

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



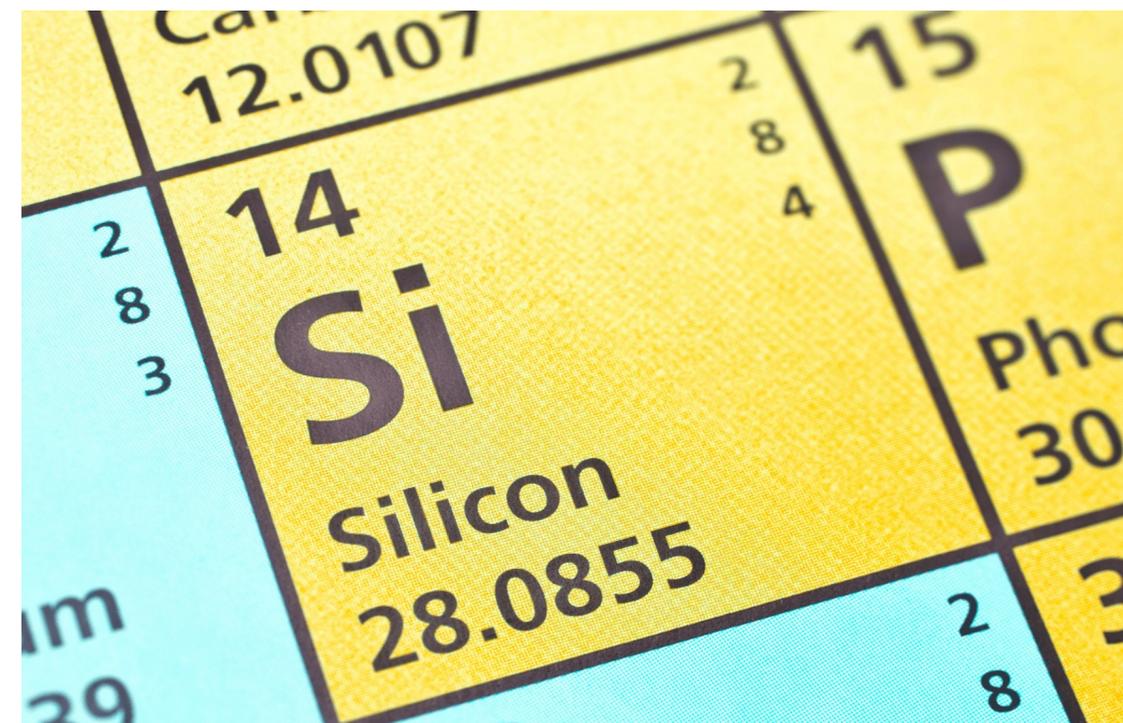
## **Кремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур**

**Куликова А.Х. - доктор с.х. наук, профессор  
Волкова Е.С. - аспирант**



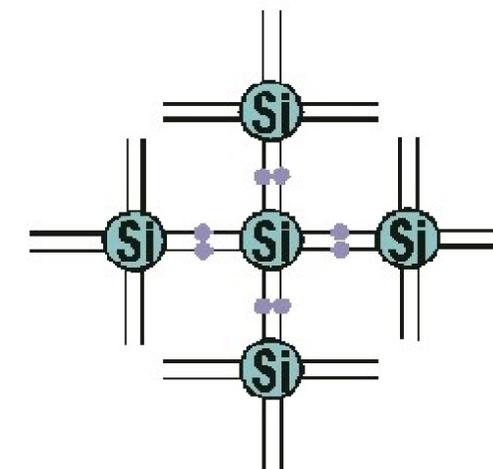
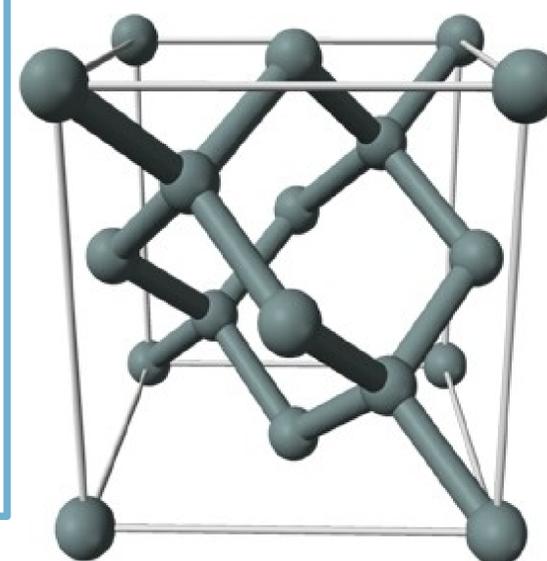
**«Кремний вырисовывается в мироздании как элемент, обладающий исключительным значением»**

