

УДК 631.811:631.823

## **ЦЕОЛИТЫ КАК КРЕМНИЕВОЕ УДОБРЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

**Куликова А.Х., доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, e-mail: agroec@yandex.ru**

**Ключевые слова:** *цеолиты, кремниевое удобрение, урожайность, сельскохозяйственные культуры, качество продукции.*

*Приведены результаты изучения эффективности цеолита и удобрений на его основе в технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Удобрения на основе цеолита, полученные обогащением его аминокислотами и карбамидом, обеспечивали значительное повышение урожайности сельскохозяйственных культур (озимой пшеницы на 13-39 %, кукурузы на 15-20 %, рапса — на 30-45 %, проса на 9-31 %, сои — на 11-33 %) и получение экологически безопасной качественной продукции.*

Вопросы применения в сельском хозяйстве природного минерального сырья с высоким содержанием кремния и уникальными свойствами (адсорбционными, каталитическими, ионообменными) и кристаллоструктурным строением рассматриваются длительное время. Показано, что цеолиты, опоки, диатомиты, трепелы, бентониты и другие глины способны оказывать положительное влияние на физические, химические, биологические свойства почв, улучшая их структурное состояние, водный и питательный режимы, что в конечном итоге сказывается на продуктивности культурных растений и качестве получаемой продукции [1-6]. Кроме того, ряд таких материалов проявляет сорбционные свойства в отношении многих токсикантов (тяжелые металлы, остаточные количества химических средств защиты растений), переводя их в недоступное для растений состояние, тем самым способствуя получению экологически безопасной продукции растениеводства [7-10].

Что касается цеолитов, они в полной мере обладают соответствующими свойствами. Более того, проблема использования цеолитсодержащего сырья, как отмечает Б.И. Лобода [2], имеет общемировое значение, поскольку цеолиты относятся к одной из групп биологически активного и экологически безопасного сырья, широко распространенного в природе. Запасы цеолитов в мире составляют более 4 млрд. тонн, в том числе России 661,9 млн. тонн.

Цеолитовые породы представляют собой комплекс алюмосиликатных минералов в различной степени гидратированности гидротермального, осадочного и вулканогенного генеза. В зависимости от доминирующего минерала подразделяются на клиноптилолитовый, морденитовый, филлипситовый и шабазитовый типы. Все они обладают свойствами, важными с точки зрения агрономического почвоведения, наиболее важными из которых являются вышеперечисленные высокие ионообменная, каталитическая и сорбционная способности. Катионный комплекс цеолитов Хотынецкого месторождения Орловской области, например, включает очень большое количество обменных соединений кремния (в оксидной форме элемента) — 7950 мг-экв./100 г, высокое содержание кальция — 4800 мг-экв./100 г и магния — 1600 мг-экв./100 г, достаточное количество обменных фосфора (260 мг-экв./100 г) и калия (250 мг-экв./100 г) [11]. Цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области состоит на 39 % из клиноптилолита, 30,4 % — монтмориллонита, 28 % — опалкристиобалита, 10,6 % — кальцита, и 7,9 % кварца. Суммарная ионообменная (катионообменная) способность его составляет 93,0 мг-экв./100 г. Основная роль в обмене принадлежит кальцию (86-88 %), доля калия 5-8 %, натрия 3-4 %, магния 3 %.

Кристаллическая решетка цеолитов построена из четырех-, пяти-, шестичленных и еще более сложных колец, образованных кремнекислородными тетраэдрами. То или иное количество атомов кремния замещено алюминием. В результате такого строения во внутрикристаллическом пространстве цеолитов образуется сложная система соединенных между собой и окружающей средой каналов и полостей, в которых в большей степени располагаются обменные катионы кальция, в меньшей — калия, натрия, магния и реже бария, стронция, лития. Высока водоудерживающая способность цеолита и достигает, например, в цеолите Юшанского месторождения 96,13 %. Пористая микроструктура цеолитов предполагает возможность внедрения в них полезных тех или иных компонентов и создание на их основе высокоэффективных, экологически безопасных и экономически целесообразных удобрений нового поколения.

Возможность широкого использования цеолитсодержащих пород обусловлена не только уникальными физическими, физико-химическими и адсорбционно-структурными характеристиками, но и уникальными свойствами кремния, содержание которого в цеолитах в зависимости от месторождения составляет от 50 до 70 %, в том числе аморфного (доступного) — до 50 %. Так, в цеолитах Юшанского месторождения оно соответственно составляет 58,11-69,39 и 31,64 % .

