

А.Х. Куликова

**КРЕМНИЙ И ВЫСОКОКРЕМНИСТЫЕ
ПОРОДЫ В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**



Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»
Ульяновское отделение Общества почвоведов
им. В.В. Докучаева

А.Х. Куликова

**КРЕМНИЙ И ВЫСОКОКРЕМНИСТЫЕ ПОРОДЫ
В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Ульяновск – 2013

УДК 631.8+633.11
ББК 40.40
К 90

Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор Булгаков Д.С.,
Почвенный институт им. В.В. Докучаева
доктор биологических наук Матыченков В.В., Институт фунда-
ментальных проблем биологии РАН

**Куликова А.Х. Кремний и высококремнистые породы в си-
стеме удобрения сельскохозяйственных культур.** –Ульяновск,
Издательство Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. 176 с.

ISBN 978–5–905970–04–7

Монография содержит обобщение результатов исследований, про-
веденных сотрудниками кафедры почвоведения, агрохимии и агроэко-
логии Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина под научным руковод-
ством и при непосредственном участии автора, а также литературных
сведений по изучению возможности использования высококремнистых
пород (диатомита, опоки, трепела, цеолитов) в системе удобрения сель-
скохозяйственных культур. В условиях Среднего Поволжья установ-
лено положительное влияние их на агрофизические, агрохимические и
биологические свойства, водный и питательный режимы чернозема вы-
щелоченного и типичного, урожайность и качество сельскохозяйствен-
ной продукции при применении как в чистом виде, так и совместно с
минеральными удобрениями и биопрепаратами, а также птичьим поме-
том и осадками сточных вод. Доказано пролонгированное действие их
на систему почва – растение до 3–4 лет и более. Выявлены закономер-
ности поступления токсикантов в продукцию при использовании высо-
кокремнистых пород в системе удобрения, их роль в получении эколо-
гически безопасной продукции.

Книга адресована почвоведом, агрохимикам, агрономам, руководи-
телям в системе АПК различного уровня, студентам и аспирантам учеб-
ных заведений сельскохозяйственного профиля, научным работникам и
специалистам сельского хозяйства.

УДК 631.8+633.11
ББК 40.40
К 90

ISBN 978–5–905970–04–7

© Куликова А.Х.
© Издательство
Ульяновской ГСХА
им. П.А. Столыпина, 2013.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Глава 1. КРЕМНИЙ И ВЫСОКОКРЕМНИСТЫЕ ПОРОДЫ.....	8
1.1. Кремний в почве и его роль в системе «почва – растение»	8
1.2. Высококремнистые породы.....	15
Глава 2. ВЫСОКОКРЕМНИСТЫЕ ПОРОДЫ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ.....	26
2.1. Агрофизическое состояние.....	26
2.2. Водный режим.....	32
2.3. Биологические свойства и питательный режим	38
2.3.1. Биологическая активность.....	38
2.3.2. Питательный режим.....	45
2.4. Содержание тяжелых металлов и их подвижность.....	51
Глава 3. ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ ДИАТОМИТА.....	55
3.1. Фотосинтетическая деятельность посевов (на примере яровой пшеницы).....	55
3.2. Состояние посевов.....	64
Глава 4. УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ ИХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ВЫСОКОКРЕМНИСТЫХ ПОРОД И УДОБРИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ИХ ОСНОВЕ.....	70
4.1. Зерновые культуры (озимая и яровая пшеница, ячмень).....	73
4.2. Пропашные культуры (сахарная свекла, кукуруза, картофель, подсолнечник).....	90

4.3. Последствие использования диатомита в качестве удобрения сельскохозяйственных культур.....	106
4.4. Результаты производственных испытаний диатомита в качестве удобрения сельскохозяйственных культур	108
Глава 5. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОДУКЦИИ	115
Глава 6. БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ПОЧВЕ..	119
Глава 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАТОМИТА В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ	128
7.1. Экономическая эффективность.....	128
7.2. Биоэнергетическая оценка.....	133
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	141
ЛИТЕРАТУРА.....	152
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	165

ВВЕДЕНИЕ

*Кремний вырисовывается
в мироздании как элемент,
обладающий исключитель-
ным значением.*

В.И. Вернадский

Кремний – один из самых распространенных элементов как в космическом, так и в земном масштабах: если в космосе по этому показателю он занимает 7-е место (согласно другим подсчетам даже шестое), то в литосфере – второе, массовая доля которого в ней составляет 27,6 %.

Кремний присутствует в земной коре в большем количестве, чем все остальные элементы (кроме кислорода), вместе взятые. Известно более 800 кремниевых минералов (цит. по Воронкову и др., 1978). Примечательно, что происходит концентрация его в почве, где среднее содержание кремния достигает 33–45 %. Одно вышесказанное оправдывает глубокий смысл приведенных в эпиграфе слов выдающегося геохимика академика В.И. Вернадского, которые относятся ко всем формам проявления кремния как в живой, так и неживой природе. И, не случайно, несмотря на огромное количество научных и прикладных исследований по изучению роли кремния как в целом в биосфере, так и жизненных процессах вообще, интерес к этому элементу не снижается. Более того, в настоящее время наблюдается своего рода «кремниевый бум» и кремниевые соединения находят широчайшее практическое применение во всех отраслях современной техники и народного хозяйства, начиная от космонавтики и электроники и кончая пищевой промышленностью и косметикой. В этом ряду «белым пятном» является сельское хозяйство, несмотря на то, что к началу 21-го века исключительная роль

кремния во всех живых организмах (растениях, животных, микроорганизмах) окончательно доказана.

Тем не менее, кремний остается одним из наименее изученных макроэлементов в растениях и системе «почва – растение». Достаточно сказать, что до настоящего времени во всех учебниках агрохимии в нашей стране кремний относится к группе условно необходимых растениям элементов. Считается, что он инертен и в обычных условиях не принимает участия в химических реакциях. И только в 1922 году В.И. Вернадский отнес кремний к элементам-биофилам, безусловно необходимым растениям, так как он находится во всех живых организмах, где выполняет важные функции (Вернадский, 1954, 1960).

В последние годы интерес к этому элементу с точки зрения его роли в системе почва – растение значительно возрос. Широкие исследования по изучению роли кремния в жизни растений и эффективности кремниевых удобрений ведутся в Китае, Германии, США, Италии и, особенно, Японии, где основной продовольственной культурой является рис, который отличается исключительно высокой потребностью в этом элементе и, соответственно, выносит его из почвы в большом количестве (зола шелухи риса содержит 93 % кремния). Под влиянием монокультуры риса (высокоурожайные сорта риса выносят до 1 т/га кремния за сезон) почвы рисовых полей сильно деградировали, что потребовало капитальной мелиорации их, включая внесение кремниевых удобрений. В связи с этим в Японии с 1955 года кремниевые удобрения внесены в реестр минеральных удобрений (Водяницкий, 1984).

О возросшем интересе к кремнию и его роли в питании растений свидетельствует и тот факт, что в последнее десятилетие проведены Международные конференции, посвященные использованию активных его форм в земледелии США, Японии, Бразилии и России.

В нашей стране еще в 70–80-е годы прошлого века отмечалось, что назрела необходимость в кремнийсодержащих удобрениях и ставился вопрос о массовом производстве метасиликата калия из сынныритовой руды с содержанием Si 25 % и калия 15 %, огромные запасы которой были обнаружены на севере Читинской области (Соболев, 1982). Однако до настоящего времени промышленность страны силикатные удобрения не выпускает, а в качестве кремниевых удобрений весьма ограниченно применяются различные отходы промышленности.

Между тем, во многих регионах страны имеются значительные количества кремнийсодержащих пород таких, как трепелы, опоки, диатомиты, цеолиты, эффективность которых в качестве удобрения мало изучена. Так, Ульяновская область обладает запасами диатомитов, которые являются одними из крупнейших в Российской Федерации.

В связи с вышеизложенным целью наших исследований являлось изучение возможности использования высококремнистых пород Ульяновской области и, прежде всего Инзенского месторождения, в системе удобрения сельскохозяйственных культур на черноземах Среднего Поволжья, результаты которых приведены в данной монографии. Часть их защищена в виде кандидатских диссертаций под научным руководством автора (Яшин, 2004; Асмус, 2006; Данилова, 2007; Тойгильдина, 2008; Никифорова, 2009; Дронина, 2009; Сайдяшева, 2011). Работа также содержит аналитический обзор литературных сведений по изучаемой проблеме.

Приношу искреннюю признательность и благодарность всем своим ученикам и коллективу кафедры за понимание и совместный труд, а также Дмитрию Сергеевичу Булгакову и Владимиру Викторовичу Матыченкову, согласившимся рецензировать работу, за внимание, помощь и поддержку.

Глава 1. КРЕМНИЙ И ВЫСОКОКРЕМНИСТЫЕ ПОРОДЫ

1.1. Кремний в почве и его роль в системе «почва – растение»

Кремний является неотъемлемым компонентом растений. Содержание кремния в разных растениях колеблется в пределах 0,3–10 % от сухой массы, а круговорот его в биосфере по объему массопереноса уступает только углероду, кислороду и водороду. Несмотря на то, что кремний поглощается растениями и почвенными микроорганизмами в количествах, часто превышающих величины поглощения азота, фосфора, калия и кальция, он остается одним из наименее изученных макроэлементов в системе «почва – растение».

Благодаря тесному химическому сродству с кислородом, кремний встречается только в виде кислородных соединений. Максимальное его количество содержится в почвах и составляет от 35 до 48 % для песчаных и от 15 до 45 % для глинистых почв.

В почве он представлен как первичными, так и вторичными минералами. Первичные минералы, составляющие твердую фазу почвы, являются остаточным материалом после разрушения и выветривания изверженных массивно-кристаллических пород. Среди них силикаты и алюмосиликаты разного рода абсолютно преобладают над всеми другими минералами (Ковда, 1973).

Кристаллические решетки минералов построены из катионов кремния и анионов кислорода, образующих первичную структурную единицу – кремнекислородный тетраэдр $(\text{SiO}_4)^{4-}$, который характеризуется преобладанием отрицательного заряда.

В природе широко распространено явление замещения кремнекислородных тетраэдров в кристаллической решетке

алюмокислородным тетраэдром $(\text{AlO}_4)^{5-}$. Сочетание их в виде цепочек, лент, листов в форме перемежающихся слоев создает разнообразие структур и химического состава первичных и, особенно, вторичных минералов. Основные из них: полевые шпаты (ортоклаз – KAlSi_3O_8 и др.), слюды, оливины [соли ортокремниевой кислоты $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ с варьирующим соотношением Mg и Fe], амфиболы – пироксены, нефелин $[\text{Na}(\text{AlSiO}_4)]$, вулканическое стекло и один из самых распространенных минералов – кварц $(\text{SiO}_2)_n$.

В почвах часто и в больших количествах встречаются коллоидные аморфные и скрытно-кристаллические формы минералов оксидов кремния, прежде всего, опал – $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Опалы представляют из себя гели оксидов кремнезема с содержанием большего или меньшего количества воды. В опалах часто присутствуют примеси железа, алюминия, кальция и, особенно, магния.

В почвах широко представлены вторичные минералы, которые в отличие от первичных обладают подвижной кристаллической решеткой, развитой поглотительной способностью сорбировать воду и набухать, ярко выраженными коллоидными свойствами. Главными минералами из них также являются алюмосиликаты: каолинит, монтмориллонит, иллит, вермикулит, галлаузит и другие.

Кроме твердых соединений кремния, представленных различными минералами, во всех природных водах, включая почвенные, постоянно присутствуют растворимые формы кремния (Ковда, 1985). Они представлены моно- и поликремниевыми кислотами, кремнийорганическими соединениями, которые обладают высокой химической и биологической активностью.

С точки зрения питания растений важно знание о формах кремния, которые участвуют в биогеохимических процессах. Матыченковым (2008) на основе анализа литератур-

ных сведений и собственных исследований установлены основные формы кремния, присутствующие в тканях растений, природных водах, грунтах, почвах, участвующие в биогеохимическом круговороте. Это: монокремниевая кислота, олигомеры кремниевой кислоты, низкомолекулярные кремниевые кислоты, высокомолекулярные кремниевые кислоты, кремнийорганические соединения, комплексные соединения с органическими и неорганическими лигандами. Наиболее важными из них в системе «почва – растение» являются монокремниевые и поликремниевые кислоты. Причем между ними существует тесная взаимосвязь.

Высокомолекулярные поликремниевые кислоты химически инертны и в основном влияют на физико-химические свойства почвы. Свежеобразованная высокомолекулярная поликремниевая кислота (кремнегель) обладает уникальной способностью сохранять информацию о соединениях, находящихся в растворе, т.е. образуется специфическая силикатная матрица, которая обладает каталитическими свойствами и способствует направленному синтезу того вещества, которое присутствовало при формировании геля поликремниевой кислоты (Banerjee, 2001; цит. по Матыченкову, 2008).

Постоянное нахождение определенного количества кремния в почвенном растворе обязано, прежде всего, микроорганизмам, которые являются главными разрушителями горных пород и минералов. Например, микроорганизмы осуществляют биodeградацию следующих алюмосиликатов: андалузита, берилла, каолинита, микроклина, мусковита, нефелина, ортоклаза и других. Основными агентами при этом являются гетеротрофы – микроскопические грибы и бактерии, которые осуществляют процессы ацидолиза, алкалолиза и комплексоллиза, происходящие при выделении комплексобразующих соединений. Последние взаимодействуют с эле-

ментами кристаллической решетки минералов, разрушая силоскислородные и алюмоокислородные связи (Умаров, 1999). При этом одним из главных механизмов действия микроорганизмов является окисление ими элементов с переменной валентностью, входящих в состав силикатных горных пород и минералов. Среди них уникальные сапрофитные бактерии *Bacillus mucilaginosus* (слизистые бациллы) – широко распространенные в природе и способные разрушать соединения кремния.

Таким образом, в почвенном растворе постоянно присутствуют монокремниевая и низкомолекулярные поликремниевые кислоты, которые являются источником питания растений кремнием. Однако использование почв в земледелии сопровождается нарушением баланса питательных элементов, так как значительная часть их отчуждается с урожаем культур и, если основные элементы питания компенсируются внесением минеральных и органических удобрений, то кремний безвозвратно выносится из сельскохозяйственных почв. По расчетам Матыченкова (на основе справочной информации о содержании кремния в различных культурах и их урожайности) (2002) биологические потери доступного кремния в мире составляют ежегодно 210–224 млн. тонн. В результате вовлечения почв в сельскохозяйственное производство происходит снижение концентрации монокремниевой кислоты в пахотном слое почв и появление ее дефицита.

Растения способны поглощать кремний только в форме монокремниевой кислоты и нарастающий ее дефицит может привести не только к снижению продуктивности агроэкосистем, но и к ряду негативных последствий в самой почве. Последнее связано с тем, что данный макроэлемент является не только питательным, но и, как указывалось выше, конструктивным материалом. В связи с этим дефицит кремниевых кислот и уменьшение аморфного кремнезема

может сопровождаться разрушением органо-минерального комплекса почв и ухудшением ее минералогического состава (Матыченков, 1990).

Вышесказанное предполагает необходимость для восстановления баланса кремния и обеспечения нормального питания растений, а также недопущения деградации почвенного покрова и его плодородия, внесения в почвы активных форм кремния, то есть обуславливает необходимость применения кремниевых, или силикатных, удобрений.

Особо следует остановиться на роли кремния в растениях. Долгое время господствовало мнение, что он не играет важной роли в физиологии растений и является только балластным элементом. Однако исследования, проведенные во второй половине 20-го века и по настоящее время, кардинально изменили представление о данном элементе. Доказано, что оптимизация кремниевого питания приводит к увеличению стабильности ДНК и РНК (Алешин, 1982). Установлено наличие Si в рибосомах, митохондриях, хлоропластах, микросомах (цит. по Матыченкову и др., 2002). Одной из важнейших функций активного кремния является стимуляция развития корневой системы (Кудинова, 1975). При этом увеличивается количество вторичных и третичных корешков, общая и рабочая адсорбирующая поверхность (Матыченков и др., 1975, 2002). Выявлена способность активных форм кремния в растениях контролировать многие биохимические реакции. Установлено, что кремний формирует защитную (иммунную) систему растений. По мнению Матыченкова (2008) такая универсальность заключается в способности активных кремниевых соединений способствовать быстрому и направленному синтезу специфических органических молекул внутри растительной клетки, которые помогают растению преодолеть или адаптироваться к стрессу. Следовательно, кремниевые удобре-

ния позволяют повысить сопротивляемость растений к любым неблагоприятным факторам.

Ассимиляция кремния растениями носит как пассивный (механический), так и активный (метаболический) характер. В первом случае кремний в форме водного раствора кремнекислоты попадает через корни в транспирационные потоки чисто физическим путем за счет пассивной диффузии и переноса массы, концентрируясь по мере потери воды при транспирации. Кремнезем отлагается вдоль проводящих сосудов и в периферийных тканях растений. Во втором случае ассимиляции его является физиологическим процессом, приводящим к образованию органических производных кремния и его отложению в специфических тканях растений в виде фитолитов (Воронков и др., 1978).

В последнее время все более утверждается мнение, что растения поглощают кремний активно при помощи молекулы – переносчика (Minani, Yamaji, Ma, 2008). Эксперименты, проведенные с рисом, позволили установить, что переносчик локализован в плазматической мембране как эндодермиса, так и экзодермиса корней. Предположительно, транспортная молекула играет решающую роль в ассимиляции кремния рисом, нарушение ее работы сопровождалось резким снижением поглощения кремния и, соответственно, урожайности культуры.

Виды растений отличаются относительно размеров и формы фитолитов, которые они аккумулируют. Образование и рост этих структур находятся под контролем определенных протеинов. В растениях, содержащих 0,74–3,59 % кремния, более 50 % общего кремния содержалось в органической фракции против полимеризованной и растворенной формы. Органические кремнистые фракции были обнаружены, связанными с протеином, фенольными соединениями (лигнин, конденсированные полифенолы), липидами и полисахаридами (целлюлозы, пектиновые вещества) (цит.

по Fauteux и др., 2005).

Матыченковым (2008) показано, что растения могут поглощать низкомолекулярные кремниевые кислоты и их анионы не только через корневую систему, но и через поверхность листьев, если опрыскивать их кремнийсодержащими водными растворами. При этом поглощение кремния через листья составило 30–40 %, а через корневую систему не превышало 1–5 %.

Растения, интенсивно ассимилирующие кремний из почвы, называются «кремнефилами». К ним относятся и многие культурные растения, особенно злаки (пшеница, овес, ячмень, просо, рис, кукуруза). Рекордсменами среди наземных растений являются хвощи, мхи, папоротники. Так, в сухом веществе хвоща полевого содержится 9 % кремния, а в золе – до 96 %; в сухом веществе риса (в основном продукте питания многих народов Азии) – до 20 % кремнезема, а в золе его до 93 % (Воронков и др., 1978). Недостаток в почве усвояемого кремния замедляет рост и развитие «кремниевых» растений, делает их чувствительными к грибковым и бактериальным заболеваниям и соответственно снижает их урожайность.

Таким образом, роль кремния в системе «почва – растение» очень значительна и обуславливает необходимость глубоких исследований не только по изучению функциональной роли кремния как элемента, способствующего повышению устойчивости растительного организма к биогенным и абиогенным факторам, но и, прежде всего, оптимизации кремниевого питания растений. Несмотря на то, что диоксид кремния является самым распространенным веществом литосферы, в связи с постоянным ежегодным выносом урожая культурных растений на любых почвах возможен дефицит доступного кремния. При урожайности зерновых культур в пределах 2,0–6,0 т/га баланс кремния в агроэкосистемах всегда отрицательный и составляет в дефиците

6–20 кг/га (Голованов, 1998). Фитолиты (опал) соломы при мульчировании и запахивании осенью не решают проблему обеспеченности почвы доступным кремнием вследствие его инфильтрации в более глубокие слои и трансформации в малорастворимые соединения. Недостаток в кремнии проявляется и на известкованных почвах с реакцией среды, близкой к нейтральной, а также при высокой обеспеченности их подвижным фосфором.

1.2. Высококремнистые породы

Основоположниками изучения кремниевых удобрений являются Davey (1814), Pierre (1866), Liebig (1840), Менделеев (1870) и многие другие. Не меньший вклад в разработку теории кремния внесли русские ученые начала XX века, широко исследовался он и в советский период, о чем свидетельствуют ряд обобщающих обзоров (Воронков и др., 1978; Айлер, 1982; Матыченков и др., 2002; Самсонова, 2005).

Однако, несмотря на большое количество кремния в почвах и растениях, и в целом в окружающей среде, со времени Ю.Либиха (1840) и до сих пор элемент остается вне поля зрения агрохимиков нашей страны. Вместе с тем широкая мировая практика накопила определенный опыт производства и использования удобрений и других препаратов, средств защиты растений, содержащих значительные количества кремния. Так, в Южной Корее рис удобряют метасиликатом кальция, в Японии отходами тепловых станций, шелухой и соломой риса, металлургическими шлаками; в Германии ресурсы кремния пополняют доменными силикатно-кальциевыми шлаками; на острове Маврикий в почву заделывают измельченный порошок базальт, содержащий около 50 % SiO_2 , в США – силикат кальция (Ермолаев, 1992).

В нашей стране эффективность кремниевых удобрений широко изучалась в бывшем Свердловском СХИ. Это

были отходы марганцевой руды, суперфосфатной промышленности, белая сажа и диатомит (Барсукова, Рочев и др., 1980; Швейкина, 1986). Установлено, что за 6 лет в севообороте увеличение урожайности от применения отходов марганцевой промышленности составила 11–18 %. Наиболее отзывчивой культурой был ячмень. На третий год последствия урожайность на варианте с кремнегелем по фону НРК увеличилась на 23–87 %. Во всех опытах увеличение урожайности от внесения кремнийсодержащих отходов происходило вследствие возрастания подвижности P_2O_5 в почве. На серой лесной почве она повышалась в 1,5–2 раза.

Исследования, проведенные Шуедженом, Кемечевой и Шапацевым (2003), показали, что под действием обработки семян риса ТЭС (тетраэтоксисилан), силикатом натрия и метасиликатом натрия урожайность зерна увеличивалась в сравнении с вариантом необработанных семян на 17–19 %, что составило 0,7–0,8 т/га.

И, не случайно, еще в 70–80-е годы 20-го века отмечалось, что назрела необходимость в кремнийсодержащих удобрениях и ставился вопрос о массовом производстве метасиликата калия из сынныритовой руды с содержанием Si 25 % и калия 15 %, огромные запасы которой были обнаружены на севере Читинской области (Соболев, 1982). Было показано, что метасиликат калия может по своему действию на растение превосходить хлорид калия. Например, урожайность зерна гречихи от метасиликата калия была на 11 % выше, чем от KCl. Однако промышленность страны силикатные удобрения не выпускала и не производит до настоящего времени, а в качестве кремниевого удобрения ограниченно применяются различные отходы промышленности.

Между тем, во многих регионах страны имеются значительные (в том числе, крупные) месторождения кремнийсодержащих пород таких, как трепелы, опоки, диатомиты и цеолиты, эффективность которых в качестве удобрения

мало изучена.

Классификация кремнистых пород основана на генезисе и минеральном составе. По генезису выделяют чисто хемогенные (гейзериты, кремниевые конкреции), биогенные (диатомиты, радиоляриты) и хемогенные породы, образовавшиеся в результате скопления скелетов организмов, которые при диагенезе и катагенезе существенно изменились в результате растворения и переотложения кремнезема (в виде комочков опала), перекристаллизации с образованием халцедона и т.п. К хемобиогенным породам относятся трепелы, опоки и некоторые яшмы и т.п. Главные породообразующие минералы силицитов – различные оксиды и гидрооксиды кремния – опал аморфный, содержащий до 30 % воды; различные кристаллические минералы – халцедон, кварцит, кварц, кристобалит и др. Второстепенные – карбонаты, окислы и гидроокислы железа, глауконит, хлориты, сульфиды железа и терригенные примеси (Ископаемые водоросли СССР, 1967; Страхов, 1976).

Все названные породы и минералы являются природными сорбентами, обладающими высокими адсорбционными свойствами. Благодаря разнообразию минерального состава и кристалло-структурного строения, а также характера пористости они широко применяются в народном хозяйстве (Дистанов, 1989). Наибольший интерес среди них представляют цеолиты и опал-кристобалитовые породы (опоки, трепелы, диатомиты).

Цеолиты - светло-серые, голубовато-серые, буровато-желтые плотные породы, сложенные в основном минералами группы цеолитов, являющихся каркасными алюмосиликатами щелочных и щелочноземельных металлов с обобщённой эмпирической формулой: $M_{x/n} [(AlO_2) \times (SiO_2)_y] \times zH_2O$, где М - катион (катионы) с валентностью n, z - число молекул воды; отношение y : x имеет различные значения и

обычно находится в пределах от 1 до 5. Кристаллическая решётка цеолитов построена из четырёх, пяти, шестичленных и ещё более сложных колец, образованных кремнекислородными тетраэдрами. В результате такого строения во внутрикристаллическом пространстве цеолитов образуется система соединённых между собой и с окружающей средой пор, в которых располагаются обменные катионы кальция и натрия, реже - калия, магния и молекулы «цеолитной» воды (H_2O), в связи с чем они способны улавливать и удерживать при внесении в почву воду, различные элементы (в том числе загрязняющие и токсичные и тем самым снизить поступление их в растения). Цеолиты характеризуются максимальными среди природных сорбентов значениями обменной ёмкости – до 1,5 г-экв/кг.

Пористая открытая микроструктура цеолитов и предопределяет их уникальные полезные свойства. В процессах адсорбции и ионного обмена цеолиты проявляют способность к избирательному поглощению одних ионов или молекул перед другими, то есть работают как «молекулярные сита». Реакционная способность некоторых сорбированных молекул резко и избирательно увеличивается, в результате чего цеолиты проявляют каталитическую активность во многих реакциях в зависимости от целей их применения.

Опал-кристобалитовые породы (диатомиты, опоки и трепелы) представлены преимущественно активным кремнезёмом (рентгеноаморфным опалом, метастабильным опал – кристобалитом и кристобалитом), которого обычно содержится более 50 %. Для них характерна высокая пористость: от 40 (опоки) до 75 % (диатомиты), небольшая объёмная масса ($кг/м^3$): у диатомитов $(0,5-0,9) \times 10^{-3}$, у трепелов – $(0,7-1,0) \times 10^{-3}$ и у опок $(1,0-1,4) \times 10^{-3}$ (Дистанов, Конюхова, 1990).

Опал-кристобалиты являются осадочными породами, к которым относятся различные осадочные образования, целиком или частично сложенные кремнезёмом хемогенного

или хемобиогенного происхождения и скелетами кремниевых организмов. В частности, диатомиты сложены створками диатомовых водорослей, которые представляют микроскопические растения с внешним опаловым скелетом (рис.1).

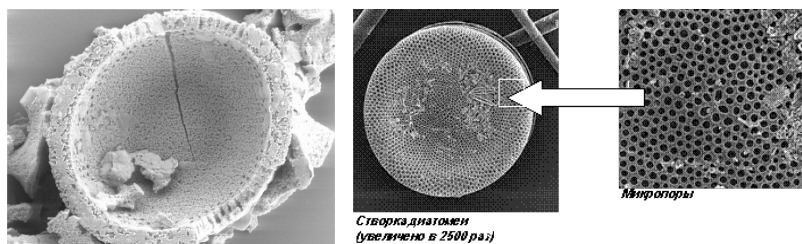


Рисунок 1. Структура диатомитов, сложенных панцирями диатомовых водорослей

Диатомитом называется рыхлая и уплотнившаяся землистая порода, нежная на ощупь, тонкопористая, чрезвычайно легкая. В сухом состоянии диатомит имеет светло-серый, слегка желтоватый или почти белый цвет. Состоит диатомит главным образом из мельчайших кремниевых скелетных частей радиолярий и губок, также очень мелких округлых зерен кремнезема.

Панцири диатомовых водорослей, представляющие собой полые внутри, микроскопические опаловые тельца, придают диатомиту характерные физические свойства, которые способствуют разнообразному его использованию. Количество цельных панцирей диатомовых водорослей колеблется в различных сортах диатомита в широких пределах: от 1,17 до 30 млн. шт. в 1 см³.

Пористость диатомитов очень велика: для хороших сортов достигает 90–92 % (в среднем 80 %), размер пор от 1 до сотен *нм*. Таким образом, диатомиты являются природным наноструктурированным материалом.

Опоки отличаются от диатомитов составом и внешними

особенностями. Состоят опоки из кремнезёма, представленного рентгеноаморфным опалом и α -кристобалитом и содержат до 20–30 % примесь глинистого материала, представленного гидрослюдами и монтмориллонитом (Дистанов, 1989). Кроме того, в них присутствует песчано-алевритовый материал, представленный преимущественно кварцем, в ряде случаев кварцем и глауконитом.

Горной породой осадочного происхождения, сложенной опаловым кремнеземом, является также трепел – тонкозернистая пористая рыхлая порода, состоящая в основном из мельчайших округлых зерен аморфного кремнезема. По внешнему виду, физическим свойствам и химическому составу трепел почти неотличим от диатомита, и отличить эти породы, в большинстве случаев, можно только под микроскопом.

В геологическом отношении месторождения диатомитов, трепелов и опок в Ульяновской области связаны, главным образом, с отложениями Нижнесызранского яруса палеоцена и, следовательно, они по своему происхождению представляют осадок эпиконтинентального морского бассейна начала третичного периода (Природа Ульяновской области, 1963).

Ресурсы кристобалитовых пород в России огромны (только разведанные запасы в бывшем СССР составляли 1,9 млрд.т, из них около 400 млн. тонн диатомитов), в том числе Ульяновская область обладает значительными запасами минерально-сырьевых ресурсов. В частности, в области выявлено более 70 месторождений диатомитов, из которых обстоятельно изучено девять. Запасы его оцениваются в 80 млн. м³, что составляет почти четверть общероссийских ресурсов. В пределах Ульяновской области, как и вообще в Поволжье, широко распространены опоки. В Майнском районе в конце 90-х годов разведано Юшанское месторождение цеолитсодержащих пород, запасы которых составляют 308 тысяч

тонн. Кроме того, открыты Кадышевское, Гулюшевское, Белоключинское и другие проявления цеолитов.



Рисунок 2. Инзенское месторождение диатомитовых руд

Химический состав диатомита, опоки и цеолитов представлен в таблице 1.

Как показывают данные таблицы, общим для них является высокое содержание кремния, в том числе аморфного: содержание SiO_2 в них составляет от 56,6 до 85,3 %, аморфного – от 26,7 до 62,3 %. Следует также отметить присутствие калия и серы, по отдельным месторождениям до 2 % и более.

Следовательно, прежде всего, высококремнистые породы представляют интерес как кремниевое удобрение. И не только. В силу разнообразия минерального состава и кристаллоструктурного строения, а также характера пористости они обладают уникальными адсорбционными,

Таблица 1 – Химический состав высококремнистых пород Ульяновской области, % на абсолютно-сухое вещество (в числителе пределы колебаний, в знаменателе – среднее значение)

Элемент (в оксидной форме)	Порода			
	диатомит	опока	трепел	цеолит
	месторождение			
	Забалуйское Ульянов- ской обла- сти	Инзенское Ульянов- ской обла- сти	Татарско- Шатран- ское, Рес- публика Та- тарстан	Майнское Ульянов- ской обла- сти
SiO ₂ общ.	<u>80,40–85,30</u> 83,10	82,7	<u>41,2–64,1</u> 51,7	<u>54,11–58,38</u> 56,60
SiO ₂ аморф.	<u>18,70–59,53</u> 42,1	62,8	нет данных	<u>4,31–51,28</u> 26,71
Al ₂ O ₃	<u>4,30–7,70</u> 5,82	4,6	<u>3,8–7,2</u> 6,1	<u>5,80–6,44</u> 6,15
Fe ₂ O ₃	<u>2,09–3,60</u> 2,47	3,0	<u>1,4–2,2</u> 1,8	<u>1,81–3,16</u> 2,34
CaO	<u>0,43–1,94</u> 0,52	4,38	<u>9,6–24,3</u> 17,1	<u>12,60–14,95</u> 13,31
MgO	<u>0,30–1,07</u> 0,48	1,28	<u>0,9–1,4</u> 1,2	<u>1,77–2,00</u> 1,90
MnO	0,01	0,19	нет данных	<u>0–0,01</u> 0,003
K ₂ O	<u>0,08–2,01</u> 1,25	1,77	<u>0,8–1,2</u> 1,0	<u>1,16–1,90</u> 1,25
Na ₂ O	<u>0,18–0,52</u> 0,42	0,48	<u>0,06–0,27</u> 0,18	<u>0,03–0,27</u> 0,11
P ₂ O ₅	0,05	0,25	<u>0,08–0,23</u> 0,2	<u>0,08–0,49</u> 0,23
SO ₃	<u>0,07–2,05</u> 0,23	0,12	0,05	нет данных
TiO ₂	<u>0,30–0,64</u> 0,54	0,27	<u>0,15–0,32</u> 0,23	<u>0,26–0,34</u> 0,30

каталитическими и ионообменными свойствами, что пред-
определяет активное воздействие их на систему «почва –
растение». Основные физико-химические показатели высо-
кокремнистых пород приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели высококремнистых пород (Дистанов, 1990)

Порода	Породообразующие минералы	Ионообменная способность, г-экв/кг	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{кг} \cdot 10^3$	Пористость, %	Эффективный диаметр пор, <i>нм</i>
Цеолит	клиноптилолит, морденит, филлипсит, шабазит	0,5–1,5	47–95	20–53	0,3–0,6
Опока, диатомит, трепел	опал, опал-кристобалит, α -кристобалит	0,8–0,12	20–50 (диатомиты) 130–150 (опоки)	от 40 (опоки) до 75 (диатомиты)	от 2–8 (опоки) до 100 и более (диатомиты)

Таким образом, опалкристобалиты являются наноструктурированным природным материалом. Для них характерна высокая пористость и небольшая объемная масса ($\text{кг}/\text{м}^3$): у диатомитов – $(0,5–0,9) \cdot 10^{-3}$, у трепелов – $(0,7–1,0) \cdot 10^{-3}$ и у опок – $(1,0–1,4) \cdot 10^{-3}$ (Дистанов, 1990).