**В.Н. Вернадский**



**«Насколько вода является уникальной жидкостью, настолько и аморфный кремнезем уникален как твердое вещество. Они во многом схожи»**

**Р.Айлер**



# Роль кремния в системе «почва-растение»

кремниевые вещества являются базовыми компонентами почвенного тела (среднее содержание Si в почвах 33 %), составлял его физическую основу

кремниевые соединения оказывают комплексное положительное действие на свойства почвы: физические (строение пахотного слоя, структурное состояние, плотность), биологические (деятельность почвообитающих микроорганизмов, ферментативная активность), химические (содержание элементов питания в доступной форме

кремний определяет иммунную систему растений и защиту посевов в любых стрессовых ситуациях (фитопатогенные организмы, загрязнение тяжелыми металлами и остаточными количествами пестицидов, высокие и низкие температуры, засоленность и т. д.)

кремний один из основных макроэлементов, необходимых растениям и являющийся при дефиците в почвах его подвижных соединений, лимитирующим урожайность сельскохозяйственных культур элементом



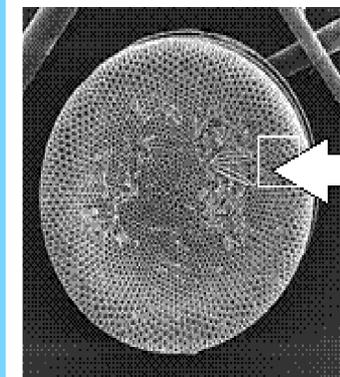
# Кремнистые породы

## Диатомиты

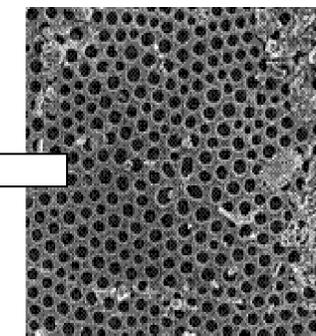
Диатомиты (кизельгур, инфузорная земля) — уникальная порода осадочного биогенного генеза, образованная из остатков скелетов диатомовых водорослей (Diatomeae).

Панцири диатомей представляют из себя полые внутри микроскопические тельца, которые обеспечивают породе очень высокую дисперсность (пористость до 80 % и более) и удельную емкость, ионообменную способность и каталитическую активность.

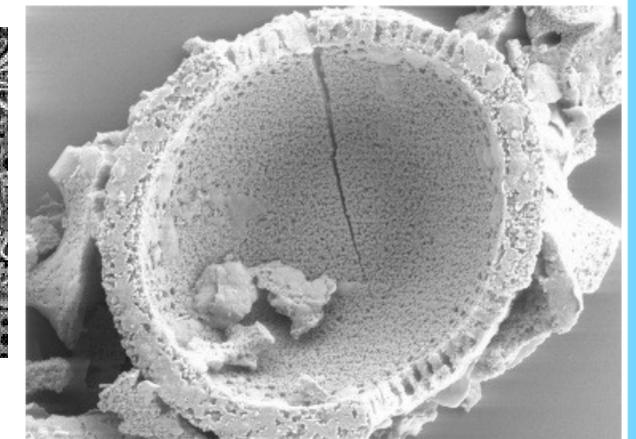
В России на баланс добычи диатомовых пород поставлено более 30-и месторождений с ориентировочными запасами более 50 млрд. м<sup>3</sup>. В нашей стране среди прочих Ульяновская область считается одной из наиболее богатых месторождениями диатомитов, опок и трепелов с общими запасами более 80 млн. м<sup>3</sup>.



