

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦЕОЛИТА, В ТОМ ЧИСЛЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО, В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ КУКУРУЗЫ

Куликова Алевтина Христофоровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

Яшин Евгений Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

Черкасов Михаил Сергеевич, аспирант кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ 432017,

Ульяновск, бульвар Новый Венец 1, тел.: 8(8422) 55-95-68, E-mail: agroec@yandex.ru

Ключевые слова: цеолит, минеральные удобрения, кукуруза, урожайность.

Представленные исследования по изучению эффективности цеолита в технологии возделывания кукурузы в качестве удобрения проведены на базе опытного поля Ульяновского ГАУ в 2016-2018 гг. Схема опыта включала 8 вариантов: 1. Контроль (без удобрений); 2. Цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области 500 кг/га; 3. Цеолит 2000 кг/га; 4. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (NPK); 5. Цеолит 500 кг/га + NPK; 6. Цеолит 2000 кг/га + NPK; 7. Цеолит 500 кг/га + N_{60} (карбамид); 8. Цеолит 2000 кг/га + N_{60} . В 2020 г. на базе ООО «Агрофирма Абушаев» проведено испытание новых удобрений на основе цеолита с внедрением в них аминокислот и карбамида по 14-ти вариантной схеме, которая предусматривала применение цеолита в чистом виде и обогащенного аминокислотами и карбамидом в двух дозах: 250 и 500 кг/га. Изучение их эффективности проводили также на двух фонах: на естественном и минеральных удобрениях ($N_{60}P_{60}K_{60}$). Площадь учётной делянки 60 м², расположение их рендомизированное, повторность четырехкратная. Почва опытных полей чернозем выщелоченный среднесуглинистый. Установили, что цеолит оказывает благоприятное воздействие на свойства почвы: физические, биологические, химические. При этом пахотный слой приобретал оптимальное строение для данной культуры с плотностью 1,10-1,13 г/см³, усилилась деятельность почвенной микрофлоры и улучшался питательный режим почвы. Вследствие этого урожайность зерна кукурузы существенно повысилась: прибавка её при применении цеолита в чистом виде составила 0,93 т/га (доза 500 кг/га) и 1,36 т/га (доза 2000 кг/га), на фоне NPK соответственно 2,43 и 2,7 т/га. Урожайность зерна кукурузы при совместном применении цеолита 500 кг/га совместно с азотным удобрением превосходила на 0,27 т/га вариант с минеральным удобрением $N_{60}P_{60}K_{60}$. Установлена высокая эффективность модифицированных аминокислотами и карбамидом удобрений: прибавка урожайности зерна при применении их дозой 500 кг/га составила 1,06 и 1,09 т/га. Использование их на фоне минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) повысило продуктивность кукурузы по отношению к контролю на 2,52 (доза 250 кг/га), 3,53 т/га (доза 500 кг/га), или на 47-65 %.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ульяновской области в рамках научного проекта № 19-416-730002

Введение

Исследования по изучению возможности применения природных минералов с высоким содержанием кремния и уникальными кристалло-структурными характеристиками в качестве удобрений, мелиорантов и почвенных кондиционеров в последнее десятилетие проводятся достаточно интенсивно [1-6]. Цеолиты, диатомиты, трепелы, опоки и различные глины способны оказывать положительное влияние на физико-химические, биологические и агрохимические свойства почвы, оптимизируя их структурное состояние и кислотно-основные режимы, фосфорное и кремниевое питание растений, что в конечном итоге положительно влияет на урожайность сельскохозяйственных культур и качество получаемой продукции. Н.Е. Самсонова отмечает, что установлено положительное

влияние кремния (кремниевых удобрений) на количество и качество урожая 30 видов сельскохозяйственных культур (зерновых, пропашных, фруктовых и овощных) [1].

Благоприятное влияние данных пород на систему «почва-растение», прежде всего, обусловлено высоким содержанием в них аморфного (доступного) кремния - до 50 % и более от общего его количества. В настоящее время отечественная и в особенности зарубежная аграрная наука имеют огромный интерес к кремнию как элементу питания сельскохозяйственных культур [7, 8, 9, 10, 11].

Многочисленные исследования обосновывают необходимость применения различных кремнийсодержащих веществ в качестве удобрения, в том числе природного происхождения, как выше названные породы: диатомиты,

трепелы, цеолиты и различные глины. Исследования последних лет показывают на возможность повышения их эффективности при совместном внесении с минеральными и органическими удобрениями, а также создания на их основе высокоэффективных и экологически безопасных удобрений. В связи с этим можно сказать, что всеобщее изучение кремния и кремнийсодержащих веществ в агроэкосистемах еще долгое время останется одной из самых актуальных тем агрохимии и защиты растений. Тем более, как справедливо отмечает Н.Е. Самсонова [1], широкому применению кремния в земледелии препятствует ряд причин, в том числе отсутствие информации об обеспеченности почв доступным кремнием, потребности растений в данном элементе, сведений об экономическом преимуществе кремнийсодержащих веществ, пропаганды роли кремния в системе почва-растение среди специалистов сельского хозяйства и сельхозтоваропроизводителей.