Следует также отметить, что с точки зрения охраны окружающей среды природные сорбенты представляют из себя не только доступное и дешевое, но и экологически чистое сырье, т.к. практически не содержат загрязняющих веществ (в том числе тяжелых металлов). Более того, в силу своих особенностей способны эффективно связывать и нейтрализовать наиболее вредные токсиканты.

Вышесказанное предполагает возможность широкого использования высококремнистых пород в производстве сельскохозяйственной продукции.

Анализ имеющихся литературных сведений показывает:

- вовлечение почв в сельскохозяйственное производство приводит к возникновению дефицита доступного кремния в них в результате безвозвратного отчуждения с урожаем сельскохозяйственных культур. Кремниевые соединения непосредственно влияют на растения и, прежде всего, обеспечивают защитные функции организма;

- несмотря на многочисленные примеры положительного влияния кремния (кремниевых удобрений) на формирование урожайности зерновых (рис, рожь, пшеница, ячмень, овес, кукуруза, просо, сорго), бобовых (бобы, соя), овощных (картофель, морковь, огурцы, томаты, салат, кабачки) культур, сахарной свеклы, сахарного тростника, подсолнечника, многолетних трав (клевер, люцерна), лимонов, мандаринов и т.д. промышленность страны силикатные удобрения не производила и не производит;

- в качестве кремниевого удобрения могут быть использованы местные минерально-сырьевые ресурсы, в частности высококремнистые породы, являющиеся природными сорбентами и обладающие высокими адсорбционными, ионообменными и каталитическими свойствами. Однако влияние их на свойства почвы, формирование посевов и урожайность культур, в целом на систему «почва – растение» практически не изучено.

В связи с вышеизложенным целью наших исследований являлось изучение возможности использования высококремнистых пород в системе удобрения сельскохозяйственных культур на черноземах Среднего Поволжья. Объектами исследований являлись: высококремнистые породы (диатомит и опока) Инзенского месторождения Ульяновской области; сельскохозяйственные культуры: озимая и яровая пшеница, ячмень, кукуруза, свекла сахарная, картофель, подсолнечник, овощные – огурцы, томаты, морковь,

свекла столовая; почвы – чернозем выщелоченный, чернозем типичный.

В процессе работы в течение 2000–2010 гг. проводились полевые мелко- и крупноделяночные, а также производственные опыты с использованием диатомита и опоки Инзенского месторождения Ульяновской области при возделывании зерновых, пропашных и овощных культур при применении как в чистом виде, так и совместно с минеральными удобрениями (в том числе микроэлементами), птичьим пометом и биопрепаратами. Всего проведено более 55 опытов (в том числе 10 производственных). Изучены:

- влияние диатомита и опоки на свойства черноземов Среднего Поволжья (агрофизические параметры, агрохимические показатели, биологические свойства, водный и питательный режимы, содержание тяжелых металлов);

- прямое и последствие высококремнистых пород и их смесей с минеральными удобрениями, птичьим пометом, а также предпосевной обработки ими посевного и посадочного материала как в чистом виде, так и совместно с биопрепаратами на формирование урожайности и качества продукции сельскохозяйственных культур;

- агрономическая, экологическая и биоэнергетическая эффективность технологий их возделывания с использованием высококремнистых пород в системе удобрения.

Проведены производственные испытания высококремнистых пород в качестве удобрения сельскохозяйственных культур.

Растительные и почвенные образцы подвергались лабораторным исследованиям. Все анализы проведены по соответствующим ГОСТам в аккредитованной агрохимической лаборатории ФГБУ САС «Ульяновская» (№ РОСС RU.0001.510251) и испытательной лаборатории «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия» (№ РОСС RU.0001.515748), качественный состав диатомита и опоки – в аналитико-технологическом сертификационном испытательном центре ЦНИИ геолнеруд МПР России.

Глава 2. ВЫСОКОКРЕМНИСТЫЕ ПОРОДЫ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ

Вовлечение почв в сельскохозяйственное производство приводит не только к снижению содержания в них основных элементов питания (NPK), но и монокремниевой кислоты в пахотном слое (Матыченков и др., 1994, 1997). При этом, как указывалось выше, масштабы ежегодного отчуждения Si с урожаем возделываемых культур очень большие. В связи с тем, что кремний является не только питательным, но и конструктивным элементом почвы, нарастающий дефицит монокремниевой кислоты и уменьшение содержания аморфного кремнезема приводят к разрушению органоминерального комплекса, ускоряют деградацию органического вещества, ухудшается минералогический состав почвы (Карпин, 1986; Marsan, Torrent, 1989). Следовательно, внесение кремниевых соединений необходимо для поддержания баланса монокремниевой кислоты с целью достаточного питания растений кремнием и предотвращения деградации почв (Матыченков и др., 2002).

2.1. Агрофизическое состояние

Степень и направленность влияния кремниевых удобрений на физическое состояние почвы зависят как от свойств самой почвы, так и от видов и доз вносимых удобрений. По данным Munk (1982) улучшение физических свойств почв наблюдалось при дозе кремнезема 200–800 кг/га.

Одним из самых значимых агрофизических показателей почвы является плотность ее сложения. При этом как слишком рыхлая, так и плотная почва становится неблагоприятной для большинства сельскохозяйственных культур. По исследованиям Казакова (1990, 1997) на черноземах Среднего Поволжья оптимальная плотность пахотного

слоя почвы для пропашных культур находится в пределах 0,9–1,1 г/см³, яровых зерновых 1,0–1,2 г/см³, озимых 1,1–1,3 г/см³ с показателями общей пористости 58–62, 54–61, 51–58 %.

Не менее важным фактором, определяющим физическое состояние почвы, в том числе благоприятное сложение и способность длительное время противостоять антропогенному воздействию, является ее оструктуренность. По Кузнецовой (1979) отличное (высокоустойчивое) сложение имеют почвы с содержанием водопрочных агрегатов (более 0,25 мм) 60–75 (80) %, хорошее (устойчивое) – 40–60 %, удовлетворительное – 30–40 %. Обобщающей оценкой структурного состояния почвы является коэффициент структур-

ности, определяемый как
$$\frac{\sum (10 - 0,25_{мм})}{\sum (> 10_{мм}, < 0,25_{мм})}$$
. При этом для большинства почв оптимальным является коэффициент структурности >2,3.

Как показали исследования, проведенные нами в течение более 10 лет, во всех опытах внесение диатомита в почву способствовало разуплотнению пахотного слоя, обусловленного, несомненно, оструктуривающим действием его на почвенные частицы (табл.3). Количество агрономически ценных агрегатов в пахотном слое при внесении в почву диатомита в дозе 8 т/га повысилось на 10,5 % (на 11 относительных процента) и составило 76 %. Поликремневые кислоты способны связывать почвенные частицы в агрегаты и улучшение структуры осуществляется за счет образования кремниевых мостиков между ними (Norton, 1993). Кроме того, присутствие в черноземе достаточного количества обменного кальция также может способствовать повышению агрегированности почвы. В литературе имеются сведения, что при внесении кремниевых удобрений вместе с оксидом кальция на песча-

ных почвах происходило скрепление песчинок (Mays, Anaele, 1993). Более того, Матыченков и др. (2002) считают, что кремнийсодержащие отходы металлургических комбинатов, представляющие собой крупнозернистые гранулы диаметром выше 1 мм, могут быть использованы для оптимизации гранулометрического состава тяжелых почв.

Таблица 3 – Плотность почвы и агрегатный состав пахотного слоя (0–30 см) чернозема выщелоченного в зависимости от доз внесения диатомита (озимая пшеница, 2003 г.)

Вариант	Плотность, г/см ³		Содержание агрегатов размерами 0,25–10 мм (сухое фракционирование)	Коэффициент структурности
	возобновление вегетации	перед уборкой		
Контроль	1,27	1,23	65,5	1,9
Диатомит 3 т/га	1,22	1,19	69,5	2,3
Диатомит 5 т/га	1,19	1,19	71,6	2,5
Диатомит 8 т/га	1,15	1,16	76,0	3,2
НСР ₀₅	0,03	0,02	2,0	–

Оценка структурного состояния почвы по коэффициенту структурности убедительно доказывает вышесказанное: при внесении диатомита в дозе 8 т/га данный показатель повысился в 1,7 раз и составил 3,2. Следует отметить, что черноземы лесостепи Поволжья обладают выраженной способностью к структурообразованию и коэффициент структурности достаточно высокий на контроле (1,9).

Аналогичные данные были получены в последующие годы, показывающие, что в силу присутствия в диатомите более 40 % аморфного кремнезема оструктурирующее действие его сохранялось и при совместном применении с минеральными удобрениями (мочевина) (табл.4, рис. 3 и 4, табл.5).

Таблица 4 – Влияние диатомита и его смеси с мочевиной на плотность почвы, г/см³ (2006 г.)

Вариант	Слой почвы, см	Яровая пшеница		Озимая пшеница	
		посев	уборка	возобновление вегетации	уборка
Контроль	0–10	1,17	1,19	1,15	1,17
	10–20	1,22	1,23	1,22	1,23
	20–30	1,25	1,32	1,22	1,33
	0–30	1,21	1,25	1,20	1,24
N40P40K40	0–10	1,15	1,19	1,13	1,20
	10–20	1,19	1,25	1,18	1,23
	20–30	1,26	1,30	1,26	1,33
	0–30	1,20	1,25	1,19	1,25
Диатомит 3 т/га	0–10	1,11	1,13	1,08	1,12
	10–20	1,15	1,17	1,17	1,19
	20–30	1,19	1,28	1,20	1,30
	0–30	1,15	1,19	1,15	1,20
Диатомит 3 т/га + N20	0–10	1,13	1,16	1,10	1,14
	10–20	1,17	1,21	1,18	1,20
	20–30	1,22	1,29	1,19	1,29
	0–30	1,17	1,22	1,16	1,21
Диатомит 3 т/га + N40	0–10	1,11	1,14	1,10	1,15
	10–20	1,18	1,21	1,17	1,19
	20–30	1,20	1,25	1,21	1,29
	0–30	1,16	1,20	1,16	1,21
НСР ₀₅	0–10	0,02	0,04	0,04	0,02
	10–20	0,02	0,03	0,02	0,02
	20–30	0,02	0,03	0,03	0,03
	0–30	0,02	0,03	0,03	0,02

Наиболее оптимальная плотность почвы за все годы исследований как перед посевом яровой, так и в фазу возобновления вегетации озимой пшеницы наблюдалась на вариантах с внесением диатомита, в том числе в смеси с мочевиной. При этом показатели плотности почвы перед посевом позволяют прогнозировать развитие культур в течение вегетации, а перед уборкой – оценить действие применяемых приемов на агрофизическое состояние в прямом действии и косвенно – на биологические и агрохимические ее показатели.

Результаты анализа агрегатного состава почвы при возделывании яровой и озимой пшеницы с внесением диатомита в чистом виде и смеси с мочевиной представлены на рисунках 3 и 4.

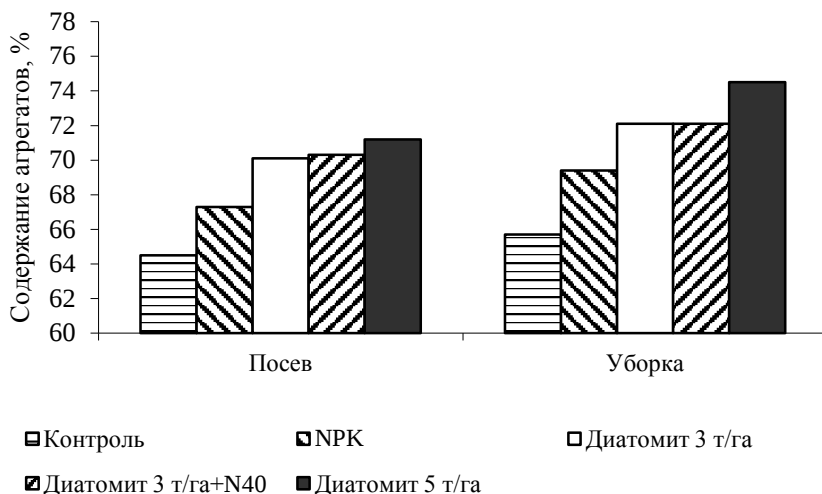


Рисунок 3. Содержание агрономически ценных агрегатов в посевах яровой пшеницы в зависимости от применения диатомита и удобрений (2003–2005 гг.)

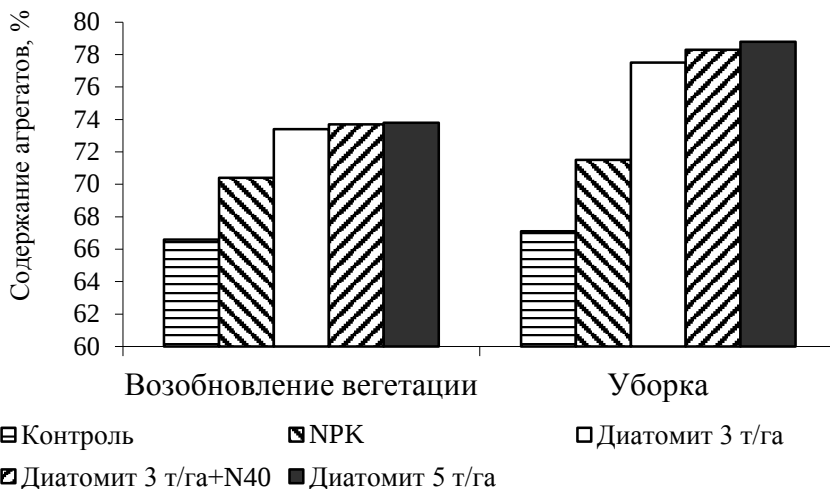


Рисунок 4. Содержание агрономически ценных агрегатов в посевах озимой пшеницы (2004–2005 гг.)

Таблица 5 – Коэффициент структурности в посевах озимой (2004–2006 гг.) и яровой (2003–2006 гг.) пшеницы

Вариант	Озимая пшеница		Яровая пшеница	
	возобновление вегетации	уборка	посев	уборка
Контроль	1,9	2,1	1,8	2,0
N40P40K40	2,1	2,3	1,9	2,2
Диаомит, 3 т/га	2,3	3,3	2,2	2,7
Диаомит 3 т/га + N40	2,6	3,6	2,3	2,9
Диаомит 5 т/га	2,8	3,7	2,5	2,9

Как показывают результаты исследований, во все

фазы развития растений при внесении диатомита в почву как в чистом виде, так и смеси с мочевиной содержание агрономически ценных агрегатов в пахотном слое заметно увеличивалось. Внесение 5 т/га диатомита повысило их количество на 6,7 и 8,8 % (абсолютные значения) под посевами яровой пшеницы, на 7,2 и 11,7 % – озимой.

Оструктурирующее действие диатомита как кремний-содержащего материала подтверждается коэффициентом структурности (табл.5), который менялся от 1,8–2,0 до 2,5–2,9 под посевами яровой пшеницы и от 1,9–2,1 до 2,8–3,7 озимой по сравнению с контролем.

Таким образом, внесение диатомита в чистом виде (3–8 т/га) оказывает оструктурирующее и разуплотняющее действие на почву при возделывании любых культур, что создавало благоприятное строение пахотного слоя. Так, плотность почвы перед возобновлением вегетации озимой пшеницы уменьшилась с 1,27 г/см³ на контроле до 1,15 г/см³ (8 т/га). Коэффициент структурности повысился в 1,7 раз, а содержание агрономически ценных агрегатов (0,25–10 мм) – с 65,5 до 76,0 %. Положительное влияние диатомита на агрофизические показатели почвы сохранялось при совместном применении с минеральными удобрениями.

2.2. Водный режим

Проблема накопления, сохранения влаги в почве и рациональное её использование является одной из главных для земледелия засушливых районов, в том числе и для лесостепи Поволжья, где почвенная влага находится в первом минимуме, часто является фактором, резко снижающим продукционный процесс растений.

В улучшении водного режима крайне важно сохранить в почвенной толще поступающую с атмосферными

осадками влагу путем снижения как изменения инфильтрации в глубокие слои, так и уменьшения ее потерь вследствие испарения с поверхности почвы. Последнее особенно важно в сложных экологических условиях Поволжья, отличающегося недостаточным характером увлажнения и температурного режима. При этом, наряду со всеми агротехническими приемами, направленными на сбережение и экономное расходование почвенной влаги, одним из способов сохранения продуктивных ее запасов может явиться внесение в почву природных сорбентов, каковыми являются высококремнистые породы.

Положительное действие высококремнистых пород на водный режим почвы может быть обусловлено не только физико-механическими свойствами самих пород (характер пористости, адсорбционная способность и т.д.), но и свойствами аморфного кремнезема. Рядом авторов показано, что внесение в почву активных форм кремния способствует повышению водоудерживающей способности почвы, засухоустойчивости растений и эффективности использования ими почвенной влаги (Aston, Jones, 1976; Matichenkov, Bocharnikova, 2001, 2004).

Матыченков (2008) приводит данные, показывающие, что один атом кремния может удерживать до 119 молекул воды. Этот же автор утверждает, что внесением жидких или твердых веществ, содержащих доступный для растения кремний, можно снизить расход поливной воды на 30–40 % без негативных последствий для качества и количества урожая. Наряду с увеличением корневой массы при этом, снижением уровня транспирации и повышением водоудерживающей способности почвы, по мнению В.В. Матыченкова 20–30 % поглощенного кремния может быть израсходовано на создание и поддержку внутреннего резерва воды в растении. Свежеприготовленный гель кремниевой кислоты может содержать до 330 молей H_2O на 1 моль SiO_2 (Айлер,

1959; Ефремов, 1971).

Наши исследования показали, что внесением в почву диатомита можно значительно улучшить водный режим черноземов Среднего Поволжья (табл.6 и 7).

Таблица 6 – Запасы продуктивной влаги в посевах моркови, мм (2000–2002 гг.)

Вариант	Посев		Уборка		Коэффици- ент водо- потребле- ния, м³/т
	слой почвы, см				
	0–30	0– 100	0–30	0– 100	
Контроль	37	131	33	81	62
Диатомит					
5 т/га*	40	136	37	92	52
НСР ₀₅	3,7	5,7	3,0	6,0	

* Диатомит внесен перед посевом

Указанная закономерность проявлялась в разные по метеорологическим условиям годы и при возделывании разных сельскохозяйственных культур. Так, несомненное влияние диатомита на водный режим чернозема выщелоченного, в том числе на рациональное использование влаги в течение вегетационного периода, показало определение доступной влаги под посевами моркови и сахарной свёклы и расчеты коэффициентов водопотребления. В пахотном слое при внесении диатомита удерживалось и сохранялось значительно больше влаги, чем на контроле: в среднем за 2000–2002 и 2003–2005 гг. на 3–13,4 мм в слое 0–30 см и 5–17,1 мм в метровом слое перед посевом; на 4–10,8 (0–30 см) и 11–19,2 мм (0–100 см) до уборки культур. В отдельные годы разница по отношению к контролю достигала 25 мм. В связи с тем, что при этом значительно повышалась урожайность культур,

коэффициент водопотребления снижался на 16–24 %, или в 1,2–1,3 раза.

Таблица 7 – Запасы продуктивной влаги в почве при возделывании сахарной свеклы, мм (2003–2005 гг.)

Вариант	Посев		Уборка		Коэффици- ент водопо- требления, м ³ /т
	слой почвы, см				
	0–30	0–100	0–30	0–100	
Контроль	41,8	149,9	14,5	54,8	136
N60P60K60	44,1	151,9	17,4	57,7	108
Диатомит					
3 т/га	48,4	159,3	21,2	69,9	110
Диатомит					
5 т/га	55,2	167,0	25,3	74,0	103
НСР ₀₅	4,5	6,6	4,8	7,2	

Аналогичная закономерность наблюдалась при возделывании зерновых культур (рис.5, табл.8). Преимущество вариантов с внесением диатомита составляло перед посевом культур в 0–30 см 7,5–14,5 мм, перед уборкой 8,8–17,4 мм; в метровом слое 19,3–27,4 мм.

Выше приводились литературные сведения о роли активных форм кремния в удерживании и экономном расходовании почвенной влаги. Положительное влияние диатомита на динамику влаги в почве обусловлено и его физическими свойствами, так как известно, что природные сорбенты отличаются высокими адсорбционными свойствами. Особенно это выражено у кремнезема.

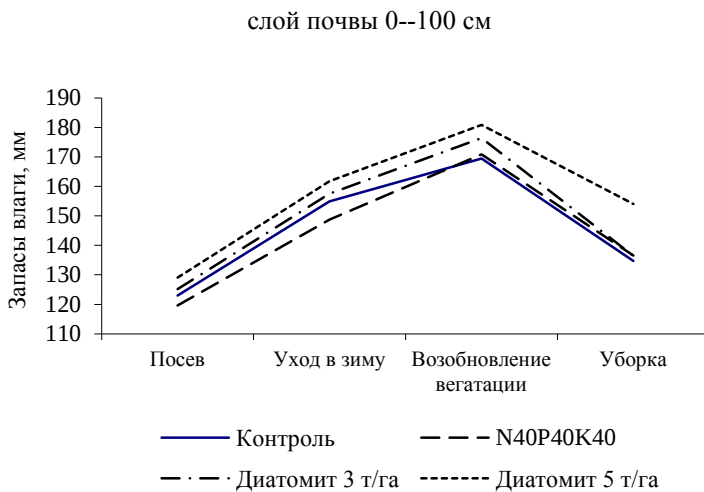
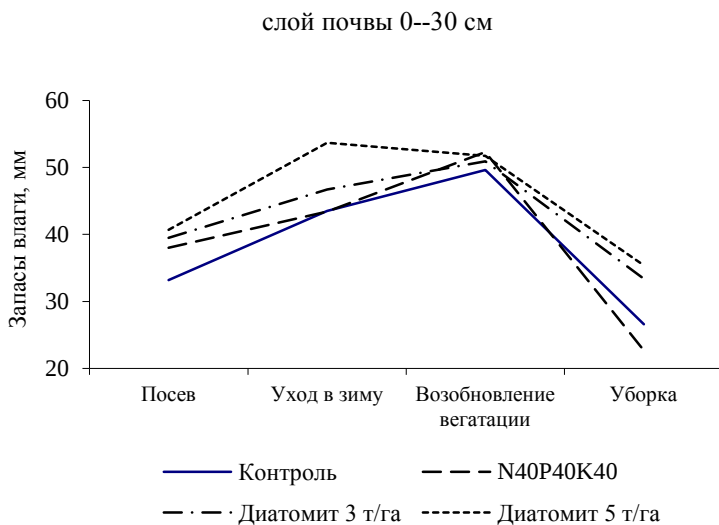


Рисунок 5. Запасы продуктивной влаги в почве под посевами озимой пшеницы, мм (2004–2006 гг.)

Таблица 8 – Запасы продуктивной влаги в почве под посевами яровой пшеницы, мм (2003–2006 гг.)

Вариант	Посев		Уборка	
	слой почвы, см			
	0–30	0–100	0–30	0–100
Контроль	41,2	170,8	36,0	149,1
N40P40K40	40,5	165,5	44,8	148,7
Диатомит 3 т/га	48,7	176,0	45,3	154,1
Диатомит 5 т/га	55,7	189,4	53,4	176,5
НСР ₀₅	3,3	5,6	3,6	5,1

Поверхность его при гидратации покрыта монослоем гидроксильных групп OH^- . Атомы Si имеют тетраэдрическую координацию с кислородом и при реакции с H_2O образуют группу SiOH (Айлер, 1959; Рочев и др., 1990). Имея большую удельную поверхность, диатомит способен удерживать в себе значительное количество влаги, таким образом сохраняя ее в пахотном слое и постепенно расходуя в течение вегетации, так как она остается доступной. Как считают вышецитированные авторы, это имеет большое значение для удерживания и пролонгированного действия элементов питания, так как адсорбция OH^- первична, а других катионов на кремнеземе – вторична. Последние затем легко переходят в почвенный раствор. Кроме того, гидратированный аморфный кремний является наиболее биологически активным (анион SiO_3^{-2} , активность которого связана с наличием OH^-). Малые размеры и высокая поляризуемость позволяет силикат-ионам легко проникнуть через клеточную мембрану. Доказано, что электронная поляризуемость в водных растворах кремния почвы превосходит поляризуемость основных элементов: кальция в 19 раз, калия – 6, железа – 11,

натрия – 670, алюминия – 5, азота – 0,5, марганца – 10, магния в 8 раз (Ермолаев, 1993). Следовательно, как полагает автор, кремний определяет электроотрицательность почв, оказывает влияние на ее буферность, поглонительную способность и влагоемкость.

Таким образом, нет сомнения в том, что диатомит в значительной степени способствует повышению водоудерживающей способности черноземов, экономному и рациональному расходованию запасов продуктивной влаги в течение вегетации сельскохозяйственных культур. При этом запасы продуктивной влаги в пахотном слое (0–30 см) в зависимости от доз внесения диатомита (3–5 т/га) в начале вегетации повышались в сравнении с контролем на 3–14,5 мм, в метровом – на 19–27 мм, коэффициент водопотребления снижался на 16–24 % (в 1,2–1,3 раза).

2.3. Биологические свойства и питательный режим

2.3.1. Биологическая активность

В порядке значимости факторов, обуславливающих состояние биологической активности почвы, степень увлажнения занимает одно из ведущих мест. Следовательно, влияние разных элементов технологий возделывания культур на биологические свойства почвы необходимо рассматривать через призму водного режима (Хазиев, 1982; Максютлов, 1999). Интенсивность размножения микроорганизмов происходит в достаточно увлажненной почве, для отдельных групп почвенного микронаселения оптимальная влажность не тождественна. Для агрономической практики наиболее желательной считается влажность почвы, приближающаяся к 60 % от полной ее влагоемкости. Сильное увлажнение и, наоборот, малая влажность почвы не благоприятны для большинства микроорганизмов (Емцев, 1982).

Не менее важным факторов биогенности почвы является ее агрофизическое состояние. По данным Слесарева и др. (1979) мобилизационные процессы наиболее активно протекают при плотности 1,0–1,2 г/см³. Плотность сложения оказывает большое влияние на процессы азотфиксации: при благоприятном сложении увеличивается не только активность (в 5 раз), но и заметно удлиняется ее период. При плотности почв до 1,30 г/см³ активность всех ферментов и активность нитрификации значительно снижается и падает интенсивность «дыхания» почвы (Ландина, 1986).

Природные сорбенты (в т.ч. диатомит), положительно влияя на агрофизическое состояние и водный режим почвы, могут способствовать активизации в ней микробиологических процессов.

Анализ литературных источников свидетельствует об отсутствии интегрального показателя активности почвенных микроорганизмов и общей биологической активности почвы. О последней судят по таким биохимическим тестам, как нитрифицирующая и аммонифицирующая активность, продуцирование CO₂ («дыхание почвы») и целлюлозоразлагающая способность почвы. По мнению Сорокина (1996), наиболее адекватными показателями деятельности микроорганизмов являются скорость разложения целлюлозы, общая протеазная активность, биомасса микроорганизмов. Интенсивность разрушения клетчатки в почве характеризует энергию круговорота азота, а общая протеазная активность – азота почвенными микроорганизмами. Мишустин и Емцев (1970) также считают, что метод аппликации может достаточно полно характеризовать общую направленность микробиологических процессов в почве.

Определение целлюлозоразлагающей способности в полевых опытах по изучению эффективности диатомита в качестве удобрения сельскохозяйственных культур пока-

зало значительное улучшение при этом деятельности почвенной микрофлоры при использовании как в чистом виде, так и совместно с минеральными удобрениями, а также для предпосевной обработки семян (в том числе с биопрепаратами). Внесение диатомита в чистом виде в дозах 3–8 т/га достоверно усиливало микробиологическую активность чернозема выщелоченного на 5–11 % в прямом действии и на 5–17 % – в последствии. Наибольшее повышение биогенности почвы наблюдалось при дозе внесения диатомита 8 т/га. Последнее, несомненно, объясняет положительное влияние диатомита, как будет показано ниже, на агрохимические показатели и питательный режим почвы.

Аналогичные результаты получены при совместном применении диатомита с мочевиной (рис.6).

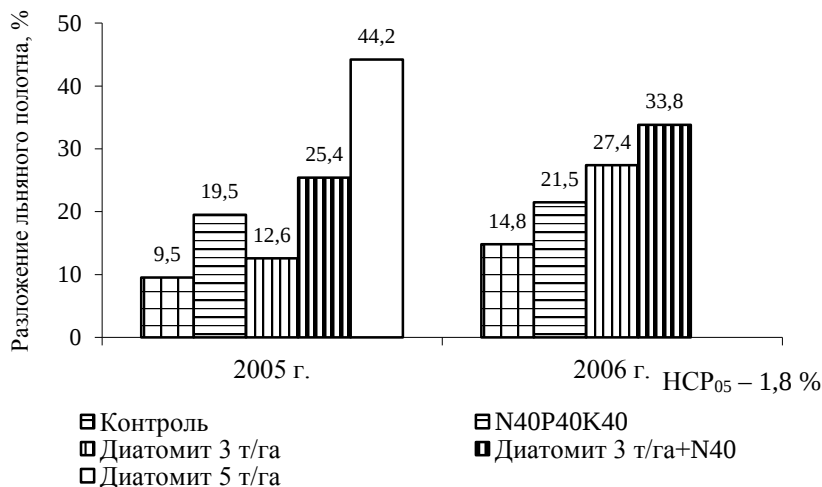


Рисунок 6. Разложение льняного полотна под посевами яровой пшеницы в зависимости от внесения диатомита и минеральных удобрений

Как видно из рисунка 6, наибольшая активность микроорганизмов наблюдалась при дозе внесения диатомита 5 т/га

и составила 44,2 %. Внесение диатомита в дозе 3 т/га способствовало повышению биогенности почвы на 3–13 %. Добавление к диатомиту азота 40 кг/га усилило разложение льняного полотна по отношению к контролю на 16–19 %, по отношению варианта диатомит 3 т/га на 6–13 %. Целлюлозо-разлагающая способность почвы при внесении диатомита не уступала таковой при внесении полного минерального удобрения, более того – превосходила.

Таким образом, оптимизация структурного состояния почвы при внесении диатомита (как было показано выше) мобилизует деятельность почвенных микроорганизмов, в т.ч. «силикатных» бактерий [среди микроорганизмов выделена группа специфических «силикатных» бактерий, способных разрушать почвенные силикаты с высвобождением из них не только калия, но также алюминия и кремния – основных элементов алюмосиликатного ядра (Терновская, 1969)]. Последнее способствует переводу кремния в более доступную форму, улучшая питание растений не только основными макроэлементами – калием и фосфором, но и кремнием.

Если вполне обоснованно усиление микробиологической деятельности почвенных организмов через улучшение агрофизического состояния и водного режима почвы при внесении достаточно высоких доз диатомита (3–8 т/га), то наблюдаемое нами усиление ее биогенности при посеве с семенами, обработанными диатомитовым порошком, когда доза последнего составляет всего 20–30 кг на 1 тонну семян, объяснить вышеприведенными механизмами сложно.

В таблице 9 приведены данные, полученные при возделывании сахарной свеклы с предпосевной обработкой семян диатомитовым порошком как в чистом виде, так и совместно с биопрепаратом Байкал ЭМ-1. Байкал ЭМ-1 представляет из себя концентрат в виде жидкости, в котором выращено более 60 штаммов микроорганизмов, обитающих в почве, и вклю-

чает устойчивую ассоциацию как аэробных, так и анаэробных микроорганизмов (фотосинтезирующие бактерии и азотфиксирующие микроорганизмы, дрожжи, актиномицеты, ферментирующие грибы и др.). Байкал ЭМ-1 рекомендован для применения как инокулянт для увеличения микробного разнообразия почв. Микроорганизмы, которые применялись при создании данного препарата, получены в природной среде экосистемы Байкала (Шаблин, 2011).

Таблица 9 – Интенсивность разложения льняного полотна под посевами сахарной свеклы в зависимости от предпосевной обработки семян биопрепаратом Байкал ЭМ-1 и диатомитовым порошком, %

Вариант	2006 г.	2007 г.	2008 г.	Средняя	Отклонение от контроля, ±
Контроль	27,3	28,9	22,5	26,2	0
Диатомит	41,6	37,2	30,9	36,6	+10,4
Байкал ЭМ-1	45,0	39,0	34,7	39,6	+13,4
Байкал ЭМ-1 + диатомит	46,2	40,1	35,2	40,5	+14,3
НСР ₀₅	0,8	0,5	0,6		

Понятно, что поступление в почву вместе с семенами комплекса активных микроорганизмов способствует интенсификации процессов разложения целлюлозосодержащего материала не только из-за усиления деятельности микроорганизмов, но и за счет биологически активных веществ, присутствующих в препарате Байкал ЭМ-1 (ауксины, витамины, биотин, аминокислоты, пантотеновая и фолиевая кислоты и т.д.). Однако обработка семян диатомитовым порошком в чистом виде также приводила в значительному

усилению биологической активности почвы в разные по метеорологическим условиям годы и разложение льняного полотна повышалось от 8,3 до 14,3 %. Следовательно, внесение активного кремнезема в ризосферу корневой системы непосредственно влияет на деятельность почвенной микрофлоры, механизм которой мало изучен. Уместно предположить, что при этом усиливается ферментативная активность почвы, что подтверждается прямыми определениями соответствующих ферментов. При возделывании сахарной свеклы нами определялись полифенолоксидаза (ПФО), пероксидаза (ПО) и каталаза (табл.10).

