

т/га (в отдельные годы до 1,3 т/га); овощных культур: огурцов на 20 %, томатов на 13 %, моркови на 14 %, свеклы столовой на 13 %. При использовании смесей диатомита с куриным пометом (2001 – 2002 гг.) прибавка урожайности составила: огурцов – 4,0 – 12,8 т/га, томатов – 6,2 – 8,1 т/га, моркови – 4,5 – 13,3 т/га, свеклы столовой – 9,7 – 19,4 т/га.

5. 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 %.

6. Диатомит способствовал улучшению качества сельскохозяйственной продукции: в зерне озимой пшеницы содержание клейковины повышалось на 1 %, с улучшением ее качества (ИДК); во всех видах овощной продукции увеличивалось содержание фосфора и калия (на 13 – 22 %).

7. Диатомит обладает выраженным пролонгированным действием: урожайность

яровой пшеницы в зависимости от норм его внесения под предшествующую культуру повышалась на 0,1 – 0,4 т/га (4 – 23%). Улучшалось при этом и качество продукции.

8. Диатомит является природным сорбентом, способствующим снижению поступления тяжелых металлов и радиоактивных изотопов в продукцию как при прямом действии, так и в последствии: содержание свинца в зерне озимой пшеницы при норме диатомита 10 т/га снижалось с 0,119 мг/кг на контроле до 0,091 мг/кг (24 %); кадмия с 0,063 мг/кг до 0,04 мг/кг (37 %). Аналогичная закономерность наблюдалась по всем культурам и накопление тяжелых металлов по отдельным культурам и элементам уменьшалось до 6,5 раз.

9. Применение диатомита и его смесей с куриным пометом в качестве удобрения сельскохозяйственных культур экономически эффективно. Уровень рентабельности производства зерна озимой пшеницы при этом повышался на 43 – 53 %, моркови – на 20 – 48 %.

Литература

1. Воронков М.Г. и др. Кремний и жизнь. / М.Г. Воронков, Г.Н. Зелчан, Э.Я. Лукевиц – Рига: Зинатне, 1978. – 578 с.
2. Ермолаев А.А. Роль кремния в повышении продуктивности винограда, кукурузы и сахарной свеклы // Дис. на соиск. учен. степени док. с.-х. наук в виде науч. доклада. – М.: МСХА, 1993. – 49 с.
3. Матыченков В.В. и др. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву / В. В. Матыченков Е. А. Бочарникова, Я. М. Аммосова // Агрехимия. – 2002. – № 2. – С. 86-93.
4. 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

УДК 633. 111:631.8

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАТОМИТА И ЕГО СМЕСЕЙ С МИНЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ И ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

*А.Х. Куликова, д. с.-х. н., профессор, Яшин Е.А., к. с.-х. н., доцент,
Е.В. Данилова, к.с.-х.н., ассистент, Ульяновская ГСХА*

Проблема стабилизации агропромышленного комплекса и повышение уровня его эффективности является одной из ключевых российской экономики. Ее решение предполагает дальнейшее развитие процесса ин-

тенсификации сельскохозяйственного производства.

В настоящее время многие средства интенсификации, в частности, минеральные удобрения, становятся недоступными сель-

скохозайственным товаропроизводителям. В связи с этим значительное внимание уделяется поиску новых, дешевых и доступных материалов, которые можно было бы использовать как для повышения продуктивности культур, так и сохранения плодородия почвы.

К числу таких материалов следует отнести, прежде всего, природные сорбенты – минералы и породы, которые обладают уникальными адсорбционными, ионообменными и каталитическими свойствами [2]. Особый интерес в этом отношении представляют опал-кристобалитовые породы (опоки, трепелы, диатомиты), запасы которых в России огромны.

Цель и задачи исследований. Целью исследований являлось изучение эффективности использования диатомита и его смесей с минеральными удобрениями при возделывании озимой и яровой пшеницы.

В программу исследований входило решение следующих задач:

- выявить влияние диатомита при применении как в чистом виде, так и в смеси с минеральными удобрениями на свойства чернозема выщелоченного (агрофизические параметры, агрохимические показатели, водный режим, микробиологическая активность, содержание тяжелых металлов);

- изучить прямое действие диатомита и его смесей с минеральными удобрениями на формирование посевов, урожайность и качество зерна озимой и яровой пшеницы и их последствие (яровая пшеница, ячмень);

- дать агрономическую, экологическую, экономическую и биоэнергетическую оценку технологиям возделывания озимой и яровой пшеницы с использованием диатомита и его смесей с минеральными удобрениями;

- провести производственные испытания диатомита и его смеси с аммиачной селитрой в качестве удобрения озимой и яровой пшеницы.

Результаты исследований

Условия, объекты и методы исследований

Исследования по изучению эффективности использования диатомита и его смесей

с минеральными удобрениями при возделывании яровой (Л-503) и озимой (Базальт) пшеницы проводились в 2003–2006 гг. в полевых мелкоделяночных опытах на опытном поле кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии Ульяновской ГСХА по следующей схеме: 1 – без удобрений (контроль); 2 – N40P40K40; 3 – диатомит 3 т/га; 4 – диатомит 3 т/га + N20; 5 – диатомит 3 т/га + N40; 6 – диатомит 3 т/га + N40P20; 7 – диатомит 3 т/га + N40P20K20; 8 – диатомит 3 т/га + N40P40K20; 9 – диатомит 3 т/га + N40P40K40; 10 – диатомит 5 т/га; 11 – диатомит 5 т/га + N40; 12 – диатомит 5 т/га + N40P20; 13 – диатомит 5 т/га + N40P40K20; 14 – диатомит 5 т/га + N40P40K40; 15 – диатомит 5 т/га + N40P20K20.