Вышеизложенное обусловило цель научно-исследовательской работы - изучить эффективность цеолита Юшанского месторождения Ульяновской области в технологии возделывания кукурузы при применении как в чистом виде, так и их совмещении с минеральными удобрениями, а также новых удобрений, полученных обогащением цеолита аминокислотами и карбамидом.

Материалы и методы исследований

Исследования провели на опытном поле Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина в 2016-2018 и 2019-2020 гг. Объектами их являлись:

- чернозем выщелоченный среднетощный среднесуглинистый слабогумусированный (содержание гумуса 4,5 %) с высокой обеспеченностью доступными фосфором и калием (180 и 145 мг/кг соответственно), слабокислой реакцией почвенной среды (pH_{KCl} 5,4 единиц);

- минеральные удобрения: азофоска ($N_{16}P_{16}K_{16}$) и карбамид (N_{46});

- цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области. Состав его, %: SiO_2 56,60; SiO_2 аморф-26,71; Al_2O_3 -6,15; Fe_2O_3 -2,34; CaO -13,31; MgO -1,90; K_2O -1,25; Na_2O -0,11; P_2O_5 -0,23; Ti_2O -0,30;

- кукуруза на зерно: гибрид Воронежский Оржика 237 МВ.

Схема опыта в 2016-2018 гг. состояла из 8-ми вариантов: 1. Контроль (без удобрений); 2. Цеолит 500 кг/га (Ц 500); 3. Цеолит 2000 кг/га (Ц 2000); 4. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (NPK); 5. Цеолит 500 кг/га+NPK (Ц 500+NPK); 6. Цеолит 2000 кг/га+NPK (Ц

2000+NPK); 7. Цеолит 500 кг/га+N₆₀ (Ц 500+N₆₀); 8. Цеолит 2000 кг/га+ N₆₀ (Ц 2000+N₆₀). Схема опыта предполагала изучение эффективности цеолита при применении как в чистом виде, так и совмещении с минеральными удобрениями. Совместное применение его с азотными удобрениями (карбамид) обусловлено тем, что при слабой гумусированности и высокой обеспеченности фосфором и калием азот может стать ограничивающим урожайность фактором. Следует отметить, что потребность в азоте у кукурузы высокая: тонна зерна выносит из почвы 25-30 кг азота. Учитывая это, в 2019 году нами совместно со специалистами ООО «ИнБиоТех» (г. Ульяновск) разработаны состав и технология производства новых удобрений обогащением цеолита аминокислотами и карбамидом. Экспериментальные удобрения изготовлены в ООО «ИнБиоТех». Опыты по изучению их эффективности проведены в производственных условиях в ООО «Агрофирма Абушаев» Ульяновского района в четырехкратной повторности с рендомизированным размещением делянок. Почва опытного поля чернозем выщелоченный среднесуглинистый. Схема опыта состояла из четырнадцати вариантов: 1. Контроль (без удобрений); 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. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га; 7. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га; 8. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (NPK); 9. NPK + цеолит 250 кг/га; 10. NPK + цеолит 500 кг/га; 11. NPK + цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га; 12. NPK + цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га; 13. NPK + цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га; 14. NPK + цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га.

Опыты проводили в строгом соответствии с методическими требованиями: площадь учетной делянки 60 м², расположение их рендомизированное, повторность четырехкратная. Цеолит и удобрения вносили вручную под предпосевную культивацию. Анализы почвенных и растительных образцов осуществляли по соответствующим ГОСТам в аккредитованной лаборатории «САС «Ульяновская».

Результаты исследований

Физическое состояние почвы. Поскольку каждая культура (или группа культур) предъявляет совершенно определенные требования к физическому состоянию почвы, регулирование (оптимизация) его основных показателей имеет исключительно важное значение. Наиболее

Таблица 1

Влияние цеолита и минеральных удобрений на физическое состояние почвы (слой 0-30 см, средние за 2016 и 2018 гг.)

Вариант	Содержание агрономически ценных агрегатов (10-0,25 мм), %	Содержание водопрочных агрегатов (3-0,25 мм), %	Коэффициент структурности, K_c	Плотность почвы, г/см ³	Пористость, %		
					общая	капиллярная	некапиллярная
Контроль	56,9	68,3	1,41	1,25	48,0	32,6	15,4
Ц 500 кг/га	73,4	73,5	2,73	1,13	57,0	36,8	20,2
Ц 2000 кг/га	78,0	75,1	3,58	1,10	58,0	37,9	20,1
NPK	57,7	69,0	1,36	1,24	48,0	31,4	16,6
Ц 500+NPK	66,0	71,0	1,92	1,18	55,0	32,9	22,1
Ц 2000+NPK	70,2	75,1	2,36	1,16	55,0	32,8	22,2
Ц 500+N ₆₀	65,3	74,7	1,88	1,16	55,0	32,9	22,1
Ц 2000+N ₆₀	69,9	73,2	2,31	1,12	57,0	36,5	20,5
HCP ₀₅	4,8	3,9	0,2	0,04			