Таблица 10 – Влияние диатомита и биопрепарата Байкал ЭМ-1 на ферментативную активность чернозема выщелоченного (2007–2008 гг.) под посевами сахарной свеклы

Вариант		Начало вегетации			Середина вегетации			Перед уборкой		
		ката-лаза*	ПФО**	ПО***	ката-лаза	ПФО	ПО	ката-лаза	ПФО	ПО
Контроль		3,4	1,11	2,08	3,7	1,20	1,33	3,4	1,15	1,18
Диатомит		3,5	1,12	2,10	3,8	1,20	1,34	3,5	1,16	1,21
Байкал ЭМ-1		3,9	1,15	2,13	4,2	1,23	1,39	4,0	1,20	1,27
Байкал ЭМ-1 + диатомит		3,9	1,14	2,17	4,1	1,21	1,43	3,9	1,19	1,29
НСР ₀₅	2007	0,05	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01
	2008	0,04	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01

* мл 0,1 н КМnO₄ на 1 г сухой почвы за 20 минут,

, * мг пурпургаина на 100 г почвы за 30 минут.

Полифенолоксидаза участвует в превращении органических соединений ароматического ряда в компоненты гумуса. Она катализирует окисление фенолов (моно-, ди-, три-)

до хинонов в присутствии кислорода воздуха. Хиноны в соответствующих условиях при конденсации с аминокислотами и пептидами образуют первичные молекулы гуминовой кислоты (Хазиев, 1990). Каталаза участвует в реакции разложения пероксида водорода, который образуется в процессе дыхания живых организмов и в результате биохимических реакций окисления органических веществ на воду и молекулярный кислород. Пероксидазы осуществляют окисление органических веществ за счет кислорода пероксида водорода. Данные ферменты играют роль как в разложении органического вещества, так и образовании гумуса.

Таким образом, наряду с комплексным биопрепаратом Байкал ЭМ-1, диатомит (присутствующий в нем активный кремнезем) оказывает заметное положительное влияние на ферментативную активность почвы, что способствует оптимизации биохимических процессов в почве. Возможно, это связано с интенсивной выработкой ферментов, участвующих в данных процессах, а также вероятно, биопрепараты и диатомит интенсифицируют активность имеющихся в почве микроорганизмов.

Создание оптимальных условий для жизнедеятельности микроорганизмов, повышение ферментативной активности чернозема выщелоченного обеспечивает улучшение питательного режима почвы и формирование (как показано будет ниже) более высокой урожайности сельскохозяйственных культур.

Следует признать, что наиболее объективным показателем оценки биологической активности черноземов является интенсивность распада клетчатки. В наших исследованиях установлена сильная корреляционная зависимость между урожайностью культур и целлюлозоразлагающей способностью почвы. Так, соответствующее уравнение регрессии при возделывании сахарной свеклы имеют вид:

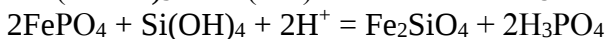
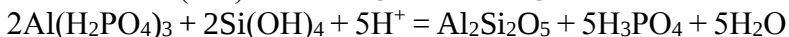
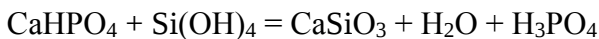
$$Y = 0,41x + 25,16,$$

где $У$ – урожайность корнеплодов сахарной свеклы;
 $х$ – % разложения клетчатки. Коэффициент корреляции составляет 0,88, уравнение действительно в пределах разложения льняного полотна 25–60 %.

2.3.2. Питательный режим

Нет сомнения в том, что усиление деятельности почвенных микроорганизмов способствует улучшению питательного режима почвы. Однако влияние кремнийсодержащих удобрений на плодородие почвы, прежде всего, связывают с положительным действием их на содержание доступного растениям фосфора. Имеются ряд обзоров (Гладкова, 1982; Матыченков и др., 2002; Самсонова, 2005), где показано, что кремниевые удобрения способствуют переходу недоступных растениям почвенных фосфатов в доступные, а также препятствуют фиксации фосфора (например, вносимых с минеральными удобрениями) почвой. По расчетам Матыченкова и др. (1997) кремниевые соединения могут снизить расход фосфорных удобрений на 30–50 %.

Механизм взаимовлияния силикат- и фосфат-ионов до конца не выяснен. Наиболее распространено мнение, что кремний, находящийся в форме силикат-ионов, мономеров и димеров ортокремниевой кислоты, вытесняет фосфат-ион из поглощенного состояния (Барсукова, Рочев, 1979; Матыченков, Амосова, 1994). Матыченков (2002) приводит термодинамические расчеты, которые показывают возможность реакции вытеснения фосфат-аниона силикат-анионом из труднодоступных фосфатов с образованием соответствующих силикатов.



Модельные и полевые эксперименты подтвердили наличие этих процессов в почве.

По данным А.Л. Иванова (1992) внесение кремнийсодержащих соединений заметно снижало фиксирующую способность коллоидной фракции почв менее 0,1 мк в отношении фосфатов (с 10 до 8 мг-экв PO_4 /100 г почвы). Большая часть фосфатов, внесенных совместно с кремнием, взаимодействовали с коллоидами почвы с образованием разноосновных форм кальция, препятствуя их осаждению.

Елешеев и др. (1990) считают, что способность кремниевых соединений оказывать влияние на фосфорный режим почв следует рассматривать с нескольких позиций. Во-первых, на почвах с щелочной средой и, частично, близких к нейтральной, возможен анионный обмен SiO_2^{2-} на анионы фосфорной кислоты (Read, 1973). Во-вторых, анионы кремниевой кислоты способны блокировать активные карбонаты почвенного раствора, предохраняя тем самым внесенные фосфаты от ретроградации. Установлено, например, что при взаимодействии $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ с гелем SiO_2 содержание CaO в водной вытяжке заметно снижалось (Акентьева, 1952). В-третьих, кремниевая кислота, как отрицательно заряженный ацидоид, может закрепляться на поверхности с алюминием и железом, понижая их активность, и, как следствие, увеличивая растворимость новообразованных фосфатов (Корбридж, 1982). Последний автор считает, что при конденсации ортофосфорной и кремниевых кислот образуются соединения $\text{Si}_3(\text{PO}_4)_4$ и SiP_2O_7 . Связь фосфора с кремнием в таких соединениях осуществляется через фрагмент $\text{Si} - \text{O} - \text{P}$. В таких соединениях кремний находится в центре октаэдра из атомов кислорода и связи имеют более ионный характер, чем при тетраэдрической координации атомов кремния. При этом, чем выше полимеризация молекул

кремниевых кислот, тем менее устойчивы фосфоркремниевые компоненты. Результаты работ, выполненных в 1925–1957 гг., показали, что кремний может быть частично или полностью замещать фосфор.

В силу большого разнообразия в природных условиях факторов, влияющих на взаимодействие кремниевых и фосфорных соединений, справедливо предположить, как считает Елешев (1990), что в почвах присутствуют все перечисленные механизмы взаимодействия кремния с фосфорными соединениями с преобладанием того или иного из них в зависимости от их свойств (pH, карбонатность, соотношение $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$, содержание гумуса и т.д.), а также от формы вносимых в почву кремнийсодержащих удобрений.

Наши исследования подтвердили наличие прямой линейной зависимости между повышением количества монокремниевой кислоты при внесении диатомита и увеличением содержания подвижного фосфора в почве (табл.11).

Уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = 49,46 + 3,33x \quad (R=0,6),$$

где Y - содержание P_2O_5 , мг/кг почвы;

x – содержание водорастворимого кремния, мг/кг почвы.

Аналогичные данные получены Матыченковым (1994), где коэффициенты корреляции между содержанием монокремниевой кислоты и подвижных фосфатов для обыкновенного чернозема и каштановой почвы составили 0,63 и 0,75 соответственно.

Анализ данных наших полевых опытов показывает, что внесение диатомита в чистом виде приводит к улучшению питательного режима почвы, не уступающему в отношении содержания подвижных соединений фосфора и калия полным дозам минеральных удобрений (табл.11).

Таблица 11 – Агрохимические показатели почвы в посевах сахарной свеклы в зависимости от внесения диатомита и минеральных удобрений (2003–2005 гг.)

Вариант	Гумус, %	pH _{KCl}	мг/кг				Сумма погло- щенных основа- ний, мг- экв/100 г
			Si водораств- воримый	NO ₃ + NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Перед посевом							
Контроль	4,39	5,89	33,5	139	155	149	43,0
N60P60K60	4,38	5,92	34,0	155	165	164	43,3
Диатомит 3 т/га	4,40	5,85	35,3	146	168	168	43,9
Диатомит 3 т/га + N60	4,42	5,89	34,8	152	175	165	43,6
Диатомит 5 т/га	4,41	5,90	39,3	147	174	170	43,9
В период уборки							
Контроль	4,35	5,88	33,4	146	161	152	43,9
N60P60K60	4,37	5,86	31,4	160	170	166	43,5
Диатомит 3 т/га	4,34	5,90	36,6	158	186	174	44,7
Диатомит 3 т/га + N60	4,32	5,95	36,9	463	180	169	43,9
Диатомит 5 т/га	4,35	5,92	40,4	159	184	172	44,4

Если перед посевом содержание P₂O₅ и K₂O в пахотном слое при внесении минеральных удобрений (N60P60K60) повышалось на 10 и 15 мг/кг почвы, то при внесении диатомита в дозе 3 т/га – на 13 и 19 мг/кг, в дозе 5 т/га – на 19 и 21 мг/кг соответственно. Преимущество данных вариантов сохранялось до конца вегетации, несмотря на интенсивное потребление элементов культурой на формирование корнеплодов. При этом превышение над вариантом с NPK составило 16 и 14 мг/кг P₂O₅ и 8 и 6 мг/кг K₂O.

Таким образом, увеличение содержания подвижного фосфора в почве при внесении диатомита подтверждает многочисленные сведения о трансформации труднорастворимых соединений фосфатов под влиянием подвижной кремнекислоты в более доступные. Положительное влияние диатомита

на количество подвижного калия вполне объяснимо относительно высоким содержанием в нем элемента. Расчеты показывают, что с дозами диатомита 3 и 5 т/га в почву поступает 31–51 кг/га K_2O , что вполне достаточно с учетом содержания подвижного калия в самой почве для формирования высокой урожайности даже такой калиелюбивой культуры, какой является сахарная свекла.

Однако следует обратить внимание на заметное улучшение при этом и азотного питания растений: содержание минеральных форм азота ($NO_3 + NH_4$) при внесении диатомита в течение всей вегетации достоверно превышало контрольный вариант на 7–16 мг/кг. Последнее, несомненно, связано с повышением микробиологической активности почвы при внесении диатомита. Усиление процессов нитрификации при внесении кремнегеля отмечают Швейкина и Рочев (1979). При этом в отдельные годы (из 6-и лет исследований) удвоение дозы кремнегеля (с 9 до 18 т/га) приводило к удвоению содержания нитратов в почве по отношению к контролю. Повышение микробиологической активности почвы, благодаря чему усиливается процесс нитрификации, приводит к увеличению количества аммонификаторов, отмечают Воронков и др. (1978), Кцоев и Ермолаев (1990), Самсонова (2001).

Особо следует остановиться на содержании водорастворимого кремния. При применении как в чистом виде, так и совместно с минеральным азотом содержание его в почве перед посевом сахарной свеклы увеличилось на 1,3–5,8 мг/кг почвы (на 4–5 %), по сравнению с контрольным вариантом. Преимущество данных вариантов по содержанию водорастворимого кремния в пахотном слое отмечалось и перед уборкой корнеплодов и составило 3,2–7 мг/кг почвы, или 10–20 %. Учитывая, что по шкале В.В. Матыченкова (2007) в данной почве опытного поля наблюдался низкий

уровень дефицита кремния, использование диатомита в технологии возделывания сельскохозяйственных культур способствует оптимизации кремниевого питания растений. Кроме того, как отмечалось выше, содержание водорастворимого кремния в значительной степени определяло количество P_2O_5 в пахотном слое.

Применение диатомита в качестве удобрения практически не оказывало влияния на реакцию почвенного раствора, сумму поглощенных оснований и содержание гумуса. Последнее косвенно подтверждает, что при этом не происходит снижения плодородия почвы, а превышение содержания основных элементов питания к уборке по отношению начала вегетации предполагает пролонгированность действия диатомита.

В данном разделе подробно рассмотрено состояние питательного режима почвы при возделывании сахарной свеклы с применением диатомита в системе удобрения. Аналогичные результаты получены при возделывании зерновых культур (озимой и яровой пшеницы, ячменя). Так, к концу вегетации яровой пшеницы содержание водорастворимого кремния при дозе диатомита 5 т/га повысилось с 32,5 мг/кг до 40,1 мг на 1 кг почвы (23 %), что, несомненно, свидетельствует об улучшении кремниевого питания растений при использовании диатомита в качестве удобрения и, как показано будет ниже, доля кремния в формировании урожайности зерновых культур достаточно высока.

Содержание минеральных форм азота к концу вегетации яровой пшеницы под влиянием диатомита в дозе 5 т/га увеличилось в среднем за годы исследований на 8 %, фосфора со 169 до 181 мг/кг, калия со 144 до 166 мг/кг почвы.

Еще более значительные изменения в содержании элементов питания произошли при возделывании ячменя: количество азота при внесении диатомита 5 т/га в среднем за 2003–2005 годы в черноземе выщелоченном увеличилось с 81 до 104, P_2O_5 с 145 до 198, K_2O с 113 до 152 мг/кг почвы.

Таким образом, изучение изменений основных агрохимических показателей почвы под влиянием диатомита показало:

- при внесении диатомита до 5 т/га содержание водорастворимого кремния до начала вегетации сельскохозяйственных культур повышалось до 20 %, ко времени уборки урожая – до 23 %;

- диатомит по улучшению питательного режима почвы не уступал полным дозам фосфорно- и калийных удобрений, а также способствовал значительному улучшению азотного питания растений;

- преимущество вариантов с внесением диатомита сохранялось до конца вегетации;

- применение диатомита практически не оказало влияния на содержание гумуса, реакцию почвенного раствора, сумму поглощенных оснований. Следовательно, несмотря на формирование большей урожайности, применение диатомита в технологии возделывания сельскохозяйственных культур не приводит к снижению плодородия почвы.

2.4. Содержание тяжелых металлов и их подвижность

С точки зрения охраны окружающей среды природные сорбенты, каковыми являются высококремнистые породы,

представляют из себя не только доступное и дешевое, но экологически чистое сырье и в этом качестве широко используются для очистки промышленных газов, питьевой воды, дезактивации почв от радиоактивного загрязнения, нефтепродуктами и т.д. В том числе при использовании в качестве удобрения позволяют получать экологически более безопасную продукцию (Дистанов, Конюхова, 1990).

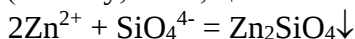
Определение содержания тяжелых металлов (ТМ) в почве при внесении диатомита показало, что при этом практически не происходит изменения валового содержания, но уменьшается их подвижность (табл.12, рис.7), что особенно важно для такого наиболее подвижного и токсичного элемента, как кадмий, содержание которого в наших почвах очень часто близко к ПДК, или превышает ее.

Таблица 12 – Содержание подвижных соединений тяжелых металлов в почве в зависимости от внесения диатомита, мг/кг (среднее за 2003–2005 гг.)

Вариант	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr ⁺³
Контроль	6,10	3,23	2,47	0,57	2,77	1,97
Диатомит 5 т/га	5,37	2,73	2,27	0,47	2,43	1,63
ПДК	23	3,0	6,0	0,5	4,0	6,0
НСР ₀₅	0,42	0,15	0,21	0,03	0,20	0,13

Приведенные данные показывают, что при внесении диатомита в почву происходит заметное снижение подвижности тяжелых металлов.

Известно, что монокремниевая кислота может образовывать с тяжелыми металлами труднорастворимые силикаты (Lindsay, 1979; цит. по Матыченкову, 2008):



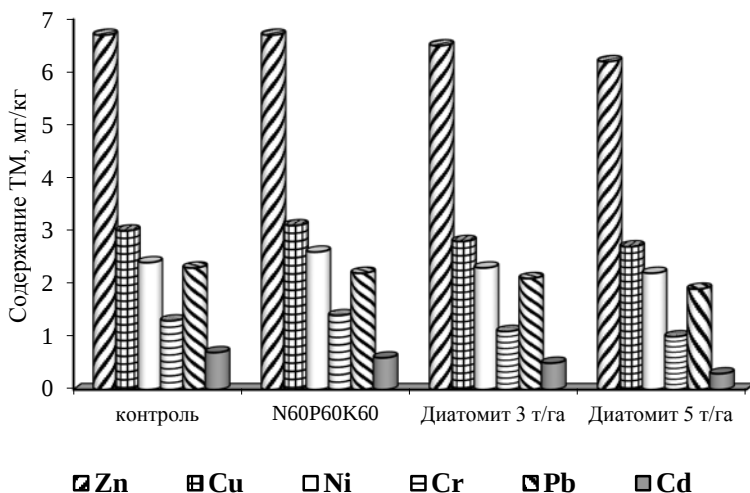
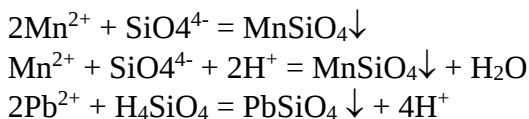


Рисунок 7. Влияние диатомита и минеральных удобрений на подвижность тяжелых металлов в почве (при возделывании сахарной свеклы)

Последнее объясняет значительное уменьшение подвижности металлов (до 1,2 раз, или на 15–18 %) при внесении в почву диатомита.

Матыченков (2008) установил, что подвижность ТМ в системе зависит от начальной и конечной концентраций монокремниевой кислоты: при внесении малых количеств активного кремния идет образование растворимых комплексов с металлами и повышение общего содержания растворимых их форм; при значительном повышении концентрации монокремниевой кислоты в почве или растворе проис-

ходит образование труднорастворимых силикатов элементов. При этом существует критическая концентрация монокремниевой кислоты, при которой происходит изменение характера их взаимодействия. Последняя определяется свойствами почвы или грунта (рН, окислительно-восстановительный потенциал и т.д.). В наших опытах при содержании водорастворимого кремния в пахотном слое чернозема выщелоченного в пределах 20–40 мг/кг проявлялась четкая тенденция снижения содержания подвижных соединений тяжелых металлов.

Глава 3. ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ ДИАТОМИТА

3.1. Фотосинтетическая деятельность посевов (на примере яровой пшеницы)

Для получения посевов, способных поглощать много энергии солнечной радиации, необходимо стремиться к тому, чтобы площадь листьев в них росла быстро и достигала достаточно больших показателей (40–50 тыс. м²/га и выше). Посыпанов (1997) подчеркивал, что для получения высокого урожая растениям необходимо развивать площадь листового аппарата, в 4–5 раз превышающую площадь посева.

Однако по мере увеличения в посевах площади листьев возрастает их взаимная затененность, ухудшается режим освещенности внутри травостоя и, как установлено рядом работ, в той или иной степени снижается средняя интенсивность и чистая продуктивность фотосинтеза листьев.

Основным показателем фотосинтетической деятельности посевов является размер листовой поверхности. Многие авторы отмечают положительную корреляцию между площадью листьев и урожаем. Они указывают, что решающим фактором в создании урожая зерна растения и повышения степени озерненности колоса является не только площадь листовых пластинок, но и срок жизни листьев, а также продуктивность работы единицы площади листовой поверхности. Величина площади листьев посева яровой пшеницы складывается из площади листьев отдельных растений и в различной степени зависит от периода вегетации, погодных условий выращивания, сорта, густоты стояния растений, обеспеченности их питательными веществами и системы ухода за посевами.

Изучение влияния диатомита, а также смеси его с минеральными удобрениями и совместного использования с биопрепаратами на фотосинтетическую деятельность растений нами проводилось во всех полевых опытах. В качестве примера ниже приведены данные по яровой пшенице.

Формирование листовой поверхности. В опытах для определения площади листьев, фотосинтетического потенциала, ЧПФ и накопления сухой биомассы по фазам роста и развития на каждой делянке отбиралось 10 растений яровой пшеницы.

Отмечено, что в фазу трубкования (первый отбор) влияние диатомита и его смесей с мочевиной на площадь листьев растений яровой пшеницы неоднозначно. Так, при внесении полного минерального удобрения превышение контроля составило 18 %. Внесение 3 т/га диатомита привело к небольшому снижению площади листовой поверхности растений – на 2 %. Совместное же внесение диатомита с мочевиной в норме N20 и N40 позволило увеличить площадь листовой поверхности на 20 и 33 % по сравнению с контролем (табл.13).

Таблица 13 – Площадь листьев яровой пшеницы по фазам роста и развития, см²/10 раст. (2006 г.)

Варианты	Трубкование	Колошение	Молочная спелость
Контроль	206,3	1016,0	256,0
N40P40K40	218,4	1210,9	275,9
Диатомит 3 т/га	201,4	1107,6	205,2
Диатомит 3 т/га + N20	247,2	1263,8	357,1
Диатомит 3 т/га + N40	275,2	1360,7	401,5
НСР ₀₅	17,8	74,8	7,0

При этом площадь листьев на вариантах с диатомитом

колебалась от 201,4 см²/10 раст. до 275,2 см²/10 раст.

Наибольшей величины площадь листьев достигала в середине вегетации культуры – в фазу колошения. При этом значения площади листьев варьировали от 1016 см²/10 раст. на контрольном варианте до 1360,7 см²/10 раст. на варианте с внесением смеси диатомита в дозе 3 т/га и азотного удобрения в дозе N40. Внесение диатомита в чистом виде в дозе 3 т/га позволило увеличить площадь листьев на 9 %, а добавление к данной дозе диатомита N20 и N40 привело к увеличению площади листьев на 24 и 34 % соответственно.

Фаза молочной спелости и налива зерна характеризовалась снижением площади листьев в связи с их пожелтением и усыханием. При этом наблюдалось, как и в фазу трубкования, уменьшение площади листьев при внесении диатомита в норме 3 т/га относительно контроля (на 20 %). Полное минеральное удобрение позволило сохранить площадь листьев, на 8 % превышающую таковую на контрольном варианте. При внесении же диатомита в норме 3 т/га + N20 отмечалось превышение контроля на 39 %, а увеличении дозы азота до N40 – на 57 %.

Наибольшая интенсивность нарастания листовой поверхности по всем трем фазам отбора образцов растений наблюдалась на варианте, где вносилась смесь диатомита в норме 3 т/га и мочевины в дозе N40.

Исследования многих ученых показывают, что формирование ассимиляционного аппарата зависит от обеспеченности растений питательными веществами. Судя по сформированной растениями площади листовой поверхности, на варианте с внесением диатомита в норме 3 т/га и азотного удобрения N40 сложились наиболее благоприятные условия в отношении обеспеченности растений элементами питания.

Необходимо отметить, что условия лесостепи Сред-

него Поволжья характеризуются недостаточностью увлажнения с крайне неравномерным выпадением осадков во время вегетации. Поэтому создание агрофитоценозов с наибольшими значениями площади листьев в большей мере представляется возможным за счет агротехнических факторов, в том числе за счет применения диатомита в системе удобрения сельскохозяйственных культур совместно со средними дозами азота.

Фотосинтетический потенциал. Для характеристики мощности ассимиляционного аппарата с учетом срока его функционирования применяют фотосинтетический потенциал посева (ФПП) – производное от умножения ИЛП на соответствующий промежуток времени, выражаемый обычно в днях. Фотосинтетический потенциал растения – это сумма ассимилирующей поверхности (в м^2) с одного растения за определенный промежуток вегетационного периода. Основная единица его измерения м^2 за сутки.

В создании общего биологического урожая большую роль играет фотосинтетический потенциал суммарной листовой поверхности, который определяется не только общей поверхностью листьев, но и скоростью ее образования и временем активной деятельности в период формирования генеративных органов.

В наших опытах в фазу трубкования ФПП под влиянием диатомита изменялся от 0,32 до 0,44 м^2 сутки/10 раст. (табл.14). Внесение полного минерального удобрения (N40P40K40) позволило увеличить ФП на 6 % относительно контроля.

Внесение диатомита в норме 3 т/га, напротив, привело к незначительному снижению ФП, что составило 3 %. Смеси же диатомита с мочевиной (диатомит 3 т/га + N20, диатомит 3 т/га + N40) способствовали увеличению ФП на 21 и 33 % соответственно. В фазу колошения яровой пшеницы превышение значения ФП на контроле по вариантам варьировало

от 7 до 34 %. Внесение диатомита здесь уже повлияло положительно и позволило увеличить ФП на 7 %. Во втором варианте (N40P40K40) превышение контроля составило 17 %, а в третьем и четвертом вариантах – 24 и 34 % соответственно.

Таблица 14 – Фотосинтетический потенциал посевов яровой пшеницы, м²-сутки/10 раст. (2006 г.)

Вариант	Трубкование	Колошение	Налив зерна
Контроль	0,33	1,10	1,46
N40P40K40	0,35	1,29	1,71
Диатомит 3 т/га	0,32	1,18	1,51
Диатомит 3 т/га + N20	0,40	1,36	1,86
Диатомит 3 т/га + N40	0,44	1,47	2,03

Налив зерна характеризовался следующим повышением ФП по вариантам: 2 вариант – 17 %, 3 вариант – 3 %, 4 вариант – 27 % и 5 вариант – 39 %.

В целом наблюдалась тенденция к увеличению ФП по мере развития растений.

Увеличение размеров листьев и продолжительности их работы приводило к росту величины ФП, что предполагает наличие прямой связи между этими величинами.

При внесении диатомита в дозе 3 т/га повышение ФП относительно контроля составило 7 % в фазу колошения и 3 % в фазу налива зерна. В фазу трубкования ФП данного варианта был на уровне контрольного.

ФП на вариантах с добавлением к диатомиту 20 кг д.в./га азота превысил контрольный вариант на 21, 24 и 27 % соответственно.

Внесение диатомита в дозе 3 т/га с азотной добавкой

N40 позволило получить наивысший ФПП по всем фазам отбора (0,44; 1,47 и 2,03 м² сут-ки/10 раст.).

На основании полученных данных можно сделать вывод, что диатомит и его смеси с азотной добавкой положительно влияли на формирование ФП опосредованно, через увеличение площади и срока функционирования листовой поверхности. Таким образом, выдвинутое нами предположение относительно благоприятного влияния диатомита и его смесей с мочевиной на величину ФП, подтвердилось.

Чистая продуктивность фотосинтеза. Ведущая роль в формировании урожайности принадлежит чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ), которая характеризует активность работы ассимиляционной поверхности листьев в течение вегетации. В связи с этим продуктивность фотосинтеза широко изучается в различных почвенно-климатических условиях для выяснения факторов, способствующих повышению продуктивности культурных растений и лимитирующих ее.

По данным А.А. Ничипоровича (1956), величина ЧПФ колеблется от 4 до 6 г/м² сутки. Максимальные же величины ее достигают 12–14 г/м² сутки.

Показатели ЧПФ посевов во многом зависят от обеспеченности растений элементами питания (Фотосинтез, развитие и продуктивность сельскохозяйственных растений, 1982).

Результаты исследований показывают, что в среднем за вегетацию яровой пшеницы ЧПФ колебалась от 4,56 до 11,1 г/м² сутки (табл.15).

В фазу трубкования ЧПФ варьировала от 4,56 до 5,09 г/м² сутки. Наиболее эффективным являлся вариант с внесением смеси диатомита 3 т/га + N40.

Наибольший показатель ЧПФ в фазу колошения отмечался на варианте с внесением диатомита в дозе 3 т/га + N20, несмотря на то, что наибольшая площадь листовой поверхности наблюдалась в варианте с внесением диатомита в дозе

3 т/га + N40. Отмеченное, по-видимому, объясняется тем, что большая площадь листьев приводила к их взаимному затенению, вследствие чего и наблюдалось снижение ЧПФ. При этом смеси диатомита с мочевиной (3 т/га + N20 и 3 т/га + N40) позволили увеличить ЧПФ на 11 и 7 % относительно контроля соответственно.

Таблица 15 – Чистая продуктивность посевов яровой пшеницы, г/м² раст. в сутки (2006 г.)

Вариант	Трубкование	Колошение	Налив зерна
Контроль	4,56	8,89	6,83
N40P40K40	4,56	9,1	8,4
Диатомит 3 т/га	4,88	9,49	7,89
Диатомит 3 т/га + N20	4,76	9,87	10,38
Диатомит 3 т/га + N40	5,09	8,66	11,1

К наливу зерна количество фотосинтезирующих листьев уменьшалось и величина ЧПФ снижалась (6,83–11,1 г/м² раст. сутки). В данную фазу наибольшее значение ЧПФ получено в 5 варианте (диатомит 3 т/га + N40), что превысило контроль на 63 %.

Накопление сухого вещества. Накопление сухого вещества в посевах яровой пшеницы тесно связано с развитием листовой поверхности, ее фотосинтетической деятельности и зависит от сорта, уровня минерального питания, густоты растений, погодных условий вегетационного периода и других факторов.

Внесение диатомита и его смесей с мочевиной в дозе 40 кг д.в./га азота позволило повысить накопление сухого вещества на 51 % в фазу трубкования. В фазу колошения превышение контроля по вариантам составило 10–41 % (рис. 8).

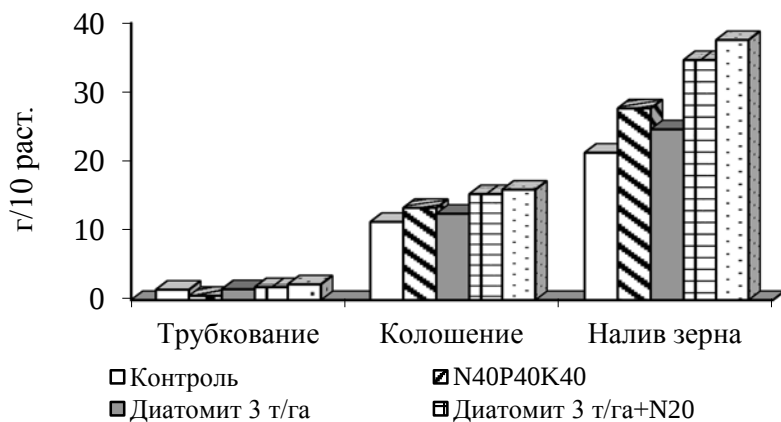


Рисунок 8. Прирост сухого вещества яровой пшеницы за период трубкование – молочная спелость (2006 г.)

Максимальное накопление сухого вещества наблюдалось в период налива зерна. При этом, как и в предыдущие фазы, наиболее эффективным оказался вариант с совместным применением диатомита в дозе 3 т/га и N40, где превышение контроля составило 77 %. В данную фазу в посевах яровой пшеницы было получено 21,3–37,6 г/10 раст. сухой биомассы. В целом за год исследования посевы яровой пшеницы сформировали от трубкования до молочно-восковой спелости 1,5–37,6 г/10 раст. сухого вещества.

Корреляционно-регрессионный анализ показал, что определяющим фактором урожайности яровой пшеницы является фотосинтетический потенциал в фазу трубкования. Соответствующее уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$Y = 0,6 + 5,478x, \text{ где}$$

Y – урожайность культуры, т/га

x – ФП в м²/сутки/10 растений в фазу трубкования.

При этом $R = 0,76$, $D = 57,9 \%$.

Изучение влияния диатомита и его смесей с мочевиной на формирование фотосинтетического аппарата яровой пшеницы позволяет сделать следующие выводы:

- внесение диатомита совместно с мочевиной способствовало увеличению площади листьев растений яровой пшеницы по фазам роста от 9 до 57 %. Влияние 3 т диатомита проявилось неоднозначно: от снижения площади листьев на 2 % в фазу трубкования и на 20 % относительно контроля в фазу молочной спелости до увеличения на 9 % в фазу колошения;

- увеличение площади листьев под действием диатомита и его смесей с мочевиной отразилось на величине ФП, значение которого также повысилось от 3 до 39 % по фазам роста;

- под действием 3 т/га диатомита ФП колебался от 0,32 до 1,51 м²/10 раст., что соответствовало снижению на 3 % относительно контроля в трубкование и превышению на 3 % в фазу налива зерна. В фазу колошения превышение контроля составило 7 %;

- максимальная продуктивность фотосинтеза наблюдалась в фазу налива зерна на вариантах с внесением смеси диатомита с мочевиной – 10,4 и 11,1 г/м² раст. сутки. Превышение контроля на данных вариантах составило 52–63 %;

- накопление сухого вещества под действием диатомита и его смесей с мочевиной увеличилось от 5 до 77 % по фазам роста;

- фотосинтетическая деятельность посевов яровой пшеницы при использовании диатомита в дозе 3 т/га совместно с мочевиной в дозах N 20–40 кг д.в. на 1 гектаре существенно превышает посевы с применением полных доз минеральных удобрений, что привело соответственно к формированию большей урожайности.

3.2. Состояние посевов

В научной литературе имеются многочисленные сведения о том, что кремний способствует повышению устойчивости растений к поражению грибковыми заболеваниями, насекомыми вредителями, полеганию, то есть формирует защитные функции организма (Водяницкий, 1984; Матыченков, 2008; Yoshida, 1965, 1975). Особенно широко исследовано благотворное влияние кремния на сопротивляемость злаковых растений грибным заболеваниям: глазковой пятнистости (вызываемой грибом *Helminthosporium oryzae*), стеблевой гнили (*Leptosphaeria saevini*), мучнистой росе (*Erysiphe graminis*) (Adayanthaya, 1952; Asada Y., Akai S., 1954; Werner D., Peterson M., 1973; цит. по Воронкову, 1978).

При этом доминирующей гипотезой является способность кремния укреплять стенки эпидермальных клеток растений, создавая механический барьер на пути насекомых-вредителей, предотвращая полегание и способствуя более экономному расходованию воды.

По мнению Матыченкова (2008) в растениях существует кроме механической также биохимическая защита, обусловленная подвижными кремниевыми соединениями. Активные формы кремния способствуют быстрому и направленному синтезу специфических органических молекул внутри растительной клетки, которые помогают растению преодолеть или адаптироваться к стрессу. Последнее частично подтверждается и тем, что содержание кремния возрастает в тканях живых организмов, подверженных стрессу. Разнообразие растений (как кремнефилов, так и некремнефилов), положительно отзывающихся на дополнительное питание кремнием, показывает, что защитная функция кремния универсальна.

