

**ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОКРЕМНИСТЫХ ПОРОД НА СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА  
ВЫЩЕЛОЧЕННОГО И УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ  
OPS IN THE CONDITIONS OF THE MIDLAND VOLGA REGION**

*А.Х. Куликова, доктор с.-х. наук, профессор,  
заведующая кафедрой почвоведения, агрохимии и агроэкологии  
ФГОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия»  
432980, г. Ульяновск, б-р Новый Венец, 1, тел. 8 (84231)5-11-75  
433431, Ульяновская область, Чердаклинский район, п. Октябрьский, ул.  
Студенческая, 24а, кв. 11, e-mail: agroec@yandex.ru*

**Ключевые слова:** высококремнистые породы, сельскохозяйственные культуры, почва и ее свойства, урожайность, качество продукции.

**Keywords:** siliceous breeds, crops, soil and its properties, productivity, quality of production.

---

Представлены результаты исследований, проведенных в ФГОУ ВПО «Ульяновская ГСХА» в 2000–2008 гг., по изучению возможности использования высококремнистых пород (диатомита, опоки) в качестве удобрения сельскохозяйственных культур. Установлена высокая эффективность их при возделывании овощных (огурцы, томаты, столовая свекла, морковь), зерновых (яровая и озимая пшеница, ячмень) и пропашных (сахарная свекла, кукуруза, подсолнечник, картофель) культур.

---

В настоящее время все актуальнее становится вовлечение в сферу сельскохозяйственного производства нетрадиционных минерально-сырьевых ресурсов, которыми богата наша страна. Это минералы и породы, обладающие уникальными адсорбционными, ионообменными и каталитическими свойствами. Благодаря разнообразию минерального состава и кристаллоструктурного состояния, а также характера пористости, они имеют широкое применение в народном хозяйстве, в том числе представляют большой интерес для использования в производстве сельскохозяйственной продукции. К числу таких материалов следует отнести, прежде всего, наноструктурированные высококремнистые породы такие, как опалкристобалиты (опоки, трепелы, диатомиты) и цеолиты.

С агрономической точки зрения важна способность их удерживать при внесении в почву в пахотном слое и медленно расходовать в течение вегетации влагу,

элементы питания, создавать благоприятные режимы взаимодействия в системе почва – растение. Кроме того, в своем составе они содержат ряд элементов питания (калий, сера, фосфор, марганец и другие).

Россия располагает крупной сырьевой базой различных по составу и качеству кремнийсодержащих пород. Так, запасы Инзенского месторождения диатомитов (Ульяновская область) составляет свыше 80 млн. м<sup>3</sup>, Хотиницкого месторождения трепелов (Орловская область) – 20–22 млн. м<sup>3</sup>.

Диатомиты представляют собой морские осадочные породы, сложенные мельчайшими опаловыми створками диатомовых водорослей. Общая пористость материала достигает 80 %, а размер пор от 1 до сотен нм. Таким образом, диатомиты являются природным наноструктурированным материалом.

На 80–90 % диатомит состоит из диоксида кремния. Однако более 40 %

(до 65–75 %) его находится в аморфной форме, обладающей достаточно высокой растворимостью, что обуславливает возможность использования диатомита в качестве кремниевого удобрения.

Кремний – один из самых распространенных элементов в земной коре и занимает второе место после кислорода. Изучению его роли в жизненных процессах вообще – и растений в частности – в мировой и отечественной литературе посвящено огромное количество работ. Важнейшим заключением при исследовании роли и функций кремния в растениях является вывод о возможности повышения природной устойчивости растений к биологическим (грибковые заболевания, насекомые, вредители) и абиогенным (низкие температуры, засуха, солевая и алюминиевая интоксикация, загрязнение тяжелыми металлами, углеводородами и т.д.) стрессам. Следует отметить, что подвижный кремний в связи с постоянным отчуждением с урожаем культур (установлено, что ежегодный суммарный вынос его составляет  $2,75 \cdot 10^7$  т) является дефицитным элементом питания растений и микроорганизмов. Однако долгое время он не привлекал внимание биологов, почвоведов и агрохимиков. Более того, до настоящего времени во всех учебниках по агрохимии кремний относится к группе условно необходимых растениям элементов; считалось, 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.

