположить, что изменения в агрохимическом состоянии почвы были обусловлены прежде всего присутствием кремния в соответствующих препаратах в органической форме (за исключением препарата силиплант). При этом содержание актуального кремния в почве под озимой пшеницей увеличилось в 1.6–2.3 раза. Также закономерно снижалось количество потенциального кремния, что



**Рис. 2.** Зависимость: (а) – между целлюлозоразлагающей активностью почвы (x) и содержанием минерального азота в почве (y) (2012–2013 гг.), (б) – пораженностью посевов ячменя корневыми гнилями (x) и урожайностью ячменя (y).

свидетельствовало о переходе его в более доступную для растений форму.

Однако следует отметить, что с семенами в почву поступает очень малое количество кремния и объяснить влияние кремнийсодержащих препаратов на агрохимическое состояние почвы прямым действием кремния вряд ли возможно. По нашему мнению, влияние кремнийсодержащих препаратов как соединений, обладающих широким спектром биохимической и физиологи-

ческой активности, проявляется опосредованно, через повышение деятельности основных функциональных групп почвенных микроорганизмов (силикатных, фосфатредуцирующих и др.). В этом отношении наиболее эффективным был препарат мивал-Агро. Кремнийсодержащий препарат мивал-Агро способен увеличить общую численность микроорганизмов в ризосфере сельскохозяйственных культур, стимулировать деятельность олиготрофных, протеолитических и амило-

**Таблица 2.** Агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы под посевами озимой пшеницы

Вариант	pH <sub>KCl</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/кг	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Si, мг/кг	
			мг/кг		актуальный	потенциальный
1. Контроль	4.81	21.9	90	107	16	213
2. Крезацин	4.92	22.0	76	115	20	210
3. Силиплант	4.96	21.9	81	112	25	201
4. Энергия-М	4.90	18.3	83	100	31	194
5. Мивал-Агро	4.94	20.3	94	92	37	186
HCP <sub>05</sub>	0.13	3.2	8	10	14	16

**Таблица 3.** Пораженность посевов ячменя корневыми гнилями, %

Вариант	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Среднее
1. Без удобрений (контроль)	19.9	25.0	15.3	20.1
2. СЗР (беномил 500)	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 (о/с)	16.1	14.8	15.0	15.3
6. N40P40K40 (фон)	18.2	20.8	16.0	18.3
7. Фон + СЗР	13.6	17.8	12.0	14.5
8. Фон + диатомит 40 кг/га (в рядки)	16.8	16.9	11.3	15.0
9. Фон + диатомит 30 кг/т (о/с)	16.1	11.2	12.0	13.1
10. Фон + мивал-Агро (о/с)	15.5	10.0	10.3	11.9
HCP <sub>05</sub>	Фактор А	0.6	0.7	1.2
	Фактор Б	1.0	1.1	1.9

литических бактерий, подавлять развитие фитопатогенных актиномицетов и грибов [18].

Что касается других элементов ( $\text{NH}_4 + \text{NO}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), содержание их в отличие от чернозема выщелоченного к концу вегетации культур снижалось, что вполне объяснимо активным потреблением их растениями для формирования урожайности и относительно низкой обеспеченностью дерново-подзолистой почвы элементами питания. Тем не менее, в вариантах с использованием кремнийсодержащих препаратов и контролем различия были практически меньше показателей достоверности, что свидетельствовало о более благоприятных режимах питания растений в данных вариантах. Несомненно, указанные закономерности изменения агрохимических показателей под влиянием кремнийсодержащих препаратов сказались на формировании урожайности культур.

*Пораженность посевов ячменя корневыми гнилями.* Установлено, что основная роль кремния в жизни растений — защитная [5]. Роль элемента сравнивают с защитными функциями вторичных органических метаболитов [7]. При оптимальном кремниевом питании растения приобретают пассивный иммунитет к паразитам и неблагоприятным условиям среды.