Включение каждого из вариантов в схему опыта обусловлено необходимостью изучения влияния разных по составу смесей диатомита с минеральными удобрениями на свойства почвы, урожайность и качество зерна экспериментальных культур и установления оптимального соотношения компонентов смеси.

В качестве азотного удобрения применяли мочевины (Nм), фосфорного – двойной суперфосфат (Pсд), калийного – хлористый калий (Kх).

Предшествующей культурой во все годы исследований была викоовсяная смесь. Учетная площадь делянок составляла – 20 м² (2×10 м), расположение делянок рендомизированное, повторность 4-х кратная.

Смеси диатомита с минеральными удобрениями готовили смешиванием компонентов вручную. Внесение проводилось также вручную перед основной обработкой почвы. Под озимую пшеницу заделывали на глубину 10–12 см агрегатом ДТ-75 + БДТ-3, под яровую пшеницу – на глубину 20–22 см агрегатом Т-150 К + ПЛН-4-35.

Химические средства защиты растений не применялись. Основная, предпосевная и послепосевная обработки почвы проводились согласно принятым в регионе технологиям возделывания яровой и озимой пшеницы.

По указанной выше схеме опыт проводился в течение 2003–2005 гг. В 2006 г. были

Таблица 1– Влияние минеральных удобрений, диатомита и его смеси с мочевиной на плотность почвы в посевах яровой и озимой пшеницы, г/см³

Вариант	Слой почвы, см	Яровая пшеница (среднее за 2003–2005 гг.)		Озимая пшеница (среднее за 2004–2005 гг.)	
		посев	уборка	возобновление вегетации	уборка
Без удобрений (контроль)	0–10	1,20	1,24	1,23	1,25
	10–20	1,23	1,27	1,24	1,28
	20–30	1,26	1,30	1,27	1,33
	0–30	1,23	1,27	1,25	1,29
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
	0–30	1,24	1,30	1,25	1,27
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
	0–30	1,14	1,21	1,16	1,19
Диатомит 3 т/га + N ₄₀	0–10	1,09	1,16	1,11	1,19
	10–20	1,14	1,20	1,14	1,22
	20–30	1,24	1,31	1,20	1,34
	0–30	1,16	1,22	1,17	1,25
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
	0–30	1,14	1,19	1,15	1,20

Таблица 2 – Агрохимические показатели чернозема выщелоченного под посевами яровой пшеницы, среднее за 2003–2005 гг.

Вариант	Гумус, %	Мг/кг					Сумма пог- лощенных оснований мг-экв./100 г почвы
		pH _{KCl}	SiO ₂ водораство- -римый	NO ₃ +NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Перед посевом							
Контроль	4,27	5,89	34,4	142	165	145	44,1
N40P40K40	4,31	5,91	34,9	147	171	151	44,9
Диатомит 3 т/га	4,31	5,96	36,4	150	169	153	44,7
Диатомит 3 т/га + N40	4,37	5,95	36,8	152	174	157	44,6
Диатомит 5 т/га	4,37	5,82	40,4	147	171	159	44,9
В период уборки							
Контроль	4,29	5,80	32,5	149	169	144	45,1
N40P40K40	4,29	5,85	35,5	162	175	155	45,5
Диатомит 3 т/га	4,31	5,86	37,6	162	177	158	45,6
Диатомит 3 т/га + N40	4,29	5,86	37,4	164	177	157	45,4