Из вышеизложенного вытекает важнейший вывод о возможности частичной замены средств защиты растений

кремнийсодержащими удобрениями. Проведенные нами исследования подтверждают данную гипотезу. Так, применение диатомита и кремниевых комплексов на его основе в качестве кремниевого удобрения способствовало снижению пораженности растений сахарной свеклы церкоспорозом на 29–36 % в сравнении с контролем, тогда как использование средств защиты на фоне минеральных удобрений – только на 11 %. Диатомитовый порошок при применении как отдельно, так и биологическими препаратами способствовал снижению заболеваемости корневыми гнилями ячменя до 25 %.

Аналогичные результаты получены при возделывании овощных культур, где в качестве полифункционального удобрения применялся диатомит (рис.9).

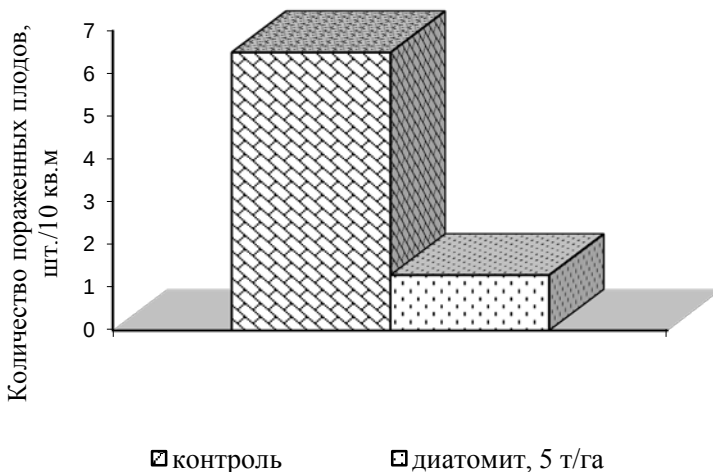


Рисунок 9. Влияние диатомита на пораженность плодов томатов вершинной гнилью

Как видно из рисунка, снижение заболеваемости томатов при внесении диатомита в почву составляло 80 %.

Следует отметить, что защитное действие диатомита как кремнийсодержащего материала проявлялось при значительно меньших его дозах. В таблице 16 приведены данные по общей поражаемости растений (листьев) сахарной свеклы церкоспорозом, мучнистой росой, вирусной желтухой. Из средств защиты растений применялись: против грибных заболеваний Фундазол, вредителей – Шарпей. Данные, представленные в таблице, отражают степень поражения листьев свеклы перед уборкой.

Таблица 16 – Степень поражения листьев свеклы возбудителями болезней и вредителями

Вариант	Степень поражения	Охвачено листовой поверхностью, %	Характерные признаки поражения
Контроль	Сильная	>51	Отмерли листья нижнего и часть листьев среднего яруса
N60P60K60	Средняя	26–50	Поражены листья верхнего и частично среднего ярусов
Диатомит 40 кг/га	Незначительная	<5	Отдельные пятна на листьях нижнего и среднего ярусов
N60P60K60 + средства защиты растений (СЗР)	Отсутствует	<1	Отсутствуют

Наиболее сильное поражение листьев наблюдалось на

контрольном варианте, что, прежде всего, обусловлено с недостатком элементов питания и полным отсутствием средств защиты. Двухкратное применение Фундазола и Шарпея полностью обеспечило защиту посевов. Однако в варианте с применением диатомита в дозе всего 40 кг/га пораженность листьев практически отсутствовала. Последнее свидетельствует, что диатомит обладает фунгицидным действием и по своей эффективности не уступает используемым в опыте традиционным средствам защиты растений.

При возделывании зерновых культур одной из значительных проблем – полегание, который является крайне нежелательным процессом и приводит до 50 и более % недобора урожая. В связи с этим предлагаются различные препараты, позволяющие увеличить прочность стебля.

В литературе встречается множество примеров повышения прочности стеблей растений и увеличения их устойчивости к полеганию в результате применения кремнийсодержащих препаратов (Воронков и др., 1978; Уфимов, Докучан, 1986; Капранов, 2009).

В стеблях злаков кремний отлагается в стенках и междоузлиях, что существенно повышает их прочность, сужает просвет стебля и препятствует развитию и передвижению личинок насекомых. Он также внедряется в клетки эндодермы (внутреннего слоя первичной коры в стеблях и корнях), располагаясь во внутренних тангентиальных и радиальных стенках. Кремний в эндодерме находится в виде агрегатов, а также рассредоточен в слоях стенок стебля.

Четырехлетнее (2003–2006 гг.) изучение устойчивости к полеганию яровой пшеницы показало, что внесение диатомита – один из действенных, результативных способов повысить устойчивость растений к полеганию (табл. 17).

Таблица 17 – Устойчивость к полеганию яровой пшеницы (2003 – 2006 гг.), баллы

Вариант	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	Сред- няя
Контроль	4,0	3,8	3,8	4,3	3,9
N40P40K40	3,3	3,0	2,9	3,9	3,3
Диатомит 3 т/га	4,5	4,3	4,2	4,8	4,5
Диатомит 3 т/га + N20	4,4	4,3	4,3	4,7	4,4
Диатомит 3 т/га + N40	4,2	4,1	4,0	4,5	4,2
HCP ₀₅	0,2	0,2	0,2	0,3	

* В СНГ и других европейских странах устойчивость растений к полеганию обычно оценивают в баллах, где неполегающие растения получают 5 баллов; полегшие, но выпрямившиеся или полегшие в слабой степени – 4; со средней степенью полегания – 3; сильно полегшие, затрудняющие машинную уборку - 2; сильно полегшие задолго до уборки и практически непригодные к машинной уборке – 1 (Кузнецов, 2005).

Вследствие повышения урожайности при внесении минеральных удобрений устойчивость растений к полеганию понижается, а при совместном внесении с диатомитом повышается. Следовательно, применение диатомита не только в чистом виде, но и совместно с минеральными удобрениями (прежде всего азотными) позволяет значительно снизить потери зерна из-за полегания культур.

Еще более поразительные результаты приводит В.Н. Капранов (2009) (табл.18).

Результаты исследований показывают, что растения тритикале на фоне внесения диатомита 1200 кг/га (не 3 и 5

тонн/га!) могут выдерживать при неблагоприятных условиях в 2 раза больше механические нагрузки, сохраняя при этом устойчивость.

Таблица 18 – Прочность соломины тритикале в зависимости от диатомита (Капанов, 2009)

Фон	Содержание SiO ₂ в соломе, %	Высота растений (L), см	Радиус междоузлия (R), см	L/R	± к контролю	Модуль упру- гости соломы (E)		Повышение устойчи- вости, %	
						МПа	критиче- ская сила давления на излом (Ркр) МПа/см ²		
Диатомит (контроль)	0	1,16	132	0,23	574	–	–	1,6·10 ⁻⁴	–
Диатомит 300 кг/га		1,33	131	0,24	546	-28	+51	2,0·10 ⁻⁴	26
Диатомит 600 кг/га		1,55	130	0,25	520	-54	+117	2,6·10 ⁻⁴	60
Диатомит 1200 кг/га		2,12	130	0,25	520	-54	+288	2,9·10 ⁻⁴	84

Таким образом, применение диатомита как кремний-содержащего удобрения, позволяет формировать не только оптимальные для работы фотосинтетического аппарата, но и устойчивые против болезней и вредителей, устойчивые к полеганию посевы.

Глава 4. УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ ИХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ВЫСОКОКРЕМНИСТЫХ ПОРОД И УДОБРИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ИХ ОСНОВЕ

Интегральным показателем эффективности любых агротехнических приемов является урожайность культур. Что касается удобрений, усовершенствованием их систем одновременно можно добиться оптимизации агрохимических показателей почвы и не только повышения урожайности, но и качества продукции. Диатомит в этом качестве позволяет, как показано выше, улучшить агрофизическое и агрохимическое состояние почвы, общую направленность биологических процессов в почве и ее питательный режим.

Имеется огромное количество экспериментальных данных, свидетельствующих о положительном влиянии кремневых соединений на урожайность сельскохозяйственных культур, которые приведены в обобщающих обзорах (Воронков и др., 1978; Гладкова, 1982; Водяницкий, 1984; Матыченков и др., 2002; Самсонова, 2005). Особенно это касается кремнелюбивых растений, как рис и в связи с этим Японии (Baba, Yamamoto, 1958; Imaizumi, Yoshida, 1958; Goto, Onikura, 1967; цит. по Воронкову, 1978). В конце 60-х годов в Японии под рис на площади 900 тыс. га вносили 1 млн. тонн силикатных отходов промышленности (цит. по Водяницкому, 1974), кремнеземистые металлургические шлаки и зола тепловых станций. В этой стране на деградированных почвах при возделывании риса применяют в дозах 10 до 20 тонн на 1 гектар, на недеградированных – от 1 до 3 т/га отходов промышленности. В Южной Корее рис удобряют метасиликатом кальция в дозах до 6 т/га (Elaward, Green, 1979), на Мадагаскаре – шелухой риса (Velly, 1975).

Силикатирование красноземов (обедненных кремнием) с помощью доменных шлаков и сланцевой золы в СССР проводила В.Г. Тарановская (1939, 1940). Она установила значительное повышение урожайности на мандариновых и лимонных плантациях, на полях ячменя и кукурузы. Положительный эффект автор объясняет не только устранением дефицита кремния, но и улучшением фосфатного режима черноземов. Происходило ослабление адсорбционных свойств полуторных окислов по отношению к фосфатам. Поскольку доменные шлаки и сланцевая зола содержат силикаты кальция, то, с одной стороны, происходит расширение отношения $\text{SiO}_2/\text{P}_2\text{O}_5$, с другой, – подщелачивание почвы. Оба фактора положительно влияют на усвоение растениями фосфатов на красноземах.

Доменные шлаки в системе удобрений изучались в ТСХА, ВИУА, научно-исследовательском институте Центральных районов Нечерноземной зоны.

Данные исследований Рочева и др. (1979) по изучению влияния отходов обогащения марганцевой руды (22 % Si) на серой лесной почве и на черноземе оподзоленном – отходов производства суперфосфата (93 % Si) и белой сажи – аэросила (44 % Si) на урожайность ячменя цитировались ранее.

Особого внимания заслуживает вопрос – при каком уровне доступного кремния необходимо вносить в почву кремнийсодержащие удобрения? Е. Takahashi (1968) считал, что силикатирование эффективно, когда в почве количество ацетат-растворимого Si (при pH 4) $< 0,005$ %. Другой критерий потребности риса в кремниевых удобрениях – содержание Si в растениях. Если во время уборки содержание кремния в соломе < 5 %, то рис на данном поле следует удобрить силикатами (Ishizuka, 1964).

В нашей стране градацию почв по дефициту доступного для растений кремния предложил Матыченков (2007) (табл.19).

Таблица 19 – Градация почв по дефициту доступного для растений кремния, мг Si/кг почвы

Уровень дефицита Si в почве	Актуальный Si	Потенциальный Si	Активный Si
Нет дефицита	>40	>600	>1000
Низкий уровень	20–40	300–600	500–1000
Дефицит	10–20	100–300	200–500
Высокий уровень	0–10	0 – 100	0–200

Актуальный кремний определяется в водной вытяжке и находится в виде монокремниевой кислоты (H_4SiO_4), которую отличает высокая физико-химическая активность и наибольшее влияние на биогеохимические процессы, происходящие в почвах (Гладкова, 1982).

Количество актуального кремния в почвах примерно в 10 раз меньше потенциального, то есть в водный раствор переходит примерно 1/10 аморфного тонкодисперсного кремнезема, который растворяется в кислотной вытяжке (0,1 н HCl). Следовательно, активный Si = 10 (Актуальная форма Si) + потенциальная форма Si (Матыченков, 2007).

Влияние диатомита в качестве кремниевого удобрения на урожайность сельскохозяйственных культур до начала нашего века практически не изучалось. Нами (коллективом кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии), как указывалось выше, в течение 2000–2010 гг. проводились полевые мелко- и крупноделяночные, а также производственные опыты с использованием диатомита и опоки Инзенского месторождения Ульяновской области в технологиях возделывания зерновых, пропашных и овощных культур при применении как в чистом виде, так и совместно с минеральными удобрениями (в том числе микроэлементами), птичьим пометом и биопрепаратами.

Ниже приводятся результаты исследований.

4.1. Зерновые культуры (озимая и яровая пшеница, ячмень)

Первые исследования по изучению влияния диатомита на урожайность зерновых культур проведены нами в 2001 – 2003 гг., которые показали очень высокую эффективность его в формировании урожайности озимой пшеницы (табл.20).

Так, в 2001 году прибавка урожайности зерна составила в зависимости от доз внесения от 0,6 до 1,3 тонн на одном гектаре. При этом урожайность закономерно повышалась с увеличением дозы внесения диатомита.

Таблица 20 – Влияние различных доз диатомита на урожайность озимой пшеницы сорта Базальт, т/га

Вариант	2001 г.	2002 г.	2003 г.	Средняя
Контроль	4,0	3,5	2,1	3,2
Диатомит 5 т/га	4,6	3,9	2,1	3,5
Диатомит 8 т/га	5,1	4,1	2,2	3,8
Диатомит 10 т/га	5,3	4,3	2,4	4,0
НСР ₀₅	0,3	0,2	0,1	

По-видимому, последнее обусловлено не только улучшением кремниевого питания растений. Как указывалось в разделе 2.3, при этом улучшались не только фосфатный, калийный, но и азотный режим почвы. Анализ корреляционных связей урожайности с разными факторами показал, что наиболее значимыми из них, влияющими на формирование урожайности озимой пшеницы, являются реакция почвенного раствора, питательный режим и запасы продуктивной влаги перед возобновлением вегетации. Коэффициенты

парной корреляции между урожайностью культуры и соответствующими показателями составили: рН – 0,58; N – 0,53; P₂O₅ – 0,50; K₂O – 0,57; запасами продуктивной влаги в метровом слое – 0,60. Уравнение множественной корреляции при этом имеет следующий вид:

$$y = -9,741 + 1,647x_1 + 0,258x_2, \text{ где}$$

x_1 – рН; x_2 – содержание P₂O₅ (мг/100 г) и

$$y = -2,764 + 0,465x_1 + 0,0252x_2 + 0,012x_3, \text{ где}$$

x_1 – рН; x_2 – запасы продуктивной влаги (мм) в слое 0–30 см;

x_3 – запасы продуктивной влаги (мм) в слое 0–100 см.

Вклад запасов продуктивной влаги в данной почве (чернозем выщелоченный среднесуглинистый) на формирование урожайности зерна озимой пшеницы при общем коэффициенте детерминации 60 % составил 52 % ($r = 0,8$).

В 2003 году наблюдался достаточно низкий уровень урожайности озимой пшеницы (более чем в 2 раза в сравнении с 2001 годом), обусловленный тем, что в осенне-зимний период наблюдалось резкое понижение температуры воздуха (до –35 °С) в период, когда посевы не были покрыты снегом, что привело к их частичной гибели. Тем не менее, заметное положительное влияние диатомита на урожайность культуры сохранялось. Сохранялось также закономерное усиление действия диатомита на формирование урожайности с повышением дозы его внесения.

Следует отметить, что внесение в почву диатомита в качестве удобрения положительно влияло не только на формирование урожайности озимой пшеницы, но и качество продукции: содержание клейковины при внесении в почву в качестве удобрения 5 т/га в среднем за 3 года достоверно увеличилось на 1 %, в отдельные годы – на 1,4 % (абсолютные значения).

При использовании диатомита в качестве удобрения перспективным направлением является применение его совместно со средними и минимальными дозами минеральных удобрений, что позволило бы снизить дозу внесения диатомита. Последнее важно с экономической точки зрения, так как применение диатомита в достаточно высоких дозах (5 т/га и более) связано с большими расходами на его транспортировку и внесение. Кроме того, важно определить дозы каждого из основных элементов питания растений (NPK) при совместном применении с диатомитом, что позволило бы наладить производство минеральных удобрений на местном сырье с заданным соотношением азота, фосфора и калия под основные группы сельскохозяйственных культур. Для решения проблемы необходимы тщательные полевые эксперименты с большим количеством вариантов с различным соотношением диатомита и NPK. В связи с этим в 2003–2006 гг. нами были проведены опыты с совместным использованием диатомита и минеральных удобрений с различным их сочетанием. Почва опытного поля – чернозем выщелоченный среднесуглинистый с содержанием гумуса 4,3 %, подвижных форм фосфора и калия (по Чирикову) 168–150 мг/кг почвы, pH солевой вытяжки 5,8.

Использование диатомита в качестве удобрения в дозах 3 и 5 т/га повышало урожайность озимой пшеницы в среднем за 3 года в сравнении с контролем (табл. 21 и 22) на 21 и 35 %, яровой (за 4 года) на 3 и 15 %. Урожайность культур при этом не уступала варианту с применением полного минерального удобрения (N40P40K40). Совместное внесение диатомита 3 и 5 т/га и минеральных удобрений способствовало формированию урожайности озимой пшеницы, в 1,5 раза превышающей контрольный вариант, яровой пшеницы – в 1,3 раза. Для получения максимального

эффекта при возделывании культур достаточно применение 3 т/га диатомита совместно с мочевиной в дозе 20–40 кг д.в./га. При недостаточной обеспеченности минеральными удобрениями возможна доза азота в 20 кг/га.

Таблица 21 – Урожайность озимой пшеницы в зависимости от применения диатомита и минеральных удобрений, т/га (2004–2006 гг.)

№	Варианты	2004 г.	2005 г.	2006 г.*	Средняя
1.	Контроль	1,83	1,27	2,76	1,95
2.	N40P40K40	2,17	1,47	2,95	2,20
3.	Диатомит 3 т/га	2,28	1,46	2,87	2,20
4.	Диатомит 3 т/га + N20	2,47	1,51	3,01	2,33
5.	Диатомит 3 т/га + N40	2,68	1,62	3,19	2,50
6.	Диатомит 3 т/га + N40P20	2,51	1,56	–	2,04
7.	Диатомит 3 т/га + N40P20K20	2,44	1,62	–	0,03
8.	Диатомит 3 т/га + N40P40K20	2,52	1,68	–	0,10
9.	Диатомит 3 т/га + N40P40K40	2,46	1,65	–	2,06
10.	Диатомит 5 т/га	2,53	1,58	–	2,10
11.	Диатомит 5 т/га + N40	2,66	1,67	–	2,17
12.	Диатомит 5 т/га + N40P20	2,61	1,68	–	2,15
13.	Диатомит 5 т/га + N40P40K20	2,65	1,67	–	2,16
14.	Диатомит 5 т/га + N40P40K40	2,74	1,73	–	2,24
15.	Диатомит 5 т/га + N40P20K20	2,61	1,70	–	2,16
	HCP ₀₅	0,10	0,11	0,20	

* В 2006 году были повторены наиболее эффективные варианты

Таблица 22 – Урожайность яровой пшеницы в зависимости от применения диатомита и минеральных удобрений, т/га (2003–2006 гг.)

№	Варианты	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	Сред- няя
1.	Контроль	1,97	2,18	1,30	2,33	1,95
2.	N40P40K40	2,39	2,44	1,51	2,54	2,22
3.	Диатомит 3 т/га	2,19	2,36	1,42	2,43	2,10
4.	Диатомит 3 т/га + N20	2,51	2,76	1,50	2,82	2,40
5.	Диатомит 3 т/га + N40	2,63	2,89	1,53	2,87	2,48
6.	Диатомит 3 т/га + N40P20	2,61	2,56	1,50	–	2,22
7.	Диатомит 3 т/га + N40P20K20	2,44	2,64	1,54	–	2,21
8.	Диатомит 3 т/га + N40P40K20	2,30	2,57	1,57	–	2,15
9.	Диатомит 3 т/га + N40P40K40	2,51	2,66	1,61	–	2,26
10.	Диатомит 5 т/га	2,25	2,50	1,54	–	2,10
11.	Диатомит 5 т/га + N40	2,32	2,86	1,60	–	2,26
12.	Диатомит 5 т/га + N40P20	2,30	2,71	1,61	–	2,21
13.	Диатомит 5 т/га + N40P40K20	2,32	2,73	1,63	–	2,23
14.	Диатомит 5 т/га + N40P40K40	2,67	2,71	1,59	–	2,32
15.	Диатомит 5 т/га + N40P20K20	2,25	2,69	1,55	–	2,16
	НСР ₀₅	0,19	0,16	0,10	0,21	

По-видимому, внесение диатомита в дозе 3 т/га и мочевины в дозе 20–40 д.в./га азота создает наиболее опти-

мальные для пшеницы условия питания на черноземе выщелоченном по макро- (в том числе и кремнию) и микроэлементам. Средний вынос азота озимой и яровой в условиях Среднего Поволжья составляет 3,6 кг на центнер продукции, фосфора 1,3 кг, калия – 2,5 кг.

При урожайности 2–2,5 т/га вынос их с 1 га находится в пределах 72–90 кг N, 26–33 кг P и 50–63 кг K. Если учесть, что в диатомите присутствует до одного и более процента калия, что обеспечивает с данными дозами (3–5 т/га) поступление в почву до 50 кг/га K_2O , то при использовании диатомита в качестве удобрения полностью удовлетворяется потребность пшеницы в данном элементе. Что касается фосфорных удобрений, данные опытов подтверждают многочисленные, цитированные ранее литературные сведения, об улучшении фосфорного питания растений под влиянием кремниевых соединений. Механизмы их действия рассматриваются в соответствующих публикациях и приведены выше. К тому же потребность злаков в фосфоре ниже, чем в калии в 2 раза, азоте – почти в три раза. Что касается наших опытов, вынос азота, фосфора и калия пшеницей заметно ниже, чем средние показатели по Средневолжскому региону, и с уверенностью можно утверждать, что при возделывании озимой и яровой пшеницы на черноземе выщелоченном и использовании диатомита в качестве удобрения в дозе 3 т/га нет необходимости вносить фосфорные и калийные удобрения.

Анализ результатов исследований в данном опыте методом множественной корреляции показал, что наиболее значимыми из агрохимических показателей, определяющими формирование урожайности озимой пшеницы, являются содержание в пахотном слое почвы водорастворимого

кремния и подвижных соединений фосфора. Соответствующее уравнение имеет следующий вид:

$$Y = 0,142 + 0,297x_1 + 0,0631x_2, \text{ где}$$

Y – урожайность зерна, т/га

x_1 и x_2 – содержание водорастворимого Si и подвижного P_2O_5 , мг/100 г

Корреляционно-регрессионный анализ показал положительное влияние на формирование урожайности яровой пшеницы всех основных агрохимических показателей почвы, в том числе и суммы поглощенных оснований. Соответствующее уравнение имеет следующий вид:

$$Y = -4,486 + 0,039x_1 + 0,0392x_2 + 0,0951x_3 + 0,116x_4 + 0,0617x_5, \text{ где}$$

Y – урожайность яровой пшеницы, т/га;

x_1 – содержание водорастворимого кремния, мг/100 г;

x_2 – содержание P_2O_5 , мг/100 г;

x_3 – содержание K_2O , мг/100 г;

x_4 – содержание NO_2+NH_4 , мг/100 г;

x_5 – сумма поглощенных оснований, мг·экв/100 г.

Множественный коэффициент корреляции составляет 0,75, что свидетельствует о тесной связи между данными показателями и урожайностью яровой пшеницы. Наиболее высокой в формировании урожайности данной культуры является доля обменного калия (26 %), а также минеральных форм азота (13 %) и суммы поглощенных оснований (12 %), которая определяет кислотно-основные свойства и условия питания растений.

Под влиянием диатомита, макро- и микроэлементов

происходило формирование большей урожайности зерновых культур и в опытах 2003–2005 гг. (табл.23, 24).

Таблица 23 – Урожайность яровой пшеницы в зависимости от применения диатомита, макро- и микроэлементов, т/га

Вариант	2003 г.	2004 г.	2005 г.	Средняя
Контроль	1,54	1,82	1,38	1,58
Диатомит 5 т/га	2,32	2,02	2,41	2,25
Диатомит 2,5 т/га + N28P35K32	2,21	2,08	2,56	2,28
Диатомит 2,5 т/га + N28P35K32+Mo+Mn	2,79	2,47	2,97	2,74
N56P70K63	2,27	2,08	2,58	2,31
N56P70K63 + Mo + Mn	2,36	2,16	2,64	2,39
HCP ₀₅	0,13	0,12	0,12	

Таблица 24 – Влияние диатомита и минеральных удобрений на урожайность ячменя, т/га

Вариант	2003 г.	2004 г.	2005 г.	Средняя
Контроль	1,81	1,83	1,74	1,79
Диатомит 5 т/га	2,82	2,68	2,66	2,72
Диатомит 2,5 т/га + N28P35K32	2,66	2,56	2,72	2,65
Диатомит 2,5 т/га + N28P35K32+Mo+Mn	3,35	3,08	3,14	3,19
N56P70K63	2,81	2,55	2,70	2,69
N56P70K63 + Mo + Mn	3,79	2,60	2,72	2,70
HCP ₀₅	0,16	0,15	0,13	

Почва опытного поля – чернозем выщелоченный среднемощный среднесуглинистый. Агрохимическая ее харак-

теристика: содержание гумуса 4,3 %, подвижных соединений фосфора и калия (по Чирикову) соответственно 105 и 200 мг/кг почвы, $pH_{KCl} = 6,5$, сумма поглощенных оснований 25,5–27,8 мг·экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 96,4–97,9 %. Полная доза удобрений (N56P70K63) рассчитана на планируемую урожайность. Молибденом и марганцем в виде 0,05 % водных растворов молибдата аммония и сульфата марганца обрабатывали семена за 16–18 часов до посева.

В среднем за годы исследований по вариантам опыта урожайность зерна яровой пшеницы варьировала от 1,58 до 2,74 т/га, ячменя – от 1,79 до 3,19 т/га. Наибольшая урожайность как яровой пшеницы, так и ячменя наблюдалась на варианте с внесением диатомита 2,5 т/га совместно с половинной дозой NPK и посеве семенами, обработанными микроэлементами. Прибавка урожайности при этом составила 1,16 т/га зерна яровой пшеницы и 1,4 т/га – ячменя. Последнее свидетельствует о значительно большей отзывчивости ячменя на внесение в почву кремнийсодержащих материалов (следует отметить, что зола зерна ячменя на 41 % состоит из кремния, а солома его – на 81 %). На всех вариантах опыта прирост урожайности происходил за счет увеличения количества продуктивных стеблей или повышения их продуктивности. В среднем за 3 года к концу вегетации количество растений при внесении диатомита как в чистом виде, так и совместно с макро- и микроэлементами превышало контроль: яровой пшеницы на 28–62 шт./м², ячменя на 20–66 шт./м². Последнее косвенно свидетельствует о лучшей защите растений при использовании диатомита в системе удобрения.

Совместное применение диатомита, макро- и микроэлементов способствовало наибольшему увеличению массы 1000 зерен экспериментальных культур и составило

24,8 г зерна яровой пшеницы и 40,5 г – ячменя. Следует отметить, что диатомит (5 т/га) в этом отношении ненамного уступал как данному варианту, так и варианту с NPK. Следовательно, диатомит способствует в период налива зерна в полной мере реализовать потенциальную урожайность культур.

Кроме того, в 2005–2006 гг. нами были проведены опыты по изучению возможности использования опоки Инзенского месторождения и ее смесей с мочевиной в качестве удобрения ячменя (табл.25).

Таблица 25 – Влияние диатомита, опоки и ее смесей с мочевиной на урожайность ячменя, т/га

Вариант	2005 г.	2006 г.	Сред- няя	Отклонения от кон- троля, ±
Контроль	1,44	1,90	1,67	
N40P40K40	1,84	2,3	2,09	+0,42
Диатомит 3 т/га	1,95	2,40	2,14	+0,50
Опока 3 т/га	1,72	2,22	1,97	+0,30
Опока 1 т/га	1,62	2,10	1,86	+0,19
Опока 3 т/га + N40 (плав)	1,77	2,32	2,04	+0,37
Опока 1 т/га + N40 (плав)	1,76	2,37	2,06	+0,39
Опока 3 т/га + N40 (смесь)	1,93	2,35	2,14	+0,47
Опока 1 т/га + N40 (плав)	1,76	2,22	1,99	+0,32
НСР ₀₅	0,13	0,14		

Как видно из данных таблицы, в среднем за два года урожайность зерна ячменя при внесении в почву высококремнистых пород (диатомита и опоки) в дозе 3 т/га повышалась на 0,30 – 0,50 т/га. При этом эффективность диатомита в системе удобрения ячменя была значительно выше и в среднем за 2 года превышала вариант с применением азотно-фосфорно-калийных удобрений в дозах по 40 кг/га действующего вещества. Внесение опоки совместно с мочевиной не приводило к формированию более высокой урожайности. Следовательно, из высококремнистых при использовании их в технологии возделывания зерновых культур предпочтительнее использовать диатомит, который при внесении в дозе 3 т/га по эффективности не уступает, более того, превышает средние дозы минеральных удобрений.

Кроме диатомитов и опок из кремнийсодержащих пород для применения в сельском хозяйстве большой интерес представляют трепелы и цеолиты, запасы которых в Поволжье (Чувашская Республика, Республика Татарстан, Ульяновская область) исчисляются десятками миллионов тонн.

Исследования, проведенными нами в 1996–1997 годы, показали, что под влиянием цеолита Юшанского месторождения Ульяновской области, внесенного в дозе 6 т/га, урожайность зерна кукурузы повысилась на 11 %.

Значительные исследования по перспективам применения цеолитсодержащих пород Татарстана в 1993–1999 годах в земледелии и растениеводстве выполнены сотрудниками НИИ «Плодородие» и Государственного центра агрохимической службы «Татарский» под руководством Ишкаева и Алиева (Цеолитсодержащие породы..., 2001). В проведенных опытах сумма прибавки урожайности зерна за 4 года действия и последствий цеолитсодержащих пород составила

на фоне умеренных доз минеральных удобрений от 0,71 до 1,04 т/га, или от 39 до 57 % (табл.26) (почва – серая лесная).

Таблица 26 – Влияние действия и последствия цеолитсодержащих пород на продуктивность звена севооборота в 1993–1999 гг. (озимая рожь – яровая пшеница – горох – озимая рожь) (Ишкаев, Алиев, 2001)

Фон удобрений	Доза цеолита	Средняя урожайность за 4 года, т/га зерн.ед.	Среднегодовая прибавка урожайности			
			от цеолита		от NPK+цеолит	
			т/га	%	т/га	%
NPK	0	1,82	–	–	–	–
N60P60K60	0	2,36	–	100	–	–
N60P60K60	10	2,53	0,17	107	0,71	139
N60P60K60	15	2,62	0,26	111	0,80	144
N60P60K60	20	2,86	0,50	121	1,04	157

В ходе исследований установлено, что цеолиты положительно повлияли и на качество продукции: содержание белка в зерне яровой пшеницы повысилось на 0,26–1,34 %, гороха – на 0,4–1,4 %, клейковины в зерне яровой пшеницы на 0,4–2,0 %, сырого протеина в зерне озимой пшеницы – на 0,4–1,3 %. Во всех случаях под влиянием цеолита увеличилась масса 1000 зерен и натура зерна.

Достаточно широкие полевые исследования по использованию трепела в земледелии проведены в конце 90-х годов прошлого века в Чувашской Республике (Кузнецов и

др., 1998). Прибавка зерна ячменя при внесении в почву (серая лесная тяжелосуглинистая) трепела в дозе 5 т/га составила 0,85 т/га, или 31 % (табл.27).

Таблица 27 – Действие и последствие трепела и его смесей с минеральными удобрениями в полевом опыте ОПХ «Броневик» (Кузнецов и др., 2001)

Вариант	Урожайность ячменя (прямое действие), 1996 г.		Урожайность кормовой свеклы (последствие), 1997 г.	
	т/га	прибавка, %	т/га	прибавка, %
Контроль	2,76	–	34,3	–
Трепел 5 т/га	3,61	31,0	37,0	8,4
НРК*+трепел 0,5 т/га	3,63	31,0	37,5	9,3
НРК*+трепел 1,0 т/га	4,07	47,0	39,1	14,0
НРК*+трепел 1,5 т/га	3,17	15,0	39,5	15,2
НРК*+трепел 2 т/га	3,81	38,0	45,4	32,0
N25P25K25	3,96	43,0	35,3	3,0
N50P50K50	3,86	40,0	37,4	9,0
N75P75K75	3,85	39,0	39,6	13,7
N100P100K100	3,81	38,0	40,5	18,1
CaCO ₃ по дозе трепела	2,86	3,0	34,6	0,9
НСР ₀₅ (т/га)	0,33	–	0,25	–
НСР ₀₅ (%)	–	11,8	–	7,2

* доля НРК в смеси составляла 5 % по действующему веществу

Во всех вариантах с применением смеси минеральных удобрений с трепелом прибавка урожайности зерна ячменя составила 31–47 %. Наиболее эффективным был вариант с внесением смеси НРК по 5 % и трепела в дозе 2 т/га, который обеспечил повышение урожайности на 38 % в прямом действии и 32 % – в последствии (кормовая свекла). Следует

отметить, что с учетом последствий и показателей достоверности по эффективности вариант с использованием трепела в дозе 5 т/га не уступает минеральным удобрениям в дозах NPK по 100 кг д.в./га.