Таблица 2

Целлюлозоразрушающая активность пахотного слоя чернозема выщелоченного в зависимости от внесения цеолита в чистом виде и совмещении с азотом

Вариант	Численность целлюлозоразрушающей микрофлоры, КОЕ/1 г абс. сухой почвы	Целлюлазная активность, мкг глюкозы/10 г почвы за 48 часов	Разложение льняного полотна, %
Контроль	7,13	6,45	29,2
Цеолит, 500 кг/га	7,17	6,48	33,4
Цеолит, 500 кг/га + N ₆₀	7,38	7,11	35,3

значимыми из них являются: структурно-агрегатный состав и водопрочность агрегатов, общее количество пор и соотношение капиллярной и некапиллярной пористости, плотность почвы. Показатели, характеризующие изменение физического состояния пахотного слоя чернозема выщелоченного при возделывании кукурузы на зерно, приведены в таблице 1.

Кукуруза - требовательная к физическому состоянию почвы культура, что связано с её корневой системой. В первые дни жизни она формирует первый ярус первичных корней. По мере развития растение кукурузы образует второй ярус, распространяющийся как горизонтально, так и вертикально до 30-35 см, затем проникающий до глубины не менее 30-и см. Интегральным показателем физического состояния почвы является её плотность, которая для данной культуры составляет 0,9-1,1 г/см³ [12].

Данные таблицы свидетельствуют, что физическое состояние чернозема выщелоченного опытного поля не соответствует требованиям возделываемой культуры: содержание агрономически ценных агрегатов (10-0,25 мм) ниже оптимальных значений для кукурузы (58-62 %) [13], почва уплотнена до 1,25 г/см³. Соответственно уменьшается общая пористость пахотного слоя, в том числе количество пор аэрации

(некапиллярная пористость).

Внесение в почву цеолита способствовало тому, что строение пахотного слоя почвы стало соответствовать требованиям данной культуры с общей пористостью 57-58 %, капиллярной пористостью 37-38 % пористостью аэрации 20-22 % [13]. Благоприятное воздействие цеолита на физическое состояние почвы сохранилось при совместном внесении цеолита с минеральными удобрениями. Последние не оказали достоверного влияния на агрегатный состав и плотность пахотного слоя чернозема выщелоченного.

Деятельность целлюлозоразрушающей микрофлоры. Микробное сообщество в почве чрезвычайно разнообразно и многочисленно как по количеству видов, так и выполняемым функциям. Оно также чутко реагирует на любые изменения, связанные с окружающей средой и технологическими процессами при производстве сельскохозяйственной продукции. Поэтому возникает необходимость глубокого анализа их, поскольку микроорганизмы (бактерии, грибы, актиномицеты) определяют не только плодородие почвы, но и её экологическую устойчивость.

Разложение целлюлозы (клетчатки), которая является одним из основных компонентов органического вещества почвы, осуществляется самыми разными группами микроорганизмов

Таблица 3

Динамика нитратного азота (N-NO₃) в пахотном слое почвы под посевами кукурузы, мг/кг

Вариант	Фаза развития кукурузы			Средняя за вегетацию
	всходы	цветение початков	восковая спелость	
Контроль	8,5	4,1	2,1	4,9
Ц 500 кг/га	9,1	4,1	2,2	5,1
Ц 2000 кг/га	9,2	4,2	2,2	5,2
NPK	11,2	5,9	3,4	6,8
Ц 500+NPK	11,1	6,5	3,5	7,0
Ц 2000+NPK	11,4	6,5	3,5	7,1
Ц 500+N ₆₀	12,1	6,6	3,6	7,4
Ц 2000+N ₆₀	11,6	6,6	3,6	7,3
HCP ₀₅	0,8	0,3	0,2	

Таблица 4

Динамика аммонийного азота (N-NH₄) в пахотном слое почвы под посевами кукурузы, мг/кг

Вариант	Фаза развития кукурузы			Средняя за вегетацию
	всходы	цветение початков	восковая спелость	
Контроль	3,0	5,0	1,5	3,2
Ц 500 кг/га	3,1	5,1	1,5	3,2
Ц 2000 кг/га	3,0	5,1	1,5	3,2
NPK	4,4	6,4	1,7	4,2
Ц 500+NPK	4,5	6,4	1,7	4,2
Ц 2000+NPK	4,5	6,4	1,7	4,2
Ц 500+N ₆₀	4,5	6,4	1,8	4,2
Ц 2000+N ₆₀	4,7	6,4	1,8	4,3
HCP ₀₅	0,3	0,2	0,1	

(истинными бактериями, миксобактериями, актиномицетами, грибной микрофлорой) и часто служит показателем общей биологической активности почвы. В таблице 2 привели показатели деятельности целлюлозоразрушающей микрофлоры, определенные разными методами (прямой подсчет численности, ферментативная активность, степень разрушения льняного полотна) в почве 3-х вариантов опыта, наиболее эффективных по исследованиям предыдущих лет.