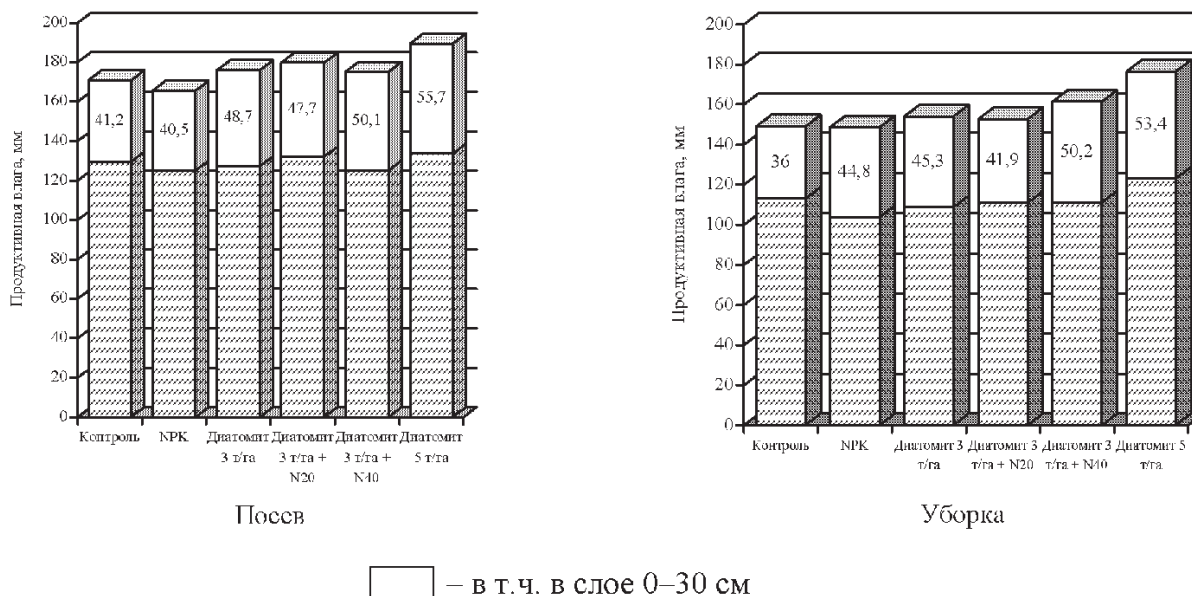


Рисунок 1 – Запасы продуктивной влаги в посевах яровой пшеницы в зависимости от применения диатомита и его смесей с удобрениями (2003 – 2006 гг.)

повторены наиболее результативные варианты с соблюдением всех прежних условий: предшествующая культура, размеры и размещение делянок на территории по схеме: 1 – без удобрений (контроль); 2 – N40P40K40; 3 – диатомит 3 т/га; 4 – диатомит 3 т/га + N20; 5 – диатомит 3 т/га + N40.

Почва опытного поля – чернозем выщелоченный среднемощный среднесуглинистый со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса 4,3 %, подвижных форм фосфора и калия 168 и 150 мг/кг почвы, рНКС1 5,8

За годы проведения исследований климатические показатели существенно отличались от среднемноголетних и были контрастными как по количеству осадков, так и по распределению их в течение вегетации. Также значительны были колебания среднесуточной температуры воздуха.

2003 г. был благоприятным в отношении влаги и температуры, несмотря на заморозки -4 , -5 °С в период всходов яровых зерновых культур.

Период вегетации 2004 г. характеризовался избыточной влагообеспеченностью (319 мм) и оптимальным тепловым режимом ($+14$... $+20,9$ °С), что способствовало большому накоплению вегетативной массы растений, в результате чего наблюдалось частичное полегание посевов яровой пшеницы.

В 2005 г. наблюдался дефицит влаги при прорастании семян. Май характеризовался небольшим количеством осадков (41,2 мм) и более высокой температурой, среднемесячная температура составила $+17,1$ °С, что повлияло на рост и развитие культур в период всходы-кущение; в дальнейшем высокая температура воздуха и хорошая влагообеспеченность способствовали нормальному развитию растений.

В 2006 году недостаток влаги наблюдался в июне (42,8 мм), а избыточное ее количество – в августе (114,7 мм), в результате чего сдвинулись сроки уборки культур.

Организация полевых опытов, проведение наблюдений, лабораторных анализов осуществлялись по общепринятым методикам и соответствующим ГОСТам. Все анализы проведены в аккредитованной агрохимической лаборатории ФГУ САС «Ульяновская» (№ РОСС. RU. 0001.510.251) и испытательной лаборатории «Ульяновская ГСХА» (№ РОСС. RU. 001.513.748). Экономическую оценку технологий возделывания зерновых культур проводили по системе натуральных и стоимостных показателей с использованием нормативов и расценок, принятых для производственных условий учебно-опытного хозяйства Ульяновской ГСХА (2006 г.); биоэнергетическую эффективность определяли по совокупным затратам энергоресурсов на их возделывание

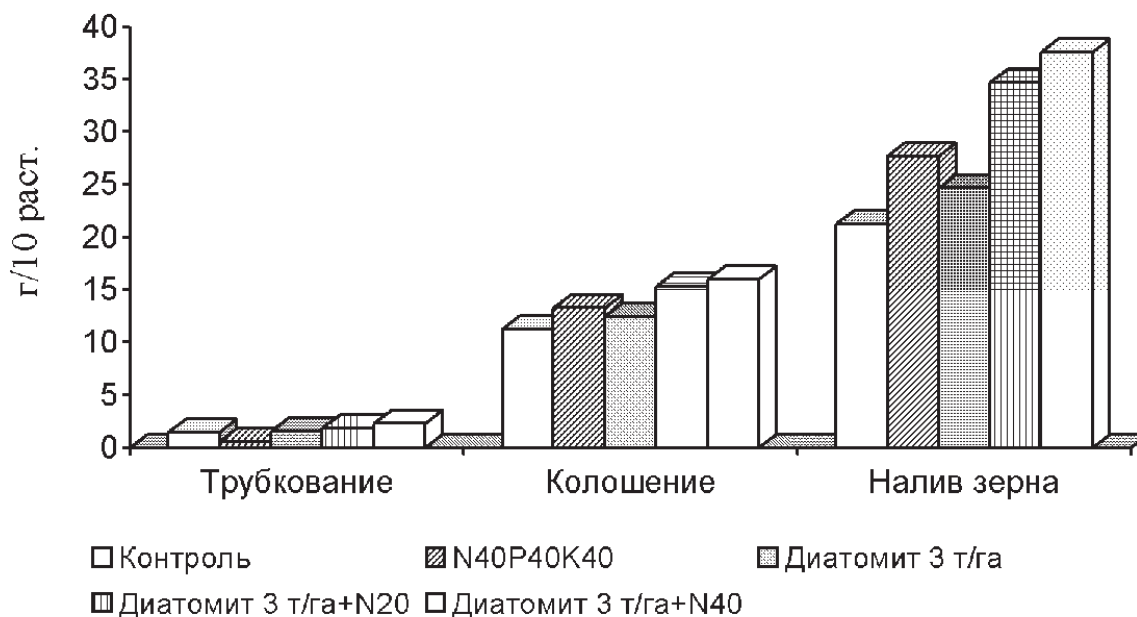


Рисунок 2. Прирост сухого вещества яровой пшеницы за период трубкование – молочная спелость, г/10 растений (2006 г.)