Створка диатомей  
(увеличено в 2500 раз)



Микропоры



# Кремнистые породы

## Цеолиты

**Цеолиты - полиминеральная пористая порода, представляющая собой сложный комплекс каркасных полигидратированных алюмосиликатов. Отличительной особенностью цеолитов является их строение, пронизанное каналами и полостями, связанными между собой и окружающей средой, в которых определенным образом находятся ионы  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ , а также  $H_2O$ , обладающими свободой движения.**

**Благодаря данным особенностям цеолиты обладают высокой адсорбционной, ионообменной способностями и каталитической активностью, а также обратимой дегидратацией. Отмеченные особенности цеолита придают ему свойство «молекулярных сит».**

**Цеолиты чрезвычайно широко распространены, в мире известно около 1000 месторождений. Основные разведанные запасы природных цеолитовых пород находятся в Европе, России, Японии и США. В России выявлено около 120 месторождений цеолитовых пород, из них наиболее крупные — Алатырское Чувашской республики (1860 тыс.м<sup>3</sup>) и Хотынецкое Орловской области в 56,5 млн<sup>3</sup>.**

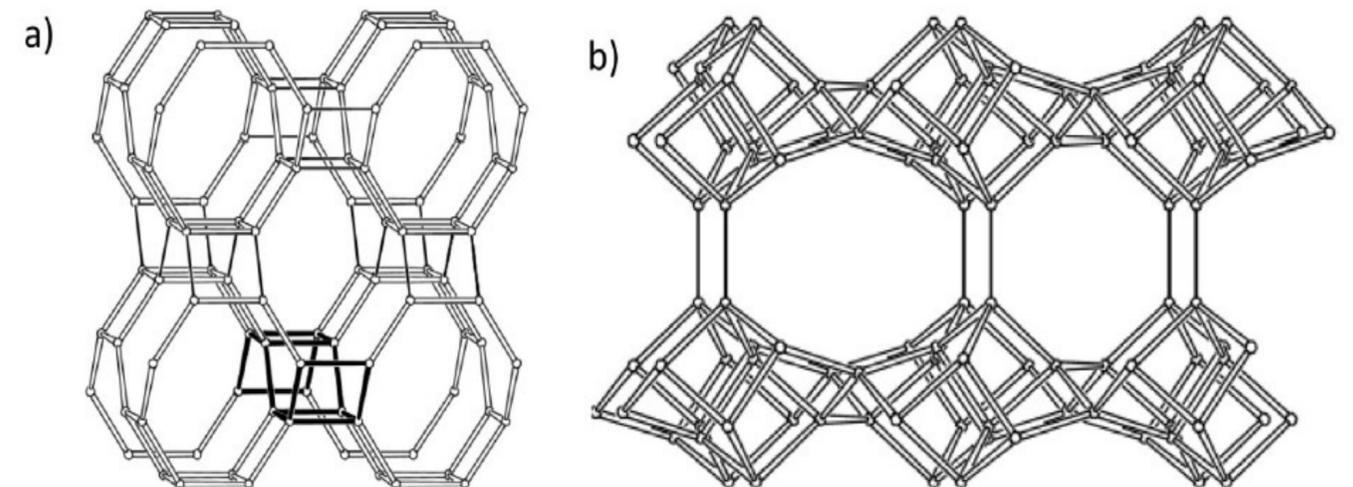


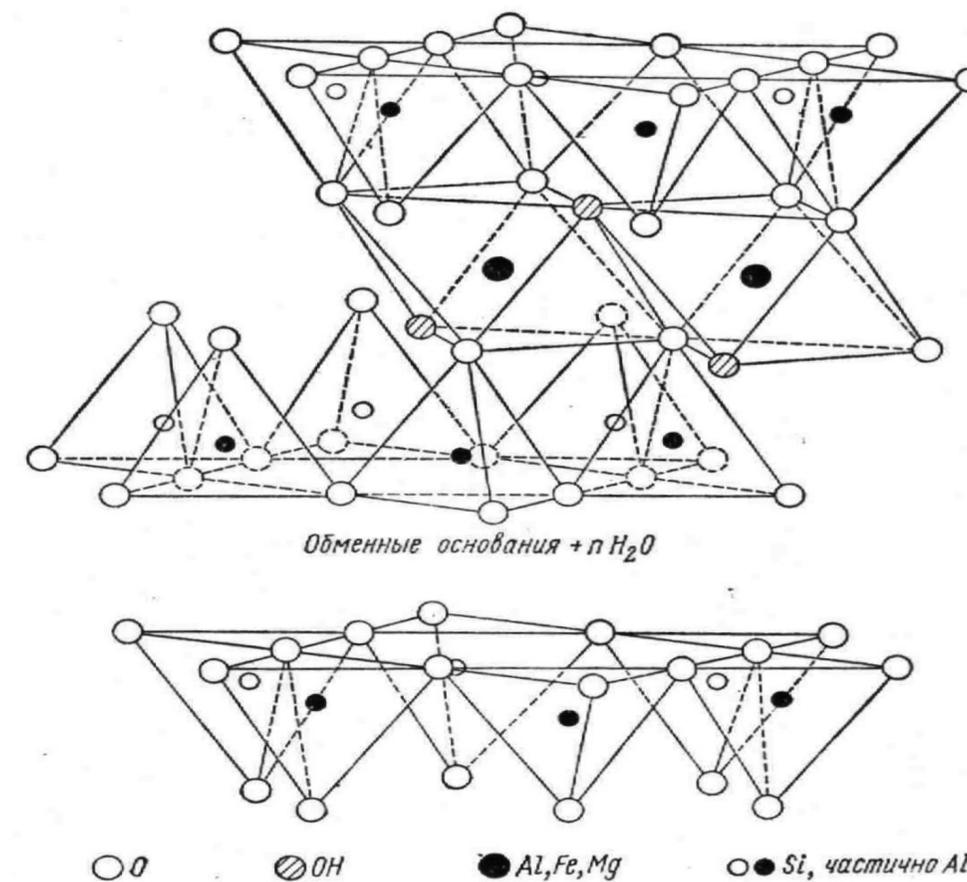
Fig. 1. Structure of analyzed zeolite materials: a) NaP1 (synthetic zeolite), b) clinoptilolite (natural zeolite) [57].

# Кремнистые породы

## Бентониты

**Бентониты (бентонитовая глина) — полиминеральная глинистая порода осадочного происхождения, состоящая в основном из полигидратированных каркасных алюмосиликатов глинистых минералов (монтмориллонит, каолинит, галлуазит, хлорит и др.).