

На правах рукописи

Черкасов Михаил Сергеевич

**ВЛИЯНИЕ ЦЕОЛИТА И УДОБРЕНИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ НА
УРОЖАЙНОСТЬ КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО И СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА
ВЫЩЕЛОЧЕННОГО В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Ульяновск – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

Научный руководитель: **Куликова Алевтина Христофоровна**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

**Официальные
оппоненты:** **Ступаков Алексей Григорьевич**
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ
ВО «Белгородский государственный аграрный
университет имени В.Я. Горина», кафедра
земледелия, агрохимии, землеустройства, экологии и
ландшафтной архитектуры, профессор

Чекаев Николай Петрович,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный
университет», кафедра почвоведения, агрохимии и
химии, заведующий кафедрой

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет им.
Н. П. Огарёва»

Защита диссертации состоится «24» октября 2023 г. в 16⁰⁰ час. на заседании диссертационного совета 99.2.117.03 при ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» по адресу: 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аграрный университет» и на сайте www.ssaa.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета _____ Троиц Наталья Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В настоящее время широко рассматривается проблема возможности использования природных экологически безопасных материалов в качестве удобрений сельскохозяйственных культур. Последнее вызвано как дороговизной классических минеральных удобрений (азотных, фосфорных, калийных), так и возможными экологическими последствиями их применения. К ресурсам, которые в этом отношении представляют большой интерес, относятся высококремнистые породы (диатомиты, опоки, трепелы, бентонитовые глины, цеолиты), обладающие уникальными адсорбционными, каталитическими и ионообменными свойствами. В силу таких особенностей они оказывают положительное влияние, прежде всего, на физические, биологические и агрохимические свойства почвы и, как следствие, урожайность и качество продукции.

Однако возможность использования кремнийсодержащих пород при возделывании сельскохозяйственных культур обусловлена не только влиянием их на свойства почвы, но и высоким содержанием кремния, как элемента питания. Кремний такой же необходимый элемент питания растений как азот, фосфор, калий и растения нуждаются в постоянном присутствии в почвенном растворе доступного кремния в виде монокремниевой кислоты. Вышесказанное обуславливает необходимость изучения эффективности цеолита Юшанского месторождения Ульяновской области в системе удобрений сельскохозяйственных культур и приемов повышения его эффективности производством удобрений нового поколения.

Исследование является составной частью плана научной работы ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» «Мониторинг состояния почвенного покрова и его агрохимическая и эколого-энергетическая оценка; разработка системы удобрений сельскохозяйственных культур (в том числе с использованием нетрадиционных ресурсов) и воспроизводство плодородия почвы» (регистрационный номер АААА-А16-116.041.110.183-9).

Степень разработанности темы. Вопросы применения цеолита в качестве удобрения сельскохозяйственных культур рассматривались как отечественными исследователями, так и зарубежными учеными (Yoshida S. 1975; Лобода Б.П., 2000; A.Fawe, J.Menzies, M. Cherif, R. Belanger 2001; Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Аммосова Я.М. 2002; Ma J. F. 2004; Самсонова Н.Е., 2005,2019; Куликова А.Х., 2010, 2013; Бочарникова Е.А., 2011; Козлов А.В., 2015; Maghsoudi K., 2015; Куликова А.Х., Козлов А.В., Смывалов В.С., 2019; Козлов А.В., 2022 и др.).

Однако эффективность применения цеолита как в чистом виде, так и обогащенного азотсодержащими соединениями в качестве удобрения сельскохозяйственных культур в условиях Среднего Поволжья практически не изучена. В связи с этим изучение формирования продуктивности кукурузы на зерно в лесостепи Поволжья при применении в технологии ее возделывания цеолита и удобрений на его основе представляется актуальным.

Цель и задачи исследования. Целью исследований являлось повышение урожайности кукурузы на зерно и его качества в лесостепи Поволжья при применении в технологии ее возделывания цеолита и удобрений на его основе.

Основные задачи:

– провести полевые опыты с внесением в почву цеолита Юшанского месторождения Ульяновской области, в том числе обогащенного аминокислотами и карбамидом, в качестве удобрения кукурузы;

- изучить изменение свойств почвы (агро- и воднофизических, биологических и агрохимических) под действием цеолита и удобрений на его основе;
- установить влияние цеолита Юшанского месторождения и удобрений на его основе на урожайность и качество зерна кукурузы;
- определить баланс элементов питания в почве под посевами кукурузы;
- определить экономическую эффективность технологии возделывания кукурузы с использованием в системе ее удобрения цеолита и удобрений на его основе.

Научная новизна. Впервые изучены агро- и воднофизические показатели, биологическая активность и агрохимическое состояние чернозема выщелоченного при использовании в качестве удобрения цеолита как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами и карбамидом. Определен при этом баланс элементов питания в черноземе выщелоченном под посевами кукурузы. Раскрыты механизмы формирования урожайности зерна кукурузы при применении в технологии ее возделывания цеолита и удобрений на его основе. Проведена экономическая и экологическая оценка эффективности технологий возделывания кукурузы с применением в системе ее удобрения цеолита и удобрений на его основе.