и накоплению потенциальной энергии в урожае. Данные результатов исследований подвергались математической обработке методами дисперсионного и корреляционного анализов [1].

Влияние диатомита и его смесей с минеральными удобрениями на свойства чернозема выщелоченного

Агрофизические параметры. Анализ агрегатного состава почвы показал, что диатомит обладает выраженным оструктурирующим действием: содержание агрономически ценных агрегатов в пахотном слое перед уборкой озимой пшеницы при дозах его внесения 3 и 5 т/га превысило контроль на 16 и 17 %, яровой пшеницы – на 10 и 13 % соответственно. Влияние диатомита на структуру почвы сохранялось и при совместном внесении его с минеральными удобрениями.

Интегральным показателем физического состояния почвы является плотность ее сложения. Показатели плотности почвы перед посевом позволяют прогнозировать развитие культур в течение вегетации, перед уборкой – оценить действие применяемых приемов. Как показали результаты исследований, внесение диатомита как в чистом виде, так и совместно с минеральными удобрениями

оказывает разуплотняющее действие на почву (таблица 1). Последнее позволило создать более оптимальное для данных культур сложение пахотного слоя, снизив его плотность перед посевом яровой пшеницы на 7 %, перед возобновлением вегетации озимых на 6–8 %.

Агрохимические показатели. Проведенные исследования позволили установить положительное влияние диатомита на основные агрохимические показатели почвы. При этом по улучшению питательного режима почвы он не уступал полным дозам NPK: содержание минеральных форм азота ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) в пахотном слое увеличилось на 3–6 % (на фоне NPK – на 2–3 %), подвижных форм фосфора – на 2–5 % (на фоне NPK – на 2–3 %), подвижного калия – на 6–11 % (на фоне NPK – на 3–7 %) (таблица 2).

Преимущество вариантов с внесением диатомита и его смеси с мочевиной сохранялось до конца вегетации. Особо следует отметить, что при внесении диатомита в почву значительно увеличивалось количество водорастворимого кремния: в период возобновления вегетации озимых и посева яровой пшеницы до 20 % и до 23 % – ко времени уборки урожая. Последнее, несомненно, свидетельствует об улучшении кремниевого

Таблица 3 – Урожайность озимой пшеницы, т/га

Вариант	Урожайность		
	2004 г.	2005 г.	среднее за 2 года
1. Без удобрений (контроль)	1,83	1,27	1,55
2. N40P40K40	2,17	1,47	1,82
3. Диатомит 3 т/га	2,28	1,46	1,87
4. Диатомит 3 т/га + N20	2,47	1,51	1,99
5. Диатомит 3 т/га + N40	2,68	1,62	2,15
6. Диатомит 3 т/га + N40P20	2,51	1,56	2,04
7. Диатомит 3 т/га + N40P20K20	2,44	1,62	2,03
8. Диатомит 3 т/га + N40P40K20	2,52	1,68	2,1
9. Диатомит 3 т/га + N40P40K40	2,46	1,65	2,06
10. Диатомит 5 т/га	2,53	1,58	2,1
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
НСР ₀₅	0,10	0,11	

Таблица 4 – Урожайность яровой пшеницы, т/га

Вариант	Урожайность			
	2003 г.	2004 г.	2005 г.	среднее за 3 года
1. Без удобрений (контроль)	1,97	2,18	1,30	1,82
2. N40P40K40	2,39	2,44	1,51	2,10
3. Диатомит 3 т/га	2,19	2,36	1,42	1,99
4. Диатомит 3 т/га + N20	2,51	2,76	1,50	2,26
5. Диатомит 3 т/га + N40	2,63	2,89	1,53	2,35
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	

Таблица 5 – Влияние диатомита на урожайность и качество зерна озимой пшеницы (учхоз УГСХА, 2002 г.), ячменя (2004 г).

Вариант	Урожайность, т/га	Масса 1000 зерен, г	Белок, %	Клейковина, %	ИДК, ед.	Азот, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O, %
Без удобрений (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
НСР ₀₅	0,3	1,7	1,1	1,0	6	0,16	0,03	0,05

Таблица 6 – Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от внесения диатомита и аммиачной селитры (колхоз им. Вавилова, 2005 г.).

Вариант	Урожай - ность,	Качество зерна				
		сырая клейковина, %	ИДК, ед.	белок, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O, %
Без удобрений (контроль)	1,02	22,3	78	10,5	0,86	0,70
Диатомитовый порошок 3 т/га	1,11	23,0	68	11,3	0,85	0,77
Диатомитовый порошок 3 т/га +N20 кг/га	1,28	23,4	67	11,2	0,89	0,68
НСР ₀₅	0,12	0,7	5,5	0,8	0,02	0,06

питания растений при использовании диатомита в качестве удобрения.