В связи с высокой агрономической эффективностью природных сорбентов в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур в качестве многофункционального удобрения открываются большие возможности для создания новых видов удобрительных смесей, обладающих наиболее рациональным режимом взаимодействия с растениями. И, не случайно, за рубежом нетрадиционные ресурсы широко используются в сельскохозяйственном производстве. Однако широкое внедрение их в практику сельскохозяйственного производства затруднено из-за больших расходов на транспортировку и внесение предлагаемых доз (3–5 т/га). Последнее предполагает поиск путей снижения количества используемых для этих целей природных ресурсов. В этом отношении значительный интерес представляет обработка ими посевного (посадочного) материала. В связи с этим в 2007–2009 гг. проведены исследования по изучению эффективности предпосевной обработки семян ячменя диатомитовым порошком как в чистом виде, так и совместно с биопрепаратами (Байкал ЭМ-1, Ризоагрин). Результаты представлены в таблице 28.

Обработка семян ячменя проводилась в день посева: опудривание диатомитовым порошком из расчета 20–30 кг на 1 тонну семян, мелкодисперсное опрыскивание препаратом Байкал ЭМ-1 – 12 л/т семян, препаратом Ризоагрин – 200 г торфяного препарата на гектарную норму высева (согласно рекомендациям производителей. Для удерживания препаратов на поверхности семян использовались прилипатели: NaKMц (для диатомитового порошка и обрат (для биопрепаратов)).

Таблица 28 – Влияние минеральных удобрений, диатомита и биопрепаратов на урожайность ячменя, т/га

№ п/п	Вариант	2007 г.	2008 г.	2009 г.	Средняя
1	Контроль	1,61	3,23	2,38	2,41
2	Диатомит	1,67	3,37	2,49	2,51
3	Байкал ЭМ-1	1,71	3,62	2,65	2,66
4	Байкал ЭМ-1 + диатомит	1,74	3,69	2,74	2,72
5	Ризоагрин	1,77	3,53	2,56	2,62
6	Ризоагрин + диатомит	1,79	3,62	2,63	2,68
7	N40P40K40	2,03	3,84	2,98	2,95
8	N40P40K40 + диатомит	2,06	4,08	3,18	3,11
9	N40P40K40 + Байкал ЭМ-1	2,11	4,14	3,26	3,17
10	N40P40K40 + Байкал ЭМ-1 + диатомит	2,16	4,30	3,31	3,26
11	N40P40K40 + Ризоагрин	2,16	4,11	3,26	3,18
12	N40P40K40 + Ризоагрин + диатомит	2,19	4,24	3,33	3,25
НСР ₀₅	фактор А*	0,07	0,07	0,08	–
	фактор Б**	0,12	0,12	0,13	–

* фактор А – без удобрений и фон NPK

** фактор Б – диатомит и биопрепараты

Байкал ЭМ-1 представляет из себя концентрат в виде жидкости, содержащий комплекс полезных почвенных микроорганизмов, в реальности обитающих в почве. Особенностью ЭМ-препарата является то, что он включает устойчи-

вую ассоциацию как аэробных, так и анаэробных микроорганизмов. Ризоагрин представляет собой препарат на основе ассоциативных ризобактерий *Agrobacterium radiobacter*, штамм 204. Агробактерии фиксируют молекулярный азот из атмосферы и питают им растения.

В качестве азотного удобрения применяли мочевину (46 % д.в.), фосфорного – двойной суперфосфат (45 %), калийного – хлористый калий (58 %).

Приведенные данные свидетельствуют, что независимо от складывающихся погодных условий предпосевная обработка семян, несмотря на очень малую дозу поступающего в почву кремния вместе с диатомитовым порошком, способствует формированию более высокой урожайности зерна ячменя (в среднем на 4 % выше). Прибавка урожайности была практически в 2 раза выше при использовании для предпосевной обработки семян биопрепаратов, что, несомненно, связано с активизацией при этом почвенной микрофлоры и улучшением минерального питания растений, в том числе и кремнием при их совместном применении с диатомитовым порошком.

При инокуляции семян Ризоагрином растения обеспечиваются доступными соединениями азота за счет фиксации атмосферного азота, которая достигает 30–40 кг/га N (Умаров, 1983). На процесс азотфиксации положительно влияют такие микроэлементы, как молибден, марганец, сера и другие, которых входят в состав активного центра фермента нитрогеназы, участвующего в фиксации молекулярного азота. Данные элементы, хотя в небольших количествах, входят в состав диатомита.

Судя по результатам исследований, большей эффективности данных препаратов (в том числе диатомитового порошка) можно добиться на фоне применения средних доз минеральных удобрений. В этом случае прибавка урожайности зерна достигает 0,7–0,85 т/га (на фоне NPK 0,54 т/га). Многие

авторы объясняют это тем, что для интенсивного развития микроорганизмов необходим «стартовый» минеральный азот (Патыка, 1988; Завалин, 2001). Что касается диатомитового порошка – в этом случае наряду с повышением содержания элементов питания в доступной форме в пахотном слое при внесении минеральных удобрений, улучшается кремниевое питание растений (следует отметить, что ячмень относится к кремнефилам и отличается высокой требовательностью к кремниевому питанию).

Уместно здесь заметить, что как по характеру действия, так и по эффективности бактериальные удобрения не могут считаться аналогами минеральных удобрений, или даже заменить их, как часто преподносят производители многих биологических препаратов. Эффективность минеральных удобрений значительно выше биологических препаратов.

Проведенные исследования по изучению эффективности высокремнистых пород в системе удобрения зерновых культур позволяют сделать следующие выводы:

- прибавка урожайности озимой пшеницы в зависимости от дозы внесения диатомита в отдельные годы может достигать 0,6–1,3 т/га (15–33 %), в среднем – 0,3–0,8 т/га (9–25 %), яровой пшеницы соответственно 0,15–0,27 т/га. Эффективность диатомита в системе удобрения озимой и яровой пшеницы резко возрастала при совместном применении его со средними дозами азотных удобрений (мочевины). Для получения максимального эффекта достаточно совместное применение 3 т/га диатомита с мочевиной в дозе 20–40 кг д.в/га;

- диатомит является эффективным удобрением ячменя и в этом отношении превосходит минеральные удобрения в дозе N40P40K40. Прибавка урожайности при этом составляла в среднем от 0,5 до 0,93 т/га (30 и 52 %). Из высокремнистых пород диатомит более эффективен, чем опока;

- применение диатомита совместно с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 на фоне минеральных удобрений способствовало формированию урожайности ячменя, на 33 % превышающей контрольный вариант: прибавка ее составила 0,81 т/га;
- при использовании диатомита в качестве удобрения повышалось качество продукции (как показано будет ниже): содержание клейковины в зерне пшеницы в производственных условиях повышалось на 2,4 и 3,3 % (абсолютные значения, последнее при совместном внесении с птичьим пометом); в зерне ячменя повышалось содержание кормовых и кормопротеиновых единиц на 0,6 и 0,7 т/га, а количество переваримого протеина на 1 к.е.

42. Пропашные культуры (сахарная свекла, кукуруза, картофель, подсолнечник)

Сахарная свекла. Изучение эффективности диатомита в системе удобрения сахарной свеклы проводилось в 2003–2008 гг. Следует отметить, что сахарная свекла относится к группе кремниелюбивых растений. Почти 2 века тому назад Либихом было установлено, что при внесении кремниевых удобрений (силикат натрия) увеличивается масса корнеплодов и повышается в них содержание сахара. Последнее подтвердилось и в опытах Менделеева, который в 1870 году предложил использовать в качестве кремниевое удобрения аморфный диоксид Si (заметим, что диатомит на 40–50 % и более состоит из аморфного кремния). Однако, как уже отмечалось, до настоящего времени силикатные удобрения не производятся и не применяются.

Проведенные исследования показали очень высокую эффективность диатомита в качестве удобрения сахарной свеклы (табл.29).

Таблица 29 – Влияние диатомита и минеральных удобрений на урожайность корнеплодов сахарной свеклы, т/га (2003–2005 гг.)

Варианты	Годы исследований			Сред- няя
	2003	2004	2005	
1. Контроль	24,2	21,5	42,3	29,3
2. N60P60K60	33,0	28,2	49,2	36,8
3. Диатомит 3 т/га	32,7	28,0	46,6	35,8
4. Диатомит 3 т/га + N30	37,5	30,9	53,4	40,6
5. Диатомит 3 т/га + N60	37,9	31,2	56,2	41,8
6. Диатомит 3 т/га + N60P30	32,3	31,2	55,4	39,6
7. Диатомит 3 т/га + N60P30K30	40,0	31,7	57,5	43,1
8. Диатомит 3 т/га + N60P60K30	35,2	31,2	57,9	41,4
9. Диатомит 3 т/га + N60P60K60	37,9	33,6	57,6	43,0
10. Диатомит 5 т/га	34,4	29,2	51,4	38,3
11. Диатомит 5 т/га + N60	34,8	31,8	58,2	41,6
12. Диатомит 5 т/га + N60P30	37,5	30,2	57,3	41,7
13. Диатомит 5 т/га + N60P60K30	34,4	34,6	53,9	41,0
14. Диатомит 5 т/га + N60P60K60	38,2	32,6	58,0	42,9
15. Диатомит 5 т/га + N60P30K30	34,3	31,6	55,7	40,5
НСР ₀₅	3,4	2,5	2,9	–

Анализ таблицы показывает, что внесение диатомита в дозах 3 и 5 т/га приводило в отдельные годы к повышению урожайности корнеплодов сахарной свеклы от 8,5 до 10,2 т/га соответственно, или она увеличивалась на

35 и 55 %. По эффективности при возделывании сахарной свеклы диатомит не уступал полным дозам минеральных удобрений (N60P60K60), а при внесении в дозах 5 т/га – превосходил в среднем на 1,5 т/га.

Совместное внесение диатомита с минеральными удобрениями (N60P60K60) способствовало формированию урожайности корнеплодов в 1,5 раза больше, чем на контрольном варианте.

Однако для получения высокой урожайности достаточно совместное применение диатомита в дозе 3 т/га и азотного удобрения в дозе 30 кг д.в./га (мочевина). При этом, например, в 2003 году урожайность корнеплодов была выше контроля на 13,3 т/га (55 %), варианта с N60P60K60 – на 4,5 т/га (14 %); в 2004 году соответственно на 9,4 и 2,7 т/га; в 2005 году – на 11,1 и 4,2 т/га. В 2006 году в наиболее эффективных вариантах подтверждены закономерности формирования урожайности сахарной свеклы под влиянием диатомита и минеральных удобрений.

Таким образом, для получения максимального эффекта от диатомита при возделывании сахарной свеклы достаточно применение его в дозе 3 т/га с добавлением 30 кг/га д.в. азота (мочевина). Более высокая урожайность получена только на варианте с использованием диатомита в дозе 3 т/га совместно с дозами минеральных удобрений N60P30K30. Однако разница между данными вариантами достоверна только в 2005 году. Дальнейшее повышение доз РК на фоне диатомита в дозах 3 и 5 т/га, а также совместное использование с полной дозой минеральных удобрений не приводило к формированию большей урожайности. По-видимому, внесение диатомита в дозе 3 т/га и минеральных удобрений в дозах N60P30K30 создает наиболее оптимальные для данной культуры условия питания на черноземе выщелоченном по макро- (в том числе и кремнию) и микроэлементам. Чернозем выщелоченный содержит подвижных соединений N около 111 кг/га,

фосфора 33 кг и 147 кг. Средний вынос сахарной свеклой в условиях Среднего Поволжья составляет 0,59 кг на 1 ц продукции, фосфора – 0,12 кг, калия – 0,71 кг. При урожайности сахарной свеклы 35–43 кг/га вынос их с 1 га находится в пределах 207–254 кг азота, 42–43 кг фосфора и 249–305 кг калия. Если учесть, что в диатомите присутствует до одного и более процента калия, что обеспечивает поступление в почву с данными дозами (3–5 т/га) до 53 кг/га K_2O , то существует необходимость компенсации калия за счет минеральных удобрений. Что касается фосфорных удобрений (достаточно, судя по урожайности культуры, половины их дозы), данные опытов подтверждают многочисленные сведения об улучшении фосфорного питания растений под влиянием кремниевых соединений. В наших опытах вынос азота, фосфора и калия был ниже, чем средние данные по Среднему Поволжью (как показано будет ниже, глава 6), поэтому при возделывании сахарной свеклы на черноземе выщелоченном при использовании в системе удобрения 3 т/га диатомита (также, как при возделывании зерновых культур) нет необходимости вносить фосфорные и калийные удобрения.

С экономической точки зрения (как показано будет ниже, глава 7), более целесообразно применение диатомита в дозе 3 т/га совместно с мочевиной 30 кг/га действующего вещества, тем более, что разница между данными вариантами по показателю достоверности практически несущественна.

Таким образом, анализ данных по урожайности сахарной свеклы с применением в системе ее удобрения диатомита позволяет сделать следующие выводы:

– внесение в почву диатомита в чистом виде в дозах 3 и 5 т/га повышало урожайность сахарной свеклы в среднем за 3 года (2003–2005 гг.) на 22 и 31 % в сравнении с контролем и не уступало в этом отношении варианту с применением полной дозы минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$),

где урожайность корнеплодов повысилась на 25 %;

– для получения максимального эффекта достаточно применение в технологии возделывания сахарной свеклы диатомита в дозе 3 т/га совместно с мочевиной в дозе 30 кг д.в./га.

В таблице 30 представлены результаты исследований по изучению влияния опоки и ее смесей с мочевиной на урожайность корнеплодов сахарной свеклы.

Таблица 30 – Влияние диатомита, опоки и ее смесей с мочевиной на урожайность сахарной свеклы, т/га

Вариант	2005 г.	2006 г.	Средняя
Контроль	43,1	41,9	42,5
N60P60K60	50,6	45	47,8
Диатомит 3 т/га	48,9	48,8	48,8
Опока 3 т/га	48,3	45,5	46,9
Опока 1 т/га	47,8	44,0	45,9
Опока 3 т/га + N40 (плав)	51,6	45,0	48,3
Опока 1 т/га + N40 (плав)	48,3	43,1	45,7
Опока 3 т/га + N40 (смесь)	50,8	44,7	47,7
Опока 1 т/га + N40 (смесь)	48,6	42,7	45,7
НСР ₀₅	2,2	2,1	

Урожайность сахарной свеклы в среднем за два года изменялось от 42,7 до 48,8 т/га. В оба года исследований наиболее эффективными вариантами были: с внесением диатомита 3 т/га, опоки 3 т/га и смеси опоки (3 т/га) с мочевиной. При этом по эффективности диатомит превышал все остальные варианты, в том числе с внесением полного минерального удобрения и смесей опоки с мочевиной. Последнее еще раз подтверждает, что при возделывании сельскохозяйственных культур с использованием высококремнистых пород на черноземах выщелоченных Среднего Поволжья более эффективным является диатомит.

Одной из проблем российских свекловодов является чрезмерный рост себестоимости производства корнеплодов, явившийся результатом непрерывного удорожания технологий, применяемых в отрасли, в том числе стоимости минеральных удобрений, без которых невозможно получение высоких урожаев культуры. Поэтому необходим внимательный пересмотр технологических звеньев и их переоценка с тем, чтобы обосновать адаптивные технологии безубыточного выращивания сахарной свеклы. Так, оптимизировать питательный режим почвы возможно, как убедительно показано выше, за счет использования местных сырьевых ресурсов и получаемых на их основе удобрений, которые являются доступными и относительно дешевыми. Однако, как уже неоднократно подчеркивалось, дозы 3–5 т/га оказываются не всегда рентабельными при транспортировке на значительные расстояния. В связи с этим целью дальнейших исследований был поиск способов повышения экономической эффективности применения диатомита за счет уменьшения его дозы и совместного применения с биопрепаратами. Результаты изучения сравнительной эффективности диатомита и минеральных удобрений на урожайность и качество корнеплодов представлены в таблице 31. В данном опыте доза диатомита составляла всего 40 кг/га, который вносился под предпосевную культивацию.

Сахарная свекла – интенсивная культура и предъявляет высокие требования к плодородию почвы. Урожайность ее на черноземах Среднего Поволжья в благоприятные по условиям вегетации годы достигает 45–50 т/га, а вынос элементов питания при этом – от 70–80 (P_2O_5) до 250–300 (N, K_2O) кг/га. Соответственно, отзывчивость сахарной свеклы на внесение удобрений также высокая. В опытах прибавка урожайности корнеплодов при использовании азотно-фосфорно-калийных удобрений в дозах по 60 кг д.в./га в среднем за два года составила 10,7 т/га. Более

высокая урожайность в среднем на уровне 42,2 т/га сформировалась при совместном внесении N60P60K60 и диатомита в дозе 40 кг/га.

Таблица 31 – Влияние диатомита и минеральных удобрений на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы (2007–2008 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га			Отклонение от контроля		Содержание сахара		Выход сахара	
	2007 г.	2008 г.	средняя	т/га	%	2007 г.	2008 г.	т/га	отклонение от контроля, %
Контроль	36,8	22,2	29,5	–		18,3	15,2	5,0	–
N60P60K60	50,3	30,1	40,2	+10,7	36	19,3	15,3	7,0	40
Диатомит 40 кг/га	48,9	25,5	37,2	+7,7	26	21,6	16,6	7,1	42
N60P60K60 + диатомит 40 кг/га	52,2	32,2	42,2	+12,7	43	21,6	17,1	8,2	64
N30P30K30 + диатомит 40 кг/га	48,6	28,2	38,4	+8,9	30	22,0	17,0	7,5	50
N15P15K15 + диатомит 40 кг/га	52,1	27,5	39,8	+10,3	35	20,0	17,0	7,4	48
HCP ₀₅	2,1	1,9		–	–	0,2	0,3	–	

Припосевное внесение диатомита в дозе 40 кг/га также способствовало значительному повышению урожайности корнеплодов (на 7,7 т/га, или 26 %). Урожайность корнеплодов при совместном внесении диатомита и невысоких доз минеральных удобрений незначительно уступала варианту с применением полных доз минеральных удобрений: прибавка урожайности корнеплодов на варианте N60P60K60 составила 10,7 т/га, на варианте N15P15K15 + диатомит 40 т/га – 10,3 т/га.

Анализ накопления сахара в корнеплодах сахарной свеклы показал преимущество диатомита при использовании как в чистом виде, так и совместно с минеральными удобрениями. При этом вариант с внесением в почву 40 кг/га диатомита по выходу сахара с одного гектара не уступал варианту с NPK по 60 кг д.в./га. Следовательно, применение в технологии возделывания сахарной свеклы диатомита даже в небольших дозах, как припосевное внесение 40 кг/га, способствует повышению не только урожайности корнеплодов, но и содержанию сахара в них - основного показателя качества продукции данной культуры.

Увеличение массы корнеплода сахарной свеклы и повышение содержания сахара в нем при внесении кремниевых удобрений зафиксировано еще Ю. Либихом, данные согласуются с результатами ряда авторов.

Эффективность диатомита в качестве удобрения сахарной свеклы сохранялось при использовании его в качестве материала для предпосевной обработки семян как в чистом виде, так и совместно с биопрепаратами (таблица 32) (опыты 2006–2008 гг.), когда доза диатомита составляла всего 30 кг на 1 тонну семян.

Таблица 32 – Влияние предпосевной обработки семян диатомитом и биопрепаратами на урожайность корнеплодов сахарной свеклы, т/га

Вариант	Год исследования			Средняя	Отклонение от контроля	
	2006	2007	2008		т/га	%
1. Контроль	25,6	46,5	28,2	33,4	–	–
2.Диатомит	30,2	52,3	36,0	39,5	+6,1	18
3. Байкал ЭМ-1	33,3	52,3	34,9	40,2	+6,8	20
4. Диатомит + Байкал ЭМ-1	34,5	51,9	35,5	40,6	+7,2	22
5. Ризоагрин	33,4	51,8	33,1	39,4	+6,0	18
6. Диатомит + Ризоагрин	29,0	52,8	33,8	38,5	+5,1	15
7. N60P60K60	34,0	54,5	37,5	42,0	+8,6	20
НСР ₀₅	0,4	1,4	1,1	–	–	–

Анализ результатов исследований показал, что по эффективности предпосевная обработка семян диатомитом (30 кг/т семян) ненамного уступает предпосевному его внесению в почву в дозе 40 кг/га. Прием технологичен и мало-затратен.

Кукуруза. В 2005–2006 годы на опытном поле УГСХА проведены полевые опыты по изучению эффективности различных доз диатомита при возделывании кукурузы (табл.33).

Таблица 33 – Урожайность зеленой массы кукурузы в зависимости от доз применения диатомита в качестве удобрения, т/га

Вариант	2005 г.	2006 г.	Средняя	Отклонения от контроля	
				т/га	%
Контроль	52,0	50,6	51,3	–	–
Диатомит 1 т/га	58,2	55,1	56,7	+5,4	11
Диатомит 2 т/га	60,7	55,3	58,0	+6,7	13
Диатомит 3 т/га	63,6	58,1	60,9	+9,6	19
НСР ₀₅	4,9	3,8			

При анализе данных по урожайности, прежде всего, обращает внимание то, что в условиях Среднего Поволжья кукуруза способна формировать очень высокую урожайность зеленой массы, которая в среднем за 2 года составила 51–61 т/га. Тем не менее, даже на таком высоком фоне эффективность диатомита в качестве удобрения высокая и прибавка урожайности зеленой массы была на уровне 5,4–9,6 т/га, закономерно повышаясь с увеличением дозы диатомита. Однако следует отметить, что разница между вари-

антами с внесением в почву диатомита 2 и 3 т/га недостоверна. Следовательно, для формирования более высокой урожайности зеленой массы кукурузы вполне достаточно применение 1–2 т/га диатомита, что целесообразнее с экономической точки зрения.

А.А. Ермолаев (1993) считает, что более целесообразно и выгодно при возделывании кукурузы предпосевная обработка семян. Урожайность зеленой массы при этом возросла в сравнении с контролем на 52 %, а початков – на 28 % (семена обрабатывались препаратом ЛКП-8а).

Картофель. В 2003 году были проведены опыты по изучению эффективности опудривания посадочного материала картофеля в ФГУП «Ульяновская» на площади 168 га. Доза диатомита при этом составляла 300 кг/га.

Исследования показали, что использование диатомита для опудривания посадочного материала ускоряло наступление фенологических фаз, улучшало защитные свойства картофеля, увеличивало ассимиляционную поверхность листьев. Прибавка урожайности клубней картофеля составила 7,8 т/га, что было на 42 % больше, чем на контроле; значительно улучшилось качество продукции: содержание крахмала повысилось на 3 %; накапливалось больше фосфорных и калийных соединений; снизилось поступление тяжелых металлов в продукцию (свинца на 14 %).

Аналогичные результаты были получены в ООО «СП-ВИС-Мос», ООО «Весна» Майнского района (2004–2005 гг.) (таблица 34).

Урожайность клубней в среднем за 2 года повысилась по отношению к контролю на 31 %, в 2004 году – на 50 %, в последствии – на 41 %. При этом улучшались качествен-

ные показатели (таблица 35): увеличилось содержание крахмала и витамина С и значительно – кремния (на 23, 11 и 152 относительных процента соответственно), что сказалось не только на улучшении питательных и вкусовых качествах клубней картофеля, но и на последующем хранении.

Таблица 34 – Влияние диатомита на урожайность клубней картофеля с использованием диатомита в качестве основного удобрения (2004–2005 гг.)

Вариант	Годы исследования	Урожайность, т/га	Отклонение от контроля	
			т/га	%
Контроль (без удобрений)	2004	9,6	–	–
	2005	14,0	–	–
	средняя	11,8	–	–
Диатомит 2,5 т/га	2004	14,4	+4,8	50
	2005	18,4	+4,4	31
	средняя	16,4	+4,6	39
Последействие	2005	19,8	+5,8	41

Таблица 35 – Влияние диатомита на накопление крахмала, витамина С и кремния в клубнях, % (среднее за 2004–2005 гг.)

Вариант	Показатели		
	крахмал	витамин С	кремний
Контроль (без удобрений)	13,8	18,5	0,34
Диатомит 2,5 т/га	17,0	20,5	0,86
Последействие	18,2	24	0,78

Таким образом, изучение влияния диатомита на формирование урожайности пропашных культур при использовании его как в чистом виде, так и с минеральными удобрениями и биопрепаратами показало очень высокую его эффективность при их возделывании:

- урожайность корнеплодов сахарной свеклы увеличивалась в зависимости от доз внесения диатомита в среднем на 6,5–9 т/га (22–31 %), в отдельные годы от 8,5 до 10,2 т/га (35–55 %). По эффективности при возделывании сахарной свеклы диатомит в дозах 3–5 т/га не уступал полным дозам минеральных удобрений (N60P60K60). Для получения высокой урожайности (на 10 % и более превосходящей минеральные удобрения) корнеплодов достаточно совместное применение диатомита в дозе 3 т/га и мочевины в дозе N30 д.в./га. С точки зрения повышения экономической эффективности целесообразно применять диатомит под предпосевную культивацию в дозе 40 кг/га, или для предпосевного опудривания семян (30 кг/т семян) совместно с биологическими препаратами (Ризоагрин и Байкал ЭМ-1), что позволяет повысить урожайность культуры до 7,7 т/га (26 %) при внесении в рядки и от 5,1 до 7,2 т/га (15–22 %) при использовании совместно с биопрепаратами. Последнее сравнимо с применением полных доз минеральных удобрений;

- урожайность клубней картофеля при использовании в качестве удобрения диатомита увеличивалась при внесении в почву в дозе 2,5 т/га на 39 %, в отдельные годы до 50 %; при использовании для опудривания посадочного материала (доза 300 кг/га) прибавка урожайности клубней картофеля составила 7,8 т/га, или 42 %;

- прибавка урожайности семян подсолнечника (как показано будет ниже) от применения в качестве удобрения диатомита в дозе 3 т/га составила 0,18 т/га, или 24 %;

- при возделывании кукурузы использование диато-

мита в системе удобрения в дозе 1 т/га способствовало повышению урожайности зеленой массы на 5,4 т/га, в дозе 2 т/га – 6,7 т/га и 3 т/га – 9,6 т/га. Урожайность зеленой массы кукурузы при этом изменялась от 51,3 т/га на контроле до 60,9 т/га при внесении 3 т/га диатомита;

– применение диатомита в качестве удобрения пропашных культур способствовало достоверному улучшению качества продукции: содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы повышалось до 3,6 %, витамина С и крахмала в клубнях картофеля на 5,5 и 4,4 % (абсолютные значения) соответственно, кислотное число в семенах подсолнечника снижалось на 0,4 единицы;

– возделывание пропашных культур с использованием диатомита в качестве удобрения экономически и энергетически эффективнее, чем применение минеральных удобрений.

Овощные культуры (огурцы, томаты, морковь, столовая свекла). Изучение влияния диатомита на формирование урожайности овощных культур проводилось при использовании их как в чистом виде, так и совместно с птичьим пометом в разных соотношениях компонентов. Результаты представлены в таблице 36.

Предварительные опыты в 2000 году показали высокую эффективность применения диатомита и его смеси с птичьим пометом в соотношении компонентов 4:1 в качестве удобрения овощных культур. Урожайность огурцов в среднем за 3 года внесения в почву диатомита в чистом виде повысилась на 5,1 т/га, или на 20 %, томатов – на 4,9 т/га (12,8 %), моркови – на 5,9 т/га (14 %), свеклы столовой – на 7,1 т/га (12,8 %). Наиболее отзывчивыми на внесение диатомита оказались морковь и свекла столовая, урожайность которых в 2001 году превышала контроль на 10,9 т/га, или она повышалась на 21,5 и 27,7 %. Последнее, по-видимому, обусловлено присутствием калия в диатомите, так как обе

культуры являются калиелюбивыми.

Таблица 36 – Влияние диатомита и его смесей с птичьим пометом на урожайность овощных культур, т/га (2000–2002 гг.)

Варианты	Годы исследований	Огурцы		Томаты		Морковь		Свекла	
		урожайность	отклонение от контроля ($\pm$)	урожайность	отклонение от контроля ($\pm$)	урожайность	отклонение от контроля ($\pm$)	урожайность	отклонение от контроля ($\pm$)
Контроль	2000 г.	27,3	–	37,6	–	42,7	–	69,8	–
	2001 г.	16,4	–	41,0	–	50,8	–	39,3	–
	2002 г.	32,5	–	35,7	–	32,7	–	57,9	–
	Средняя	25,4	–	38,1	–	42,1	–	55,4	–
Диатомит 5 т/га	2000 г.	31,8	+4,5	39,1	+1,5	42,3	+0,4	71,4	+1,6
	2001 г.	22,2	+5,8	49,3	+7,3	61,7	+10,9	50,2	+10,9
	2002 г.	37,4	+4,9	40,7	+5,0	39,9	+7,2	65,9	+8,0
	Средняя	30,5	+5,1	43,0	+4,9	48,0	+5,9	62,5	+7,1
Диатомит + птичий помет 1:1 3,6 т/га	2001 г.	19,4	+3,0	51,0	+9,0	59,8	+9,0	47,9	+8,6
	2002 г.	37,6	+5,1	38,1	+2,4	35,8	+3,1	84,1	+26,2
	Средняя	28,5	+4,0	44,6	+6,2	47,8	+6,0	66,0	+17,4
Диатомит + птичий помет 2:1 4,8 т/га	2001 г.	20,2	+3,8	49,2	+7,2	59,9	+9,1	51,5	+12,2
	2002 г.	44,1	+11,6	43,8	+8,1	32,7	0	84,5	+26,6
	Средняя	32,2	+7,7	46,5	+8,1	46,3	+4,5	68,0	+19,4
Диатомит + птичий помет 4:1 8 т/га	2001 г.	25,2	+8,8	46,2	+4,2	72,5	+21,7	48,0	+8,7
	2002 г.	49,4	+16,9	46,2	+10,5	37,7	+5,0	68,5	+10,6
	Средняя	37,3	+12,8	46,2	+7,8	55,1	+13,3	58,3	+9,7
НСР ₀₅	2000 г.	0,7		1,2		4,5		9,2	
	2001 г.	2,8		4,5		5,5		4,4	
	2002 г.	0,6		3,4		5,0		10,0	

Добавление к диатомиту птичьего помета привело еще к более значительным результатам: урожайность огурцов по отношению к контрольному варианту в среднем за

2 года повысилась с 25,4 т/га на контроле до 37,3 т/га, томатов с 38,1 т/га до 46,5 т/га, моркови с 42,1 т/га до 52,9 т/га, а свеклы столовой – с 55,4 т/га до 68,0 т/га. Прибавка урожайности моркови в 2001 году составила 21,7 т/га, свеклы столовой в 2002 году – 26,6 т/га, что выше средней урожайности данных культур в области.

В среднем диатомит и его смеси с птичьим пометом являются эффективным комплексным удобрением овощных культур: при дозе диатомита 5 т/га урожайность огурцов повышалась на 20 %, томатов на 13 %, моркови на 14 %, свеклы столовой на 13 %. При возделывании огурцов, томатов, моркови с использованием смеси диатомита с птичьим пометом в качестве удобрения более эффективным было соотношение компонентов 4:1, столовой свеклы – 2:1 при норме птичьего помета 1,6 т/га.

Следует отметить, что на вариантах с внесением диатомита и его смеси с куриным пометом в соотношении 4:1 отмечалось более раннее начало плодоношения огурцов (табл.37).

Таблица 37 – Сбор плодов огурцов, т/га (2001–2002 гг.)

Вариант		Месяц						Всего	
		июль	август			сентябрь			
			декада						
			III	I	II	III	I		II
Контроль		3,8	5,1	3,3	3,9	4,6	3,8	24,5	
Диатомит 5 т/га		6,8	6,9	4,0	3,6	4,7	3,8	29,8	
Диатомит + куриный помет (4:1) 8 т/га		7,5	8,3	3,6	5,3	6,5	6,1	37,3	
НСР ₀₅	2001 г.	0,7	0,5	0,7	0,9	0,6	0,4	2,8	
	2002 г.	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,6	1,2	

Анализ данных таблицы 37 показывает, что сбор урожая огурцов в первые сроки уборки (3-я декада июля – 1-я декада августа) был в 1,5–1,8 раз больше на вариантах с внесением диатомита и его смеси с куриным пометом, а в 3-ю декаду июля – в 1,8–2 раза по сравнению с контролем.

Наступление товарной спелости томатов (табл. 38) на вариантах с внесением диатомита наблюдалось на 15 дней раньше, а сбор урожая превышал в 2,6 раз урожайность томатов на вариантах без внесения диатомита, что очень важно с точки зрения реализации продукции.

Таблица 38 – Сбор плодов томатов, т/га (2001–2002 гг.)

Вариант		Месяц						Всего	
		июль	август			сентябрь			
			декада						
			III	I	II	III	I		II
Контроль		0,1	0,6	5,3	8,0	11,6	12,8	38,4	
Диатомит 5 т/га		0,5	1,3	7,1	9,0	12,5	14,6	45,0	
Диатомит + кури- ный помет (4:1) 8 т/га		0,4	1,2	6,5	8,7	14,0	15,4	46,2	
НСР ₀₅	2001 г.	0,2	0,2	0,5	0,2	0,5	0,7	3,4	
	2002 г.	0,1	0,2	0,3	0,5	1,1	1,3	4,5	

Аналогичные результаты влияния кремнийсодержащих соединений на урожайность свеклы получены Grandvigne (1926), моркови – Thun (1964), томатов и огурцов Wagner (1940).

Таким образом, диатомит и его смеси с куриным пометом являются высокоэффективным комплексным удобрением овощных культур: урожайность огурцов в среднем

за 3 года повышалась на 20 %, томатов на 11 %, моркови на 19 %, свеклы столовой на 12 %. Применение диатомита в качестве удобрения овощных культур приводило к сокращению сроков начала плодоношения огурцов и томатов на 10–15 дней и уменьшению поражаемости грибными заболеваниями томатов на 80 %.

4.3. Последствие использования диатомита в качестве удобрения сельскохозяйственных культур

Высококремнистые породы, являясь природными сорбентами с высокими сорбционными и ионообменными свойствами, оказывают пролонгированное действие на последующие культуры (рисунки 10 и 11).