О положительной роли кремния в жизни растений свидетельствуют результаты многочисленных исследований отечественных и зарубежных авторов, которые обобщены в ряде обзоров [2, 12, 13]. В настоящее время доказано, что одной из главных его функций является формирование защитной иммунной системы организма, которая наиболее ярко проявляется при неблагоприятных, и, особенно, в стрессовых условиях выращивания сельскохозяйственных культур.

Кремний является основным компонентом почв, в которых его содержание колеблется от 20-35 (глинистые почвы) до 45-49 % (песчаные почвы). Однако растения часто испытывают недостаток в подвижных соединениях кремния, что связано с медленным растворением его кристаллических форм до ортокремниевой кислоты и постоянным безвозвратным отчуждением из почвы с урожаем культур. Недостаток кремния может быть компенсирован кремниевыми (силикатными) удобрениями, которые в настоящее время широко применяются только за рубежом (США, Япония, Бразилия, Мексика, Китай, Индия и другие). В нашей стране еще в 70-е годы прошлого века была доказана необходимость применения силикатных удобрений, которые до настоящего времени в промышленном масштабе не производятся. Вместе с тем есть возможность применения в этих целях природных высококремнистых пород, интерес к которым в последние годы стремительно растет.

Что касается цеолитов, исследования по изучению возможности применения их в сельском хозяйстве проводились еще в 1960-1970 гг. в основном Японии, Канаде, США [2]. В 90-е годы прошлого века необходимость использования цеолитов в народном хозяйстве рассматривалась на государственном уровне и были приняты Госпланом РСФСР соответствующие научно-технические программы: «Опытно-производственные испытания и определение масштабов природных цеолитов в народном хозяйстве РСФСР в 1987-1990 гг. (1986 г.)» и «Цеолиты России» (1987 г.). Результаты исследований по изучению эффективности цеолитов при внесении под сельскохозяйственные культуры, проведенных в 1989-1999 гг. в нашей стране, обобщены в обзоре Б.И. Лобода «Применение цеолитсодержащего минерального сырья в растениеводстве» [2], где показано, что внесение цеолитов в почву улучшает их физико-химические, агрохимические и физические свойства почв, обеспечивая повышение урожайности культур. Здесь же показано, что по мнению большинства исследователей биогенность и агрономическую ценность цеолитового минерального сырья можно значительно повысить путем предварительного его смешивания с органическими и минеральными

удобрениями. Результаты этих исследований являются теоретической базой для создания на основе цеолита новых видов экологически безопасных эффективных удобрений, благодаря (как уже выше отмечалось) уникальному кристалло-структурному их строению.

Начиная с 2015 года инициативная группа, включающая ученых, технологов, производителей Ульяновской области, последовательно работала в направлении изучения эффективности цеолитов Юшанского месторождения Ульяновской области в качестве удобрения сельскохозяйственных культур и возможности создания на их основе безопасных удобрений, в наиболее полной степени отвечающих требованиям сельскохозяйственных культур. Первые образцы на основе цеолита Юшанского месторождения внедрением в него аминокислот и карбамида были получены в 2019 г. в научно-производственном комплексе ООО «БиоРесурс» (г. Ульяновск). Испытания их проведены нами в 2019-2020 гг., ниже приводятся результаты, полученные в 2020 году (табл.)\*

Данные таблицы свидетельствуют, что цеолиты оказывают существенное положительное влияние на формирование урожайности сельскохозяйственных культур: даже использование невысоких доз (250 кг/га), способствовало повышению их до 30 % (рапс). Внесение его в дозе 500 кг/га обеспечило прибавку урожайности от 13 до 17 %. Обогащение цеолита аминокислотами и карбамидом значительно повысило эффективность новых удобрений: прибавка урожайности при дозе 250 кг/га составила от 13 (соя) до 42 % (рапс), дозе 500 кг/га от 20 (кукуруза, соя) до 45 % (рапс). При этом следует отметить, что по эффективности при возделывании ряда культур (озимая пшеница, рапс, просо) вариант с применением удобрений на основе цеолита с дозой 500 кг/га не уступал (кукуруза) или уступал незначительно (просо) варианту с внесением полных доз минеральных удобрений.

Таким образом, новые экспериментальные удобрения с внедрением в цеолит Юшанского месторождения аминокислот и карбамида по эффективности практически не уступают минеральным удобрениям, экологически безопасны и экономически целесообразны.