Применение диатомита в качестве удобрения практически не оказало влияния на содержание гумуса и реакцию почвенного раствора.

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

Водный режим. В улучшении водного режима крайне важно сохранить в почвенном профиле поступающую с атмосферными осадками влагу путем снижения как инфильтрации в более глубокие слои, так и уменьшения потерь вследствие испарения с поверхности почвы. Анализ результатов наших исследований показал несомненную положительную роль диатомита в сохранении влаги как в пахотном, так и в метровом слое. Так, при возделывании яровой пшеницы (рисунок 1) превышение в запасах продуктивной влаги в пахотном слое при внесе-

нии диатомита в дозе 3 т/га составило перед посевом 7,5 мм, 5 т/га – 14,5 мм, перед уборкой – 9,3 и 17,4 мм.

В связи с тем, что при этом повышалась урожайность культур, закономерно снижался коэффициент водопотребления. В среднем за 4 года на формирование 1 т зерна озимой пшеницы на контроле затрачивалось 1 496 м³. При внесении минеральных удобрений и диатомита в дозе 3 т/га, в том числе совместно с N20 и N40, величина данного показателя составляла 1 324, 1 349, 1 286 и 1 182 м³ /т соответственно, т.е. снижалась на 10–21 %.

Таким образом, внесение диатомита в значительной степени способствовало повышению водоудерживающей способности чернозема выщелоченного, экономному и рациональному расходованию влаги в течение вегетации яровой и озимой пшеницы.

Микробиологическая активность почвы.

Об изменении биогенности почвы в зависимости от изучаемых факторов мы судили

Таблица 7 – Влияние различных доз диатомита в последствии на урожайность сельскохозяйственных культур

Вариант	Озимая пшеница, 2002 г.			Яровая пшеница, 2003 г.			Ячмень, 2004 г.			Ячмень, 2005 г.			Прибавка зерна за 4 года, т/га
	урожайность, т/га	отклонение от контроля		урожайность, т/га	отклонение от контроля		урожайность, т/га	отклонение от контроля		урожайность, т/га	отклонение от контроля		
		т/га	%		т/га	%		т/га	%		т/га	%	
Контроль	3,51	–	–	1,78	–	–	1,10	–	–	1,16	–	–	–
Диатомит, 5 т/га	3,89	+0,38	+11	1,86	+0,08	+5	1,54	+0,44	+40	1,21	+0,05	+4	0,95
Диатомит, 8 т/га	4,06	+0,55	+16	2,04	+0,26	+15	1,52	+0,42	+38	1,24	+0,08	+7	1,31
Диатомит, 10 т/га	4,27	+0,76	+22	2,19	+0,41	+23	1,38	+0,28	+25	1,27	+0,11	+10	1,56
НСР ₀₅	0,24			0,10			0,14			0,06			

Таблица 8 – Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы (2004–2005 гг.)

Показатель	Вариант					
	без удобрений (контроль)	N40P40K40	диатомит 3 т/га	диатомит 3 т/га +N40	диатомит 3 т/га + N40P40K40	диатомит 5 т/га + N40P40K40
Урожайность, т/га	1,55	1,82	1,87	2,15	2,06	2,24
Стоимость продукции, р./га	5 425,0	6 370,0	6 545,0	7 525,0	7 210,0	8 190,0
Производственные затраты на, р./га	4 298,9	6 190,3	4 896,9	5 355,3	6 271,3	6 920,0
Себестоимость, р./т	2 773,5	3 401,3	2 619,0	2 490,8	3 044,3	2 957,3
Условный чистый доход, р./га	1 126,1	179,7	1 648,1	2 169,7	938,7	1 270,0
Уровень рентабельности, %	26	3	34	41	15	18

по распаду льняной ткани. По мнению ряда авторов метод аппликации может наиболее полно характеризовать общую направленность микробиологических процессов.

Исследования показали, что диатомит благоприятно влияет на активность почвенных микроорганизмов: разложение льняного полотна под яровой пшеницей при внесении диатомита 3 т/га и N40P40K40 в среднем за два года исследований составило 20 %, при применении диатомита совместно с азотным удобрением – 30 % (на контроле 12 %).

Вышеизложенное подтверждается и улучшением азотного питания растений при

использовании диатомита в качестве удобрения.

Влияние диатомита и его смесей с минеральными удобрениями на состояние посевов яровой пшеницы

Фотосинтетическая активность растений. Основными показателями фотосинтетической деятельности растений являются площадь листовой поверхности, срок жизни листьев и продуктивность работы единицы площади листовых пластинок.

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 фотосинтетического потенциала (ФП), значение которого также повысилось от 3 до 39 % по фазам роста.

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

$$Y = 0,6 + 5,478x,$$

где Y – урожайность культуры, т/га; x – ФП в м² сутки/10 растений в фазу трубкования; $R=0,76$; $D = 57,9$ %.

При этом накопление сухого вещества под действием диатомита и его смесей с мочевиной по фазам роста увеличилось от 5 до 77 % (рисунок 2). Вариант с внесением полного минерального удобрения по всем изучаемым показателям фотосинтетической деятельности яровой пшеницы превышал вариант с внесением диатомита в чистом виде, но уступал смесям его с мочевиной.