Рисунок 10. Последствие диатомита, внесенного в 2001 году под озимую пшеницу (опытное поле УГСХА)

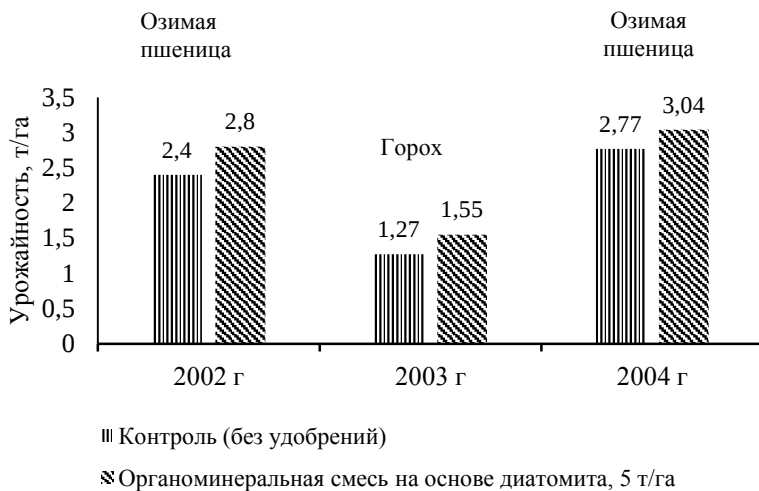


Рисунок 11. Последствие удобрения на основе диатомита и птичьего помета, внесенного в 2001 году под озимую пшеницу в производственных условиях учхоза УГСХА

На третий год после внесения диатомита урожайность ячменя повышалась на 40 %, на четвертый – на 4–10 %. При этом отмечалось улучшение качества получаемой продукции. Например, содержание белка в зерне гороха увеличилось на 0,26 и 1,6 % соответственно (в абсолютных значениях, относительных – на 7 %). Значительно повышалось количество в зерне фосфора и калия (на 12 и 16 относительных процента).

Удобрительные смеси на основе диатомита и птичьего помета не только повышали урожайность и качество выращиваемой продукции на протяжении нескольких лет, но и обеспечивали повышение уровня её экологической безопас-

ности. На второй и третий годы после их внесения урожайность гороха повышалась на 22 %, озимой пшеницы на 6 %. При этом содержание свинца (как показано будет ниже) в зерне снижалось на 38 %, кадмия в 3 раза.

4.4. Результаты производственных испытаний диатомита в качестве удобрений сельскохозяйственных культур

Основы научных исследований предполагают обязательное испытание предлагаемых приемов повышения урожайности культур в производственных условиях. В связи с этим нами в 2002–2005 годах совместно со специалистами хозяйств и Министерства сельского хозяйства Ульяновской области с комиссионной приемкой опытов и определением урожайности были проведены производственные испытания в учхозе УГСХА и в ряде хозяйств области. Производственные испытания полностью подтвердили результаты полевых опытов.

Наибольшая прибавка урожайности озимой пшеницы в учхозе УГСХА (2002 г.) была получена от внесения в почву диатомита 8 т/га и составила 0,7 т/га, превысив контроль на 29 % (таблица 39).

Добавка к диатомиту птичьего помета, богатого макро- и микроэлементами, обеспечивало более сбалансированное питание (прежде всего, по азоту) растений, что сказалось не только на урожайности, но и качестве продукции. Если на контроле содержание клейковины составляло 21,5 % с качеством 108 единиц, то на варианте с внесением диатомита и птичьего помета оно повысилось до 24,8 % с ИДК 78 единиц, то есть зерно вместо 4 класса стало соответствовать по качеству 3-му классу. Последнее позволило значительно улучшить экономические показатели возделывания озимой пшеницы.

Таблица 39 – Влияние диатомита и его смеси с птичьим пометом на урожайность и качество зерна озимой пшеницы (2002 г.). Площадь учетной делянки 3 га, повторность четырехкратная. Почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистый.

Вариант	Урожайность, т/га	Масса 1000 зерен, г	Белок, %	Клейковина, %	ИДК, ед.	Азот, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O, %
Контроль	2,4	33,5	10,0	21,5	108	1,75	0,62	0,29
Диатомит 8 т/га	3,1	36,2	10,8	23,9	88	1,93	0,67	0,35
Диатомит + птичий помет 5 т/га	2,8	38,9	11,9	24,8	78	2,09	0,77	0,43
НСР ₀₅	0,3	1,7	1,1	0,1	6	0,16	0,03	0,05

Производственные опыты с овощными культурами (морковь, свекла столовая, томаты) проведены во втором отделении учхоза Ульяновской ГСХА с внесением диатомита в дозе 5 т/га. Результаты их показали очень высокую эффективность диатомита в качестве удобрения на фоне низкой обеспеченности почвы элементами питания (таблица 40). Почва опытного поля - чернозем оподзоленный среднесуглинистый.

Таблица 40 – Влияние диатомита на урожайность овощных культур, т/га (2002 г.)

Вариант	Морковь	Свекла столовая	Томаты
Контроль	13,2	9,6	7,9
Диатомит 5 т/га	26,7	16,7	11,4
НСР ₀₅	3,3	1,0	3,0

Урожайность моркови при этом удвоилась, столовой

свеклы повысилась на 74 %, томатов – на 45 %. Следует отметить, что при этом плодоношение томатов наступило на 13–15 дней раньше, количество плодов на одном растении было в среднем на 4 шт. больше. Растения на опытном варианте практически не поражались болезнями, тогда как пораженность вершинной гнилью на контроле составила 16 %, а на варианте, где был внесен диатомит, – всего 4 %, что подтверждает результаты мелкоделяночных опытов.

Площадь посевов ячменя в учхозе УГСХА с внесением диатомита в дозе 3 т/га в 2004 году составила 2 га, повторность каждой делянки четырехкратная. Урожайность на контроле была на уровне 2,4 га, с внесением диатомита – 2,9 т/га, превысив контроль на 21 % (рисунок 12).

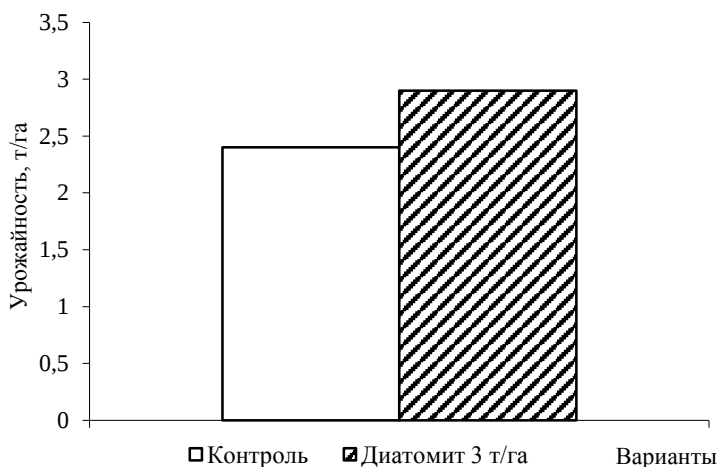


Рисунок 12. Влияние диатомита на урожайность ячменя, т/га (2004 г., учебно-опытное хозяйство Ульяновской ГСХА)

Достоверно при этом улучшались качественные показатели, и повысилось содержание кормовых и кормопро-

иновых единиц на 0,6 и 0,74 т/га соответственно. Обеспеченность переваримым протеином кормовой единицы на варианте с диатомитом составила 101,2 г, тогда как на контроле – 97,3 г (табл.41).

Таблица 41 – Влияние диатомита на содержание белка и кормовые достоинства зерна ячменя (2004 г., учебно-опытное хозяйство УГСХА)

Вариант	Содержание белка, %	Валовой сбор, т/га			Количество переваримого протеина на 1 к.ед., г
		зерна	кормовых единиц	кормопротеиновых единиц	
Контроль	11,7	2,4	2,7	2,60	97,3
Диатомит 3 т/га	12,2	2,9	3,3	3,34	101,2
НСР ₀₅	0,4	0,15	–	–	–

Ниже представлены результаты производственных испытаний в хозяйствах Ульяновской области в 2005 году (табл. 42, 43, 44, 45).

Таблица 42 – Урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы в зависимости от применения диатомита (ООО «Чеботаевское» Сурского района)

Вариант	Урожайность, т/га	Содержание, %			
		сахара	азота	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	38,5	14,2	0,19	0,10	0,24
Диатомит 3 т/га	40,5	17,8	0,28	0,14	0,30
НСР ₀₅	1,5	1,0	0,11	0,03	0,05

Следует отметить, что при проведении опытов диато-

мит не соответствовал техническим требованиям по размеру частиц; вместо дробленого диатомита отгружался карьерный с комками размером до 10 см и более. Также были нарушены сроки поставки, в связи с чем сроки внесения диатомита и посева культур были нарушены. Последнее, несомненно, повлияло на высоту прибавки урожая по всем культурам. Тем не менее, даже в этом случае влияние диатомита на формирование урожайности культур и качество продукции было существенным.

Данные таблицы 42 убедительно показывают, что урожайность корнеплодов сахарной свеклы при внесении диатомита заметно повышается (на 2 т/га) и очень значительно – качество продукции. Основной показатель качества корнеплодов сахарной свеклы – сахаристость, которая при внесении диатомита повысилась на 3,6 %. Последнее привело к тому, что сбор сахара с одного гектара при внесении диатомита повысился на 31 %.

В следующем опыте впервые изучалось влияние диатомита на урожайность и качество семян подсолнечника (табл.43). Результаты исследований показали, что данная культура также является отзывчивой на применение диатомита в технологии ее возделывания: урожайность семян увеличилась на 0,18 т/га, или на 24 %. Улучшилось качество продукции: кислотное число уменьшилось на 0,4 единицы.

Таблица 43 – Урожайность и качество семян подсолнечника (ООО «Весенний сюжет» Сурского района)

Вариант	Урожайность, т/га	Масличность, %	Кислотное число
Контроль	0,74	48	3,3
Диатомит 3 т/га	0,92	48	2,9
НСР ₀₅	0,12	0,18	0,3

Таблица 44 – Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от внесения диатомита (ООО «Весна» Майнского района)

Вариант	Урожайность, т/га	Качественные показатели				
		клейковина, %	ИДК, един.	белок, %	P ₂ O ₅ , %	H ₂ O, %
Контроль	1,52	19,9	99	8,5	0,71	0,51
Диатомит 3 т/га	1,59	22,7	74	10,9	0,89	0,75
НСР ₀₅	0,07	1,2	5	1,2	0,05	0,05

Как видно из данных таблицы 44, повышение урожайности зерна яровой пшеницы при внесении диатомита составляла 0,07 т/га, что значительно ниже результатов, полученных на мелкоделяночных опытах. Последнее вполне объяснимо весенними сроками внесения (для лучшего взаимодействия диатомита с почвой его надо вносить под зяблевую обработку), нарушением сроков сева в связи с поздней поставкой диатомита и тем, что он не соответствовал (как отмечалось выше) техническим требованиям по тонине помола. Тем не менее, качество зерна значительно лучше, чем на контроле. Так, если содержание клейковины в зерне на контроле составило 19,9 %, то при внесении диатомита – 22,7 % с улучшением ее качества (ИДК). Значительно были лучше и другие качественные показатели (содержание белка, фосфора и калия).

Внесение диатомита в чистом виде в колхозе им. Вавилова обеспечило прибавку урожайности на 0,09 т/га, или на 9 % (табл. 45). При добавлении к диатомиту 20 кг/га азота в виде аммиачной селитры повышение урожайности составило 0,26 т/га, или 25 %. При этом также улучшались качественные показатели зерна.

Таблица 45 – Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от применения в системе удобрения диатомита и диатомита совместно с мочевиной (колхоз им. Вавилова Инзенского района)

Вариант	Уро- жай- ность, т/га	Качественные показатели				
		клейко- вина, %	ИДК, един.	белок, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O, %
Контроль	1,02	22,3	78	10,5	0,86	0,70
Диатомит 3 т/га	1,11	23,0	68	11,3	0,85	0,77
Диатомит 3 т/га + N20 кг/га	1,28	23,4	67	11,5	0,89	0,68
НСР ₀₅	0,12	0,7	5,5	0,8	0,02	0,06

Таким образом, в производственных условиях подтвердилось, что наибольшей эффективности диатомита в качестве удобрения можно добиться при совместном применении его со средними дозами азотных удобрений (20–40 кг/га д.в.).

Глава 5. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОДУКЦИИ

Диатомит сочетает в себе уникальные свойства, прежде всего высокую наноструктурированную пористость, что позволяет получать экологически безопасную продукцию. В таблицах 46, 47, 48, 49 приведена экологическая оценка продукции при возделывании овощных культур (2000–2002 гг.) по содержанию нитратов и тяжелых металлов.

Таблица 46 – Влияние диатомита и его смеси с птичьим пометом на содержание нитратов и тяжелых металлов в плодах огурцов, мг/кг в натуральном веществе

Вариант	Нитраты	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	Hg	As
Контроль	303	6,30	1,23	0,07	0,08	1,79	0,97	0,0001	0,0014
Диатомит 5 т/га	275	6,53	1,23	0,06	0,07	1,80	1,07	0,0002	0,0025
Диатомит + птичий помет (4:1) 8 т/га	275	6,13	1,47	0,05	0,09	2,04	0,95	0,0003	0,0017
ПДК в продукции	150+40	100	30	5,0	0,3	3,0	0,5	0,05	0,5
НСР ₀₅	7	0,2	0,2	0,01	0,01	0,5	0,2	0,0001	0,0003

В отношении овощных культур, непосредственно потребляемых в пищу, очень важен показатель содержания в них нитратов. Как показали результаты исследований, внесение диатомита в чистом виде способствовало значительному снижению накопления нитратов в продукции: в огурцах на 9 %, помидорах на 12 %, моркови на 15 %, столовой свеклы на 17 %. Аналогичная закономерность наблюдалась и по отношению поступления тяжелых металлов (ТМ). Так, содержание свинца в плодах помидоров снизилось с 0,59 мг/кг в натуральном веществе до 0,09 мг/кг, кадмия

– в 1,5 раза, никеля – на 15 %; в столовой свекле свинца – на 22 %, кадмия – на 25 %, никеля – на 26 %, хрома трехвалентного – на 24 %.

Таблица 47 – Влияние диатомита и его смеси с птичьим пометом на содержание нитратов и тяжелых металлов в плодах томатов, мг/кг в натуральном веществе

Вариант	Нитраты	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	Hg	As
Контроль	300	15,25	3,28	0,59	0,183	1,15	0,68	0,0009	0,019
Диатомит 5 т/га	267	14,42	2,23	0,09	0,120	0,98	0,62	0,0005	0,011
Диатомит +птичий помет (4:1) 8 т/га	255	15,35	3,35	0,10	0,155	0,77	0,45	0,0004	0,010
ПДК в продукции	150+40	100	30	5,0	0,3	3,0	0,5	0,05	0,5
НСР ₀₅	4	0,3	0,1	0,05	0,08	0,05	0,02	0,0002	0,003

Таблица 48 – Влияние диатомита и его смеси с птичьим пометом на содержание нитратов и тяжелых металлов в корнеплодах моркови, мг/кг в натуральном веществе

Вариант	Нитраты	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	Hg	As
Контроль	206	10,85	3,51	0,12	0,085	1,90	0,86	0,0010	0,012
Диатомит 5 т/га	164	9,90	2,65	0,11	0,080	1,75	0,77	0,0008	0,005
Диатомит +птичий помет (4:1) 8 т/га	166	10,18	3,5	0,13	0,090	1,05	0,85	0,0011	0,008
ПДК в продукции	250+60	100	30	5,0	0,3	3,0	0,5	0,05	0,5
НСР ₀₅	6	0,2	0,1	0,01	0,002	0,04	0,05	0,0001	0,003

Таблица 49 – Влияние диатомита и его смеси с птичьим пометом на содержание нитратов и тяжелых металлов в корнеплодах столовой свеклы, мг/кг в натуральном веществе

Вариант	Нитраты	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	Hg	As
Контроль	206	12,5	4,23	0,23	0,12	337	225	0,0013	0,023
Диатомит 5 т/га	164	13,05	4,92	0,18	0,09	2,50	1,70	0,0013	0,010
Диатомит + птичий помет (4:1) 8 т/га	166	14,8	5,87	0,13	0,05	2,85	1,87	0,0016	0,014
ПДК в продукции	250+60	100	30	5,0	0,3	3,0	0,5	0,05	0,5
НСР ₀₅	7	0,9	0,8	0,03	0,01	0,04	0,05	0,0002	0,003

Использование смесей диатомита с птичьим пометом приводило к некоторому повышению содержания ТМ в продукции, однако оно значительно ниже, чем на контроле. Следовательно, свойство диатомита способствовать получению экологически безопасной продукции при применении его совместно с другими удобрениями, в частности, птичьим пометом, сохраняется.

Применение диатомита способствовало получению экологически более безопасной продукции практически всех экспериментальных культур: как зерновых, так и пропашных (табл.50).

Как видно из приведенных таблиц, внесение диатомита в почву как в чистом виде, так и в сочетании с макро- и микроэлементами снижало поступление тяжелых металлов в зерно. Например, содержание свинца в зерне яровой пшеницы при внесении в почву 5 т/га диатомита снижалось с 0,3 до 0,14 мг/кг (53 %), кадмия - в 3 раза; в зерне ячменя соответственно в 2,2 и 2 раза. Аналогичная закономерность

наблюдалась и по другим элементам.

Таблица 50 – Содержание тяжелых металлов в зерне яровой пшеницы и ячменя (среднее за 2003–2005 гг.)

Вариант	мг/кг				
	Zn	Cu	Pb	Cd	Hg
Яровая пшеница					
Контроль (без удобрений)	8,33	1,48	0,30	0,06	0,0014
Диатомит 5 т/га	6,63	0,76	0,14	0,02	0,0003
Диатомит 2,5 т/га + N40P40K40	7,20	0,88	0,18	0,03	0,0007
Диатомит 2,5 т/га + N40P40K40 + Mo + Mn	6,63	0,83	0,19	0,03	0,0002
Ячмень					
Контроль (без удобрений)	16,43	2,67	0,33	0,14	0,0024
Диатомит 5 т/га	10,97	1,87	0,15	0,07	0,0006
Диатомит 2,5 т/га + N40P40K40	11,70	2,07	0,20	0,08	0,0008
Диатомит 2,5 т/га + N40P40K40 + Mo + Mn	11,27	1,93	0,15	0,06	0,0009
ПДК в продукции	50	30	0,50	0,10	0,03

Таким образом, диатомит является экологически чистым удобрением сельскохозяйственных культур и способствует получению экологически безопасной продукции.

Глава 6. БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ПОЧВЕ

Возделывание сельскохозяйственных культур сопровождается значительным выносом элементов питания, что без их компенсации неминуемо ведет к деградации почвенного плодородия. Математическим выражением круговорота питательных веществ в посевах культур является баланс элементов питания, определяемый как разность между их приходом в почву с удобрениями и их расходом на формирование урожайности.

Баланс основных элементов питания в черноземе выщелоченном при возделывании сахарной свеклы представлен в таблицах 51, 52, 53.

Среди элементов минерального питания растений в первом минимуме находится азот. В решении проблемы большое значение имеет внесение органических и минеральных удобрений и усиление биологической фиксации молекулярного азота атмосферы. Умаров (1999) приводит следующие расчеты: ежегодный выпуск минеральных удобрений в мире на конец 20 века составлял примерно 790 млн. тонн, а также вносилось около 20 млн. тонн азота в составе органических удобрений. С учетом коэффициентов использования азота из них сельскохозяйственные культуры получали 40 млн. тонн азота в год, тогда как ежегодный вынос его с продукцией по данным ФАО составляет 120 млн. тонн. Следовательно, в мировом производстве сельскохозяйственной продукции на долю биологического азота приходится около двух третей от общего содержания азота. При этом большим достижением является открытие способности фиксировать молекулярный азот не только высокоспециализированными бактериями, такими как азотбактер, клубеньковые бактерии, клостридии, но и практически всеми группами бактерий. Установлено, что в почвах уме-

ренного климата за счет ассоциативной азотфиксации ежегодно связывается не 3–5 кг азота на гектар, как считалось недавно, а не менее 30–50 кг.

Таблица 51 – Баланс в почве азота в зависимости от применения диатомита и его смесей с минеральными удобрениями при возделывании сахарной свеклы, кг/га (2003–2005 гг.)

№ п/п	Вариант	Урожайность, т/га	Вынос культурой	Поступление	Баланс азота
1	Контроль	29,3	82	12	-70
2	N60P60K60	36,8	129	72	-57
3	Диатомит 3 т/га	35,8	114	12	-102
4	Диатомит 3 т/га + N30	40,6	144	42	-102
5	Диатомит 3 т/га + N60	41,8	152	72	-80
6	Диатомит 3 т/га + N60P30	39,6	141	72	-69
7	Диатомит 3 т/га + N60P30K30	43,1	161	72	-89
8	Диатомит 3 т/га + N60P60K30	41,4	151	72	-79
9	Диатомит 3 т/га + N60P60K60	43,0	150	72	-84
10	Диатомит 5 т/га	38,3	122	12	-110
11	Диатомит 5 т/га + N60	41,6	150	72	-84
12	Диатомит 5 т/га + N60P30	41,7	143	72	-71
13	Диатомит 5 т/га + N60P30K30	41,0	141	72	-69
14	Диатомит 5 т/га + N60P60K30	42,9	147	72	-75
15	Диатомит 5 т/га + N60P60K60	40,5	148	72	-76

Таблица 52 – Баланс фосфора в черноземе выщелоченном в зависимости от применения диатомита и минеральных удобрений, кг/га (2003–2005 гг.)

№ п/п	Вариант	Вынос фос- фора	Поступление фос- фора			Ба- ланс, ±
			с диа- томи- том	с удоб- рени- ями	все го	
1	Контроль	27	–	–	0	-27
2	N60P60K60	41	–	60	60	+19
3	Диатомит 3 т/га	44	15	–	15	-29
4	Диатомит 3 т/га + N30	50	15	–	15	-35
5	Диатомит 3 т/га + N60	55	15	–	15	-40
6	Диатомит 3 т/га + N60P30	45	15	30	45	0
7	Диатомит 3 т/га + N60P30K30	57	15	30	45	-12
8	Диатомит 3 т/га + N60P60K30	47	15	60	75	+28
9	Диатомит 3 т/га + N60P60K60	53	15	60	75	+22
10	Диатомит 5 т/га	43	25	–	25	-18
11	Диатомит 5 т/га + N60	27	25	–	25	-22
12	Диатомит 5 т/га + N60P30	51	25	30	55	+4
13	Диатомит 5 т/га + N60P30K30	46	25	60	55	+9
14	Диатомит 5 т/га + N60P60K30	48	25	60	85	+37
15	Диатомит 5 т/га + N60P60K60	46	25	30	55	+9

При расчете баланса азота в приходную часть вошли: количество азота, вносимого с удобрениями, с семенами, с атмосферными осадками. Кроме того, учитывалась фикса-

ция азота свободно живущими азотфиксаторами. В расходной части учитывался биологический вынос с урожаем, а также возможные газообразные потери почвенного азота и инфильтрация с осадками.

Как показали расчеты, баланс азота при возделывании сахарной свеклы резко отрицательный: от 70 кг/га (контроль) до 110 кг/га (диатомит 5 т/га). Менее напряженным он был только на фоне полных доз минеральных удобрений.

Вынос фосфора корнеплодами сахарной свеклы, более чем в 3 раза меньше выноса азота и почти в 4 раза – калия, что обеспечивает близко к бездефицитному или положительный баланс данного элемента на вариантах с внесением диатомита и суперфосфата. Все варианты без внесения минерального фосфора имеют отрицательный баланс (от –27 до –40 кг/га) (табл.52).

Свекла является калиелюбивой культурой, поэтому суммарный вынос калия урожаем был очень высоким и варьировал от 104 кг/га на контроле до 175 кг/га на варианте с внесением диатомита и минеральных удобрений (N60P30K30) (табл.53).

Диатомит (Инзенского месторождения) в своем составе содержит 1,06 % калия, что обеспечивает при его внесении в дозах 3 и 5 т/га поступление данного элемента в почву 32 и 53 кг/га, что занимает значительную долю в приходной части баланса. Внесение калия в форме минеральных удобрений существенно компенсировало его биологические потери на формирование урожайности и баланс калия на данных вариантах при высокой урожайности культуры (40–43 т/га) составил –44 до –113 кг/га, тогда как на других вариантах от –92 до –130 кг/га.

В целом, несмотря на внесение диатомита в чистом виде и совместно с азотно-калийно-фосфорными удобрениями баланс основных элементов питания в почве остается отрицательным. Последнее вполне объяснимо, так

как при формировании урожайности культур, тем более такой интенсивной, как сахарная свекла, в основном расходуются почвенные их запасы.

Таблица 53 – Баланс калия в почве в зависимости от применения диатомита и минеральных удобрений в технологии возделывания сахарной свеклы, кг/га (2003–2005 гг.)

Вариант	Вынос калия			Поступление калия			Баланс, ±
	корне-плодами	ботвой	всего	с диатомитом	с удобрениями	всего	
Контроль	76	28	104	–	–	–	-104
N60P60K60	103	33	136	–	60	60	-76
Диатомит 3 т/га	111	32	143	32	–	32	-111
Диатомит 3 т/га + N30	126	35	161	32	–	32	-129
Диатомит 3 т/га + N60	125	36	162	32	–	32	-130
Диатомит 3 т/га + N60P30	111	35	146	32	–	32	-114
Диатомит 3 т/га + N60P30K30	138	37	175	32	30	62	-113
Диатомит 3 т/га + N60P60K30	120	36	156	32	30	62	-94
Диатомит 3 т/га + N60P60K60	129	37	166	32	60	92	-74
Диатомит 5 т/га	111	34	145	53	–	53	-92
Диатомит 5 т/га + N60	125	35	161	53	–	53	-108
Диатомит 5 т/га + N60P30	108	36	145	53	–	53	-92
Диатомит 5 т/га + N60P30K30	115	36	151	53	30	83	-68
Диатомит 5 т/га + N60P60K30	120	37	157	53	60	113	-44
Диатомит 5 т/га + N60P60K60	122	35	157	53	30	83	-74

При этом низкомолекулярные кремниевые кислоты, поступающие вместе с диатомитом, способствуют переходу труднодоступных фосфатов в доступные для растений формы. Улучшается азотное питание растений за счет усиления микробиологической активности почвы, что в целом улучшает питание растений из почвенных запасов. Внесение минеральных удобрений также не компенсирует соответствующий вынос элементов питания, так как коэффициент использования внесенных удобрений не превышает для азота 50–60 %, фосфора 10–15 %, калия 50–60 %, хотя неиспользованная их часть остается в почве.

Вынос элементов питания в большей степени компенсировалось при внесении в почву диатомита в дозах 3 и 5 т/га на фоне минеральных удобрений. При этом по фосфору создавался бездефицитный и положительный баланс (от –12 до +39 кг/га), а потери азота и калия были наименьшими в сравнении с другими вариантами.

Проблема отрицательного баланса сохраняется и более обостряется при возделывании сахарной свеклы с использованием для предпосевной обработки семян диатомитового порошка и биологических препаратов, в том числе содержащих азотфиксирующие бактерии (табл.54). Тем не менее последнее способствовало, особенно на фоне минеральных удобрений, значительному снижению напряженности баланса по азоту.

Вынос фосфора с урожаем практически компенсируется внесением суперфосфата, что нельзя утверждать по отношению к калию: дефицит его при возделывании сахарной свеклы, в том числе с применением калийных удобрений превышает 100 кг/га.

Решение проблемы оптимизации баланса элементов питания возможно: увеличением доли многолетних трав и сидератов в структуре посевных площадей; использованием максимального количества соломы, имеющихся ресурсов

навоза, а также высококремнистых пород в системе удобрения в дозах не менее 3 т/га.

Таблица 54 – Баланс NPK в черноземе выщелоченном при возделывании сахарной свеклы с использованием минеральных удобрений, а также предпосевной обработки семян биопрепаратами и диатомитовым порошком (2006 – 2008 гг.)

Вариант	Урожай- ность, т/га	Баланс, ±		
		азота	фос- фора	ка- лия
Контроль	33,4	-79	-34	-111
Диатомитовый порошок	39,5	-118	-50	-148
Байкал ЭМ-1	40,2	-120	-45	-141
Байкал ЭМ-1 + диатомитовый порошок	40,6	-131	-56	-157
Ризоагрин	39,4	-79	-44	-138
Ризоагрин + диатомитовый порошок	38,5	-82	-44	-139
N60P60K60	42,0	-92	+7	-108
N60P60K60 + диатомитовый порошок	42,5	-91	+7	-107
N60P60K60 + Байкал ЭМ-1	43,5	-105	+1	-116
N60P60K60 + Байкал ЭМ-1 + диатомитовый порошок	44,8	-114	-1	-121
N60P60K60 + Ризоагрин	41,3	-50	+14	-98
N60P60K60 + Ризоагрин + диатомитовый порошок	42,0	-56	+13	-101

Последнее убедительно подтверждается опытами, проведенными в Ульяновском НИИСХ с 2006 по 2008 годы с использованием органических и органо-минеральных удобрений на разных фонах (без удобрений, диатомит 5 т/га и биопрепарат Ризоагрин для предпосевной обработки семян в

севообороте при возделывании яровой пшеницы) (табл.55).
Результаты исследований защищены Сайдышевой Г.В. под руководством автора в качестве кандидатской диссертации, 2011 г.

Таблица 55 – Баланс NPK в черноземе выщелоченном при возделывании яровой пшеницы (2006–2008 гг.)

Вариант	Урожай- ность, т/га	Баланс, ±		
		азота	фос- фора	ка- лия
Фон 1 – без удобрений				
Контроль	2,88	-83	-33	-40
Навоз 25 т/га	3,31	+19	+41	+51
Навоз 50 т/га	3,46	+130	+119	+150
*ОСВ эквивалентно по N25 т/га навоза	3,38	+17	+107	-4
ОСВ эквив. по N50 т/га навоза	3,52	+123	+253	+33
Сидерат (однолетние травы)	3,36	+21	-19	-25
Солома	3,28	+23	+25	+147
Фон 2 – диатомит 5 т/га				
Контроль	3,21	-96	-39	-1
Навоз 25 т/га	3,50	+14	+37	+93
Навоз 50 т/га	3,70	+118	+113	+187
ОСВ 1 доза	3,54	+11	+104	+33
ОСВ 2 дозы	3,80	+117	+251	+69
Сидерат	3,53	+12	-23	+24
Солома	3,37	+18	+21	+198
Фон 3 – биопрепарат (Ризоагрин)				
Контроль	3,38	-85	-43	-57
Навоз 25 т/га	3,61	+28	+33	+39
Навоз 50 т/га	3,83	+138	+106	+136
ОСВ 1 доза	3,78	+22	+102	-18
ОСВ 2 дозы	3,80	+130	+248	+21
Сидерат	3,69	+24	-27	-31
Солома	3,48	+30	+15	+141

* ОСВ – осадки сточных вод

Результаты опыта убедительно свидетельствуют о том, что применение диатомита и биопрепаратов способствует формированию более высокой урожайности культур за счет почвенных запасов элементов питания и напряженность их баланса в почве усиливается. Только внесение органических удобрений позволяет полностью компенсировать биологические потери на формирование урожайности элементов питания. Следует обратить особое внимание на применение соломы зерновых культур в качестве органического удобрения, что является наименее затратным и общедоступным средством сохранения плодородия почвы, в том числе при использовании в системе удобрения высококремнистых пород и биопрепаратов, которые способствуют значительному повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

Глава 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАТОМИТА В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ

7.1. Экономическая эффективность

Оценка экономической эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур является неотъемлемой частью прогнозирования устойчивости функционирования предприятий, производящих сельскохозяйственную продукцию. Чтобы выдерживать конкуренцию, необходимо производить продукцию с высокими показателями качества и минимальными затратами на ее производство. Последнее особенно актуально для технологий с использованием минеральных удобрений в связи с резким удорожанием их стоимости, в связи с чем затраты на их внесение значительно увеличиваются. То же самое касается органических удобрений и нетрадиционных агрокультур (к которым относятся высококремнистые породы), которые значительно дешевле, но вносятся в больших дозах и увеличиваются затраты на их транспортировку и внесение. Ниже приводится экономическая оценка технологий возделывания основных сельскохозяйственных культур с использованием в системе удобрений как высококремнистых пород, так и минеральных удобрений. При экономическом анализе технологий возделывания культур использовались нормативы и расценки, принятые для производственных условий учебно-опытного хозяйства Ульяновской сельскохозяйственной академии, стоимость продукции определялась в соответствии с ценой реализации на ту или иную продукцию, которая складывалась в соответствующие годы. Все расчеты выполнены на основе технологических карт.

Зерновые культуры

Соответствующие расчеты показали, что применение диатомита в чистом виде в дозе 3 т/га, несмотря на достаточно высокие затраты на транспортировку и внесение, является рентабельным (табл.56). Уровень рентабельности на данном варианте превысил контроль на 8 %, а вариант с полной дозой минеральных удобрений – на 31 %. Применение диатомита совместно с мочевиной в дозе 40 кг д.в./га повышало уровень рентабельности на 15 % по сравнению с контролем и на 38 % - с полной дозой минеральных удобрений. Использование диатомита совместно с полным минеральным удобрением как в дозе 3 т/га, так и 5 т/га на черноземе выщелоченном менее рентабельно, чем возделывание озимой пшеницы без удобрений.

Таблица 56 – Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы с использованием диатомита и минеральных удобрений (2004–2005 гг.)

Показатели	Варианты опыта					
	контроль (без удобрений)	N40P40K40	диатомит 3 т/га	диатомит 3 т/га + N40	диатомит 3 т/га + N40P40K40	диатомит 3 т/га + N40P40K40
Урожайность, т/га	1,55	1,82	1,87	2,15	2,06	2,34
Стоимость продукции с 1 га, руб.	5425	5370	6545	7525	7210	8190
Производственные за- траты на 1 га, руб.	4299	6190	4897	5355	6271	6920
Себестоимость 1 ц, руб.	277	340	262	249	304	296
Условно чистый доход, руб./га	1126	180	1648	2170	939	1270
Уровень рентабельно- сти, %	26	3	34	41	15	8

Аналогичные результаты показали расчеты экономической эффективности возделывания яровой пшеницы и ячменя при возделывании их с использованием в системе удобрений диатомита, макро- и микроэлементов (рис. 13, 14).