Высокая эффективность цеолита и удобрений на его основе обусловлена благоприятным (положительным) влиянием их на почвенную среду, в том числе на физические, водно-физические, биологические свойства, питательный режим и кислотно-основное состояние почвы. Так, агрофизические показатели чернозема выщелоченного при возделывании кукурузы приобрели оптимальные для данной культуры значения: количество агрономически ценных агрегатов (0,25 – 10 мм)

**Урожайность сельскохозяйственных культур при применении в технологии их возделывания цеолита и удобрений на его основе, 2020 г.**

Вариант	Озимая пшеница		Кукуруза		Рапс		Просо		Соя	
	урожайность, т/га	отклонение от контроля, %	урожайность, т/га	отклонение от контроля, %	урожайность, т/га	отклонение от контроля, %	урожайность, т/га	отклонение от контроля, %	урожайность, т/га	отклонение от контроля, %
Контроль	5,83	-	5,42	-	0,97	-	2,33	-	1,22	-
Цеолит, 250 кг/га	-	-	5,57	+3	1,26	+30	2,55	+9	1,35	+11
Цеолит, 500 кг/га	6,59	+13	6,22	+15	1,31	+35	2,72	+17	1,39	+14
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	-	-	6,29	+16	1,32	+36	3,08	+32	1,38	+13
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	7,67	+32	6,48	+20	1,35	+39	3,17	+36	1,47	+20
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	-	-	6,31	+16	1,38	+42	2,89	+24	1,52	+25
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	8,09	+39	6,51	+20	1,41	+45	3,04	+31	1,62	+33
N60P60K60 – под кукурузу N40P40K40 – под зерновые	7,25	+24	7,63	+41	1,41	+45	3,24	+39	1,73	+42
НСР05	0,26		0,35		0,18		0,18		0,15	

\* Полевые опыты проведены при возделывании озимой пшеницы, проса, сои на опытном поле Ульяновского ГАУ, кукурузы в ООО «Агрофирма Абушаев», рапса — КФХ «Мельников»

увеличилось на 5,6 – 18,5 % (абсолютные значения), водопрочных – на 2,0 – 5,9 %, коэффициент структурности повысился от 1,25 на контроле до 1,62 и 2,52 единиц. Плотность почвы составила 1,12 – 1,14 г/см<sup>3</sup>.

Высококремнистые породы (в данном случае цеолит) в значительной степени способствуют повышению водоудерживающей способности почвы, экономному и рациональному расходованию продуктивной влаги в течение вегетации сельскохозяйственных культур. Уже в начале вегетации кукурузы при внесении цеолита в чистом виде запасы доступной влаги в пахотном слое увеличились на 4–10 мм, в метровом – на 10–13 мм; при внесении цеолита, обогащенного аминокислотами соответственно на 6–8 и 8–16 мм. Результаты изучения водного режима чернозема выщелоченного при возделывании проса, рапса были аналогичны: преимущество при применении экспериментальных удобрений составляло 4 – 11 в пахотном и 14 – 16 мм – метровом слое.

Улучшение физических и водно-физических свойств почвы сопровождалось усилением деятельности почвенных микроорганизмов и, в целом, биологической активности почвы. Очень значительное усиление деятельности почвенных микроорганизмов при внесении цеолита в почву происходило под посевами проса. На 19,3 и 17,8 % повысилась биологическая активность почвы при использовании в качестве удобрения обогащенного аминокислотами и карбамидом цеолита. Усиление активности почвенных микроорганизмов сопровождалось оптимизацией питательного режима почв.

Положительное влияние цеолита, в том числе (больше всего) обогащенного аминокислотами и карбамидом на питательный режим почвы наблюдали при возделывании всех культур. Под посевами кукурузы содержание минеральных форм азота ( $N-NO_3 + N-NH_4$ ) в пахотном слое чернозема выщелоченного повысилось на 0,4 – 1,8 мг/кг, доступных соединений фосфора на 3 – 10 мг/кг, обменного калия на 5– 10 мг/кг (доза цеолита 250 и 500 кг/га); под посевами рапса доступных фосфора и калия на 20– 40 мг/кг (доза цеолита 500 кг/га); под посевами проса (доза 500 кг/га, чернозём типичный) минерального азота на 0,6 – 6,5 мг/кг, подвижных фосфора и калия на 5–16 мг/кг и 6,6–10,3 мг/кг соответственно. Следует отметить, что цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области с содержанием кальция и магния 17 % обладает несомненной способностью нейтрализовать кислотность почвы: в почве под посевами кукурузы (чернозем выщелоченный с  $pH_{KCl}$  5,4) она снизилась на 0,35–0,46 единиц, рапса (чернозём выщелоченный с  $pH_{KCl}$  5,10) на 0,11 – 0,25 единиц.

