

УДК 631.8:546.28:631.55

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОКРЕМНИСТЫХ ПОРОД В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ В АГРОЦЕНОЗАХ

Куликова А.Х., доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
тел. 8(8422)55-95-68, agroec@yandex.ru

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Козлов А.В., доктор биологических наук, доцент,

тел. 892011111314, a_v_kozlov@mail.ru

РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева

Ключевые слова: кремний и кремнистые породы, сельскохозяйственные культуры, удобрения на основе кремнистых пород.

В работе приведены результаты многолетних исследований, показывающих эффективность кремнистых пород (диатомиты, цеолиты) в качестве кремниевых удобрений сельскохозяйственных культур. Доказано, что эффективность кремнистых удобрений при применении в агроценозах можно значительно повысить при совмещении с азотсодержащими соединениями. Обогащение ими кремнистых пород позволяет наладить производство удобрений, превосходящих по эффективности минеральные.

Введение. Современные вызовы сельскохозяйственного производства (резкое повышение цен на минеральные удобрения, негативные последствия применения пестицидов и в целом антропогенного воздействия на агроценозы, необходимость восстановления и сохранения плодородия почвы и др.) в условиях санкционных ограничений обуславливают необходимость создания новых видов удобрений: агрономически более эффективных, экологически безопасных, экономически целесообразных. Анализ научной литературы позволяет сделать вывод о возможности решения

данных проблем за счет создания устойчивых почвенно-биотических систем через применение кремнийсодержащих удобрений.

Материалы и методы. О положительной роли кремния в жизни растений свидетельствуют многочисленные исследования отечественных и зарубежных авторов [1,2,3,4,5,6]. Среди основных функций кремния в системе «почва-растение» авторы выделяют защитную: повышение физической устойчивости к неблагоприятным условиям в виде утолщения клеток эпидермальных тканей; формирование иммунной системы и повышение внутренней устойчивости к любым абиотическим стрессам, а также к поражению болезнями; активизация и усиление активности корневой системы и улучшение питания растений. Не цитируя многочисленных авторов, следует также отметить положительное влияние кремния и кремнийсодержащих материалов на свойства почвы (физические, биологические и химические), формирование биопродуктивности и повышение качества основной продукции.

Результаты исследований. Кремний один из самых распространенных элементов в земной коре (кларк его составляет 29,7 %) и является основным компонентом почвы (от 26-33 % в глинистых до 45-49 % в песчаных). Однако основная часть кремниевых соединений играет роль минерального каркаса и инертна по отношению к процессам питания растений, которые могут усваивать только подвижные низкомолекулярные или монокремниевую кислоты. Содержание последних в почве крайне низко, прежде всего, в связи с постоянным безвозвратным отчуждением урожаем сельскохозяйственных культур (в мире ежегодно 200-250 млн. тонн [4]) и дефицит их возрастает. В связи с этим кремний во многих почвах становится лимитирующим урожайность культур фактором жизни растений. Последнее обуславливает необходимость применения кремниевых (силикатных) удобрений, которые в нашей стране практически не производятся. Вместе с тем установлено, что в этом качестве успешно применимы высококремнистые породы (цеолиты, бентониты, диатомиты и др.), эффективность которых в ряде случаев сравнима с минеральными удобрениями [5,6,7,8]. Так, исследования по изучению роли кремния в системе «почва-растение» показали высокую эффективность диатомита в качестве удобрения при возделывании зерновых культур (табл. 1).

Прибавка урожайности зерна озимой пшеницы при применении в дозе 3 т/га диатомита составила 0,29 т/га, ячменя 0,69 т/га, гороха 0,23 т/га. Удвоение дозы диатомита сопровождалось практически удвоением прибавки урожайности основной продукции, что свидетельствует о дефиците доступного кремния в данной почве, где содержание монокремниевой кислоты не превышает 16 мг/кг [4].

Таблица 1 - Влияние диатомита на урожайность сельскохозяйственных культур (почва — дерновоподзолистая легкосуглинистая, опытное поле НГПУ им. Козьмы Минина), т/га

Вариант	Озимая пшеница, 2015 г.		Ячмень, 2016 г.		Горох 2017 г.	
	урожайность	отклонение от контроля, +	урожайность	отклонение от контроля, +	урожайность	отклонение от контроля, +
Контроль	2,51	-	3,03	-	1,62	-
Диатомит 3 т/га	2,80	+0,29	3,72	+0,69	1,85	+0,23
Диатомит 6 т/га	3,10	+0,59	4,08	+1,05	2,02	+0,40
НСР ₀₅	017		0,19		0,13	

Тем не менее, состав данных пород не всегда соответствует потребностям возделываемых культур и эффективность их достигается за счет устранения дефицита доступного кремния и благоприятного воздействия на физико-химическое состояние почвы. В связи с этим большинство исследователей приходит к выводу, что биогенность и агрономическую ценность кремнийсодержащего сырья можно значительно повысить предварительным смешиванием их с органическими или минеральными удобрениями, что подтвердилось и в наших опытах (табл. 2).