В последние годы интерес к этому элементу стремительно растет. Широкие исследования по изучению роли кремния в жизни растений и эффективности кремниевых удобрений ведутся в Китае, Германии, США и, особенно, Японии, где основной продовольственной культурой является рис, отличающийся исключительно высокой потребностью в этом

элементе (зола соломы риса на 91 % состоит из кремния). В Японии кремниевые удобрения с 1955 года внесены в реестр минеральных удобрений. В нашей стране еще в 70 – 80-е годы прошлого столетия ставился вопрос о необходимости производства кремниевых удобрений. Однако они не производились и не производятся, а в качестве удобрения очень ограниченно применяются различные отходы промышленности. Между тем, как уже отмечалось, страна обладает огромными ресурсами высококремнистых пород, которые могут быть использованы в этом качестве.

В связи с вышеизложенным целью исследований, проводимых нами с 2000 года, является изучение возможности использования высококремнистых пород в качестве удобрения сельскохозяйственных культур.

#### **Объекты и методы исследований.**

Объектами исследований являлись:

– диатомит и опока Инзенского месторождения Ульяновской области. Химический состав их следующий:  $H_2O$  – 3,14 и 2,30 % соответственно;  $SiO_2$  – 83,60 и 82,70;  $TiO_2$  – 0,29 и 0,27;  $Al_2O_3$  – 7,88 и 4,60;  $Fe_2O_3$  – 2,41 и 2,12;  $FeO$  – 0,12 и 2,00;  $MnO$  – 0,01 и 0,19;  $CaO$  – 0,28 и 3,08;  $MgO$  – 0,76 и 1,28;  $Na_2O$  – 0,02 и 0,48;  $K_2O$  – 1,06 и 1,77;  $P_2O_5$  – 0,05 и 0,25;  $SO_3$  – общ. 0,21 и 0,12;  $SiO_2$  аморф. – 42,0 и 62,8 %;

– сельскохозяйственные культуры: овощные – огурцы (*Вязниковский*), томаты (*Новичок*), морковь (*Московская зимняя*), свекла столовая (*Бордо-237*), капуста (*Слава*); зерновые – озимая пшеница (*Базальт*), яровая пшеница (*Л – 503*, *Землячка*), ячмень (*Прерия*, *Одесский 100*); пропашные – сахарная свекла (*Рамонская односеменная – 09*), подсолнечник (*Скороспелый*), кукуруза (*Молдавский М-257*), картофель (*Невский*);

– почвы – чернозем выщелоченный среднемощный среднесуглинистый, чер-

нозем типичный мощный среднесуглинистый.

Изучение эффективности высококремнистых пород и их смесей с птичьим пометом, минеральными удобрениями, осадками сточных вод, а также предпосевной обработки семян как в чистом виде, так и совместно с биопрепаратами и микроэлементами при возделывании зерновых культур проводили в полевых мелко- и крупноделяночных а также производственных опытах.

Все анализы почвенных и растительных образцов по соответствующим ГОСТам проведены в аккредитованной агрохимической лаборатории ФГУ САС «Ульяновская» (№ РОСС.RU.0001.510.251) и испытательной лаборатории «Ульяновская ГСХА» ((№ РОСС.RU.0001.53.748), качественный состав диатомита и опоки – в аналитико-технологическом сертификационном испытательном центре ЦНИИ геолнеруд МПР России.

Производственные опыты проведены с использованием современной сельскохозяйственной техники. Всего проведено более 50-и опытов, в том числе 10 – производственных.

В работе приведены основные, обобщенные результаты исследований коллектива кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии, проведенных под научным руководством автора.