Улучшение физических, химических и биологических свойств почв непосредственно повлияло на продуктивность культур. Как следует из данных таблицы, прибавка урожайности озимой пшеницы составила от 0,76 до 2,26 т/га, кукурузы — от 0,80 до 1,09 т/га, рапса — от 0,29 до 0,44 т/га, проса — от 0,22 до 0,71 т/га, сои — от 0,13 до 0,40 т/га. При этом улучшалось качество продукции. В том числе повысилась её экологическая безопасность. Так, накопление в продукции всех культур при применении цеолита и удобрений на его основе в дозе 500 кг/га количество наиболее опасных элементов кадмия и свинца снизилось: — в 2 и более раз.

Применение цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, в дозе 250 кг/га в качестве удобрений сельскохозяйственных культур наиболее экономически целесообразно. При возделывании рапса уровень рентабельности производства семян с использованием в системе удобрения цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 250 кг/га, составил 100 %, обогащенного карбамидом — 107 %, тогда как на контроле 89 %; проса соответственно — 97 и 84 % (на контроле 78 %), кукурузы 153 и 152 %.

В связи с вышеизложенным следует признать, что удобрения на основе цеолита, полученные обогащением его аминокислотами и карбамидом, являются уникальным средством для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и получения экологически безопасной качественной продукции, которое позволяет поднять современное земледелие на качественно новый уровень.

*Библиографический список:*

1. Ермолаев А.А. Кремний в сельском хозяйстве // Химия в сельском хозяйстве. 1987 г. Т. 25. №6. С. 45-47.
2. Лобода Б.П. Применение цеолитсодержащего минерального сырья в растениеводстве // Агрохимия. 2000. № 6. С. 78–91.
3. Капранов В.Н. Диатомит как кремнийсодержащее удобрение // Плодородие. 2006. №4. С. 12–13.
4. Осипов А.И., Гадаборшев Р.Н. Применение цеолитов в сельском хозяйстве. С. Пб.: АМА НЗ РФ, 2009. 55 с.
5. Арефьев А.Н. Теоретическое обоснование и разработка приемов повышения плодородия почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур в лесостепи Поволжья: автореф. на соиск. ученой степ. докт. с.-х. наук: 06.01.01 – общее земледелие, растениеводство. Пенза, 2013. 42 с.
6. Козлов А.В., Уромова И.П. Эффективность кремнийсодержащих веществ в оптимизации свойств и повышении продуктивности почв

- Нижегородской области. М.: Изд-во Флинта, Н. Новгород: изд-во Мининского университета, 2017. 156 с.
7. Datnoff, L.E., Deren, C.W. and Snyder, G.H. (1997) Silicon Fertilization for Disease Management of Rice in Florida // Crop Protection. 1997. V. 16. P. 525-531.
  8. Jang D. Silicon enhances es resistance of barley to powdery mildew (*Erysiphe graminis* F. Sp hordei) // Phitopathol. 1989. V. 79. P. 1198.
  9. Белоусов В.С. Цеолитсодержащие породы в качестве инактиваторов тяжелых металлов в почве // Агрохимия. 2006. №4. С. 78-83.
  10. Belanger R.R. The role silicon in plant-pathogen interaction: toward universal model // III Silicon in Agriculture Conference. Umlandia: Unversodate Federal de Uberlandia. 2005. P. 34-40.
  11. Козлов А.В., Куликова А.Х., Румянцев Р.И. Стабилизация почвенно-поглощающего комплекса дерново-подзолистой почвы под действием цеолитовой породы // Экологический вестник Северного Кавказа. 2020. Т. 16. № 1. С. 15-20
  12. Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Матыченков И.В. Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения // Агрохимия. 2011. № 7. С. 84-96.
  13. Самсонова Н.Е. Кремний в растительных и животных организмах // Агрохимия. 2019. № 1. С. 86-96.

## **ZEOLITES AS SILICON FERTILIZER FOR AGRICULTURAL CROPS**

***Kulikova A. Kh.***

**Keywords:** *zeolites, silicon fertilizer, yield, agricultural crops, product quality.*

*The results of studying the effectiveness of zeolite and fertilizers based on it in the technology of cultivation of agricultural crops are presented. Fertilizers based on zeolite, obtained by enriching it with amino acids and urea, provided a significant increase in the yield of agricultural crops (winter wheat by 13-39 %, corn by 15-20 %, rapeseed-by 30-45 %, millet by 9-31 %, soy-by 11-33 %) and obtaining environmentally safe quality products.*