Как свидетельствуют данные таблицы, при внесении в почву цеолита в чистом виде численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов практически не изменилась, но имела тенденцию к увеличению. Последнее стало заметным при совмещении цеолита с азотом и повысилась на 4 %. Следовательно, для микробиологической деятельности клетчатки необходимо наличие доступного азота.

Изменение численности микроорганизмов сопровождалось соответствующей вариативностью целлюлазной ферментативной активности, которая обязана гидролитическим ферментам – целлюлазам, продуцируемыми многими группами почвенной микробиоты.

Здесь наблюдали такую же закономерность – целлюлазная активность повысилась на 10 % на фоне совместного применения цеолита 500 кг/га и карбамида в дозе азота 60 кг/га. Что касается разложения льняного полотна, оно заметно усилилось при применении цеолита как в чистом виде, так и совместно с азотным удобрением – на 14 и 21 относительных процента.

Таким образом установили, что использование цеолита в дозе 500 кг/га в качестве удобрения кукурузы сопровождается усилением деятельности почвенных микроорганизмов, более интенсивным при совместном применении с карбамидом (60 кг N/га).

В таблицах 3 и 4 представлена динамика содержания нитратного (N-NO₃) и аммонийного (N-NH₄) азота почвы в течение вегетации под посевами кукурузы в слое 0-30 см.

Анализ данных таблиц показал, что на всех вариантах с внесением в почву цеолита как в чистом виде, так и совместно с полным минеральным удобрением и карбамидом содержание нитратного и аммонийного азота в почве пахотного слоя в среднем за вегетацию кукурузы превышало контрольный вариант на 0,2-3,6 мг/кг.

Таблица 5

Содержание азота, фосфора, кремния в пахотном слое почвы под посевами кукурузы, мг/кг (среднее за вегетацию культуры)

Вариант	P ₂ O ₅		K ₂ O		Si актуальный	
	содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля
Контроль	161	-	129	-	30,1	-
Ц 500 кг/га	164	+3	139	+10	33,8	+3,7
Ц 2000 кг/га	166	+5	141	+12	40,4	+10,3
NPK	187	+26	157	+28	29,5	-0,6
Ц 500+NPK	187	+26	163	+34	32,7	+2,6
Ц 2000+NPK	190	+29	166	+37	34,5	+4,4
Ц 500+N ₆₀	159	-2	131	+2	32,7	+2,6
Ц 2000+N ₆₀	163	+2	144	+15	33,9	+3,8
HCP ₀₅	8	-	9	-	2,5	-

Таблица 6

Влияние цеолита и минеральных удобрений на урожайность зерна кукурузы (средняя за 2016-2018 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Отклонения от контроля	
		т/га	%
Контроль	5,89	-	-
Ц 500 кг/га	6,82	+0,93	16
Ц 2000 кг/га	7,25	+1,36	23
NPK	7,74	+1,85	31
Ц 500+NPK	8,32	+2,43	41
Ц 2000+NPK	8,65	+2,76	49
Ц 500+N ₆₀	8,01	+2,12	36
Ц 2000+N ₆₀	8,35	+2,46	42
HCP05	0,33		

При этом вариант с внесением цеолита совместно с карбамидом (N₆₀) превышал вариант с применением полного минерального удобрения в зависимости от дозы породы 0,6-0,7 мг/кг, контрольный вариант – на 3,5-3,6 мг/кг. Последнее по-видимому обусловлено не только внесением в почву азота в виде карбамида, но и улучшением микробиологической активности при применении цеолита с достаточно высоким содержанием аморфного кремния. Последнее сопровождалось усилением процессов аммонификации и нитрификации.

Аналогичную закономерность наблюдали в изменении доступных фосфора, калия и кремния (табл. 5).

Данные таблицы подтвердили литературные сведения о значительном влиянии кремниевых соединений на доступность растениям фосфора. Содержание подвижного фосфора в пахотном слое при внесении в почву цеолита в дозе 500 кг/га повысилось на 3-5 мг/кг, на фоне минеральных удобрений – на 26-29 мг/кг. Бо-

лее высокие показатели наблюдали в динамике изменений в содержании обменного калия: от 10 до 12 мг/кг при применении цеолита в чистом виде и до 34-37 мг/кг при совмещении с N₆₀P₆₀K₆₀.

Таким образом, применение цеолита в качестве удобрения в значительной степени способствовало улучшению питательного режима почвы всеми основными элементами, в том числе и кремнием. Преимущество вариантов с внесением цеолита по оптимизации питательного режима почвы сохранилось до конца вегетации кукурузы.