Исследования показали несомненную защитную роль кремнийсодержащих материалов, которая была обусловлена присутствием активного кремния (табл. 3). При этом по влиянию на пораженность растений ячменя грибковыми заболеваниями диатомит при внесении как в чистом виде, так и предпосевной обработке семян в отдельные годы не уступал действию СЗР, более того, превосходил его в 2011 и 2013 гг. Использование

кремнийсодержащих препаратов защищало посевы ячменя и на фоне внесения минеральных удобрений. Аналогичная закономерность проявлялась при возделывании яровой пшеницы: пораженность ее посевов данными патогенами в среднем изменялась от 15.3 до 18.1% при отдельном использовании препаратов ЭкSi, мивал-Агро, диатомита и от 13.4 до 15.8% совместно с внесением полного минерального удобрения, тогда как в контроле она составила 19.8%.

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 при благоприятных условиях они могут терять функцию распознавания растения-хозяина. Кремнийцеллюлозный слой в эпидермальных тканях служит барьером для инфекций и насекомых-вредителей [19]. В настоящее время для защиты растений сельскохозяйственному производству предлагается ряд кремнийсодержащих соединений.

*Урожайность.* Урожайность ярового ячменя и яровой пшеницы представлена в табл. 4 и 5. Использование диатомита, препарата мивал-Агро в чистом виде способствовало повышению урожайности ячменя на 0.13–0.35 т/га (на 5–15%), в случае сочетания с внесением минерального удобрения — на 0.64–0.76 т/га (на 27–32%).

Опрыскивание вегетирующих растений яровой пшеницы кремниевыми препаратами (мивал-Агро, ЭкSi) увеличивало продуктивность культуры на 0.20–0.24 т/га (на 9–11%) при применении в чистом виде и на 0.37–0.40 т/га (на 17–19%)

**Таблица 4.** Урожайность зерна ячменя в зависимости от применения диатомита, кремнийсодержащего препарата мивал-Агро, СЗР и минерального удобрения

Вариант	Урожайность, т/га				Прибавка к контролю	
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	среднее	т/га	%
1. Без удобрений (контроль)	3.08	1.54	2.62	2.41	—	—
2. СЗР (беномил 500)	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 (о/с)	3.35	1.72	3.22	2.76	0.35	15
6. N40P40K40 (фон)	3.45	2.04	3.25	2.91	0.50	21
7. Фон + СЗР	3.51	2.10	3.37	2.99	0.58	24
8. Фон + диатомит 40 кг/га (в рядки)	3.55	2.18	3.41	3.05	0.64	27
9. Фон + диатомит 30 кг/т (о/с)	3.61	2.19	3.57	3.12	0.71	29
10. Фон + мивал-Агро (о/с)	3.66	2.24	3.60	3.17	0.76	32
HCP <sub>05</sub>	Фактор А	0.10	0.05	0.11		
	Фактор Б	0.12	0.07	0.18		

**Таблица 5.** Урожайность зерна яровой пшеницы в зависимости от применения кремнийсодержащих препаратов, диатомита и минерального удобрения

Вариант	Урожайность, т/га				Прибавка к контролю	
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	средняя	т/га	%
1. Без удобрений (контроль)	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. N40P40K40 (фон)	2.99	2.35	2.15	2.50	0.34	16
8. Фон + ЭкSi (о/с)	3.25	2.59	2.36	2.73	0.57	26
9. Фон + ЭкSi (о/п)	3.10	2.40	2.09	2.53	0.37	17
10. Фон + диатомит 30 кг/т (о/с)	3.06	2.43	2.23	2.57	0.41	19
11. Фон + мивал-Агро (о/с)	3.20	2.56	2.31	2.69	0.53	24
12. Фон + мивал-Агро (о/п)	3.14	2.40	2.14	2.56	0.40	19
HCP <sub>05</sub>	Фактор А	0.20	0.10	0.13		
	Фактор Б	0.11	0.06	0.07		

Примечание. о/п – обработка посевов.

совместно с минеральным удобрением. Обработка семян яровой пшеницы кремнийсодержащими материалами (диатомитом, препаратами мивал-Агро, ЭкSi) обеспечило повышение урожайности культуры на 0.13–0.37 т/га (на 6–17%), на удобренном фоне прибавка составила 0.41–0.57 т/га (на 19–26%).