### **Результаты и их обсуждение.**

В исследованиях впервые доказано, что высококремнистые наноструктурированные породы Ульяновской области являются многофункциональным, высокоэффективным, экологически безопасным удобрением пролонгированного действия для применения как в чистом виде, так и для производства удобрений нового поколения на их основе. При этом урожайность озимой пшеницы не уступала варианту с применением полных доз минеральных удобрений и прибавка ее в зависимости от дозы внесения диатомита в отдельные годы достигала 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) и урожайность повышалась на 27–28 %. 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 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 кремниевое удобрение. 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 предпосевого 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

Таблица 1

*Влияние диатомита, его смеси с мочевиной и минеральных удобрений на плотность почвы в посевах яровой и озимой пшеницы*

Варианты	Слой почвы, см	Яровая пшеница (средняя за 2003 – 2005гг.)		Озимая пшеница (средняя за 2004 – 2005 гг.)	
		посев	уборка	воз. вег.	уборка
Контроль	0 – 10	1,2	1,24	1,23	1,25
	10 – 20	1,23	1,27	1,24	1,28
	20 – 30	1,26	1,3	1,27	1,33
	<b>0 – 30</b>	<b>1,23</b>	<b>1,27</b>	<b>1,25</b>	<b>1,29</b>
N40P40K40	0 – 10	1,19	1,25	1,16	1,23
	10 – 20	1,22	1,29	1,25	1,27
	20 – 30	1,31	1,36	1,33	1,32
	<b>0 – 30</b>	<b>1,24</b>	<b>1,30</b>	<b>1,25</b>	<b>1,27</b>
Диатомит 3 т/га	0 – 10	1,05	1,14	1,09	1,14
	10 – 20	1,13	1,20	1,17	1,20
	20 – 30	1,24	1,30	1,22	1,24
	<b>0 – 30</b>	<b>1,14</b>	<b>1,21</b>	<b>1,16</b>	<b>1,19</b>
Диатомит 3 т/га + N40	0 – 10	1,09	1,16	1,11	1,19
	10 – 20	1,14	1,2	1,14	1,22
	20 – 30	1,24	1,31	1,2	1,34
	<b>0 – 30</b>	<b>1,16</b>	<b>1,22</b>	<b>1,17</b>	<b>1,25</b>
Диатомит 5 т/га	0 – 10	1,03	1,13	1,06	1,15
	10 – 20	1,12	1,18	1,15	1,19
	20 – 30	1,26	1,27	1,25	1,25
	<b>0 – 30</b>	<b>1,14</b>	<b>1,19</b>	<b>1,15</b>	<b>1,20</b>

%), 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, 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 на-

блюдалась по отношению поступления тяжелых металлов: содержание свинца в плодах томатов снижалось 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, пропашных, так и овощных.

Высокая эффективность высококремнистых пород в качестве удобрения сельскохозяйственных культур, прежде всего, обусловлено 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<sup>3</sup> на контроле до 1,14 г/см<sup>3</sup>; перед возобновлением вегетации озимой пшеницы – с 1,25 г/см<sup>3</sup> до 1,19

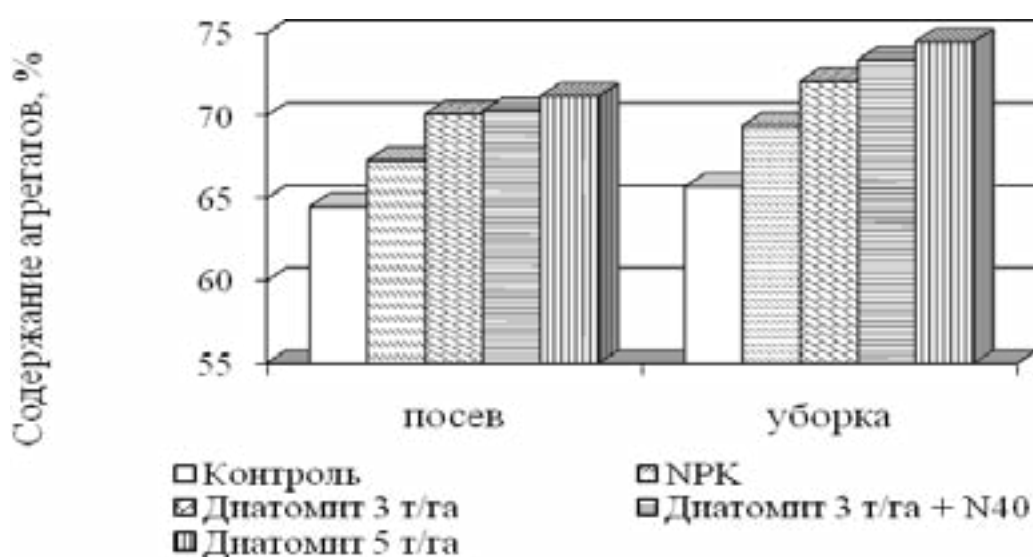


Рис. 1. Содержание агрономически ценных агрегатов в почве под посевами яровой пшеницы в зависимости от применения удобрений и диатомита (2003–2005 гг.)