Урожайность и качество зерна кукурузы. Урожайность культур в любых почвенно-климатических условиях определяется уровнем их питания. На черноземах выщелоченных Среднего Поволжья с высокой обеспеченностью доступными фосфором и калием кукуруза способна формировать урожайность зерна в 5-6 т/га (таб. 6 и 7). В среднем за 2016-2018 гг. внесение в почву цеолита способствовало существенному повышению урожайности зерна на 0,93 (доза 500 кг/га) и 1,36 т/га (доза 2000 кг/га), или на 16 и 23 % соответственно. Последнее свидетельствует о необходимости при возделывании кукурузы на данных почвах улучшения питания азотом и кремнием. Подтверждение тому добавление к цеолиту в тех же дозах азота 60 кг/га позволило повысить урожайность культуры на 2,12 и 2,46 т/га. При этом особенно следует отметить, она превосходит вариант с применением полного минерального удобрения. Однако средние дозы азота (не менее 60 кг д.в./га) при этом необходимы.

Урожайность зерна кукурузы в зависимости от применения в технологиях её возделывания новых экспериментальных удобрений на

основе цеолита обогащением аминокислотами и карбамидом представлена в таблице 7.

Обсуждение

Внесение в почву цеолита оказало значительное положительное влияние на ее физическое состояние, что несомненно обязано поликремниевым кислотам, находящимся в цеолите в аморфном состоянии. Последние так же, как гуминовые кислоты, при достаточном присутствии ионов кальция склеивают почвенные частицы в агрегаты [14]. При внесении в почву цеолит способствовал оструктурированию и, соответственно, разуплотнению почвы: содержание агрегатов размерами 10-0,25 мм в пахотном слое увеличилось на 16,5 и 21,1 % (абсолютные значения) в зависимости от дозы цеолита; плотность приобрела оптимальные для культуры значения.

Оптимизация физических свойств почвы под действием высококремнистых пород (в данном случае цеолита) способствовала улучшению условий обитания микроорганизмов, в том числе адсорбированных внутри почвенных агрегатов [15].

Кремний и кремнийсодержащие соединения в значительной степени могут влиять на питательный режим почвы. Это, прежде всего, касается фосфора. Установлено, что кремниевая кислота способна вытеснять фосфор из труднорастворимых фосфатов, хотя механизм их взаимодействия до конца не выяснен [16]. При этом сам кремний также является необходимым и незаменимым элементом питания растений. Растения обычно потребляют 50-200 кг Si/га, и вынос его с 1 гектара в зависимости от культуры и ее урожайности может составить 30-700 кг/га [17]. Поскольку практически кремниевые удобрения в стране не применяются, на любых почвах, как правило, создается отрицательный баланс доступного для растений кремния. Последний может стать ограничивающим урожайность культур элементом. Во многих работах отмечается, что кремний улучшает азотное питание растений, улучшая деятельность почвенных микроорганизмов [18].

Особо необходимо остановиться на содержании в черноземе выщелоченном актуального кремния. Актуальный кремний определяется в водной вытяжке в виде монокремниевой кислоты (H_4SiO_4), которая проявляет высокую физико-химическую активность и оказывает большое влияние на биогеохимические процессы в почве. В данной почве по шкале В.В. Матыченкова [19] наблюдали низкий дефицит содержания ак-

Таблица 7

Урожайность зерна кукурузы в зависимости от применения экспериментальных удобрений (2020 г.)

Вариант	Урожайность, т/га	Отклонения от контроля	
		т/га, + -	%
1. Контроль	5,42	-	-
2. Цеолит 250 кг/га	5,57	+0,15	3
3. Цеолит 500 кг/га	6,22	+0,80	15
4. Цеолит, модифицированный аминокислотами, 250 кг/га	6,29	+0,87	16
5. Цеолит, модифицированный аминокислотами, 500 кг/га	6,48	+1,06	20
6. Цеолит модифицированный карбамидом, 250 кг/га	6,31	+0,89	16
7. Цеолит модифицированный карбамидом, 500 кг/га	6,51	+1,09	20
8. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (NPK)	7,63	+2,21	41
9. NPK + цеолит 250 кг/га	7,79	+2,37	44
10. NPK + цеолит 500 кг/га	8,14	+2,72	50
11. NPK + цеолит, модифицированный аминокислотами, 250 кг/га	7,94	+2,52	47
12. NPK + цеолит, модифицированный аминокислотами, 500 кг/га	8,95	+3,53	65
13. NPK + цеолит, модифицированный карбамидом, 250 кг/га	7,82	+2,40	44
14. NPK + цеолит, модифицированный карбамидом, 500 кг/га	8,76	+3,34	62
НСР ₀₅	0,35		

туального кремния (20-40 мг/кг). Кукуруза – требовательная к данному элементу культура и содержание его в доступной форме на контрольном варианте недостаточно. Внесение цеолита позволило значительно улучшить кремниевое питание растений. Потребность культур в кремнии может усиливаться при возделывании их с применением только минеральных удобрений. Следует также отметить, что имеется прямая связь между содержанием актуального кремния и подвижными фосфатами, что свидетельствует о влиянии монокремниевой кислоты на доступность фосфора [16].