Полегание посевов. Полегание зерновых – крайне нежелательный процесс, в связи с чем необходимо применять в системе их возделывания препараты, позволяющие увеличить прочность стебля. Исследования показали, что внесение диатомита в почву является одним из действенных факторов повышения устойчивости растений: полегание яровой пшеницы уменьшалось на 15 % (диатомит 5 т/га), тогда как при добавлении к данной дозе диатомита полных доз удобрений оно на столько же (15 %) увеличивалось.

Урожайность и качество продукции в зависимости от доз внесения диатомита и его смесей с минеральными удобрениями
Урожайность и качество зерна озимой

пшеницы

Как показали результаты исследований, диатомит оказал существенное положительное влияние на урожайность озимой пшеницы (таблица 3). При этом прибавка урожайности зерна при использовании диатомита в качестве удобрения в дозе 3 т/га оказалась практически такой же (в 2004 г. достоверно выше), что и при внесении N40P40K40. Добавление к диатомиту в дозе 3 т/га 20 кг д.в./га азота повышало урожайность озимой пшеницы по отношению к контролю в среднем за 2 года на 0,44 т/га, или на 28 %; по отношению к варианту с N40P40K40 – на 0,17 т/га (9 %). Наиболее высокая урожайность была получена на варианте с использованием диатомита 5 т/га совместно с полными дозами минеральных удобрений. Однако, разница в урожайности между данным вариантом и вариантом с внесением диатомита 3 т/га + N40 в 2004 г. незначительна, а в 2005 г. – на уровне НСР05.

В 2006 г. были повторены наиболее эффективные варианты, результаты оценки которых подтвердили данные предыдущих лет: прибавка урожайности по варианту диатомит 3 т/га + N40 составила 0,43 т/га, или 16 %.

Таким образом, для формирования более высокой урожайности озимой пшеницы достаточно использовать диатомит в дозе 3 т/га совместно с мочевиной в дозе 40 кг д.в./га. Применение РК - удобрений на фоне доз диатомита 3 и 5 т/га при возделывании озимой пшеницы, как будет показано ниже, экономически не оправдывается из-за дороговизны первых и больших расходов на транспортировку и внесение вторых.

Анализ результатов исследований 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 форм фосфора. Соответствующее уравнение имеет следующий вид:

$$Y = 0,142 + 0,297 x_1 + 0,0631 x_2,$$

где Y – урожайность зерна в т/га; x_1 и x_2 – содержание соответственно водораствори-

мого Si и подвижного P_2O_5 , мг/100 г почвы.

Урожайность и качество зерна яровой пшеницы

Применение диатомита и его смесей с минеральными удобрениями оказало положительное влияние на формирование урожайности и яровой пшеницы. В среднем за три года вариант с внесением 3 т/га диатомита + N40 превысил контроль по урожайности зерна на 0,53 т/га, или 29 % (таблица 4).

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

$$Y = -4,486 + 0,039x_1 + 0,0392x_2 + 0,0951x_3 + 0,116x_4 + 0,0617x_5,$$

где Y – урожайность яровой пшеницы, т/га; x_1 – содержание водорастворимого кремния, мг/100 г почвы; x_2 – содержание P_2O_5 , мг/100 г почвы; x_3 – содержание K_2O , мг/100 г почвы; x_4 – содержание $NO_3 + NH_3$ мг/100 г почвы; x_5 – сумма поглощенных оснований, мг-экв./100 г почвы.

Множественный коэффициент корреляции составляет 0,75, что свидетельствует о тесной связи между данными показателями и урожайностью яровой пшеницы. Наиболее высокая доля в формировании урожайности данной культуры приходится на подвижный калий (26 %), минеральные формы азота (13 %) и сумму поглощенных оснований (12 %), которая определяет кислотно-основные свойства и условия питания растений.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что совместное внесение диатомита в дозе 3 т/га с азотным удобрением в дозе 40 кг д.в. /га оказало наиболее благоприятное влияние на величину урожая яровой пшеницы. При этом улучшалось качество продукции: содержание клейковины увеличилось на 0,9–1,9 %. Следует отметить, что при внесении диатомита содержание кремния в продукции яровой и озимой пшеницы повышалось на 2–36 %.

Производственные испытания эффективности диатомита и его смеси с амми-

ачной селитрой в технологиях возделывания озимой и яровой пшеницы

Основы научных исследований по агрономии предполагают обязательное испытание предлагаемых приемов повышения урожайности культур в производственных условиях. В связи с этим нами в 2002–2005 гг. были проведены производственные опыты с использованием диатомита как в чистом виде, так и в смеси с аммиачной селитрой. Ниже приводятся результаты производственных опытов, проведенных в учхозе УГСХА (2002 г.) и в колхозе им. Вавилова Инзенского района Ульяновской области (2005 г.).

Почва опытного поля в обоих хозяйствах чернозем выщелоченный легкосуглинистый. Площадь делянок в учхозе УГСХА составляла 3 га, в колхозе им. Вавилова – 1,5 га. Повторность трехкратная. Диатомит вносился в почву в учхозе УГСХА в дозе 8 т/га, в колхозе им. Вавилова – 3 т/га под предпосевную культивацию. Данные таблиц 5, 6 убедительно показывают высокую эффективность диатомита и его смеси с азотным удобрением как в повышении урожайности культур, так и улучшении качества продукции. Прибавка урожайности озимой пшеницы в учхозе УГСХА составила 29 %. При этом улучшались все показатели качества продукции.