**

**Мировые запасы бентонитов составляют более 10 млрд. тонн, большая часть из которых находится в Китае (45 %), США (15 %) и Турции (7 %). В нашей стране насчитывается около 160 млн. тонн бентонитовых глин. Основные из них расположены в Республике Татарстан (43,8 %), а также в Омской (20 %) и Курганской (13,8 %) областях.**



## Среднее содержание макроэлементов в кремнистых породах

Показатель		Единица измерения	Порода		
			диатомит	цеолит	бентонит
Кремний (SiO <sub>2</sub> )	общий (валовый)	%	83,1	56,6	57,4
	аморфный	%	42,1	26,7	18,4
Кальций (CaO)	общий	%	0,52	13,30	1,81
	обменный	мг/кг	10	4800	28
Магний (MgO)	общий	%	0,48	1,90	3,01
	обменный	мг/кг	39	1600	30
Натрий (Na <sub>2</sub> O)	общий	%	0,42	0,20	0,78
	обменный	мг/кг	-	-	5,46
Алюминий (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	общий	%	5,82	19,60	14,70
Железо (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	общий	%	2,47	2,34	3,0
Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	общий	%	0,05	0,23	0,004
	растворимый	мг/кг	37	260	65
Калий (K <sub>2</sub> O)	общий	%	1,25	1,82	1,03
	растворимый	мг/кг	350	250	0,87

## Общие физические и физико-химические свойства кремнистых пород

Показатели	Единица измерения	Порода		
		диатомит	цеолит	бентонит
Плотность	г/см <sup>3</sup>	0,5-0,9	2,0-2,3	2,6-2,8
Удельная поверхность	м <sup>2</sup> *10 <sup>3</sup> /кг	20-50	47-95	50-120
Эффективность диаметра пор	нм	70-100	0,3-0,6	2-8
Ионообменная емкость	мг-экв/100 г	12-80	34-48	80-150
РН (водная вытяжка)	ед. рН <sub>H2O</sub>	7,2	8,3	9,5

Таким образом, высококремнистые породы характеризуются наноструктурированной организацией, высокими: полидисперсностью, ионообменной способностью, каталитической активностью, высоким содержанием кремния (в диатомитах до 80 % и более), в том числе аморфного (до 40 % и более).