Результаты определения урожайности зерна кукурузы подтвердили литературные сведения о возможности повышения эффективности кремнистых пород в качестве удобрения сельскохозяйственных культур. Как свидетельствуют полученные результаты (табл. 7), обогащение цеолита аминокислотами и карбамидом позволило значительно повысить урожайность зерна кукурузы: при применении с дозой 500 кг/га прибавка ее составила 1,06 т/га, или 20 %.

Кукуруза-высокоурожайная и требовательная к плодородию почвы культура и для ее формирования необходимо достаточное количество элементов питания. Возделывание ее с внесением в почву азотно-фосфорно-калийного удобрения обеспечило прибавку урожайности в 2,21 т/га. Однако применение на этом фоне экспериментальных удобрений на основе цеолита повысило продуктивность кукурузы по отношению к контролю на 2,52-3,53 т/га, или на 47-65 %. Последнее убедительно доказывает высокую эффективность удобрений на основе цеолита обогащением его аминокислотами и карбамидом.

Определение качества зерна показало, что при совместном применении цеолита с азотом в зерне больше накапливалось белка и других элементов питания, уровень которых превышал вариант с минеральными удобрениями. Так, содержание азота в зерне кукурузы на варианте с NPK составляло 1,51 %, фосфора 0,45 %, калия 0,31 %, а на вариантах совместного применения цеолита с карбамидом 1,60-1,61 %, 0,41-0,46 % и 0,29-0,35 % соответственно; белка 9,60-9,66 % (на варианте с NPK 9,06 %). Следовательно, совмещение цеолита с азотным удобрением позволяет получать более качественную продукцию.

Заключение

1. Цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области оказал достоверное положительное влияние на физические свойства. Строение пахотного слоя чернозема выщелоченного приобрело при этом оптимальное для кукурузы состояние с общей пористостью 57-58 %, капиллярной – 37-38 и пористостью аэрации 20-22 %; плотность пахотного слоя составила 1,10-1,13 г/см³; содержание агрономически ценных агрегатов увеличилось (10-0,25 мм) на 16,5 и 21,1 % (абсолютные значения).

2. Использование цеолита в дозе 500 кг/га в качестве удобрения сопровождалось усилением деятельности почвенных целлюлозоразрушающих микроорганизмов, более интенсив-

ным при совместном применении с карбамидом (N_{60}).

3. Внесение в почву цеолита в качестве удобрения кукурузы способствовало существенному улучшению её питательного режима: содержание минеральных форм азота в среднем за вегетацию культуры, несмотря на усиленное питание растений, поддерживалось на более высоком уровне: азота на 0,6 мг/кг, доступных фосфора на 3-5 и калия на 10-12 мг/кг почвы. Применение цеолита в качестве удобрения существенно улучшило кремниевое питание кукурузы.

4. Урожайность зерна кукурузы при применении цеолита Юшанского месторождения Ульяновской области в чистом виде повысилась на 0,93 т/га (доза 500 кг/га) и 1,36 т/га (доза 2000 кг/га), на фоне минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) – на 2,43 и 2,76 т/га. Урожайность зерна кукурузы при совместном применении цеолита 500 кг/га азотным удобрением (карбамид) в дозе 60 кг д.в./га не уступала, а превосходила в среднем за 3 года исследований вариант с использованием минеральных удобрений с дозой $N_{60}P_{60}K_{60}$ на 0,27 т/га. Совместное применение цеолита с карбамидом способствовало улучшению качества продукции.

5. Установлена высокая эффективность новых удобрений на основе цеолита обогащением его аминокислотами и карбамидом в технологии возделывания кукурузы. Прибавка урожайности зерна при применении их дозой 500 кг/га составила 1,06 и 1,09 т/га. Использование их на фоне минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) повысило продуктивность кукурузы по отношению к контролю на 2,52 (доза 250 кг/га) и 3,53 т/га (доза 500 кг/га), или на 47-65 %.

Библиографический список

1. Самсонова, Н.Е. Кремний в растениях и животных организмах / Н.Е. Самсонова // Агрохимия. 2019. – № 1. – С. 86-96.
2. Пашкевич, Е.Б. Роль кремния в питании растений и в защите сельскохозяйственных культур от патогенов / Е.Б. Пашкевич, Е.П. Кирюшин // Проблемы агрохимии и экологии. - 2008. – № 2. – С. 52-57.
3. Козлов, А.В. Роль и значение кремния и кремнийсодержащих веществ в агроэкосистемах / А.В. Козлов, А.Х. Куликова, Е.А. Яшин // Вестник Мининского университета. - 2015. – № 4. – С.13-17.
4. Арефьев, Александр Николаевич. Теоретическое обоснование и разработка при-

емов повышения плодородия и продуктивности сельскохозяйственных культур в лесостепи Поволжья: дисс. на соискателя уч. ст. доктора с.-х. наук: 06.01.01 / А.Н. Арефьев. – Пенза, 2017. – 415.