Более высокая урожайность ячменя сформировалась в варианте сочетания препарата Мивал-Агро с внесением минерального удобрения и со-

ставила 3.17 т/га (контроль – 2.41 т/га), яровой пшеницы – при сочетании предпосевной обработки семян кремниевым препаратом ЭкSi и применением NPK – 2.73 т/га (контроль – 2.16 т/га). Кремнийсодержащие материалы позволили увеличить количество клейковины в зерне яровой пшеницы. При использовании в чистом виде этих материалов этот показатель качества зерна изменялся от 26.3 до 30.1%, на удобренном фоне увеличился до 27.8–30.9%, тогда как в контроле был равен 23.9%.

**Таблица 6.** Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от применяемых в технологии ее возделывания кремнийсодержащих материалов

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка к контролю	
		т/га	%
1. Контроль	2.51	—	—
2. Крезацин	2.64	0.13	5
3. Силиплант	2.86	0.35	14
4. Энергия-М	2.80	0.29	12
5. Мивал-Агро	3.29	0.78	31
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	0.24		

На продуктивность культур оказала существенное негативное воздействие пораженность посевов возбудителями корневых гнилей, о чем свидетельствовала обратная связь между этими показателями (рис. 26).

В табл. 6 представлена урожайность озимой пшеницы, возделываемой на дерново-подзолистой почве. Из данных приведенной таблицы следует, что все кремнийсодержащие регуляторы роста способствовали достоверному повышению урожайности озимой пшеницы от 0.29 до 0.78 т/га. Наиболее эффективным из них при возделывании озимой пшеницы был препарат мивал-Агро (прибавка урожайности — 0.78 т/га). По-видимому, последнее было обусловлено не только тем, что в его состав входит не только кремнийсодержащий мивал, но и крезацин, являющийся фитодаптогеном и фитоантиоксидантом, но и синергизмом их взаимодействия. Озимая пшеница является кремнелюбивой культурой, и ее урожайность находится в положительной сильной зависимости от содержания актуального кремния в почвенном растворе ( $r = 0.88 \pm 0.33$ ).

## ВЫВОДЫ

1. Кремнийсодержащие материалы (диатомит и биологические препараты) способствовали повышению активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов чернозема выщелоченного при применении в чистом виде на 12–15%, в сочетании с NPK — на 18–21%, дерново-подзолистой почвы — на 15 и 31% соответственно.

2. Под влиянием изученных приемов улучшились или сохранились на прежнем уровне агрохимические показатели почв. При этом содержание элементов питания в пахотном слое чернозема выщелоченного 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%, минерального азота — на 4–13 и 9–15% соответственно. В дерново-подзолистой почве под посевом озимой пшеницы наибольшие изменения произошли в содержании актуального кремния, которое увеличилось по отношению к контролю в 1.6–2.3 раза.

3. Кремнийсодержащие материалы обладают несомненными защитными свойствами: пораженность корневыми гнилями посевов ярового ячменя и яровой пшеницы снижалась на 14–24 и 9–23% соответственно относительно контроля.

4. Применение диатомита, препаратов мивал-Агро и ЭкSi для предпосевной обработки семян обеспечило повышение урожайности ячменя и яровой пшеницы на черноземе выщелоченном на 0.26–0.35 и 0.13–0.37 т/га; озимой пшеницы с использованием препаратов силиплант, энергия-М и мивал-Агро на дерново-подзолистой почве — на 0.29–0.78 т/га (в контроле — 2.51 т/га). Наиболее эффективной при возделывании ярового ячменя как на удобренном, так и на фоне NPK была предпосевная обработка семян диатомитом и препаратом мивал-Агро, яровой пшеницы — сочетание предпосевной обработки семян препаратом ЭкSi с применением минеральных удобрений; озимой пшеницы — препаратом мивал-Агро.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевиц Э.Я. Кремний и жизнь. Рига: Зинатне, 1978. 578 с.
2. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Аммосова Я.М. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву // Агрохимия, 2002. № 2. С. 86–93.
3. Ma J.F., Yamaji N. Silicon uptake and accumulation in higher plants // Trends Plant Sci. 2006. V. 11(8). P. 392–397.
4. Самсонова Н.Е. Кремний в почве и растениях // Агрохимия. 2005. № 6. С. 76–86.
5. Матыченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение: Дис. ... д-ра биол. наук. Пушино, 2008. 313 с.
6. Mitani-Ueno N., Yamaji N., Ma J.F. Silicon efflux transporters isolated from two pumpkin cultivars contrasting in Si uptake // Plant Signal. Behavior. 2011. V. 6. № 7. P. 991–994.
7. Лобода Б.П., Яковлева Н.Н. Диатомиты и трепелы как почвоулучшители и источники биогенных элементов // Плодородие. 2003. № 5. С. 11–14.
8. Капранов В.К. Влияние диатомита и минеральных удобрений на фенотипические признаки растений // Агрохимия. 2009. № 7. С. 34–43.
9. Пахненко Е.П., Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Матыченков И.В. Влияние кремниевых препаратов на засухоустойчивость ячменя // АгрЭкоИнфо. 2013. № 2. С. 1–8.
10. Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Сафронов В.П., Носенко С.И. Влияние бурого угля, монокремние-

