

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦЕОЛИТА И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И АГРОХИМИЧЕСКУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ СВЕТЛО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ

В.И. Титова, Н.В. Забегалов

ФГБОУ ВПО «Нижегородская ГСХА», г. Нижний Новгород, Россия

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в нашей стране и за рубежом стремительно возрастает интерес к применению цеолита во многих сферах деятельности человека. В России цеолиты находят широкое применение в качестве компонента тепличного субстрата при выращивании различных сельскохозяйственных культур. Их используют для повышения плодородия почв и эффективности действия минеральных удобрений, уменьшения их слеживаемости, снижения содержания тяжелых металлов в почвах и растительных продуктах, очистки загрязненных вод в рыбном хозяйстве, дезодорации животноводческих помещений, в качестве добавок к комбикормам и концентратам [1, 2, 3].

Как показали исследования ряда ученых, цеолиты благодаря ионообменной способности при внесении в почву улучшают ее агрофизические и агрохимические свойства, нейтрализуют излишнюю кислотность, увеличивают емкость катионного обмена, пролонгируют действие внесенных удобрений, предотвращают вымывание питательных веществ [4–10]. Отмечено значительное увеличение под влиянием цеолитов поглотительной способности малоплодородных почв [11, 12]. Исследованиями выявлено, что активный кремнезем, поступающий в растения, способствует утолщению кремнецеллюлозного слоя эпидермальных тканей в междоузлиях соломины, повышая их устойчивость к различным стрессовым ситуациям [13]. По мнению [14, 15], кремний влияет на гормональный статус растений, внося изменения в баланс фитогармонов, повышая содержание ауксинов, цитокининов и гиббереллинов.

В целом использование природных кремнийсодержащих материалов может дать положительные результаты почти во всех почвах и на 10–30% увеличить урожайность многих сельскохозяйственных культур [16, 17] с последствием в течение 3–4 лет и более. Однако в зависимости от месторождения минералогический и химический состав цеолитов сильно разнится, что предопределяет их различную эффективность в сельскохозяйственном производстве [18, 19] и требует изучения материалов как каждого конкретного месторождения, так и исследований в разных почвенно-климатических условиях.

Целью исследований явилось изучение влияния цеолита Хотынецкого месторождения Орловской области (содержание доступного растениям кремния составляет не менее 20% от валового запаса) на урожайность, основные показатели качества яровой пшеницы и овса, а также на обеспеченность почвы

2. Плодородие почв и применение удобрений

соединениями кремния и его усвоение зерновыми культурами. Химический состав цеолита приведен в таблице 1.

Таблица 1

**Физико-химические свойства цеолитсодержащих пород
Хотынецкого месторождения [20]**

Показатель	Значение
Минералогический состав, %	клиноптилолит – 35–37; кристобалит – 12–38; кварц – 22; монтмориллонит – 5–14; гидрослюда – 8–10; кальцит – 3
Плотность, г/см ³	2,2
Содержание минерала, %	38–45
Объемная масса, г/см ³	1,28
Катионообменная способность, мг–экв./100 г	34,2
pH	8,3
Химический состав, %	
SiO ₂	62,6
Al ₂ O ₃	19,6
CaO	8,17
MgO	2,2
Na ₂ O	1,5
K ₂ O	1,82
Токсичные элементы, мг/кг	
Свинец	23
Кадмий	1,2
Мышьяк	1,3
Ртуть	–

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в условиях вегетационного опыта (сосуды Митчерлиха на 5 кг), заложенного в 4-кратной повторности, на светло-серой лесной легкосуглинистой почве, сформировавшейся на покровных суглинках. Схема опыта и содержание вариантов показаны в таблице 2. Обеспеченность почвы подвижными соединениями фосфора и калия повышенная и средняя (127 и

105 мг/кг соответственно, по Кирсанову), содержание гумуса среднее, pH солевой вытяжки характеризует почву как слабокислую.