Результаты исследований свидетельствуют, что кукуруза является одной из самых кремниелюбивых культур и высокоотзывчивой на использование высококремнистых пород в технологии ее возделывания. Урожайность зерна при применении цеолита в дозе, практически сравнимой в физическом весе с минеральными удобрениями (500 кг/га), повысилась в среднем за 3 года почти на 1 тонну с одного гектара. При совместном применении цеолита с азотом в дозе 60 кг д.в./га прибавка урожайности удваивается и не уступает, а превосходит вариант с полным минеральным удобрением.

Таким образом, полученные результаты исследований свидетельствуют о высокой эффективности цеолита в качестве удобрения кукурузы с одной стороны, с другой — о необходимости совмещения с азотом, особенно на фоне высокой обеспеченности почвы доступным фосфором и калием, что обусловлено отсутствием данного элемента в кремнистых породах.

Таблица 2 - Урожайность зерна кукурузы в зависимости от применения в системе ее удобрения цеолита (почва — чернозем выщелоченный среднесуглинистый, опытное поле УлГАУ им. П.А. Столыпина)

Вариант	Урожайность, т/га				Отклонение от контроля	
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	средняя	т/га	%
Контроль	6,21	5,59	5,87	5,89	-	-
Цеолит 500 кг/га	7,36	6,51	6,58	6,82	+0,93	16
Цеолит 500 кг/га+N ₆₀	8,64	7,42	7,97	8,01	+2,12	36
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	8,36	7,27	7,58	7,74	+1,85	31
НСР ₀₅	0,42	0,27	0,31			

Повысить уровень питания растений азотом возможно не только непосредственно внесением его в виде минеральной соли, но и внедрением в кремнистые породы компонентов, активизирующих жизнедеятельность микроорганизмов, особенно несимбиотических азотфиксаторов. В наибольшей степени в качестве основы для создания новых высокоэффективных экологически безопасных удобрений соответствуют цеолиты. Цеолит — природная порода вулканогенного осадочного происхождения, пронизанная тонкими полостями и каналами, которые заполнены катионами щелочных и щелочно-земельных металлов и молекулами воды, имеющими значительную свободу движения. Последнее наделяет цеолит высокой ионообменной способностью, свойствами адсорбента и донора, возможностью впитывать и отдавать влагу, продлевать действие веществ, с которыми он смешан. Отмеченные особенности кристаллоструктурного строения цеолита позволяют внедрить в него те или иные компоненты, необходимые тем или иным культурам при выращивании на тех или иных почвах, то есть производить удобрения, обеспечивающие «адресное» питание растений.

Вышесказанное явилось теоретической основой для разработки состава удобрений на основе цеолита и технологии их производства. При разработке состава нового удобрения исходили, прежде всего, из необходимости обогащения его азотсодержащими соединениями. Для этой цели использовали аминокислотный комплекс, производимый в ООО «Семирамида» (г. Москва). При этом исходили из того, что аминокислоты, имея маленький размер молекул (менее 10 ангстрем), легко проникают в поры цеолита и также легко высвобождаются при внесении в почву, обогащая ее доступным азотом. Кроме того, аминокислоты отличаются высокой биологической активностью и способствуют усилению деятельности почвенных микроорганизмов, прежде всего, аммонификаторов и нитрификаторов, что ускоряет минерализацию органических соединений и переходу азота в минеральные формы (NH_4^+ , NO_3^-), доступные растениям. Впервые производство удобрений на основе цеолита (Юшанского месторождения Ульяновской области) налажено на базе ООО «БиоРесурс» (г. Ульяновск), утверждены ТУ применения (№20.15.79.-003-40559786). Испытания экспериментальных удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур как на опытном поле, так и в производственных условиях проводятся с 2019 г. и продолжаются в настоящее время. Результаты их показали очень высокую агрономическую эффективность, экологическую безопасность и экономическую целесообразность их применения, превышающую минеральные удобрения (табл. 3).

Основные выводы при этом сводятся к следующему:

- все экспериментальные культуры (озимая пшеница, кукуруза, соя, просо) отзывчивы на применение в технологии их возделывания цеолита в качестве кремниевого удобрения: прибавка урожайности зерна в дозе породы 500 кг/га составила от 12 до 19 %. Эффективность цеолита в качестве удобрения очень значительно повышается при обогащении его аминокислотами: более, чем в 1,5-2 раза по отношению к вариантам с применением породы в чистом виде;

- удобрение на основе цеолита при возделывании озимой пшеницы, проса и сои по влиянию на урожайность основной продукции в среднем за 3 года превосходило минеральные удобрения. При возделывании кукурузы минеральные удобрения по эффективности

превышали удобрения на основе цеолита. Последнее обусловлено тем, что кукуруза, являясь высокоинтенсивной культурой, потребляет значительно больше элементов питания, чем зерновые (особенно азота).