# Влияние кремнистых пород на урожайность сельскохозяйственных культур

## Урожайность яровой пшеницы и ячменя в зависимости от применения диатомита, макро- и микроэлементов, т/га, (2003–2005 гг.)

Вариант		Яровая пшеница	Отклонение от контроля		Ячмень	Отклонение от контроля	
			т/га	%		т/га	%
Контроль		1,58	-	-	1,79	-	-
Диатомит 5 тга		2,25	+0,67	42	2,72	+0,93	52
Диатомит 2,5 т/га + N28P35K32		2,28	+0,70	44	2,65	+0,86	48
Диатомит 2,5 т/га + N28P35K32 + Mo + Mn		2,74	+1,16	73	3,19	+0,40	78
N56P70K63		2,31	+0,73	46	2,69	+0,90	50
N56P70K63 + Mo + Mn		2,39	+0,81	51	2,70	+0,91	51
НСР <sub>05</sub>	2003 г.	0,13			0,16		
	2004 г.	0,12			0,15		
	2005 г.	0,12			0,13		

Урожайность яровой пшеницы при использовании диатомита в дозе 5 т/га мало уступает минеральным удобрениям, ячменя — превосходит их.



**ЯРОВАЯ ПШЕНИЦА**

*Triticum aestivum*

## Влияние диатомита и его смеси с птичьим пометом на урожайность и качество зерна озимой пшеницы (2002 г., площадь учетной делянки 3 га, повторность четырехкратная)

Вариант	Урожайность, т/га	Масса 1000 зерен, г	Белок, %	Клейковина, %	ИДК, ед	Азот, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	K <sub>2</sub> O, %
Контроль	2,4	33,5	9,99	21,5	108	1,75	0,62	0,29
Диатомит 8 т/га	3,1	36,2	10,80	23,9	88	1,93	0,67	0,35
Диатомит + птичий помет 5 т/га	2,8	38,9	11,93	24,8	78	2,09	0,77	0,43
НСР <sub>05</sub>	0,3	1,7	1,10	0,1	6	0,16	0,03	0,05



### Производственные опыты (учебно-опытное хозяйство УГСХА)

Внесение в почву диатомита при возделывании озимой пшеницы как в чистом виде, так и в смеси с куриным пометом не только обеспечило повышение урожайности зерна на 0,4-0,7 т/га, но и улучшило его качество: содержание клейковины повысилось на 2,4-3,3 %. совместное использование диатомита с птичьим пометом позволяет снизить нормы применения данных удобрений.

## Влияние предпосевной обработки семян диатомитом и минеральных удобрений на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы (2007-2008 гг.)

Вариант		Урожайность, т/га	Отклонение от контроля		Содержание сахара	Выход сахара	
			т/га	%		т/га	Отклонение от контроля
1	Контроль	29,5	–	–	16,8	5,0	–
2	N60P60K60	40,2	+10,7	36	17,3	7,0	40
3	Диатомит 40 кг/га	37,2	+7,7	26	19,1	7,1	42
4	N60P60K60 + диатомит 40 кг/га	42,2	+12,7	43	19,4	8,2	64
5	N30P30K30 + диатомит 40 кг/га	38,4	+8,9	30	19,5	7,5	50
6	N15P15K15 + диатомит 40 кг/га	39,8	+10,3	35	18,5	7,4	48
НСР <sub>05</sub>		2,0	–	–	0,2	–	–

Предпосевная обработка семян сахарной свеклы (доза 40 кг/га) обеспечивает такой же выход сахара с 1 га, что и полная доза минеральных удобрений (N60P60K60 )

## Урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы в зависимости от применения в качестве удобрения диатомита

Вариант	Урожайность, т/га	Содержание, %				Выход сахара, т/га
		сахара	азота	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Контроль (без удобрений)	38,5	14,2	0,19	0,10	0,24	5,7
Диатомит 3 т/га	40,5	17,8	0,28	0,14	0,30	7,2
НСР <sub>05</sub>	1,4	1,0	0,09	0,10	0,12	—

Применение диатомита в качестве удобрения (3 т/га) повысило содержание в корнеплодах на 3,6 %, выход сахара с одного гектара — 1,5 тонны.