Таблица 2

Схема опыта и содержание вариантов

№	Содержание варианта	Краткое обозначение
1	Контроль, без удобрений	Контроль
2	Цеолит, из расчета 2 г физ. массы на 1 кг почвы	Цеолит
3	NPK по 0,25 г д.в. на 1 кг почвы	NPK
4	NPK + цеолит (2 г/кг + NPK по 0,25 г/кг)	NPK + цеолит

Учитывая способность цеолитов к пролонгации своего действия на почву и растения, вегетационный опыт был запланирован как двухлетний с последовательным выращиванием яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта *Дарья* и овса (*Avena Sativa* L.) сорта *Комес*. Цеолит и минеральные удобрения (аммиачная селитра, двойной суперфосфат и хлористый калий) внесены в почву 1 раз при набивке сосудов (2009 г.). Первой культурой в опыте была яровая пшеница, после уборки которой сосуды были оставлены на хранение до следующего года. Весной 2010 г. сосуды были перебиты и в ту же почву, без добавления удобрений выселили вторую, последовательно выращиваемую культуру – овес. Посев, полив, уход за опытами и уборку осуществляли в соответствии с методикой закладки и проведения вегетационных опытов [21]. Аналитические работы выполнены в лабораториях кафедры агрохимии и агроэкологии НГСХА в соответствии с принятыми в современной лабораторной практике руководствами [22]. Содержание подвижного кремния в почве определено модифицированным методом Маллена и Райли с экстракцией кремния по Матыченкову [22], а в растениях – спектрофотометрически по Барсуковой [23]. Результаты исследований обработаны математически по Доспехову с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайные данные по зерновым культурам приведены в таблице 3. Они показывают, что сразу после внесения цеолита в почву как в чистом виде (вар. 2), так и по фону минеральных удобрений (вар. 4 в сравнении с вар. 3) он дает лишь тенденцию повышения урожайности зерна и соломы яровой пшеницы, но не математически доказательную прибавку. Внесение под пшеницу минерального удобрения высокоэффективно: более чем в 3 раза повышает сбор зерна и почти в 8 раз – соломы. Однако в последствии на овсе минеральные удобрения были неэффективны, а цеолит дал достоверную прибавку урожайности основной и побочной продукции на обоих вариантах с его внесением. Судя по соотношению зерно:солома, на долю зерна в биомассе яровой пшеницы приходится

2. Плодородие почв и применение удобрений

значительно большая часть, чем овса. Применение цеолита в последствии приводит к снижению массы соломы на фоне увеличения массы зерна овса.

Таблица 3

Влияние цеолита на урожайность надземной массы зерновых культур, г/сосуд

Вариант опыта	Зерно			Солома			Зерно: солома
	урожай-ность	± к контролю		урожай-ность	± к контролю		
		г/сосуд	%		г/сосуд	%	
яровая пшеница, прямое действие							
1. Контроль	4,7	—	—	4,9	—	—	1:1,04
2. Цеолит	6,5	1,8	38	7,7	2,8	57	1:1,19
3. NPK	18,1	13,4	285	37,6	32,7	667	1:2,08
4. NPK + цеолит	20,0	15,3	326	40,8	35,9	733	1:2,04
HCP ₀₅	2,33		18	4,10		18	—
овес, последствие							
1. Контроль	3,3	—	—	9,6	—	—	1:2,91
2. Цеолит	5,6	2,3	70	12,1	2,5	26	1:2,16
3. NPK	4,2	0,9	27	12,4	2,8	29	1:2,95
4. NPK + цеолит	6,5	3,2	97	16,1	6,5	68	1:2,43
HCP ₀₅	1,07		20	2,32		18	—

В таблицах 4 и 5 приведены данные, характеризующие качество растительной продукции выращиваемых в опыте культур.