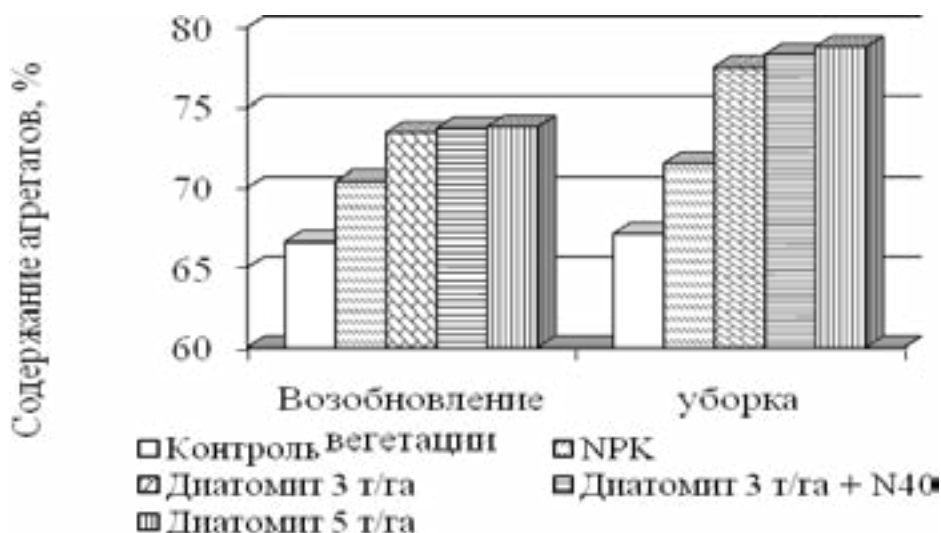


Рис. 2. Содержание агрономически ценных агрегатов почвы под посевами озимой пшеницы в зависимости от применения удобрений и диатомита (2004–2005 гг.)