5. Maghsoudi, K. Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance / K Maghsoudi., Y. Emam, M. Ashraf // Turkish J. Bot. - 2015.-V. 39.- P. 625-634.

6. Kulikova, A. Kh. Zeolite efficiency in the fertilization system of spring wheat /A. Kh. Kulikova, E.A.Yashin, N.G.Zakharov, A.V.Kozlov, A.L.Toigildin // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - 2018. – Т. 9. - № 1. - С. 144-148.

7. Ma, J.F. Silicon uptake and accumulation in higher plants / J.F. Ma, N. Yamaji // Trends Plant Sci. - 2006. - № 11. - P. 342–397.

8. Tubana, B. Understanding the dynamics of silicon in plant and soil are essential for establishing silicon fertilization guidelines / B. Tubana, T. Babu, B. White, F. Agostinho, W. Paye, L. Datnoff // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced. Abstracts. India. - 2017. - P. 10.

9. Chanchal, M.C.H. Alleviation of abiotic and biotic stresses in plants by silicon supplementation/ M.C.H. Chanchal, R.T. Kapoor, D. Ganjewala // Sci. Agricult. - 2016. - V. 13. - № 2. - P. 59 – 73.

10. Landberg, T. Silicon nanoparticle effects on arsenic and cadmium plant uptake / T. Landberg, M. Greger // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced. Abstracts. India. - 2017. - P. 68.

11. Greger, M. Plant uptake of silicon nanoparticles / M. Greger, T. Landberg, S. Nazarian // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced. Abstracts. India. - 2017. - P. 68.

12. Казаков, Г. И. Обработка почвы в Среднем Поволжье / Г.И. Казаков. – Самара: Изд-во Самарской ГСХА, 2008. -251 с.

13. Куликова, А.Х. Агрохимическая оценка физических и биологических свойств почв Среднего Поволжья / А.Х. Куликова, Н.Г. Захаров, А.В. Карпов., А.В. Козлов, Н.А. Хайрtdинова, Е.А. Яшин. - Ульяновск, 2017. – 244 с.

14. Resichert, L.M. Sealing, amendment, and rain intensity effects of erosion of high-clay soils / L.M. Resichert, L.D Norton, Huang Chi-hua // Soil Sci. Soc. Am. 1. - 1994. - P. 1199-1205.

15. Гарбуз, С.Н. Ферментативная активность внутри и снаружи водоустойчивых агрегатов в почвах разного вида использование / С.Н. Гарбуз, Н.В. Ярославцева, В.А.Холодов // Почвоведение. - 2016. - № 3.- С. 398-407.

16. Самсонова, Наталия Евгеньевна. Научное обоснование эффективности фосфорных удобрений пониженной растворимости кремнийсодержащих удобрений на почвах Центрального нечерноземья: автореф.... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / Н.Е. Самсонова. – М., 2001.- 45 с.

17. Верниченко, И.В. Влияние предпосевной обработки семян пшеницы и тритикале соединениями селена, кремния и цинка на поглощение растениями мочевиной N^{15} нитратного азота в стрессовых условиях выращивания / И.В. Верниченко, Л.В. Осинцева, П.А.Яковлев, П.А. Бытовская, В.А. Литвинский // Агрохимия. - 2017. - № 3. – С. 10-19.

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

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

ZEOLITE EFFECTIVENESS IN CAPACITY OF CORN FERTILIZER

Kulikova A.Kh, Yashin E.A., Cherkasov M. S.
FSBEI HE Ulyanovsk SAU
432017, Ulyanovsk, Novy Venetz boulevard 1;
tel.: 8(8422) 55-95-68, e-mail: agroec@yandex.ru

Key words: zeolite, mineral fertilizer, corn, yield.

Studies of effectiveness of zeolite in cultivation technology of corn in capacity of fertilizer were carried out on the base of field station of Ulyanovsk SAU in 2016-2018. Experimental design including 8 variants : 1. Control (without fertilizers); 2. Zeolite of Yushan field of Ulyanovsk region 500 kg/ha; 3. Zeolite 2000 kg/ha; 4. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (NPK); 5. Zeolite 500 kg/ha + NPK; 6. Zeolite 2000 kg/ha + NPK; 7. Zeolite 500 kg/ha + N_{60} (carbamide); 8. Zeolite 2000 kg/ha + N_{60} . Area of registration plot is 60 m², their position is random, and replication is quadruple. Soil of field station is leached middle loams chernozem. It was established that zeolite is a boon to soil characteristics: physical, biological, chemical. Herewith plowing layer got effective structure for the given culture with density 1,10-1,13 g/cm³, activity of soil microflora increased and soil feeding schedule improved. Consequently corn kernels yield boosted: its raise when applying zeolite in pure form was 0,93 t/ha (dose 500 kg/ha) and 1,36 t/ha (dose 2000 kg/ha), against NPK respectively 2,43 and 2,7 t/ha. Corn kernels yield with co-use of zeolite 500 kg/ha together with nitrogen fertilizers predominate on 0,27 t/ha variant with mineral fertilizer $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Bibliography

1. Samsonova, N. E. Silicon in plants and animals / N. E. Samsonova // Agrochemistry. - 2019. – № 1. – P. 86-96.

2. Pashkevich, E. B. The role of silicon in plant nutrition and in protecting crops from pathogens / E. B. Pashkevich, E. P. Kiryushin // Problems of Agrochemistry

and ecology. - 2008. - № 2. - P. 52-57.