Таблица 4

Влияние цеолита на показатели качества зерна яровой пшеницы

Вариант опыта	Масса 1000 зерен			Протеин			Крахмал		
	содержание	± к контролю		содержание	± к контролю		содержание	± к контролю	
		г	%		г	%		г	%
Контроль	34,2	—	—	12,2	—	—	58,1	—	—
Цеолит	37,8	3,6	11	13,0	0,8	7	57,5	−0,6	−1
NPK	38,1	3,9	11	16,3	4,1	34	57,2	−0,9	−2
NPK + цеолит	36,9	2,7	8	15,5	3,3	27	59,6	1,5	3
HCP ₀₅		2,74	7		1,24	8		5,70	10

Таблица 5

Влияние цеолита на показатели качества зерна овса

Вариант опыта	Масса 1000 зерен			Протеин			Крахмал		
	содержание	± к контролю		содержание	± к контролю		содержание	± к контролю	
		г	%		г	%		г	%
Контроль	32,0	–	–	11,0	–	–	50,2	–	–
Цеолит	33,5	1,5	5	11,7	0,7	6	52,2	2,0	4
NPK	33,9	1,9	6	12,5	1,5	14	51,9	1,7	3
NPK + цеолит	34,2	2,2	7	13,1	2,1	19	54,0	3,8	8
HCP ₀₅		1,41	4	–	1,05	8	–	3,52	7

Согласно полученным данным, самое заметное влияние на качество основной продукции оказывает применение минеральных удобрений. Применение цеолита без минеральных удобрений положительно влияет на массу 1000 зерен, но никак не сказывается на содержании протеина и крахмала в зерне пшеницы и овса. Последствие совместного внесения минеральных удобрений и цеолита дает достоверное повышение массы 1000 зерен, содержания протеина и крахмала, но, согласно полученным данным, это есть результат действия минеральных удобрений, а не цеолита (разница в показателях между вар. 4 и 3 меньше HCP₀₅).

В конце проведения опыта были определены основные агрохимические показатели почвы (табл. 6).

Таблица 6

Агрохимическая характеристика почвы

Вариант	Гумус, %	pH _{KCl}	H _r	S	V, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
			мг экв./100 г			мг/кг	
май, 2009 г.	2,1	5,5	2,3	12,1	84	127	105
сентябрь, 2010 г.							
1. Контроль	2,1	5,6	1,9	13,0	87	104	84
2. Цеолит	1,9	5,9	1,5	17,7	92	133	138
3. NPK	2,0	5,6	2,2	13,6	86	141	127
4. NPK + цеолит	2,2	6,0	1,7	17,8	91	150	113
HCP ₀₅	0,28	0,22	0,15	1,80	—	11,4	13,8

2. Плодородие почв и применение удобрений

Установлено, что применение цеолита оказывает заметное влияние на реакцию почвенной среды, снижая обменную и гидролитическую кислотность и повышая степень насыщенности почв основаниями. Содержание подвижных соединений фосфора закономерно повышается как от применения минеральных удобрений, так и от использования цеолита. Изменения в содержании подвижных соединений калия не так прямолинейны, хотя его содержание увеличивается и в сравнении с началом опыта, и в сравнении с неудобренным контролем в конце опыта. Максимальное количество обменного калия отмечено на варианте с внесением цеолита без удобрений.

Результаты анализа почвенных образцов опытных вариантов на содержание в почве разных форм соединений кремния приведены в таблице 7.

Согласно полученным результатам, содержание актуального кремния оценивается как низкодефицитное [24]. Внесение природного кремнийсодержащего материала цеолита в неудобренную светло-серую лесную почву (вар. 2) позволило получить существенную прибавку в содержании высокодоступных растениям форм кремния (актуальных форм), а использование цеолита на удобренной почве способствует дополнительному доказательному приросту в содержании доступного для растений кремния (разница между вар. 3 и 4 больше НСР₀₅). Потенциальные запасы кремния при этом изменились незначительно, а тенденции изменения содержания активного кремния (показатель расчетный, основная доля в котором обусловлена содержанием актуальных соединений этого элемента) аналогичны динамике актуального кремния.