**САХАРНАЯ СВЕКЛА**

*Beta vulgaris*

## Влияние диатомита на урожайность проса, подсолнечника и зеленой массы кукурузы (2021 г.)

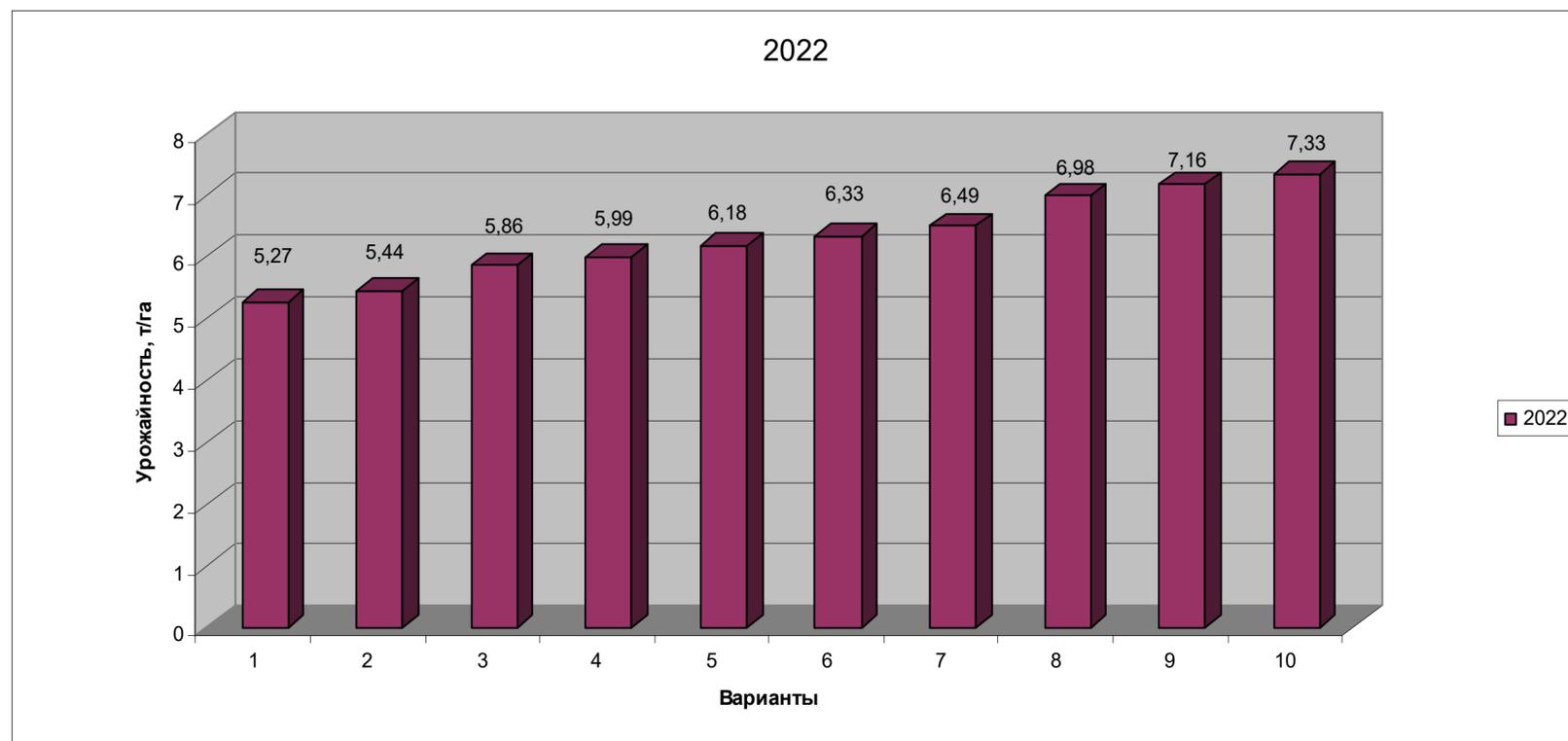
№ п/п	Вариант	Просо			Подсолнечник			Зеленая масса кукурузы		
		т/га	Отклонение от контроля		т/га	Отклонение от контроля		т/га	Отклонение от контроля	
			т/га	%		т/га	%		т/га	%
1	Контроль	2,62	-	-	1,91	-	-	34,50	-	-
2	Диатомит карьерный 3 т/га	3,44	0,82	31	2,25	0,33	18	41,10	6,60	19
3	Диатомит модифицированный 0,5 т/га	3,26	0,64	24	2,33	0,42	22	40,23	5,73	17
НСР <sub>05</sub>		0,15	-	-	0,12	-	-	0,94	-	-