Таблица 3 - Урожайность сельскохозяйственных культур при применении цеолита и удобрения на его основе (средняя за 2019-2021 гг.)

Варианты	Озимая пшеница		Кукуруза		Соя		Просо	
	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	4,32		4,39		1,82		2,62	
Цеолит, 250 кг/га	4,53	5	4,46	2	2,08	14	3,06	17
Цеолит, 500 кг/га	4,83	12	4,91	12	2,19	17	3,11	19
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	5,07	17	5,11	16	2,33	28	3,35	28
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	5,23	21	5,21	17	2,55	40	3,42	31
НPK	5,16	19	5,57	27	2,47	35	3,45	32
НСР ₀₅	0,21		0,37		0,20		0,30	

Высокая эффективность высококремнистых пород, а также удобрений на их основе обусловлено многосторонним положительным влиянием их на систему «почва-растение». Ниже приведен рисунок, показывающий изменение в свойствах почвы по результатам наших многолетних исследований по изучению эффективности диатомита в качестве удобрения сельскохозяйственных культур.

Отмеченные закономерности влияния диатомита на свойства почвы и в целом на систему «почва-растение» относятся в полной мере и к другим высококремнистым породам, прежде всего, цеолитам.

Заключение

1. Кремнистые породы (диатомиты, цеолиты и др.) являются эффективным кремниевым удобрением сельскохозяйственных культур, оказывающими комплексное положительное воздействие на свойства

почвы и, в целом, систему «почва-растение». Урожайность основной продукции в отдельные годы по отдельным культурам может повышаться до 40 %.

2. Эффективность кремнистых прод в агроценозах можно значительно повысить при совместном применении с азотсодержащими соединениями. Внедрение последних, в частности, в цеолит, позволяет наладить производство удобрений, превосходящих по эффективности минеральные. Так, применение органоминерального удобрения на основе цеолита обогащением его аминокислотами в дозах 250 и 500 кг/га в среднем за 3 года обеспечило прибавку урожайности зерна озимой пшеницы на 0,75-0,91 т/га соответственно, кукурузы на 0,72 и 0,82 т/га, сои на 0,51 и 0,73 т/га, проса на 0,73 и 0,80 т/га.



Рис. - Эффективность диатомита в качестве удобрения сельскохозяйственных культур

Библиографический список:

1. Ma, J.F. Silicon uptake and accumulation in higher plants / J.F. Ma, N Yamaji // Trends in Plant Science, 2006. Vol. 11 (8). - P. 392-397.
2. Heather, A.C., Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies / A.C. Heather, C.P. Carole // Annals of Botany. - 2007. - Vol. 100 (7). - P. 1383-1389.

3. Epstein E. Silicon: its manifold roles in plants / E. Epstein // Annals of Applied Biology. - 2009. - Vol. 155. - P. 155–160.

4. Матыченков, В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение: дисс. ...докт. биол. Наук: 03.00.12, 03.00.27. / Матыченков Владимир Викторович. - Пушкино, 2008. 313 с.

5. Бочарникова, Е.А. Кремниевые удобрения: прошлое, настоящее, будущее / Е.А. Бочарникова, В.В. Матыченков, И.В. Матыченков // Агрохимия. - 2011. - №7. - С. 84-96.

6. Самсонова, Н.Е. Кремний в растительных и животных организмах / Н.Е. Самсонова // Агрохимия. - 2019. - № 7. - С. 86–96.

7. Куликова, А.Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур: монография / А.Х. Куликова. Ульяновск: Изд-во Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. - 176 с.

8. Капранов, В.Н. Эффективность кремнийсодержащего вещества диатомита на дерново-подзолистой почве / В.Н. Капранов // Проблемы агрохимии и агроэкологии. - 2010. - №2. - С. 10-14.

THE RELEVANCE OF THE USE OF HIGH-SILICEOUS ROCKS AS FERTILIZERS AND INCREASING THEIR EFFICIENCY IN AGROCENOSSES

Kulikova A. Kh., Kozlov A.V.

Key words: *silicon and siliceous rocks, agricultural crops, fertilizers based on siliceous rocks.*

The paper presents the results of long-term studies showing the effectiveness of siliceous rocks (diatomites, zeolites) as silicon fertilizers of agricultural crops. It is proved that the effectiveness of siliceous fertilizers when used in agrocenoses can be significantly increased when combined with nitrogen-containing compounds. Their enrichment of siliceous rocks makes it possible to establish the production of fertilizers that are superior in efficiency to mineral ones.