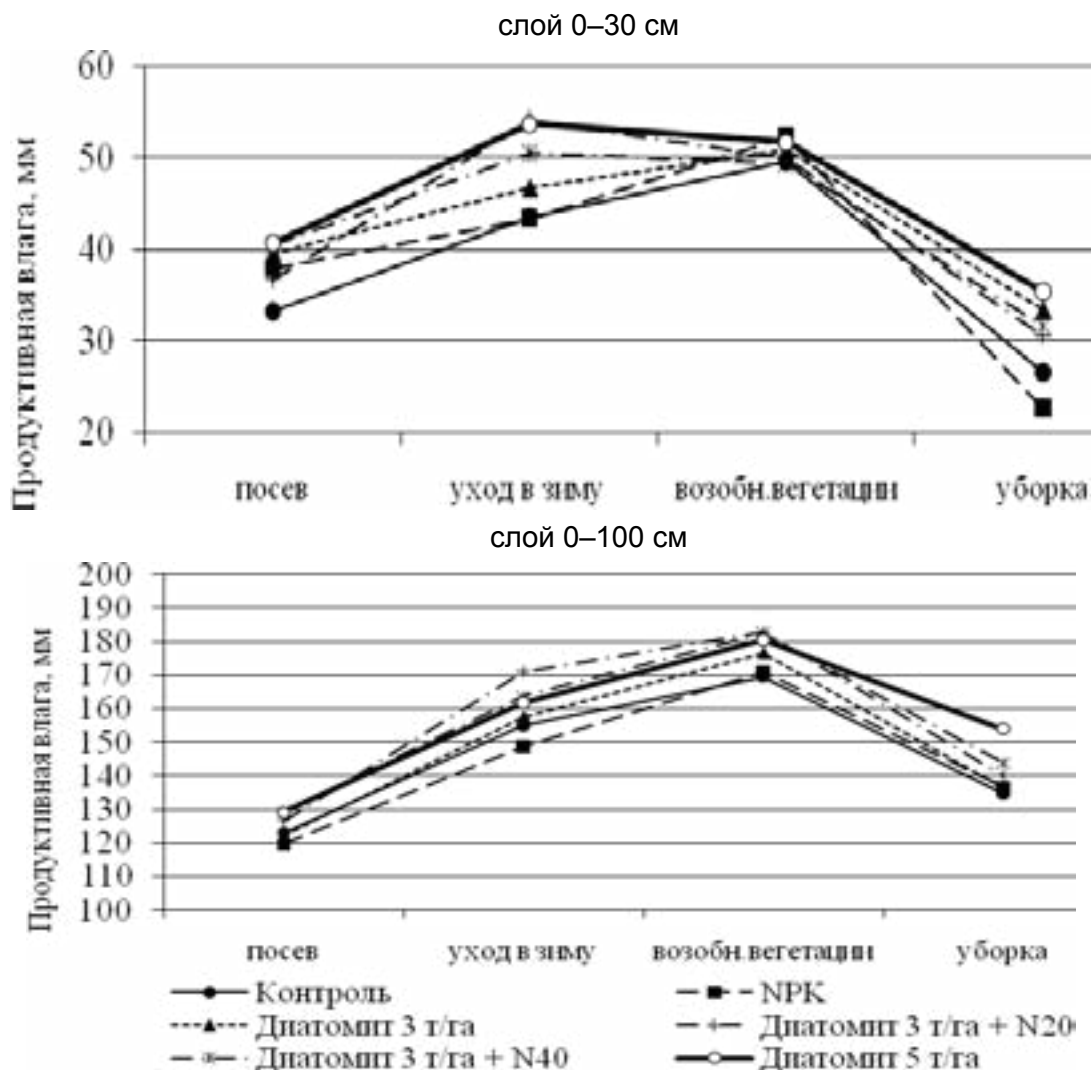


Рис. 3. Накопление продуктивной влаги в почве посевов озимой пшеницы в динамике в зависимости от применения удобрений и диатомита (2003–2006 гг.)

г/см<sup>3</sup> (таблица 1).

Содержание агрономически ценных агрегатов в пахотном слое почвы к концу вегетации увеличивалось на 16 и 17, яровой пшеницы – на 10 и 13 % (рисунок 1, 2).

Улучшение физических свойств почвы обусловлено тем, что кремниевые кислоты способны связывать почвенные частицы в структурные агрегаты. Улучшение структуры происходит путем образования кремниевых мостиков между зернами ила [1] и сопровождается повышением агрегированности, влагоемкости, емкости обмена и буферности почв [2].

Благодаря своим адсорбционным свойствам и способности улучшать физические свойства почвы диатомит в значительной степени способствовал увеличению водоудерживающей способности чернозема выщелоченного, экономному и рациональному расходованию запасов

продуктивной влаги в течение вегетации сельскохозяйственных культур (рисунок 3).

При этом запасы продуктивной влаги в пахотном слое в начале вегетации культур превышали в вариантах с внесением диатомита в сравнении с контролем на 6–13 мм, в метровом – на 15–20 мм, коэффициент водопотребления снижался в 1,1–1,4 раза.

Диатомит (в том числе через улучшение агрофизических показателей) благоприятно влиял на активность почвенных организмов. Биогенность почвы увеличивалась на 20–30 %, что положительно отразилось на ее агрохимических показателях, которые являются одними из определяющих факторов формирования урожайности культур (таблица 2).

В данном опыте по улучшению питательного режима диатомит не уступал полным дозам NPK: содержание подвижных форм фосфора в пахотном слое уве-

Таблица 2

Агрохимические показатели почвы в посевах сахарной свеклы в зависимости от внесения диатомита и его смеси с азотом (2003 – 2005 гг.)