Последствие диатомита на урожайность и качество сельскохозяйственных культур

Высокоразвитая адсорбирующая поверхность диатомита и достаточно высокая доза внесения предполагают пролонгированное действие его на урожайность последующих культур. Нами проводилось изучение последствия диатомита в опытах, заложенных доцентом кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии Ульяновской ГСХА Яшиным Е.А. [6]. Проведенные исследования показали, что положительное действие диатомита проявляется не менее 4-х лет (таблица 7).

В последствии влияние диатомита на улучшение качества продукции сохранялось.

Влияние диатомита и его смесей с мочевиной на трансформацию тяжелых металлов в системе почва – растение

Внесение диатомита (как в чистом виде, так и совместно с минеральными удобрениями) не приводило к достоверным изменениям в содержании тяжелых металлов (ТМ) в почве. Однако наблюдалась заметная тенденция снижения подвижности тяжелых металлов при внесении его в почву. Так, содержание подвижных форм кадмия в пахотном слое уменьшилось на 11–22 %. Учитывая, что кадмий является одним из самых токсичных элементов, следует признать, что диатомиты являются одним из важных средств получения экологически безопасной продукции. Последнее подтверждается анализом содержания ТМ в продукции: если применение минеральных удобрений приводило к заметному повышению содержания ряда элементов в зерне озимой и яровой пшеницы, то использование диатомита в качестве удобрения как в чистом виде, так совместно с NPK – к снижению накопления их в продукции. Например, внесение диатомита в почву в дозах 3 и 5 т/га способствовало уменьшению поступления свинца в зерно как озимой, так и яровой пшеницы в 1,3 раза, кадмия – на 13 %.

Экономическая и биоэнергетическая эффективность технологий возделывания озимой пшеницы с использованием диатомита и его смесей с минеральными удобрениями

Экономическая эффективность.

Оценка экономической эффективности технологии возделывания озимой пшеницы с использованием диатомита и его смесей с минеральными удобрениями показала, что применение диатомита в чистом виде в дозе 3 т/га, несмотря на достаточно высокие затраты на транспортировку и внесение, является рентабельным (таблица 8).

Уровень рентабельности на данном варианте превысил контроль на 8 %, а вариант с полной дозой минерального удобрения – 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 экономически менее рентабельно, чем возделывание озимой пшеницы без удобрений.

Таким образом, применение диатомита в чистом виде и совместно с азотным удобрением является экономически целесообразным и рентабельным, несмотря на высокие материально-денежные затраты.

Биоэнергетическая оценка

Анализ биоэнергетической оценки технологии возделывания озимой пшеницы показал: применение диатомита на фоне различных доз минеральных удобрений связано со значительными энергетическими затратами: от 19,73 до 31,15 ГДж/га. При этом существенных различий в эффективности изучаемых вариантов не выявлено. Тем не менее, наиболее энергетически эффективными являются варианты с использованием диатомита 3 т/га (энергетический коэффициент – 1,32, энергоёмкость производства зерна – 12,63 МДж/т) и смеси диатомита с мочевиной в дозе 40 кг д.в. (энергетический коэффициент – 1,31, энергоёмкость производства зерна – 12,74 МДж/т). Анализ структуры затрат энергии в технологиях возделывания озимой пшеницы показал, что наибольшую долю занимают топливо (около 31–41 %), минеральные удобрения (13–18 %) и семена (24–37 %). На долю диатомита приходится от 10 до 14 % энергетических затрат.

Перспективы применения диатомита и его смесей с минеральными удобрениями в растениеводстве

В условиях дороговизны минеральных удобрений и практически полного прекращения их применения большое значение приобретает использование местных нетрадиционных минерально-сырьевых ресурсов в качестве удобрения сельскохозяйственных культур. Особый интерес в этом отношении представляют высококремнистые породы, представленные преимущественно активным кремнеземом.

Кремний является составной частью всех растений и содержится в них в среднем от 0,02 до 0,15 %. Интенсивно ассимилирующие кремний из почвы растения принято называть «кремнефилами», среди них пшеница, овес, ячмень, просо, рис и др. Напри-

мер, в золе зерна ячменя содержится более 40 % оксида кремния, в соломе – 91 %; шелухе риса – 93 %. Следовательно, кремний необходим растениям.

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. Было установлено, что кремний играет защитную роль при любых стрессовых ситуациях, будь то атака насекомых-вредителей, грибных заболеваний или воздействие низких температур, химическое загрязнение и т.д. Такая универсальность обусловлена способностью 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 [3,4].

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. Кроме того, при внесении в почву кремниевых соединений возможно улучшение азотного питания растений через стимулирующее влияние их на развитие почвенной микрофлоры.

В силу вышеуказанных особенностей возможно использование природных сорбентов 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, еще в 80-е годы прошлого столетия в США для нужд сельского хозяйства

ежегодно использовалось более 800 тыс. т цеолитов, около 400 тыс. т диатомитов, 800 тыс. т бентонитов и т.д. Наша страна имеет огромные запасы природных сорбентов, однако использование их в сельскохозяйственном производстве ничтожно.