- вой кислоты и кремний-органического мелиоранта на их основе на поглощение кадмия ячменем и горохом // *Агрохимия*. 2016. № 5. С. 41–46.
11. *Воронков М.Г., Дьяков В.М.* Силатраны. Новосибирск: Наука, 1978. 208 с.
  12. *Воронков М.Г., Барышок В.П.* Атраны – новое поколение биологически активных веществ // *Вестн. РАН*. Т. 80. 2010. № 11. С. 985–992.
  13. *Медведева Ю.Д., Медведев В.О.* Кремнийбиоорганические соединения и области их применения // *Совр. научн. исслед-я и разработки*. 2017. № 7(15). С. 233–238.
  14. *Зейслер Н.А.* Влияние силатранов на прорастание семян хлебных злаков // *Интеллект. потенциал XXI: ступени познания*. 2016. № 31. С. 6–10.
  15. *Мишустин Е.Н.* Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М.: Наука, 1972. 343 с.
  16. *Федорец Н.Г., Медведева М.В.* Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 2009. 84 с.
  17. *Козлов А.В., Куликова А.Х.* Влияние высококремнистых пород на структуру, численность и ферментативную активность целлюлозосапротрофного микробного пула дерново-подзолистой почвы в условиях выращивания озимой пшеницы и картофеля // *Вестн. Ульян. ГСХА*. 2016. № 1(33). С. 56–65.
  18. *Воронкова Н.А., Черемисин А.И., Хамова О.Ф.* Агроэкологические аспекты применения бактериальных удобрений на черноземных почвах Западной Сибири // *Совр. пробл. науки и образования*. 2012. № 6. С. 14–20.
  19. *Пашкевич Е.Б., Кирюшин Е.П.* Роль кремния в питании растений и в защите сельскохозяйственных культур от патогенов // *Пробл. агрохим. и экол.* 2008. № 2. С. 52–57.

## Influence of Silicon-Containing Materials on Soil Properties, Crop Condition and Yield of Grain Crops in the Conditions of Middle Volga Region

**A. Kh. Kulikova<sup>a,#</sup>, A. V. Kozlov<sup>b</sup>, and V. S. Smyvalov<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> *Ulyanov State Agrarian University named after P.A. Stolypin  
bul. Novy Venets 1, Ulyanovsk 432017, Russia*

<sup>b</sup> *Nizhniy Novgorod State Teacher Training University named after K. Minin  
ul. Ulyanova 1, Nizhniy Novgorod 603950, Russia*

<sup>c</sup> *Agrochemical Service Station "Ulyanovskaya"  
ul. Mayakovskogo 35, Ulyanovsk 432025, Russia*

<sup>#</sup> *E-mail: agroec@yandex.ru*

<sup>##</sup> *E-mail: a\_v\_kozlov@mail.ru*

<sup>###</sup> *E-mail: smyvalov@mail.ru*

It was found that silicon-containing materials contributed to the increase of soil biological activity and improved plant nutrition, showed protective properties against agrophytocenosis. Their application both in pure form and together with average doses of mineral fertilizers (N40P40K40) positively influenced the productivity of grain crops. At the same time, the yield of spring barley and spring wheat on leached Chernozem increased by 0.13–0.76 and 0.13–0.57 t/ha, respectively, winter wheat on sod-podzolic soil – by 0.29–0.78 t/ha with improved product quality.

**Key words:** silicon-containing materials, soil properties, state of crops, yield, grain crops, Middle Volga region.