Вариант	Гумус, %	pH <sub>KCl</sub>	мг/кг				Сумма поглощенных оснований, мг-экв./100 г
			Si водорастворимый	NO <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
<b>Перед посевом</b>							
1. Контроль	4,39	5,89	33,5	139	155	149	43,0
2. N60P60K60	4,38	5,92	34,0	155	165	164	43,3
3. Диатомит 3 т/га	4,40	5,85	35,3	146	168	168	43,9
4. Диатомит 3 т/га + N60	4,42	5,89	34,8	152	175	165	43,6
5. Диатомит 5 т/га	4,41	5,90	39,3	147	174	170	43,9
<b>В период уборки</b>							
1. Контроль	4,35	5,88	33,4	143	161	152	43,9
2. N60P60K60	4,37	5,86	31,4	160	170	166	43,5
3. Диатомит 3 т/га	4,34	5,90	36,6	158	186	174	44,7
4. Диатомит 3 т/га + N60	4,32	5,95	36,9	163	180	169	43,9

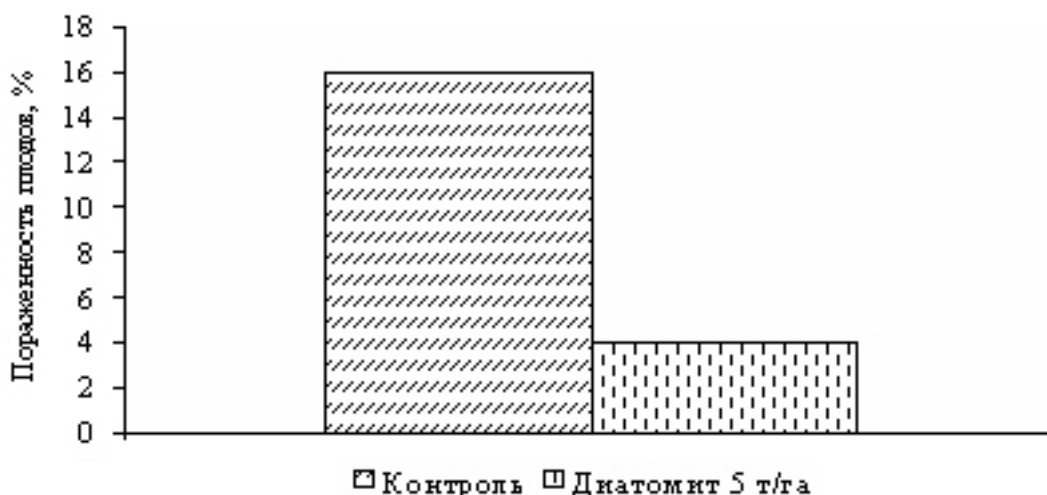


Рис. 4. Пораженность плодов томатов вершинной гнилью

личивалось на 8,4 – 12,3 %, обменного калия на 10,7 – 14,7 %. Аналогичная закономерность наблюдалась по всем другим опытам.

Увеличение содержания подвижного фосфора в почве подтверждает многочисленные сведения о трансформации труднорастворимых фосфатов под влиянием подвижной кремниескислоты в более доступные [3, 4]. В наших опытах содержание подвижных форм  $P_2O_5$  в почве в зависимости от водорастворимого кремния характеризовалось следующим уравнением регрессии:

$Y = 49,455 + 3,3299X$  ( $R=0,612$ ), где  $Y$  – содержание  $P_2O_5$ , мг/кг почвы;  $X$  – содержание водорастворимого кремния, мг/кг почвы.

Положительное влияние диатомита на количество подвижного калия вполне объяснимо относительно высоким содержанием в нем элемента. Так, с дозами диатомита 3 и 5 т/га в почву вносится 32 – 51 кг/га  $K_2O$  соответственно.

Внесение диатомита в почву приводило также к увеличению содержания в ней минеральных форм азота ( $NO_3 + NH_4$ ) на 5 – 9,3 %. Ряд авторов объясняет последнее тем, что при использовании кремнийсодержащих соединений в системе удобрения повышается микробиологическая активность почвы, благодаря чему усиливается процесс нитрификации,

увеличивается количество аммонификаторов [5, 6, 7]. Преимущество вариантов с внесением диатомита в чистом виде и его смеси с мочевиной сохранялось до конца вегетации.