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, сахарная и столовая свекла) и овощных (морковь, томаты, огурцы, капуста) культур при использовании как в чистом виде, так и в смеси с куриным пометом и минеральными (азотными) удобрениями. Так, использование диатомита в дозах 3 и 5 т/га и его смесей с минеральными удобрениями способствовало повышению урожайности озимой пшеницы на 21–44 %, яровой пшеницы – на 9–29 %. При этом улучшалось качество продукции: содержание клейковины в зерне озимой и яровой пшеницы повышалось на 2 % и более.

Таким образом, высокая эффективность диатомита в качестве многофункционального удобрения сельскохозяйственных культур несомненна. Однако необходимо отметить, что предлагаемые производству дозы диатомита достаточно большие (3–5 т/га) и сопряжены со значительными 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 связи с этим необходимо продолжить исследования по изучению возможности снижения дозы внесения диатомита в чистом виде и его смесей с минимальными и средними дозами минеральных удобрений, в том числе за счет совместного примене-

ния с биологическими препаратами. Первые опыты в этом направлении, проводимые на кафедре почвоведения, агрохимии и агроэкологии Ульяновской ГСХА, показали его перспективность.

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.

Выводы

1. Диатомит является экологически безопасным кремниевым удобрением, оказывающим при внесении в почву (как в чистом виде, так и в смеси с минеральными удобрениями) комплексное положительное воздействие на систему почва–растение.

2. Внесение диатомита как в чистом виде (3 и 5 т/га), так и совместно с мочевиной оказало оструктурирующее и разуплотняющее действие на почву под яровой и озимой пшеницей. При этом плотность почвы перед посевом яровой пшеницы уменьшалась от 1,23 г/см³ на контроле до 1,14 г/см³, перед возобновлением вегетации озимой пшеницы – от 1,25 г/см³ до 1,15 г/см³. Перед уборкой показатели варьировали от 1,29 до 1,19 г/см³. Содержание агрономически ценных агрегатов к концу вегетации озимой пшеницы увеличилось на 16 и 17 %, яровой – на 10 и 13 % соответственно. Действие диатомита на агрофизические свойства чернозема выщелоченного проявлялось при применении его совместно с минеральными удобрениями.

3. Диатомит при использовании его в системе удобрений по улучшению питательного режима почвы не уступал полным дозам удобрений: при этом содержание минеральных форм азота (NO₃ + NH₄) в пахотном слое увеличилось на 6 %, подвижных форм фосфора на 5 %, подвижного калия – на 11 %. Преимущество вариантов с внесением диатомита и его смеси с мочевиной сохранялось до конца вегетации.

4. Внесение диатомита в почву приводило к повышению содержания в ней водо-

растворимого кремния до 20 % ко времени возобновления вегетации озимой и посева яровой пшеницы и до 23 % – ко времени уборки культур.

5. Диатомит благоприятно влиял на активность почвенных микроорганизмов: разложение льняного полотна под озимой пшеницей при внесении диатомита в дозе 3 т/га и N40P40K40 в среднем за два года исследований составило 20 %, при применении диатомита совместно с азотным удобрением – 30 % (на контроле 12 %).

6. Диатомит и его смеси с азотным удобрением положительно влияли на формирование фотосинтетического потенциала растений яровой пшеницы и увеличивали его на 3–39 % (в фазу налива зерна) через увеличение площади листовой поверхности и сроки ее функционирования.

7. Внесение в почву диатомита в дозах 3 и 5 т/га повышало урожайность озимой пшеницы на 21 и 35 %, яровой – на 9 и 15 % соответственно в сравнении с контролем, которая 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, и в 1,3 раза – яровой пшеницы. Для получения максимального эффекта достаточно применение в технологиях яровой и озимой пшеницы диатомита в дозе 3 т/га совместно с мочевиной (40 кг д.в./га). Производственные испытания подтвердили результаты мелкоделяночных опытов.

8. Диатомит обладает выраженным пролонгированным действием: урожайность ячменя от 5 т/га на 3-й год внесения повысилась на 40 %, на 4-й – на 4 %. При увеличении дозы внесения до 10 т/га превышение урожайности ячменя на 4-й год составило 10 %.

9. Диатомит является природным сорбентом, способствующим снижению поступления тяжелых металлов и радиоактивных изотопов в продукцию как в прямом действии, так и последствии: подвижность кадмия в почве уменьшалась на 11–22 %, поступление его в растения – на 13 %.

10. Применение диатомита как в чистом виде в дозе 3 т/га, так и совместно с азотным удобрением в дозе 40 кг д.в./га в технологиях возделывания зерновых культур экономически и энергетически эффективно. Уровень

рентабельности производства зерна озимой пшеницы при этом повышался в сравнении с контролем на 8–15 %, коэффициент биоэнергетической эффективности на 4 и 3 % соответственно по вариантам.

Литература

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
2. Дистанов У.П., Конюхова Т.П. Природные сорбенты и охрана окружающей среды // Химизация сельского хозяйства. 1990. № 9. С.34–39.
3. Матыченков В.В. Аморфный диоксид кремния в дерново-подзолистой почве и его влияние на растения: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 1990. 29 с.
4. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Аммосова Я.М. Определение доступного растениями кремния в почвах // Агрохимия. 1997. № 1. С.76–80.
5. 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. Ульяновск, 2004. 20 с.