### Производственные опыты (колхоз им. Калинина Вешкаймского района Ульяновская область)

Производственные опыты подтвердили высокую эффективность диатомита при выращивании проса, подсолнечника и зеленой массы кукурузы.

## Влияние цеолита, в том числе обогащенного аминокислотами, на урожайность зерна озимой пшеницы (2022 г.)



1. Контроль;
2. Цеолит, 250 кг/га;
3. Цеолит, 500 кг/га;
4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га;
5. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га;
6. NPK;
7. Цеолит, 250 кг/га + NPK;
8. Цеолит, 500 кг/га + NPK;
9. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га + NPK;
10. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га + NPK

Применение цеолита в качестве удобрений озимой пшеницы повысили урожайность зерна на 0,17-0,59 т/га, при обогащении аминокислотами — на 0,72-0,83 т/га, мало уступая минеральным удобрениям. При использовании их на фоне NPK прибавка урожайности составила 1,89-2,01 т/га.

### ОЗИМАЯ ПШЕНИЦА *Triticum aestivum*



# Влияние диатомита и его смеси с птичьим пометом на урожайность ячменя (2022 г.)

№ п/п	Варианты	Урожайность, т/га	Отклонение от контроля	
			т\га	%
1	Контроль	4,28	-	-
2	Диатомит 250 кг/га	4,40	+0,12	3
3	Диатомит 500 кг/га	4,54	+0,26	6
4	Диатомит + КП 250 кг/га	4,78	+0,50	12
5	Диатомит+ КП 500 кг/га	5,01	+0,73	17
6	N40P40K40 (NPK)	4,83	+0,55	13
7	NPK + Диатомит 250 кг/га	4,95	+0,67	16
8	NPK + Диатомит 500 кг/га	5,09	+0,81	19
9	NPK + Диатомит + КП 250 кг/га	5,21	+0,93	22
10	NPK + Диатомит + КП 500 кг/га	5,32	+1,04	24
	НСР05	0,21		



**Удобрения на основе диатомита и птичьего помета обеспечивает урожайность ячменя, превышающую минеральные удобрения.**

# Влияние кремнистых пород на свойства почвы

**Высокая эффективность высококремнистых пород в качестве удобрения сельскохозяйственных культур обусловлено комплексным положительным влиянием их на свойства и режим почвы**

## - Агрофизические

**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 <sup>3</sup>		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 <sub>05</sub>	0,03	0,02	2,0	–

Внесение в почву диатомита в чистом виде (3 и 5 т/га) оказывает оструктурирующее и разуплотняющее действие на почву при возделывании любых культур, что создавало более благоприятное строение пахотного слоя.

## - Водный режим

Диатомит в значительной степени способствует повышению водоудерживающей способности почвы, экономичному и рациональному использованию запасов продуктивной влаги в течении вегетации сельскохозяйственных культур.