Таблица 7

Влияние цеолита на содержание кремния в почве, мг/кг

Вариант	Формы подвижного кремния								
	актуальный			потенциальный			активный		
	сред- нее, мг/кг	± к контролю		сред- нее, мг/кг	± к контролю		сред- нее, мг/кг	± к контролю	
		мг/кг	%		мг/кг	%		мг/кг	%
май, 2009 г.	25	—	—	110	—	—	360	—	—
сентябрь, 2010 г.									
Контроль	29	—	—	112	—	—	402	—	—
Цеолит	39	10	35	124	12	11	514	112	28
НПК	35	6	21	120	8	7	470	68	17
НПК + цеолит	44	15	52	132	20	18	572	170	42
НСР ₀₅		8,0	21,4	—	22,2	17,3			

Результаты учета содержания кремния в надземной массе зерновых культур показаны в таблице 8. Содержание кремния и в зерне, и в соломе зерновых культур

при внесении цеолита в целом выше, чем на контрольном варианте. Максимальным оно было на варианте совместного внесения минеральных удобрений и цеолита (причем участие цеолита в повышении содержания кремния в основной и побочной продукции зерновых культур было выше, чем участие минеральных удобрений, т.к. разница в содержании Si между вар. 4 и 3 выше, чем разница между вар. 4 и 2).

Таблица 8

Содержание кремния в надземной массе опытных культур, %

Вариант	Яровая пшеница		Овес	
	зерно	солома	зерно	солома
1. Контроль	0,53	0,73	0,45	0,66
2. Цеолит	0,57	0,77	0,48	0,70
3. NPK	0,55	0,76	0,47	0,70
4. NPK + цеолит	0,61	0,79	0,54	0,72

ВЫВОДЫ

Цеолит оказывает существенное положительное влияние на урожайность основной и побочной продукции в прямом действии на яровой пшенице и в последствии на овсе при использовании его по фону оптимальных доз минеральных удобрений. Использование цеолита на неудобренной почве нестабильно и в большей мере сказывается на урожайности соломы.

Совместное внесение цеолита и минеральных удобрений положительно влияет на накопление в зерне пшеницы и овса белковых веществ и крахмала, однако такой эффект обеспечивается прежде всего полным минеральным удобрением.

Применение цеолита способствует снижению почвенной кислотности, повышению содержания подвижных соединений фосфора и калия, а также увеличению содержания в почве доступных растениям форм кремния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по определению экономической эффективности применения природных цеолитов в животноводстве и птицеводстве. – Новосибирск, 2000. – 22 с.
2. Возрастная физиология и патология сельскохозяйственных животных: матер. междунар. научн. конф., посв. 90-летию проф. В.Р. Филиппова. – Улан-Удэ, 2003. – 168 с.
3. Сельское хозяйство Севера на рубеже тысячелетий. – Магадан, 2004. – 184 с.
4. Ермолаев, А.А. Цеолиты в сельском хозяйстве / А.А. Ермолаев // Химия в сельском хозяйстве. – 1987. – № 5. – С. 39–44.