Особо следует отметить, что при внесении диатомита в почву содержание в ней водорастворимого кремния перед посевом сахарной свеклы увеличивалось на 17 % и на 20 % к моменту уборки корнеплодов, что, несомненно, способствовало оптимизации кремниевого питания растений. Последнее тем более важно, так как сахарная свеклы относится к растениям – кремнефилам.

При использовании диатомита в качестве удобрения заметных изменений в содержании гумуса, реакции почвенного раствора и сумме поглощенных оснований не происходило.

Таким образом, диатомит и, прежде всего, аморфный кремний, содержащийся в нем, оказывает положительное влияние на общее физико-химическое состояние и свойства почвы, способствуя улучшению питания растений.

Благодаря высокому содержанию аморфного кремния высококремнистые породы обладают несомненными защитными свойствами: поражаемость грибными заболеваниями, например, томатов в производственных условиях учхоза УГСХА уменьшалась на 80 % (рисунок 4)



Увеличивалась устойчивость зерновых культур к полеганию (таблица 3).

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 растения. Во втором случае его ассимиляция является физиологическим процессом, приводящим к образованию органических производных кремния и к его отложению в специфических тканях растения. С ростом растения содержание кремния в нем увеличивается, достигая максимума в конце вегетации. При этом он накапливается, главным образом, в листьях. В злаках, например, лист содержит в 14 раз больше кремния, чем корень, и в 10 раз больше, чем стебель. В листьях и стеблях риса кремнекислота образует слой, расположенный между стенками эпидермиса (поверхностный слой клеток) и кутикулы, предотвращающий избыточную кутикулярную транспирацию и упрочняющий его стебель.

В стеблях злаков кремний отлагается в стенках и междуузлиях, 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 тангенциальных и радиальных стенках. Кремний в эндодерме находится в виде агрегатов, а также рассредоточен в слоях стенок стебля [8].

Как показывают данные таблицы 3, устойчивость к полеганию яровой пшеницы в среднем за 4 года составляла 3,9 баллов (в варианте с N40P40K40 – 3,3 балла), при использовании диатомита в качестве удобрения – 4,5 балла.

Применение высококремнистых пород в качестве удобрения сельскохозяйственных культур экономически и энергетически значительно эффективнее, чем использование минеральных удобрений. Так, при применении диатомита в дозе 3 т/га уровень рентабельности производства зерна пшеницы повышалась на 15 % по сравнению с контролем и на 38 % по отношению к варианту с полной дозой минеральных удобрений.

Использование высококремнистых пород в качестве удобрения хорошо вписывается в соответствующие технологии возделывания сельскохозяйственных культур и 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 высококремни-

Таблица 3

Устойчивость к полеганию яровой пшеницы (2003–2006 гг.)

Варианты	2003	2004	2005	2006	Среднее
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
НСР <sub>05</sub>	0,2	0,2	0,2	0,3	

стых 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.

### **Заключение.**

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.

Результаты исследований обсуждались на расширенном заседании совета по развитию нанотехнологий Ульяновской области (15 августа 2008 г) и совещании агропромышленной палаты по вопросу использования наноструктурированных природных материалов в сельском хозяйстве Ульяновской области (11 сентября 2008 г) и рекомендованы к широкому внедрению.

### **Литература:**

1. 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.

2. Matichenkov V.V., Calvert P.V., Snyder G.H., et al. Nutrients leaching reduction by Si-rich substances in the model experiments // Proc. 7<sup>th</sup> Inter. Conf. Wetland Systems for Water Pollution Control. lake Buena Vista, Florida, Nov. 11–16. 2000. P.583–592.

3. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Амосова Я.М. Определение доступного растениям кремния в почвах // Агрохимия. – 1997. – № 1. – С. 76–80.

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

5. Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевиц Э.Я. Кремний и жизнь. Рига: Изд-во «Зинатне», 1978. 587 с.

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

7. Ермолаев Е.Н. Роль кремния в повышении продуктивности винограда, кукурузы и сахарной свеклы // Дис. на соиск. учен. степени докт. с.-х. наук в виде научного доклада. М.: МСХ, 1993. 49 с.

8. Матыченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва-растение // автореферат дисс... д-ра биол. наук. Пущино, 2008. 34 с.