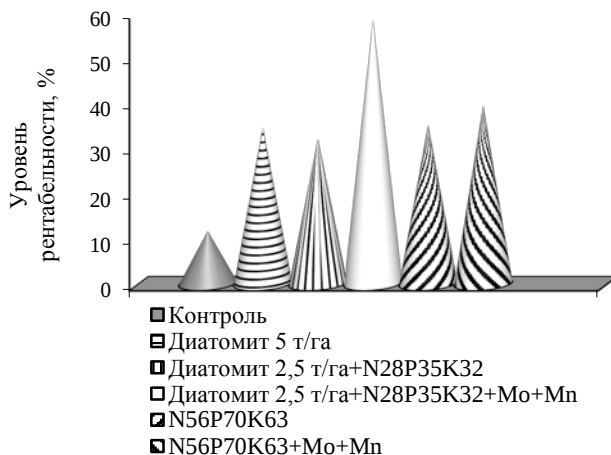


Рис.13. Уровень рентабельности возделывания яровой пшеницы (2003–2005 гг.)

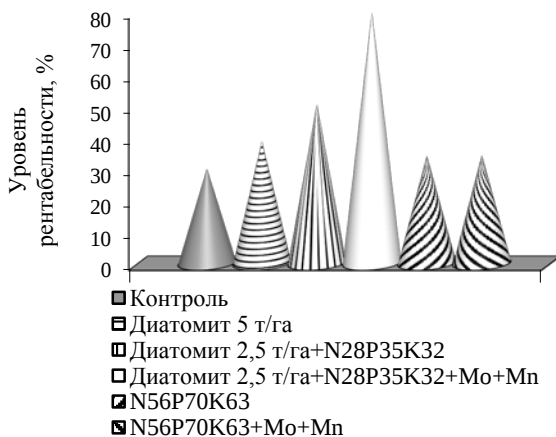


Рисунок 14. Уровень рентабельности возделывания ячменя (2003–2005 гг.)

Как видно из приведенных рисунков, уровень рентабельности производства зерна при применении в технологии возделывания яровой пшеницы диатомита 5 т/га сравнимо с использованием полных доз минеральных удобрений (34,6 и 35,2 % соответственно), ячменя – превосходит (39 и 34 %). Совместное применение диатомита, макро- и микроэлементов в предложенных дозах (диатомит 2,5 т/га, N28P35K32) с экономической точки зрения более целесообразно и, несмотря на высокий уровень затрат, возделывание яровых зерновых культур является высокорентабельным.

Пропашные культуры

Расчеты показали, что применение диатомита в технологии возделывания сахарной свеклы в дозе 3 т/га, несмотря на достаточные высокие затраты на транспортировку и внесение, является более рентабельным, чем выращивание без удобрений. Уровень рентабельности на данном варианте превысил контроль на 20 %, а вариант с полной дозой минерального удобрения – на 36 % (рис.15). Применение диатомита совместно с мочевиной в дозе 30 кг д.в./га повышало уровень рентабельности по сравнению с контролем на 35 и на 50 % – с полной дозой минеральных удобрений.

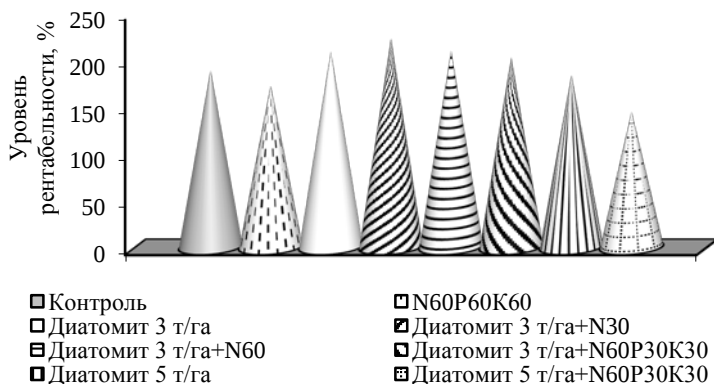


Рисунок 15. Уровень рентабельности возделывания сахарной свеклы с применением в системе удобрений диатомита и минеральных удобрений

Использование диатомита в дозе 5 т/га как в чистом виде, так и совместно азотно-фосфорно-калийными удобрениями экономически менее рентабельно, чем возделывание сахарной свеклы без удобрений.

Высокий уровень рентабельности показало припосадочное внесение диатомита в дозе 2,5 т/га при возделывании картофеля (рис.16).

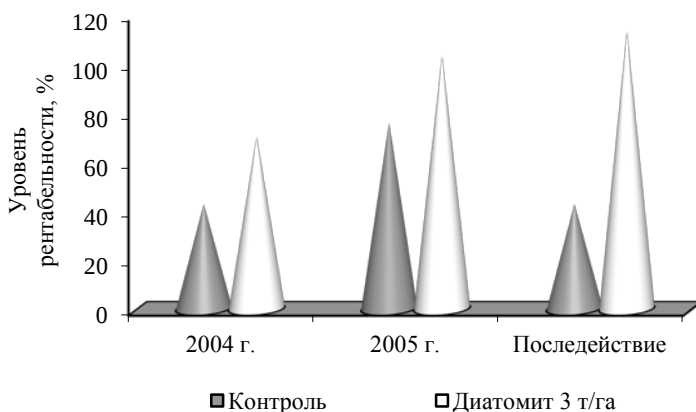


Рисунок 16. Экономическая эффективность опудривания посадочного материала картофеля диатомитом

Таким образом, возделывание пропашных культур с использованием диатомита экономически эффективно. Уровень рентабельности производства картофеля в 2004 году увеличился на 52, а в 2005 г. на 26 и в последствии на 257 относительных процента (рис.16).

Овощные культуры

При возделывании овощных культур на черноземе щелочном наблюдался очень высокий уровень рентабель-

ности, что в первую очередь обусловлено высокой урожайностью и стоимостью полученной продукции (например, урожайность моркови составляла 42–55 т/га). Тем не менее, внесение в почву при возделывании овощей диатомита (в том числе совместно с птичьим пометом) способствует повышению рентабельности производства продукции (рис.17).

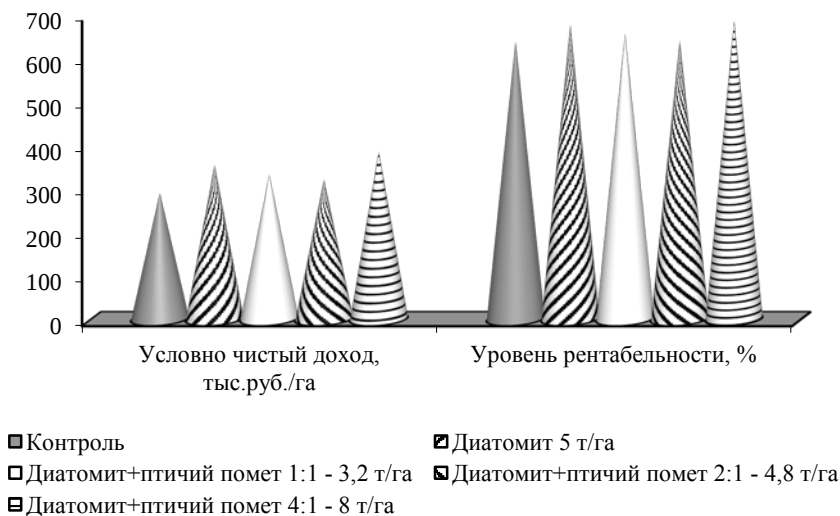


Рисунок 17. Экономические показатели возделывания моркови в зависимости от использования диатомита и его смесей с птичьим пометом в качестве удобрения моркови (2001–2002 гг.)

7.2. Биоэнергетическая оценка

В последние годы ученые и специалисты серьезно обеспокоены неуклонным падением энергетической эффективности сельского хозяйства и резким увеличением удельного расхода энергии на единицу получаемой продукции.

Каверин (1996) считает, что продовольственная проблема одновременно есть проблема энергетическая. Если по сравнению с началом века урожаи основных культур в развитых странах возросли в 5–8 раз, то за последние десятилетия повышение урожайности в 2–3 раза сопровождалось ростом затрат на единицу продукции энергии, получаемой из горючих ископаемых, в 10–15 и даже в 50 раз. Таран (1998) отмечает, что в России в структуре всех видов прямых энергетических затрат суммарная доля моторного топлива и электроэнергии составляет 56 % (США, Канада, ЕС – 60–80 %).

Поддержание продуктивности агроэкосистем в настоящее время происходит за счет внесения большого количества техногенной энергии, в том числе «полезную» часть этой энергии составляет внесение минеральных удобрений. В последние десятилетия (особенно с начала нашего века) в Ульяновской области произошло снижение объемов применения как органических (навоза), так и минеральных удобрений. Это привело к нарушению баланса биогенных элементов в земледелии и существенному снижению содержания и запасов гумуса. Последнее ведет не только к уменьшению производства продукции и ухудшению ее качества, но и к снижению устойчивости агроландшафтов. В этой связи компенсация дефицита питательных веществ применением органических и минеральных удобрений должна рассматриваться как экологически обусловленная задача. При этом удобрения рассматриваются не как отдельно взятый элемент системы земледелия, а в комплексе со всеми другими ее звеньями.

Как указано в данной работе, в современных условиях одним из перспективных направлений является применение в качестве удобрения местных, доступных и относительно дешевых сырьевых ресурсов, которые обеспечивали бы потребность растений в минеральном питании.

В этом отношении большой интерес представляют высококремнистые породы, в частности диатомиты, в которых до 40 % и более содержится аморфный кремний, обладающий достаточно высокой растворимостью (по литературным данным $>0,012$ %). Возможность их использования в качестве удобрения практически не изучена. Согласно взглядам современной науки кремний относится к биоэлементам, играющим существенную роль в растительном и животном мире. При этом отмечается, что стимулирующее действие кремния на растения сравнимо с действием других соединений – сульфатов, соединений азота и фосфора. Особый интерес представляет роль кремния в фосфорном питании растений. В связи с этим еще в 70-е годы отмечалось, что назрела необходимость в кремниевых удобрениях.

В определении энергетической эффективности возделывания агроценозов существует несколько подходов, среди которых широкое распространение получила биоэнергетическая оценка технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Суть ее сводится к расчету затрат энергии на производство сельскохозяйственной продукции и энергии, накопленной с урожаем (Базаров, 1983). При этом, как правило, учитывается только техногенная энергия, вложенная в производство данного вида продукции, и не учитывается изменение энергопотенциала почвы. Последнее крайне важно, так как затраты эти достаточно высоки и восстановление почвенного плодородия связано с большими вложениями техногенной энергии.

Кроме того, ряд авторов считает, что традиционная экономическая оценка эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур не всегда объективна и предлагает проводить ее в комплексе с биоэнергетической или заменить ее на эколого-экономическую (Володин, Еремина, 1989; Булаткин, 1991; Володин, 2000).

В своей работе при анализе технологий возделывания озимой пшеницы мы пользовались методикой, разработанной Базаровым и Глинкой (1983).

Ниже приводятся результаты оценки биоэнергетической эффективности ряда культур, возделываемых с использованием в системе удобрений диатомита.

Результаты исследований энергетической эффективности возделывания озимой пшеницы показали, что применение диатомита на фоне различных доз минеральных удобрений позволяет получать значительную прибавку урожая, однако последнее связано со значительными энергетическими затратами.

Вследствие этого, затраты техногенной энергии по вариантам опыта сильно отличались и составили от 19,73 ГДж/га на контроле до 31,15 ГДж/га в варианте с использованием диатомита в дозе 5 т/га и полным фоном минеральных удобрений (таблица 57).

В зависимости от количества накопленной энергии в основной продукции и затратами на ее получение был определен биоэнергетический коэффициент. Существенных различий в эффективности изучаемых вариантов не выявлено, однако наибольшее значение энергетической эффективности получено в вариантах с использованием диатомита (3 т/га) и диатомита с азотом (диатомит 3 т/га + N40), наименьшее – в вариантах с использованием доз диатомита 5 т/га с различным сочетанием минеральных удобрений.

Таким образом, можно отметить, что внесение в чистом виде 3 т/га диатомита и совместное его использование с азотным удобрением в дозе 40 кг д.в. эквивалентно полной дозе минеральных удобрений. Использование диатомита в больших дозах менее эффективно, что связано с существенными затратами на транспортировку и внесение.

Однако использование диатомита в качестве удобрения озимой пшеницы имеет ряд преимуществ:

- диатомит обладает пролонгированным действием и, следовательно, нет необходимости его ежегодного внесения;
- по сравнению с минеральными удобрениями стоимость диатомита существенно ниже, что при современном экономическом состоянии сельхозпроизводителей дает возможность его широкого применения.

Таблица 57 – Биоэнергетическая эффективность возделывания озимой пшеницы в зависимости от применения диатомита и его смесей с минеральными удобрениями (2004–2005 гг.)

Показатели	Контроль	N40P40K40	Диатомит 3 т/га	Диатомит 3 т/га + N40	Диатомит 3 т/га + M40P40K40	Диатомит 5 т/га + N40P40K40
Урожайность зерна, т/га	1,55	1,82	1,87	2,15	2,06	2,24
Затраты техногенной энергии на производство зерна, ГДж/га	19,73	23,37	23,62	27,39	28,12	31,15
Накоплено энергии в зерне, тыс. МДж/га	25,06	30,26	31,09	35,83	34,24	38,90
Биоэнергетический коэффициент	1,27	1,29	1,32	1,31	1,22	1,25
Энергоемкость производства зерна, ГДж/т	12,79	12,84	12,63	12,74	13,65	13,31

Однозначно, что использование данного нерудного материала будет лимитироваться затратами на транспортировку и применение диатомита будет эффективным на определенном расстоянии от месторождения.

Анализ структуры затрат позволяет выявить наиболее энергоемкие операции технологии и долю той или иной категории ресурсов с целью последующей их оптимизации. Он показал, что в технологии возделывания озимой пшеницы наибольший удельный вес занимают топливо – около 31–41 %, минеральные удобрения – 13–18 % и семена – 24–37 %. На минеральные удобрения (в вариантах, где предусмотрено их внесение) затрачивается от 3472 до 4308 МДж/га. Достаточно высокая доля затрат приходится на семена – 7403 МДж/га. На долю диатомита приходится от 10 до 14 % затрат энергии. Трудовые ресурсы и электроэнергия составляют в сумме не более 4 % от общих затрат энергии на возделывание культур.

Таким образом, анализ биоэнергетической оценки технологии возделывания озимой пшеницы с использованием диатомита в системе удобрения позволяет сделать следующие выводы:

- применение диатомита на фоне различных доз минеральных удобрений позволяет получать прибавку урожая, однако это связано со значительными энергетическими затратами (от 19,73 ГДж/га до 31,15 ГДж/га);
- существенных различий в эффективности изучаемых вариантов не выявлено. Наиболее энергетически эффективными являются варианты с использованием диатомита 3 т/га (энергетический коэффициент – 1,32, энергоемкость производства зерна – 12,63 МДж/т) и диатомита совместно с азотным удобрением в 40 кг д.в. (энергетический коэффициент – 1,31, энергоемкость производства зерна – 12,74 МДж/т);

- наибольший удельный вес в технологии возделывания озимой пшеницы занимают: топливо – около 31–41 %, минеральные удобрения – 13–18 % и семена – 24–37 %. На долю диатомита приходится от 10 до 14 % затрат энергии.

Еще более энергетически эффективно применение диатомита при возделывании сахарной свеклы (табл.58).

Таблица 58 – Биоэнергетическая эффективность возделывания сахарной свеклы в зависимости от применения диатомита в чистом виде и в сочетании с минеральными удобрениями

Вариант	Урожайность, т/га	Накормлено энергии, ГДж/га	Затраты технологической энергии, ГДж/га	Биоэнергетический коэффициент	Энергоемкость продукции, ГДж/га
Контроль	29,3	91,5	31,1	2,9	1,06
N60P60K60	36,8	116,9	39,2	3,0	1,06
Диатомит 3 т/га	35,8	120,3	39,6	3,0	1,10
Диатомит 3 т/га + N30	40,6	135,7	43,1	3,1	1,06
Диатомит 3 т/га + N60	41,8	137,4	46,3	3,0	1,12
Диатомит 3 т/га + N60P60K60	43,1	143,2	48,4	2,9	1,13
Диатомит 5 т/га	38,3	127,3	46,8	2,7	1,22
Диатомит 3 т/га + N60P60K60	42,6	137,7	54,2	2,5	1,27

Накопление энергии в основной продукции сахарной

свеклы в зависимости от вариантов опыта варьировало от 91,5 ГДж/га до 143,2 ГДж/га, что более 3,5 раз больше, чем содержится в зерновых культурах. Хотя сахарная свекла трудоемкая культура и энергетические затраты также значительно (~ в 2 раза) выше, тем не менее коэффициент энергетической эффективности его возделывания более 2 раз превышает зерновые культуры.

Наиболее энергетически эффективно применение диатомита в дозе 3 т/га с небольшими дозами азота (N30), биоэнергетический коэффициент при этом составляет 3,1.

Структура издержек энергии в технологии возделывания сахарной свеклы в зависимости от использования диатомита в системе удобрения аналогична зерновым культурам: наибольший удельный вес занимает топливо 43–52 %; на минеральные удобрения приходится 6–11 % затрат, диатомит – 16–30 %.

Таким образом, внесение диатомита в чистом виде в дозе 3 т/га совместно с азотным удобрением в дозе 30 кг д.в./га с точки зрения энергетической эффективности более предпочтительно, чем полная доза минеральных удобрений (N60P60K60). Применение диатомита в дозах более 3 т/га менее эффективно, что связано с существенными затратами на его транспортировку и внесение в почву.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы в связи как с дороговизной минеральных удобрений и возможными их негативными последствиями в окружающей среде, так и проблемой получения экологически безопасной продукции становится все более актуальным вовлечение в сферу сельскохозяйственного производства нетрадиционных минерально-сырьевых ресурсов в качестве удобрения сельскохозяйственных культур.

Особый интерес в этом отношении представляют наноструктурированные высококремнистые породы, прежде всего опалкристобалиты (диатомиты, опоки, трепелы), представленные преимущественно аморфным (активным) кремнеземом. Ресурсы опалкристобалитовых пород в стране огромны, в том числе в Ульяновской области выявлено более 70-и месторождений диатомитов, запасы которых оцениваются более 80 млн.м³. Высококремнистые породы обладают рядом свойств, важных с агрономической точки зрения. Во-первых, вышеназванные породы - это природные сорбенты со специфическим характером пористости, обладающие высокой адсорбционной и ионообменной емкостью (0,8–0,12 г·экв/кг), в связи с чем способные удерживать в пахотном слое при их внесении в почву влагу, элементы питания от выноса их за пределы корнеобитаемого слоя, которые затем постепенно высвобождаются и используются растениями. Во-вторых, диатомиты (как и другие высококремнистые породы), содержат в своем составе до 1,5–2,0 % калия и серы, ряд микроэлементов.

Но, прежде всего, это кремниевое удобрение: в составе диатомита содержится до 85 % окиси кремния и около половины ее – в аморфной форме.

Кремний – элемент, второй после кислорода по распространению на нашей планете. В почве содержание кремния

колеблется от 20 до 40 %. В силу того, что его просто много в почве и устоявшегося мнения, что он не играет важной роли в физиологии растений (в отличие от NPK и микроэлементов) и является только балластным элементом, кремниевые удобрения в нашей стране не производились, не производятся и практически не применяются.

Однако исследования, проведенные в последнее время, кардинально изменили представление об этом элементе.

Во-первых, кремний является составной частью всех растений и содержится в них в среднем от 0,02 до 0,15 %. Особо высоким содержанием кремнезема (более 50 % в золе) отличаются хвощи, папоротники, злаки. Интенсивно ассимилирующие кремний из почвы растения принято называть «кремнефилами», среди них пшеница, овес, ячмень, просо, рис и др. Например, в золе зерна ячменя содержится более 40 % оксида кремния, в соломе – 91 %; шелухе риса – 93 %. Следовательно, кремний необходим растениям.

Во-вторых, растения поглощают кремний активно и имеют механизм для быстрого перераспределения его по организму. Кроме того, были выявлены активные формы кремния, которые способны контролировать многие биохимические реакции в растениях. А, самое главное, было установлено, что кремний играет защитную роль при любых стрессовых ситуациях, будь это насекомые-вредители, грибковые заболевания или воздействие низких температур, химическое загрязнение и т.д. Такая универсальность заключается в способности активных кремниевых соединений способствовать быстрому и направленному синтезу специфических органических молекул внутри растительной клетки, которые помогают растению преодолеть или адаптироваться к стрессу. Таким образом, основная роль кремния в растениях - это защита их при любых стрессовых ситуациях (Матыченков, 2008).

В-третьих, нельзя не отметить еще одну важную роль кремния в питании растений: по результатам многочисленных исследований кремниевые соединения способствуют переходу недоступных растениям почвенных фосфатов в доступные формы, а также препятствуют трансформации фосфорных удобрений в недоступные. Более того, доказано, что на 40–50 % потребности растений в фосфоре можно удовлетворить за счет внесения в почву кремниевых соединений. Кроме того, при внесении в почву кремниевых соединений возможно улучшение азотного питания растений через стимулирующее влияние их на развитие почвенной микрофлоры.

Как было уже отмечено, кремний один из самых распространенных элементов в земной коре и является основным компонентом почвы. Зачем же тогда нужны кремниевые удобрения? Дело в том, что основная часть соединений кремния играет роль минерального каркаса и инертна по отношению к процессам питания растений, которые могут усваивать только подвижные низкомолекулярные или монокремниевые кислоты. Содержание последних в почве крайне низко, а в связи с постоянным безвозвратным отчуждением (в мире ежегодно 200–250 млн.тонн) дефицит его возрастает и кремний становится лимитирующим урожайность фактором жизни культурных растений.

В силу вышеуказанных особенностей природных сорбентов возможно их использование в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур не только в качестве многофункционального удобрения, но и открываются большие перспективы для создания новых видов удобрительных смесей, обладающих наиболее рациональным режимом взаимодействия с растениями. И, не случайно, за рубежом нетрадиционные минеральные ресурсы широко используются в сельскохозяйственном производстве. Например, как уже

отмечалось, еще в 80-е годы прошлого столетия в США для нужд сельского хозяйства ежегодно использовалось более 800 тысяч тонн цеолитов, около 400 тысяч тонн диатомитов, 800 тысяч тонн бентонитов и т.д. (Дистанов, 1989). Наша страна имеет огромные запасы природных сорбентов, однако использование их в сельскохозяйственном производстве ничтожно.

Следует отметить, что кремниевые удобрения известны в мире с середины 19-го века. Современные тенденции развития сельского хозяйства, повышение требований к качеству сельскохозяйственной продукции, необходимость восстановления почвенного плодородия деградированных почв, поиск альтернативных путей защиты растений (в противовес химическим) привели к повышению интереса к этому типу удобрений и почвенных мелиорантов. Начиная с 2000 года, производство кремниевых удобрений ежегодно повышается на 20–30 %. Многие страны, до того не применяющие кремниевые удобрения, сегодня успешно внедряют их (Южная Корея, Китай, Индия, Колумбия, Мексика, США, Австралия, Бразилия). В Японии кремниевые удобрения с 1955 года официально внесены в реестр минеральных удобрений. В нашей стране, как было сказано выше, кремниевые удобрения практически не имеют применения (хотя этот вопрос был поставлен в 70-е годы прошлого века).

Изучение возможности использования высококремнистых пород в качестве удобрения сельскохозяйственных культур нами проводится с 2000 года.

Результаты полевых опытов показали высокую эффективность диатомита Инзенского месторождения при возделывании зерновых (озимая, яровая пшеницы, ячмень), пропашных (кукуруза, картофель, подсолнечник, сахарная и столовая свекла) и овощных (морковь, томаты, огурцы) культур

при использовании как в чистом виде, так и в смеси с птичьим пометом и минеральными (азотными) удобрениями, а также для предпосевной обработки семян. Например, прибавка урожайности озимой пшеницы в зависимости от дозы внесения диатомита в отдельные годы может достигать 0,6–1,3 т/га (15–33 %), в среднем 0,3–0,8 т/га (9–25 %), яровой пшеницы соответственно – 0,5–0,27 т/га. При этом улучшалось качество продукции: содержание клейковины в зерне озимой и яровой пшеницы повышалось на 2 % и более.

Диатомит является эффективным удобрением ячменя и в этом отношении превосходит минеральные удобрения в дозе N40P40K40. Прибавка урожайности в среднем составляла от 0,5 до 0,93 т/га (30–52 %). Из высококремнистых пород диатомит более эффективен, чем опока. Применение диатомита совместно с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 для предпосевной обработки семян на фоне N40P40K40 способствовало формированию урожайности ячменя, на 33 % превышающей контрольный вариант: прибавка ее составила 0,81 т/га.

При использовании диатомита в системе удобрения улучшалось качество продукции: содержание клейковины в зерне пшеницы в производственных условиях повышалось на 2,4 и 3,3 %, в зерне ячменя кормовых и кормопротеиновых единиц – на 0,6 и 0,7 т/га, а количество переваримого протеина на 1 к.е. на 3,9 г; улучшались пивоваренные свойства ячменя (Одесский 100).

Пропашные и овощные культуры также являются высокоотзывчивыми на использование диатомита как кремниевого удобрения. Урожайность сахарной свеклы увеличивалась в зависимости от доз внесения диатомита в среднем на 6,5–9 т/га (22–31 %), в отдельные годы от 8,5 до 10,2 т/га (35–55 %). По эффективности при возделывании сахарной свеклы диатомит в дозах 3–5 т/га не уступал полным дозам

минеральных удобрений (N60P60K60). Для получения высокой урожайности корнеплодов (на 10 % и более превосходящей минеральные удобрения) достаточно совместное применение диатомита в дозе 3 т/га и мочевины в дозе 30 кг д.в./га. С точки зрения повышения экономической эффективности целесообразно применять диатомит под предпосевную культивацию в дозе 40 кг/га, или для предпосевного опудривания семян (30 кг/т семян), в том числе совместно с биологическими препаратами (Ризоагрин и Байкал ЭМ-1), что позволяет повысить урожайность культуры до 7,7 т/га (26 %) при внесении в рядки и от 5,1 до 7,2 т/га (15–22 %) при использовании совместно с биопрепаратами. Последнее сравнимо с применением полных доз минеральных удобрений.

Урожайность клубней картофеля при внесении в почву диатомита в дозе 2,5 т/га увеличивалась на 39 %, в отдельные годы до 50 %; при использовании для опудривания посадочного материала (доза 300 кг/га) прибавка урожайности клубней картофеля составляла 7,8 т/га, или 42 %. Применение диатомита в дозе 3 т/га способствовало повышению урожайности зелёной массы кукурузы на 9,6 т/га, или 19 %; семян подсолнечника – на 0,18 т/га (24 %).

Использование диатомита как удобрения пропашных культур способствовало достоверному улучшению качества продукции: содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы повышалось на 1,3–3,6 %, витамина С и крахмала в клубнях картофеля на 5,5 и 4,4 % (абсолютные значения) соответственно, кислотное число в семенах подсолнечника снижалось на 0,4 единицы.

Диатомит и его смеси с птичьим пометом являются эффективным комплексным удобрением овощных культур: урожайность огурцов при внесении диатомита в почву в дозе 5 т/га повышалась на 5,1 т/га (20 %), томатов на 4,9

т/га (13 %), моркови на 5,9 т/га (14 %), свеклы столовой на 7,1 т/га (13 %). Внесение его под овощные культуры способствовало сокращению сроков до начала плодоношения огурцов и томатов (на 10–15 дней), уменьшению заболеваемости грибными болезнями томатов (на 80 %). В производственных условиях урожайность их повышалась на 45–50 % и более.

Высококремнистые породы, являясь природными сорбентами с высокими сорбционными и ионообменными свойствами, оказывают пролонгированное действие на последующие культуры. На третий год после внесения диатомита в дозе 5 т/га под озимую пшеницу урожайность ячменя повышалась на 40 %, на четвертый – на 10 %; на второй и третий годы в учхозе УГСХА урожайность гороха – на 22 %, озимой пшеницы – на 10 %. При этом улучшалось качество продукции.

Диатомит сочетает в себе уникальные свойства, в том числе, высокую наноструктурированную пористость, что позволяет получать экологически безопасную продукцию. Внесение в почву диатомита в чистом виде способствовало снижению накопления нитратов в продукции: в огурцах на 9 %, томатах на 12 %, моркови на 15 %, столовой свекле на 17 %. Аналогичная закономерность наблюдалась по отношению поступления тяжелых металлов: содержание свинца в плодах томатов снизилось с 0,59 мг/кг в натуральном веществе до 0,09 мг/кг, кадмия – в 1,5 раза, никеля – на 15 %; в столовой свекле свинца – на 22 %, кадмия – на 25 %, никеля – на 26 %, хрома трехвалентного – на 24 %. Применение диатомита способствовало получению экологически более безопасной продукции всех экспериментальных культур: как зерновых, так и пропашных.

Высокая эффективность высококремнистых пород в качестве удобрения сельскохозяйственных культур, прежде

всего, обусловлена комплексным положительным влиянием их на свойства и режимы почв (агрофизическое состояние, биологическая активность, питательный и водный режимы) и в целом на систему почва - растение:

- внесение диатомита в почву в чистом виде (3 и 5 т/га) оказывало оструктурирующее и разуплотняющее действие на почву при возделывании любых культур, что создавало более благоприятное строение пахотного слоя. Так, плотность почвы перед посевом яровой пшеницы уменьшалась с 1,23 г/см на контроле до 1,14 г/см³; перед возобновлением вегетации озимой пшеницы – с 1,25 г/см³ до 1,19 г/см³. Содержание агрономически ценных агрегатов к концу вегетации озимой пшеницы увеличивалось на 16 и 17 %, яровой – на 10 и 13 % соответственно;

- диатомит (в том числе через улучшение агрофизических показателей) благоприятно влиял на активность почвенных организмов: биогенность почвы повышалась на 20–30 %, что положительно сказалось на ее агрохимических показателях. При этом содержание минеральных форм азота (доза диатомита 5 т/га) повышалась на 16–23 мг/кг, подвижного фосфора на 23–52 мг/кг, калия на 29 мг/кг. Следует отметить, что содержание P_2O_5 в почве зависело от количества водорастворимого кремния и характеризовалось следующим уравнением: $Y = 49,455 + 3,3299 X$ ($R = 0,61$), где Y – содержание подвижного P_2O_5 , мг/кг почвы; x – содержание водорастворимого кремния, мг/кг почвы;

- внесение диатомита в почву приводило к повышению содержания в ней водорастворимого кремния до 20 % ко времени начала вегетации культур и до 23–25 % – ко времени их уборки, что способствовало оптимизации кремниевого питания растений (в почве опытного поля наблюдался дефицит актуального кремния);

– диатомит в значительной степени способствовал повышению водоудерживающей способности чернозема выщелоченного, экономному и рациональному расходованию запасов продуктивной влаги в течение вегетации сельскохозяйственных культур. При этом запасы продуктивной влаги в пахотном слое в начале вегетации культур в вариантах с внесением диатомита были выше в сравнении с контролем на 6–13 мм, в метровом – на 15–20 мм, коэффициент водопотребления снижался в 1,1–1,4 раза;

– в связи с высоким содержанием аморфного кремния высококремнистые породы обладают несомненными защитными свойствами: поражаемость грибными заболеваниями томатов снижалась на 80 %, повышалась устойчивость стеблей зерновых культур к полеганию. Так, если устойчивость к полеганию озимой пшеницы в среднем за 4 года составляла 3,9 баллов (по варианту с N40P40K40 – 3,3 балла), то при использовании диатомита в качестве удобрения – 4,5 балла;

– благодаря высокоразвитой удельной поверхности диатомит и опока способствовали получению экологически более безопасной продукции: накопление токсичных элементов в ней по отдельным культурам и элементам снижалось до 3 раз и более;

– положительное действие диатомита на систему почва-растение сохранялось как при совместном использовании с птичьим пометом, минеральными удобрениями и биопрепаратами, так и в последствии (до 4-х лет).

Применение диатомита в качестве удобрения сельскохозяйственных культур экономически и энергетически более эффективно, чем использование минеральных удобрений. Так, при применении его в дозе 3 т/га совместно с мочевиной 40 кг д.в./га уровень рентабельности производства

зерна пшеницы повышалась на 15 % в сравнении с контролем и – на 38 % по отношению к варианту с полной дозой минеральных удобрений.

Таким образом, высокая эффективность диатомита в качестве многофункционального удобрения сельскохозяйственных культур несомненна. Однако необходимо отметить, что предлагаемые производству дозы диатомита достаточно высокие (3–5 тонн на 1 гектар) и сопряжены с большими затратами на транспортировку и внесение и, несмотря на высокую агрономическую эффективность, не всегда оправдываются экономически при однократном внесении. Длительное последствие окупает затраты на его применение. Однако финансовое положение многих сельхозтоваропроизводителей не позволяет в широком масштабе использовать высококремнистые породы в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

В работе убедительно доказана эффективность диатомита при использовании в значительно меньших дозах (40–300 кг/га) и предпосевной обработки семян зерновых и пропашных культур. Например, внесение его в рядки при посеве сахарной свеклы в дозе 40 кг/га позволило повысить урожайность корнеплодов на 7,7 т/га, или на 26 %. При этом выход сахара с 1 гектара по отношению к контролю повысился на 42 %, тогда как на варианте с внесением полных доз минеральных удобрений – на 40 %. Таким образом, уступая по урожайности корнеплодов, использование диатомита в небольших дозах эффективнее по выходу сахара, так как при этом значительно повышалась сахаристость корнеплодов. Аналогичные данные получены при использовании диатомита для предпосевной обработки семян сахарной свеклы: повышение урожайности корнеплодов составило 6,1 т/га (18 %) при опудривании в чистом виде и 7,2 т/га – совместно с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 (22 %).