2. Плодородие почв и применение удобрений

5. Романова, Г.А. Цеолиты: эффективность и применение в сельском хозяйстве. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2000. – Ч. 1. – 296 с.
6. Самутенко, Л.В. Оценка действия цеолита и серпентинита на плодородие почв Сахалина / Л.В. Самутенко // Сельское хозяйство Севера на рубеже тысячелетий. – 2004. – Ч. 2. – С. 71–77.
7. Кодякова, Т.Е. Применение собственных сырьевых ресурсов для улучшения плодородия почв ЕАО (К вопросу применения торфа, сапропеля, цеолитов, фосфоритов и карбонатов) / Т.Е. Кодякова // Аграрная наука – сельскому хозяйству. – Барнаул. – 2006. – Кн. 1. – С. 110–112.
8. Кузнецов, А.Ю. Изменение плотности почвы под влиянием цеолитсодержащей породы и удобрений / А.Ю. Кузнецов // Инновационные технологии в сельском хозяйстве. – Пенза, 2006. – С. 33–34.
9. Кузнецов, А.Ю. Влияние природного цеолита и удобрений на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур / А.Ю. Кузнецов, Е.Н. Кузин // Плодородие. – 2009. – № 3. – С. 12–13.
10. Газданов, А.У. Восстановление деградированных горных кормовых угодий / А.У. Газданов, М.А. Юлдашев, И.Э. Солдатов // Земледелие. – 2008. – № 3. – С. 20–21.
11. Борошенко, В.П. Эффективность доз цеолита на посевах гороха / В.П. Борошенко, Е.П. Зинкевич, В.Н. Пакуль // Применение природных цеолитов в народном хозяйстве. – М., 1989. – Ч. 2. – С. 38–47.
12. Андришашвили, Т.Г. Влияние использования природных цеолитов в качестве удобрений на химические и физико-химические свойства подзолистых и карбонатных почв влажных субтропиков Грузии / Т.Г. Андришашвили, М.К. Гамисония, М.А. Кардава // Annals of Agrarian Science. – 2006. – Т. 4, № 1. – С. 9–14.
13. Кузнецов, А.Ю. Влияние природного цеолита и удобрений на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур / А.Ю. Кузнецов, Е.Н. Кузин // Плодородие. – 2009. – № 3. – С. 12–13.
14. Сластя, И.В. Оценка отзывчивости различных сортов ячменя на обработку кремнийсодержащими веществами / И.В. Сластя // Доклады ТСХА МСХА. – 2006. – Вып. 278. – С. 676–680.
15. Сластя, И.В. Влияние кремния на рост растений и баланс эндогенных фитогормонов ярового ячменя / И.В. Сластя, В.Н. Ложникова // Агрохимия. – 2010. – № 3. – С. 34–39.
16. Капранов, В.Н. Влияние кремния на структуру, прочность стебля и урожайность озимой тритикале / В.Н. Капранов // Агрохимический вестник. – 2008. – № 2. – С. 32–34.
17. Капранов, В.Н. Инкрустация семян кремнийсодержащими веществами / В.Н. Капранов, Б.А. Сушеница // Плодородие. – 2009. – № 3. – С. 16–18.
18. Цицишвили, Г.В. Природные цеолиты. – М.: Химия, 1991. – 190 с.
19. Янукин, Е.Н. Месторождения цеолитов. – М.: Научный мир, 1998. – 132 с.
20. Лобода, Б.П. Применение цеолитсодержащего минерального сырья в растениеводстве / Б.П. Лобода // Агрохимия. – 2000. – № 6. – С. 78–91.
21. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: Колос. – 312 с.

22. Минеев, В.Г. Практикум по агрохимии. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
23. Титова, В.И. Агро- и биохимические методы исследования состояния экосистем: учеб. пособие для вузов / В.И. Титова, Е.В. Дабахова, М.В. Дабахов; Нижегородская гос. с.-х. академия. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2011. – 170 с.
24. Матыченков, В.В. Градация почв по дефициту доступного растениям кремния / В.В. Матыченков // Агрохимия. – 2007. – № 7. – С. 22–27.

COMPARATIVE STUDY OF ZEOLITE AND MINERAL FERTILIZERS INFLUENCE ON PRODUCTIVITY OF GRAIN AND AGROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF LIGHT GRAY FOREST LOAM SOIL

V.I. Titova, N.V. Zabegalov

Summary

Results of a two-year vegetation experiment of studying the effect (spring wheat) and aftereffect (on oats) of zeolite introduced in pure form (2 g/kg) or on the background of mineral fertilizers (NPK to 0.25 g/kg) are adduced. It had been found that the using of zeolite on unfertilized soil is unstable and largely affects the yield of the straw. Mineral fertilizers have the highly effective direct action, the grain yield was tripled and the yield of straw is increased in eight times. However, an aftereffect on oats were ineffective, and the zeolite gave reliable increase of main and secondary productivity on the background trend of increase in weight of 1000 grains, protein and starch in the grain. Using of a zeolite leads to a decrease in the acidity, increase in the content of movable phosphorus compounds (at 29 mg/kg or 28% of the absolute control) and potassium (54 mg/kg, or more than 60% of the control). Zeolite increases the content of silicium forms in the soil, available to the plants (30% compared to control, and in comparison with the embodiment NPK too) that gives a tendency to increase of the silicon content in plants.

Поступила 10.03.14