3. Kozlov, A. V. Role and significance of silicon and silicon-containing substances in agroecosystems / A. V. Kozlov, A. Kh. Kulikova, E. A. Yashin // *Vestnik of Minin University*. - 2015. - № 4. - P.13-17.

4. Arefyev, A. N. Theoretical justification and development of methods for increasing the fertility and productivity of agricultural crops in the Volga forest-steppe: spec. 06.01.01- general agriculture and crop production: dissertation for the degree of doctor of agricultural sciences / Arefyev Aleksandr Nikolaevich. - Penza, 2017. - 415 p.

5. Maghsoudi, K. Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance / K. Maghsoudi., Y. Emam, M. Ashraf // *Turkish J. Bot.* - 2015. - V. 39. - P. 625-634.

6. Zeolite efficiency in the fertilization system of spring wheat / A. Kh. Kulikova, E. A. Yashin, N. G. Zakharov, A. V. Kozlov, A. L. Toigildin // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. - 2018. - V. 9, № 1. - P. 144-148.

7. Ma, J. F. Silicon uptake and accumulation in higher plants / J. F. Ma, N. Yamaji // *Trends Plant Sci.* - 2006. - № 11. - P. 342-397.

8. Understanding the dynamics of silicon in plant and soil are essential for establishing silicon fertilization guidelines / B. Tubana, T. Babu, B. White, F. Agostinho, W. Paye, L. Datnoff // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced. Abstracts. - India, 2017. - P. 10.

9. Chanchal, M. C. H. Alleviation of abiotic and biotic stresses in plants by silicon supplementation / M. C. H. Chanchal, R. T. Kapoor, D. Ganjewala // *Sci. Agricult.* - 2016. - V. 13, № 2. - P. 59-73.

10. Landberg, T. Silicon nanoparticle effects on arsenic and cadmium plant uptake / T. Landberg, M. Greger // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced. Abstracts. - India, 2017. - P. 68.

11. Greger, M. Plant uptake of silicon nanoparticles / M. Greger, T. Landberg, S. Nazarian // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced. Abstracts. - India, 2017. - P. 68.

12. Kazakov, G. I. Tillage in the Middle Volga region / G. I. Kazakov. - Samara : Samara SAA, 2008. - 251 p.

13. Agrochemical assessment of physical and biological properties of soils in the Middle Volga region / A. Kh. Kulikova, N. G. Zakharov, A. V. Karpov, A. V. Kozlov, N. A. Khairtdinova, E. A. Yashin. - Ulyanovsk, 2017. - 244 p.

14. Resichert, L. M. Sealing, amendment, and rain intensity effects of erosion of high-clay soils / L. M. Resichert, L. D Norton, Huang Chi-hua // *Soil Sci. Soc. Am.* 1. - 1994. - P. 1199-1205.

15. Garbuz, S. N. Enzymatic activity inside and outside of water-proof aggregates in different types of soils. / S. N. Garbuz, N. V. Yaroslavl'tseva, V. A. Kholodov // *Soil science*. - 2016. - № 3. - P. 398-407.

16. Samsonova, N. E. Scientific substantiation of the effectiveness of phosphorous fertilizers with reduced solubility of silicon-containing fertilizers on the soils of the Central non-chernozem region: spec. 06.01.04 - : thesis for the degree of doctor of science in agriculture, majoring in agricultural chemistry / Samsonova Natalya Evgenyevna— Moscow, 2001. - 45 p.

17. Influence of pre-sowing treatment of wheat and trefcale seeds with selenium, silicon and zinc compounds on the absorption of N^{15} nitrate nitrogen by urea plants under stressful growing conditions / I. V. Vernichenko, L. V. Osintseva, P. A. Yakovlev, P. A. Bytovskaya, V. A. Litvinsky // *Agrochemistry*. - 2017. - № 3. - P. 10-19.

18. Matychenkov, V. V. Effect of silicon fertilizers on plants and soil / V. V. Matychenkov, E. A. Bocharnikova, Ya. M. Ammosova // *Agrochemistry*. - 2002. - №2. - P. 86-93.

19. Matychenkov, V. V. Soil grading by the lack of available silicon for plants / V. V. Matychenkov // *Agrochemistry*. - 2007. - №7. - P. 20-27.