Применение высококремнистых пород в качестве удобрения хорошо вписывается в соответствующие технологии возделывания сельскохозяйственных культур и они могут использоваться разными способами и в разные сроки: от предпосевной (предпосадочной) обработки посевного (посадочного) материала и внесения в небольших дозах в рядки до внесения достаточно больших доз (3–5 т/га) с учетом их длительного последствия (до 4–5 лет). В связи с высокой агрономической эффективностью высококремнистых пород в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур в качестве многофункционального удобрения открываются большие возможности для создания новых видов удобрительных смесей, обладающих наиболее рациональным режимом взаимодействия с растениями.

В связи с вышеизложенным следует признать, что высококремнистые породы являются уникальным средством как для сохранения плодородия почвы, так и для повышения урожайности и получения экологически безопасной качественной продукции, которые позволят поднять земледелие на качественно новый уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айлер Р. Химия кремнезема. В 2-х томах. М.: Мир, 1982. 1127 с.
2. Айлер Р.К. Коллоидная химия кремнезема и силикатов. М.: Госстройиздат, 1959. 288 с.
3. Акентьева М. В. Кремнефосфорные удобрения и их роль в питании растений в каштановых почвах при орошении: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов. СХИ, 1952. 25 с.
4. Алешин Н.Е. Кремниевое питание риса // С.-х. за рубежом. Растениеводство. 1982. № 6. С.9–14.
5. Алешин Н.Е. Содержание кремния в РНК риса // Докл. ВАСХНИЛ, 1982. № 6. С.6–7.
6. Аммосова Я.М., Балабко П.Н., Матыченков В.В., Аветян Н.А. Кремнезем в системе почва – растение // Агрохимия, 1990. № 10. С. 103–108.
7. Асмус В.А. Влияние диатомита, макро- и микроудобрений на продуктивность яровых зерновых культур и свойства выщелоченного чернозема в Среднем Поволжье. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 2006. 18 с.
8. Базаров Е.И., Глинка Е.В. Методика биоэнергетической оценки технологий производства продукции растений. М., 1983. 31 с.
9. Барсукова Г.А., Рочев В.А. Влияние кремнелесо-держащих удобрений на подвижность кремнекислоты в почве и доступность ее растениям / Контроль и регулирование содержания макро- и микроэлементов в почве и растениях на Среднем Урале. Тр. Свердл. СХИ, 1979. Т.54. С.84–88.
10. Боброва Е.К., Бобров А.А. Минеральные новообразования диоксида кремния в растениях и почве / Минералогия и жизнь: биоминеральные взаимодействия. Сыктыв-кар: Ин-т геологии Коми, 1996. С.50.

11. Булаткин Г.А. Энергетические проблемы сохранения плодородия пахотных почв // Вестник с.-х. науки, 1991. С.60–66.
12. Вернадский В.И. / Избр. соч. М., 1954, 1960. Т.1–4.
13. Водяницкий Ю. Н. Дефицит кремния в некоторых почвах и пути его устранения // Агрохимия, 1984. № 8. С. 127–132.
14. Володин В.М. Оценка эффективности функционирования агроландшафта на биоэнергетической основе / Тезисы III съезда Докучаевского общества почвоведов. М., 2000. С.136–138.
15. Володин В.М., Еремина Р.Ф. Оценка систем земледелия на биоэнергетической основе // Земледелие, 1989. С.35–37.
16. Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевиц Э.Я. Кремний и жизнь. Рига, 1978. 587 с.
17. Воронков М.Г., Кузнецов И.Г. Земная кремниевая жизнь // Химия и жизнь, 1984. № 12. С.95–99.
18. Гладкова К. Ф. Роль кремния в фосфорном питании растений // Агрохимия, 1982. № 3. С.133–140.
19. Голованов Д.Л. Кремний – незаменимый микроэлемент питания природных и культурных злаков / Удобрения и химические мелиоранты в агроэкосистемах. М.: Изд-во МГУ, 1998. С.247–250.
20. Данилова Е.В. Эффективность использования диатомита и его смесей с минеральными удобрениями при возделывании озимой и яровой пшеницы. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Саранск, 2007. 21 с.
21. Дистанов У.Г. Перспективы нетрадиционного минерального сырья // Химизация с.-х., 1989. № 12. С.37–41.
22. Дистанов У.Г., Конюхова Т.П. Природные сорбенты и охрана окружающей среды // Химия с.-х., 1990. № 9. С.35–39.

23. Дронина О.С. Эффективность предпосевной обработки семян сахарной свеклы биопрепаратами и диатомитовым порошком в условиях Среднего Поволжья. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Саранск, 2009. 20 с.
24. Елешев Р.Е., Иванов А.Л., Садвакасов С.К. Изучение влияния совместного внесения фосфорных и кремнийсодержащих удобрений на фосфатный режим основных типов почв Казахстана // *Агрохимия*, 1990. № 10. С. 35–42.
25. Емцев В.Г. Микроорганизмы и регулирование их деятельности в почве // *Известия ТСХА*, 1982. С.104–113.
26. Ермолаев А.А. Кремний и устойчивость земледелия. Воронеж, 1992. 216 с.
27. Ермолаев А.А. Роль кремния в повышении продуктивности винограда, кукурузы и сахарной свеклы. Дис. на соиск. учен. степени док-ра с.-х. наук в виде научного доклада. М.: МСХА, 1993. 49 с.
28. Ефимов В.Н., Донских И.Н., Сеницын Г.Н. Система применения удобрений. М.: Колос, 1984. 272 с.
29. Ефремов И.Ф. Периодические коллоидные структуры. Л.: Химия, 1971. 191 с.
30. Жузе А.П. Кремнистые осадки в современных озерах / *Геохимия кремнезёма: Сб. ст. АН СССР*. М.: Наука, 1966. С.301–314.
31. Завалин А.А. Эффективность применения препаратов диазотрофов для оптимизации азотного питания растений в различных зонах // *Бюлл. ВУУА*, 2001. № 114. С.89–90.
32. Иванов А.Л. Изучение влияния совместного внесения фосфорных и кремнийсодержащих удобрений на фосфатный режим основных типов почв Казахстана // *Агрохимия*, 1992. № 5. С. 25–30.
33. Ископаемые водоросли СССР. М.: Наука, 1967. 147 с.
34. Кабанов Б.Г., Костров В.Г. Засухи в Поволжье /

Погода и засухи в Поволжье: Науч. тр. НИИСХ Юго-Востока. Саратов, 1972. Вып.31. С.5–102.

35. Каверин А.В. Экологические аспекты использования агроресурсного потенциала. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 1996. 220 с.

36. Казаков Г.И. Агрофизические показатели плодородия почвы как научные основы ее обработки / Ресурсосберегающие системы обработки почвы. М., 1990. С.32–38.

37. Казаков Г.И. Обработка почвы в Среднем Поволжье. Самара, 1997. 200 с.

38. Каледа Г.А. Основные черты эволюции кремнистого осадконакопления / Геохимия кремнезема: Сб. ст. АН СССР. М.: Наука, 1966. С.369–385.

39. Капранов В.Н. Использование природных агрохимических средств в качестве источников минерального питания полевых культур. Автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук. М., 2009. 42 с.

40. Ковда В.А. Основы учения о почвах. Т.1. М.: Наука, 1973. 446 с.

41. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 262 с.

42. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М, 1990. 416 с.

43. Копосов И.П. Агропочвенные районы Ульяновской области. Ульяновск, 1948. 96 с.

44. Корбридж Д. Фосфор. Основы химии, биохимии, технологии. М.: Мир, 1982. 504 с.

45. Коруном В.А. Биологическая азотфиксация. Проблемы и перспективы // Молекулярная биология. Киев, 1982. С.45–57.

46. Кудинова Л.И. Влияние кремния на рост, величину площади листьев и сорбирующую поверхность корней растений // Агрохимия, 1975. № 10. С.117–120.

47. Кузнецов А.И., Мутиков В.М., Ефимов В.М., Янеев Г.П., Ахметшин Ш.М. К вопросу об использовании трепела в земледелии Чувашии / Изучение и использование кремнистых пород Чувашии. Чебоксары, 1998. С. 38–43.

48. Кузнецов В.В. Физиология растений. М.: Высшая школа, 2005. 270 с.

49. Кузнецова И.В. О некоторых критериях оценки физических свойств почвы // Почвоведение, 1979. №3. С. 89–92.

50. Кулаковская Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения выюских урожаев. Минск: Ураджай, 1978. 272 с.

51. Кцоев Б.К., Ермолаева А.А. Кремний и урожай. Орджоникидзе: Ир, 1990. 142 с.

52. Ландина М.Н. Физические свойства и биологическая активность почвы. Новосибирск, 1986. 140 с.

53. Макаров Б.Н. Газообразные потери азота почвы и удобрений и приемы их снижения // Агрохимия, 1994. № 1. С.101–114.

54. Максютлов Н.А. Ресурсосберегающие приемы и технологии в земледелии Южного Урала / Ресурсосберегающие технологии и приемы воспроизводства почвенного плодородия на черноземах Среднего Поволжья: Сб. научн. трудов Самарской НИИСХ. Самара, 1999. С.65–67.

55. Матыченков В.В. Аморфный оксид кремния в дерново-подзолистой почве его влияние на растения / Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 1990. 29 с.

56. Матыченков В.В. Градация почв по дефициту доступного растениям кремния // Агрохимия, № 7. 2007. С.20–27.

57. Матыченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение / Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Пушино, 2008. 34 с.

58. Матыченков В.В., Аммосова Я.М. Влияние аморфного кремнезема на некоторые свойства дерново-подзолистых почв // Почвоведение, 1994. № 7. С.52–61.

59. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Аммосова Я.М. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву // Агрохимия, 2002. № 2. С.86–93.

60. Матыченков В.В., Дьяков В.М., Бочарникова Е.А. Комплексное кремний-фосфатное удобрение. № 97121543. 1997. Россия.

61. Матыченков В.В., Пинский Д.Л., Бочарникова Е.А. Влияние механической плотности почв на содержание и формы доступного кремния // Почвоведение, 1994. № 11. С.71–76.

62. Менделеев Д.И. Основы химии. Вып.3. СПб.: Типография тов. «Общественная польза», 1870. 392 с.

63. Минеев В.Г., Дебрецени Б., Мазур Т. Биологическое земледелие и минеральные удобрения. М.: Колос, 1993. 415 с.

64. Минерально-производственный комплекс неметаллических полезных ископаемых Ульяновской области. Изд-во Казанского ун-та, 2002. 156 с.

65. Мишустин Е.Н., Емцев В.Г. Микробиология. М.: Колос, 1970. 360 с.

66. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М.: Наука, 1972. 341 с.

67. Мишустин Е.Н., Емцев В.Г. Микробиология. М.: Колос, 1970. 360 с.

68. Надольский О.К. Диатомиты, трепелы и опоки Ульяновской области / Краеведческие записки Ульяновского краеведческого музея. Вып.2, 1958. С.319–329.

69. Никифорова С.А. Эффективность предпосевной обработки семян ячменя биопрепаратами и диатомитовым порошком в условиях Среднего Поволжья. Автореф. дисс.

... канд. с.-х. наук. Саранск, 2009. 17 с.

70. Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 94 с.

71. Патыка В.Ф. Азотфиксация в ризосфере злаковых культур и ее влияние на урожай / Микроорганизмы в сельском хозяйстве. Кишинев, 1988. 89 с.

72. Петров В.П. Практическое значение кремнистых горных пород / Происхождение и практическое использование кремнистых пород. Сб. ст. АН СССР. М.: Наука, 1987. 168–172 с.

73. Пироженко Г.С., Вишневский В.В. Баланс питательных веществ в севооборотах на глинисто-песчаных дерново-подзолистых почвах // Агрохимия, 1976. № 10. С.78–81.

74. Посыпанов Г.С. Растениеводство. М.: Колос, 1997. 448 с.

75. Почвы Поволжья. Пушино-на-Оке, 1974. 67 с.

76. Природа Ульяновской области. Казань, 1963. 426 с.

77. Рохов Ю.Д. Мир кремния: Пер. с англ. М.: Химия, 1990. 147 с.

78. Рочев В.А., Швейкина Р.В., Барсукова Г.А., Попова Н.Н. Питание растений и программирование урожая сельскохозяйственных культур // Тр. Свердловск. СХИ. Т. 60. Пермь, 1980. С. 61.

79. Рочев В.А., Швейкина Р.В., Барсукова Г.А., Попова Н.Н. Влияние кремнегеля на агрохимические свойства почвы и урожай сельскохозяйственных культур. Труды Свердл. СХИ, 1980. Т.60. С.61–68.

80. Сайдяшева Г.В. Эффективность последствий органических и нетрадиционных удобрений при возделывании яровой пшеницы в Среднем Поволжье. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Саранск, 2011. 19 с.

81. Самсонова Н.Е. Кремний в почве и растениях // Агрохимия, 2005. № 6. С.76–86.

82. Самсонова Н.Е. Научное обоснование эффективности фосфорных удобрений пониженной растворимости и кремнийсодержащих соединений на почвах Центрального Нечерноземья. Автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук. М.: ССХИ, 2001. 45 с.

83. Симонов Г.А. Органо-минеральные комплексы почв – проблемы диагностики / Минералогия и жизнь: био-минеральные взаимодействия. Сыктывкар: Ин-т геологии Коми, 1996. С.62–63.

84. Слесарев В.Н., Святская Л.Н., Тихомиров П.Д., Бетехтин Ю.В. Биологическая активность и оптимальная плотность пахотного слоя слабовыщелоченного чернозема // Почвоведение, 1979. N 11. С.95–110.

85. Соболев В.С. В кн.: Новые небокситовые виды глиноземного сырья. М.: Наука, 1982. С.38.

86. Страхов Н.М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза, 1976. 225 с.

87. Таран В.Н. Сравнительный анализ энергетической эффективности сельскохозяйственного производства России и промышленно развитых стран // Международный с.-х. журнал, 1998. № 1. С.67–71.

88. Тарановская В.Г. Значение силикатирования для цитрусовых, тунга и сидератов // Советские субтропики, 1940. № 5. С. 38–43.

89. Тарановская В.Г. Советские субтропики, 1939. № 2–3 (54–55). С. 19.

90. Терновская М.Н. Расщепление силикатов почвенными бактериями. Мат. научн. конф. Одесского СХИ, 1969. С.93–99.

91. Тойгильдина И.А. Эффективность высококремнистых пород и минеральных удобрений при возделывании сахарной свеклы в условиях Среднего Поволжья. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саранск, 2008. 17 с.

92. Умаров М.М. Ассоциативная азотфиксация. Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. М.: МГУ, 1983. 49 с.

93. Умаров М.М. Роль микроорганизмов в круговороте химических элементов в наземных экосистемах / Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. М.: Геос, 1999. С.122–135.

94. Уфимов Г.В., Докучан С.А. Анатомо-морфологическое строение эпидермиса листьев риса и повышение его защитной функции под влиянием кремния // Сельскохозяйственная биология, 1986. № 3. С.52–61.

95. Фотосинтез, развитие и продуктивность сельскохозяйственных растений. Всес. НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилина. Труды по прикл. ботанике, генетике и селекции. Т.72. Вып.2, 1982. 160 с.

96. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 1990. 189 с.

97. Холодов В.Н. Эволюция кремненакопления в истории Земли // Происхождение и практическое использование кремнистых пород: Сб. тр. АН СССР. М.: Наука, 1987. С.31–49.

98. Цеолитсодержащие породы Татарстана и их применение. Изд-во «ФЭН». Казань, 2001. С.102–116.

99. Чумаков Н.И., Емцев В.Т. Азотфиксирующая микрофлора корневой зоны яровой пшеницы / Биотехнология микроорганизмов в сельском хозяйстве. М.: Изд-во МСХА, 1989. С.3–13.

100. Шаблин П.А. Развитие новых биотехнологий и перспективы применения эффективных микроорганизмов в России / Мат. межд. конф. Воронеж, 2001. С.5–11.

101. Шарипова Р.Б. Тенденция изменения заморозков в условиях агроландшафта Ульяновской области / Интродукция нетрадиционных и редких хозяйственных растений. Материалы IV Международной научно-практической

конференции. Ульяновск, 2002. Т.2. С.222–224.

102. Швейкина Р. В., Рочев В. А. Контроль и регулирование содержания макро- и микроэлементов в почвах и растениях на Среднем Урале. Тр. Свердловск. СХИ. Т. 54. Пермь, 1979. С. 89.

103. Швейкина Р.В. Влияние кремниевых удобрений на подвижность фосфат-ионов в почве / Повышение эффективности применения удобрений. Пермь, 1986. С.7–79.

104. Шеуджен А.Х., Кемечева М.Х., Шапацев А.К. Теория и практика применения кремниевых удобрений на посевах риса. Майкоп, МГТИ, 2003. С.161–168.

105. Шуменко С.И. Роль биогенного фактора в кремненакоплении / Происхождение и практическое использование кремнистых пород. Сб. ст. АН СССР. М.: Наука, 1987. С.61–72.

106. Юркин С.Н. Балансовый метод анализа систем удобрений в круговороте веществ / Проблемы земледелия. М., 1978. С.176–186.

107. Яшин Е.А. Эффективность использования диатомита и его смесей с куриным пометом в качестве удобрения сельскохозяйственных культур на черноземе выщелоченном Среднего Поволжья. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Саранск, 2004. 18 с.

108. Asada Y., Akai S. Ann. Phytopathol. Soc. Japan, 1954. 18, N 3/4, P.109.

109. Aston M.T., Jones M.M. A study of the transpiration surfaces of *Avena sterilis* L. var. Algerian leaves using monosilicic acid as a tracer for water movement // Peanta, 1976. 130. № 2. P.121–129.

110. Baba A., Yammoato K. – Niigata Daigaku Nogakubu Gakujutsu Hokoku, 10, 59 (1958).

111. Davey Y. The Elements of Agriculture Chemistry. N.Y.: Estbum, Kirk Co., 1814. 175 p.

112. Goto S., Onikura Y. Bull. Kyushu Agr. Exr. Sta., 13, 173 (1967).
113. Grandvigne C. Rev. Gen. Colloides, 4, 193 (1926).
114. Hashimoto T. Nippon Dojo Hiriyogaku Zasshi, 30, 577 (1960).
115. Imaizumi K., Yoshida S. Nogyo Gijutsu Kenkyujo Hokoku. Ser. B, 8, 261 (1958).
116. Ishizuka Y. In: The Mineral Nutrition of the Rice Plant (Symp. Int. Rice Res. Inst.) Baltimore, 1964. P. 199.
117. Karmin AZ. Formation of ferrihydrite by inhibition of grain rust structures in the presence of silicon // Soil Sci. Soc. Amer. J., 1986. V.50. № 1. P.247–254.
118. Liebig J. Organic chemistry in its Application to Agriculture and Physiology. 1840. 280 p.
119. Lin K.-C. Nung Yeh Yen Chin / K.-C. Lin, S. Liew, T. L. Li 11, 45 (1962) ; C. A., 60, 11326 (1964).
120. Marsan F.A., Torrent J. Fragipan bonding by silica and iron oxides in a soil from northwestern Spain // Soil Sci. Soc. Amer. J., 1989. V.53. № 4. P.1140–1145.
121. Matichenkov V., Bocharnikova E. New technology for rehabilitation of salt-affected areas and increasing drought and salt plant tolerance // Proc. 13th Int. soil conservation org. conf. (SISCO2004). 4–9 July 2004 in Brisbane, Australia. p.249–257.
122. Matichenkov V., Bocharnikova E. The relationship between Si and soil physical and chemical properties // Silicon in Agriculture. Studies in Plant Science Amsterdam: Elsevier, 2001. P.209–219.
123. Matichenkov V.V. The using of silicon metal industry wastes in environment friendly agrotechnologies // XVII World Congress on Soil Science. Acapulco, Mexico, 1994. V.9. P.345–346.
124. Mays D. F., Anaele A. Wood ash utilization of fine

turf liming and fertilization // Amer. Soc. Agron. Annual Meet. Cincinnati. 1993. P. 342.

125. Munk H. Landwirt. Forch, 1982. Souderh. 38. S.264.

126. Norton L. D. Mineralogy of high calcium/sulfur-containing coal combustion by-products and their effect on soil surface sealing // Agriculture Utilization of Urban and Industrial By-products: Proceed. Symp. Sponsored by Division S-6 and S – 7 of the Science Soc. Am. And A – 5 of the Am. Soc. Agron. In Cincinnati. Ohio, 7-12 Nov. 1993. ASA Special Publication Number 58. 1995. P. 87–106.

127. Pierre J. Jahresber. Agriculturchem., 1866, 264; Compt. Rend., 68, 1526.

128. Read D. W. L., et al. Residual value presphorus fertilizer on chernozemic soil // Canad. J. Soil Sci., 1973. V. 53. № 4. P. 398.

129. Takahashi E. Jap. Agric. Res. Quart, 1968. V. 3. № 3. P. 1.

130. Thun M. – Lebendige Erdo. 1964. 21 p.

131. Velly J. La fertilisation en silica du riz a Madagascar // Agron. Trop. 1975. V. 30. № 4. P. 305–324.

132. Wagner F. Phytopathol. 12, 427 (1940).

133. Werner D., Peterson M. Z. Pflanzenphysiol., 70, 54 (1973).

134. Yoshida S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant // Bull. Nat. Inst. Agric. Sci., 1965. Ser. B. № 15. P. 1–58.

135. Yoshida S. The physiology of silicon in rice // Food Fert. Tech. Centr. Tech.Bull. Taipei. Taiwan, 1975. № 4. P. 8–12.

ПРИЛОЖЕНИЯ

*Опыты 2001–2003 гг. по изучению эффективности различных доз
внесения диатомита под озимую пшеницу*



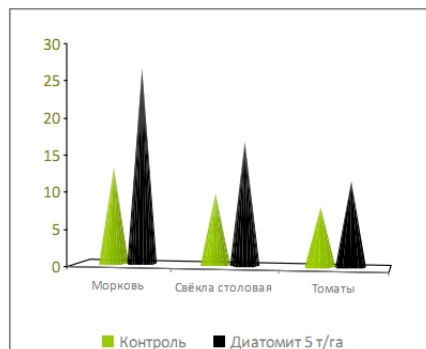
- Урожайность озимой пшеницы на контроле по годам находилась на уровне 2,1–4,0 т/га. Максимальная прибавка ее в среднем за 3 года от применения диатомита в дозе 8 т/га составила 0,6 т/га (19 %).
- Внесение в почву диатомита в качестве удобрения положительно влияло не только на формирование урожайности озимой пшеницы, но и на качество продукции: содержание клейковины в среднем увеличивалось на 1,4 % (абсолютное значение).

Опыты 2003–2006 гг. по изучению эффективности использования диатомита и его смесей с минеральными удобрениями при возделывании сахарной свеклы, яровой и озимой пшеницы



1. Использование диатомита в качестве удобрения в дозах 3 и 5 т/га повышало урожайность озимой пшеницы в среднем за 3 года на 9 – 25 %, яровой (за 4 года) – на 3 и 15 %, сахарной свеклы (за 3 года) – 36 и 38 % соответственно в сравнении с контролем. Урожайность культур при этом не уступала варианту с применением полного минерального удобрения (N40–60P40–60K40–60).
2. Применение диатомита (3 т/га) под данные культуры как в чистом виде, так и со средними дозами азота с учетом их последствий экономически более эффективно, чем возделывание культур с применением полных доз минеральных удобрений (NPK).

Результаты производственных испытаний высококремнистых пород (диатомита) в системе удобрения сельскохозяйственных культур



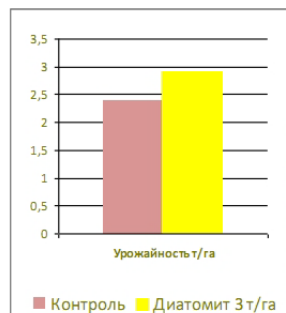
Производственные опыты с овощными культурами (морковь, свекла столовая, томаты) показали высокую эффективность диатомита в качестве удобрения в дозе 5 т/га: урожайность моркови при этом удвоилась, столовой свеклы повысилась на 74 % (с 9,6 до 16,7 т/га), томатов на 45 % (с 7,9 до 11,4 т/га).

Растения на опытных вариантах практически не поражались болезнями.



Озимая пшеница (2002 г.), учхоз УГСХА

Наибольшая прибавка урожайности была получена от внесения в почву диатомита 8 т/га и составила 0,7 т/га, превысив контроль на 29 %. Добавление к диатомиту птичьего помета сказалось не только на уровне урожайности, но и на качестве продукции: содержание клейковины повысилось с 21,5 % до 24,8 %.



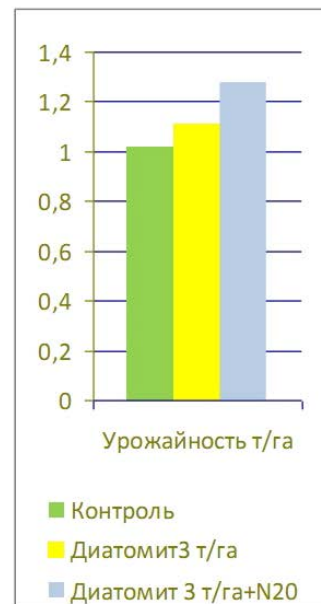
Ячмень (2004 г.), учхоз УГСХА

Урожайность на контроле составила 2,4 т/га, с внесением диатомита – 2,9 т/га, превысив контроль на 21 %. При этом улучшались качественные показатели, и повысилось содержание кормовых и кормопroteinиновых единиц.

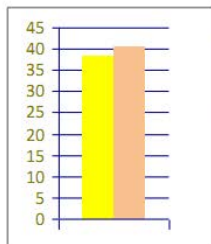
Яровая пшеница (2005 г.), колхоз им. Вавилова



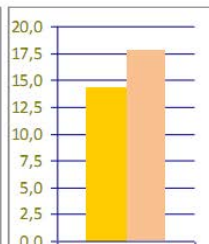
Площадь посевов с внесением диатомита в чистом виде 3 т/га и совместно с мочевиной (N20) по 1,5 га, повторность трехкратная. Урожайность при этом повысилась на 9 и 25 % соответственно с улучшением качественных показателей зерна.



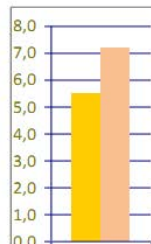
Сахарная свекла (2005 г.), ООО «Чеботаевское»



Урожайность, т/га
Контроль



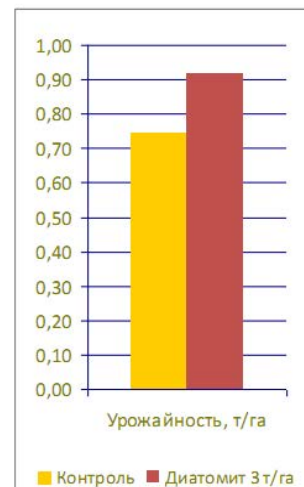
Содержание сахара, %
Диатомит 3 т/га



Выход сахара, т/га

Урожайность сахарной свеклы с внесением диатомита составила 40,5 т/га с улучшением качества корнеплодов: сахаристость повышалась с 14,2 % до 17,8 %, что резко увеличило выход сахара с 1 гектара (на 1,7 т).

**Подсолнечник
(2005 г.), ООО «Весенний сюжет»**



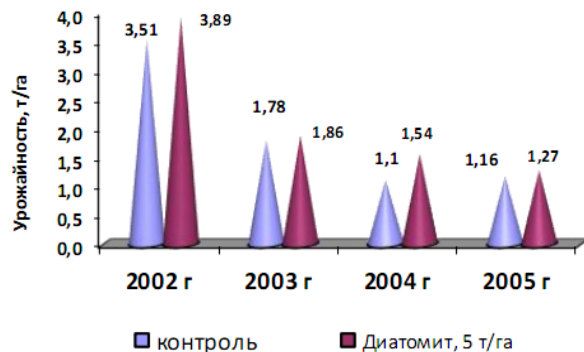
Результаты исследований показали, что данная культура также является отзывчивой на применение диатомита (3 т/га) в технологии ее возделывания: урожайность семян подсолнечника увеличилось на 0,18 т/га, или на 24 %.

**Результаты производственных опытов по изучению эффективности
опудривания посадочного материала картофеля диатомитом (2003 г.),
ФГУП «Ульяновская»**



Прибавка урожайности клубней картофеля при опудривании посадочного материала диатомитом (300 кг /га) составила 7,8 т/га, или повысилась на 42 %.
Содержание крахмала повысилось на 3 %.

Последствие диатомита при использовании в качестве удобрения сельскохозяйственных культур



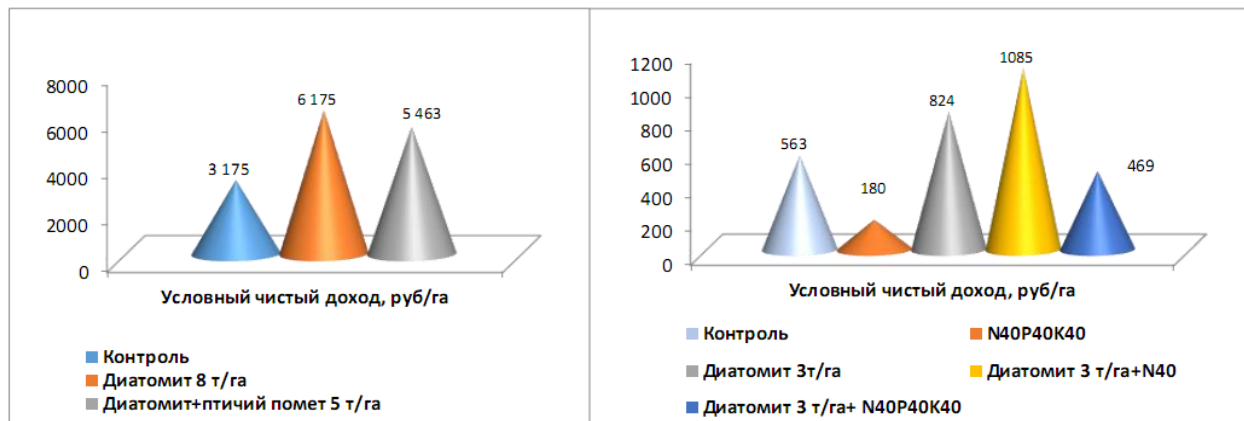
Последствие диатомита, внесенного
в 2001 году под озимую пшеницу



Последствие органоминерального удобрения,
внесенного в 2001 году под озимую пшеницу
в производственных условиях учхоза УГСХА

Экономические показатели технологий возделывания культур с использованием в системе удобрения высококремнистых пород

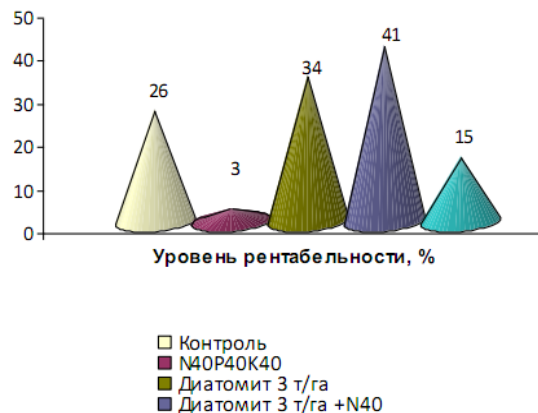
Озимая пшеница



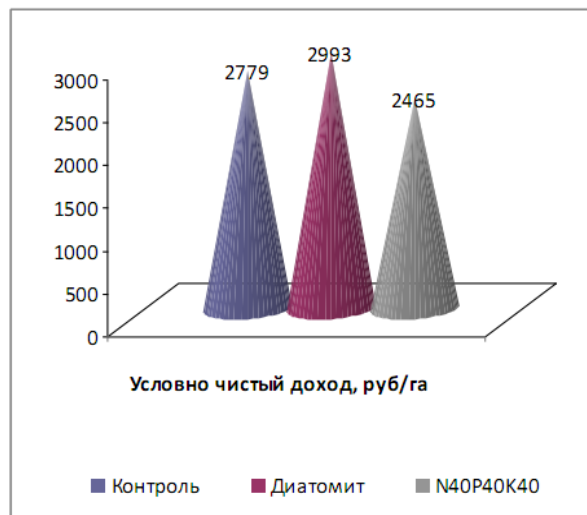
Производственный опыт 2002 г,
Учхоз УГСХА

Полевые опыты 2004 – 2006 гг.

Уровень рентабельности производства зерна озимой пшеницы с использованием диатомита и минеральных удобрений (2004 – 2005 гг.)



Опудривание посевного материала ячменя диатомитом (20 кг на тонну семян), 2007 г.



Применение диатомита в качестве удобрения способствует:

Улучшению агрофизических показателей почвы

Повышению содержания в почве подвижных соединений азота, фосфора, калия, кремния

Накоплению и экономному, рациональному расходованию влаги



Снижению поступления и накопления в продукции тяжелых металлов и других токсикантов (по отдельным культурам и элементам до 3-х раз)

Сокращению сроков созревания продукции (картофеля, овощей на 10-14 дней)

Уменьшению поражаемости болезнями и вредителями овощных и полегаяемости зерновых культур

Улучшению качества продукции



Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А.Столыпина»
Ульяновское отделение общества почвоведов
им. В.В. Докучаева

А.Х. Куликова

**КРЕМНИЙ И ВЫСОКОКРЕМНИСТЫЕ ПОРОДЫ
В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Дизайн и компьютерная верстка:
Кузнецова О.В., Захаров Н.Г.

Подписано в печать

Формат 60х84 1/16

Бумага офсетная

Усл.п.л. 11 Заказ

Тираж 100 экз

432063, Ульяновск,

Бульвар Новый Венец, 1