**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 <sub>05</sub>	3,3	5,6	3,6	5,1

## - Питательный режим

### Агрохимические показатели почвы под посевами сахарной свеклы в зависимости от внесения диатомита

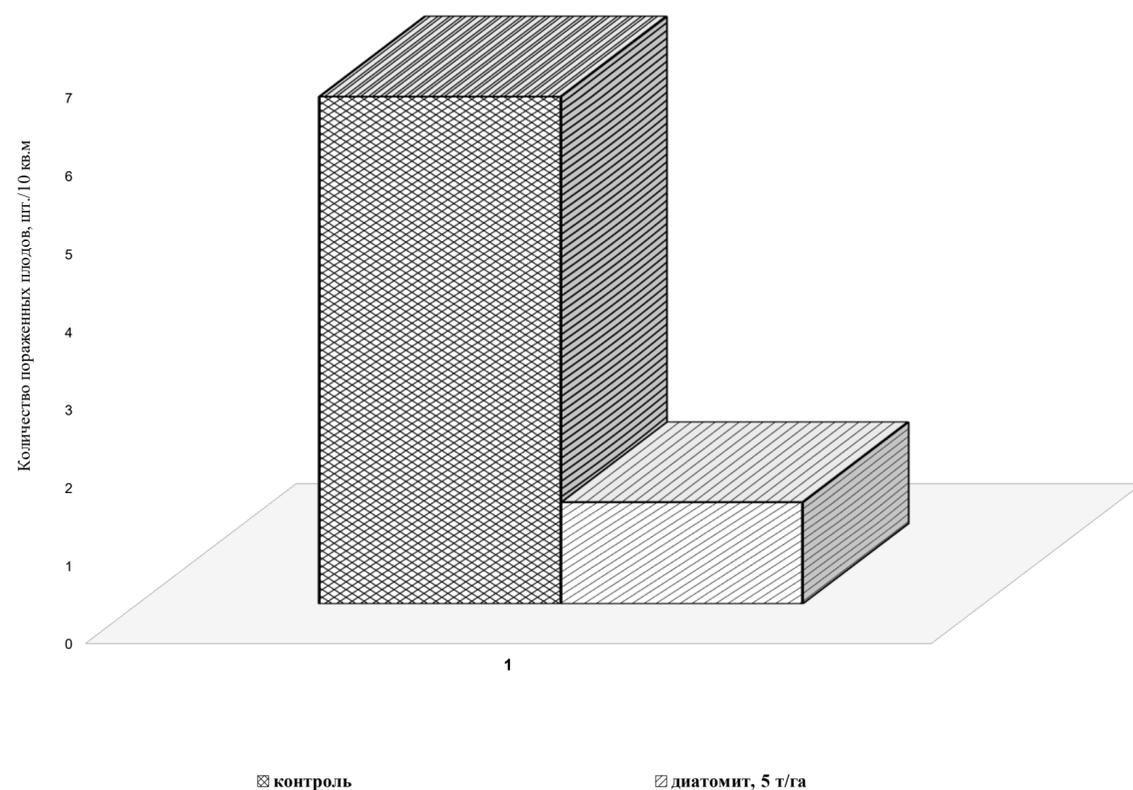
Вариант	Гумус, %	pH <sub>KCl</sub>	мг/кг			
			Si водорастворимый	NO <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Перед посевом						
Контроль	4,39	5,89	33,5	139	155	149
N60P60K60	4,38	5,92	34,0	155	165	164
Диатомит 3 т/га	4,40	5,85	35,3	146	168	168
Диатомит 3 т/га + N60	4,42	5,89	34,8	152	175	165
Диатомит 5 т/га	4,41	5,90	39,3	147	174	170
В период уборки						
Контроль	4,35	5,88	33,4	146	161	152
N60P60K60	4,37	5,86	31,4	160	170	166
Диатомит 3 т/га	4,34	5,90	36,6	158	186	174
Диатомит 3 т/га + N60	4,32	5,95	36,9	463	180	169
Диатомит 5 т/га	4,35	5,92	40,4	159	184	172

Диатомит благоприятно (через улучшение агрофизических показателей и водного режима) влияет на биогенность почвы: активность почвенных микроорганизмов повышалась на 20-30 %, что положительно сказалось на питательном режиме почвы.



Внесение диатомита в почву приводило к повышению содержания в ней водорастворимого кремния на 20-25 %, что способствовало оптимизации кремниевого питания растений.

В связи с высоким содержанием аморфного кремния кремнистые породы обладают защитными свойствами: поражаемость грибными заболеваниями томатов снижалась на 80 %, повышалась устойчивость к полеганию зерновых культур.



### Влияние диатомита на пораженность плодов томатов вершинной гнилью

### 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

## 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 затраты 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 рентабельности, %	26	3	34	41	15	8

Применение диатомита в качестве удобрения сельскохозяйственных культур экономически и энергетически более эффективно, чем использование минеральных удобрений.

## 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 полегаетности зерновых культур

Улучшению качества продукции



**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, что позволит поднять земледелие на качественно более высокий уровень.**



**Спасибо  
за внимание!**