Защищаемые положения:

1. Применение цеолита как в чистом виде, так и удобрений на его основе обогащением аминокислотами и карбамидом позволяет существенно улучшить агро- и воднофизические, биологические и агрохимические свойства чернозема выщелоченного при возделывании кукурузы на зерно в условиях Среднего Поволжья.
2. Использование цеолита и удобрений на его основе обеспечивает повышение урожайности кукурузы на зерно на 0,18 и 0,78 т/га при применении в чистом виде, на 1,00 и 0,97 т/га – обогащенных аминокислотами и карбамидом. Возделывание кукурузы с применением цеолита и удобрений на его основе на фоне НРК способствует повышению урожайности зерна на 3,22 и 3,28 т/га.
3. Совместное внесение комплексных и кремниевых удобрений уменьшает негативное влияние первых на качество сельскохозяйственной продукции. При этом содержание наиболее токсичных элементов в зерне снижается: кадмия на 65-70 %, свинца на 21-25 %, никеля на 17-20 %.

Достоверность полученных результатов подтверждается проведением полевых опытов и лабораторных анализов почвенных и растительных образцов в строгом соответствии с методическими требованиями и ГОСТами, большим количеством экспериментальных, математически обработанных данных и положительными результатами при использовании разработанных систем удобрения в хозяйствах Ульяновской области, в том числе в ООО «Агрофирма «Абушаева» Ульяновского района на площади 1 тыс. га, ООО «Родник» Мелекесского района на 1 тыс. га.

Практическая значимость и реализация результатов исследования. Результаты исследования подтвердили эффективность цеолита в чистом виде, так и обогащенного его аминокислотами и карбамидом, при применении в качестве удобрения кукурузы и позволяют рекомендовать его сельхозтоваропроизводителям. Результаты используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ при изучении таких дисциплин, как агрохимия, растениеводство, нетрадиционные удобрения, системы удобрений, сельскохозяйственная экология.

Личный вклад соискателя. Соискателем совместно с научным руководителем разработана программа исследований, лично проведены полевые и лабораторные эксперименты, сделаны анализ и обобщение полученных результатов, а также заключение и рекомендация производству. Вклад соискателя в диссертационную работу составляет не менее 80 %.

Апробация работы и публикации. Результаты исследования и основные положения диссертации докладывались и обсуждались на Международной научной конференции «Молодежь и наука XXI века (Ульяновск, 2018), Национальной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» (Ульяновск, 2019), III, IV, V Международных студенческих научных конференциях «В мире научных открытий» (Ульяновск, 2019, 2020, 2021), Национальной научно-практической конференции «Актуальные проблемы аграрной науки: состояние и тенденции развития» (Димитровград, 2019), VII молодежной межрегиональной научно-практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Экологические проблемы и пути их решения: естественнонаучные и социокультурные аспекты» (Нижний Новгород, 2020), XI Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» (Ульяновск, 2021).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья в журнале, входящем в международную базу данных Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания объектов и методов исследования, результатов и их обсуждения, выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 130 странице, содержит 16 рисунков, 19 таблиц. Библиографический список состоит из 159 наименований, в том числе 25 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность и благодарность научному руководителю, доктору с.-х. наук, профессору Куликовой Алевтине Христофоровне за всестороннюю поддержку и помощь при выполнении работы, а также всему коллективу кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина и коллективу ФГБУ «САС «Ульяновская».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Цеолитсодержащие породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур (обзор литературных данных)

Проведен аналитический обзор литературных сведений по изучаемой проблеме. Рассмотрены роль цеолита при использовании его в качестве удобрения сельскохозяйственных культур и влияния его на плодородие почвы. Проведен анализ систем удобрения кукурузы и показано, что в условиях Ульяновской области вопросы применения цеолита в технологии возделывания сельскохозяйственных культур и внедрения их в производство практически изучены. Рассмотрены требования кукурузы к питательному режиму.

Глава 2. Условия и методика проведения исследований

Исследования выполнены на опытном поле кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ в 2019 г. и в 2020-2022 гг. – на базе ООО «Родник» Мелекесского района Ульяновской области.

Схема опыта следующая: **1.1. Контроль (без удобрений)(К)**; 1.2. Цеолит (Ц), 250 кг/га; 1.3. Цеолит (Ц), 500 кг/га; 1.4. Цеолит, обогащенный аминокислотами (ЦА), 250 кг/га; 1.5. Цеолит, обогащенный аминокислотами (ЦА), 500 кг/га; 1.6. Цеолит, обогащенный карбамидом (ЦК), 250 кг/га; 1.7. Цеолит, обогащенный карбамидом (ЦК), 500 кг/га; **2.1. N₆₀P₆₀K₆₀ (NPK)**; 2.2. NPK + Цеолит (Ц), 250 кг/га; 2.3. NPK + Цеолит (Ц), 500 кг/га; 2.4. NPK + Цеолит, обогащенный аминокислотами (ЦА), 250 кг/га; 2.5. NPK + Цеолит, обогащенный аминокислотами (ЦА), 500 кг/га; 2.6. NPK + Цеолит, обогащенный карбамидом (ЦК), 250 кг/га; 2.7. NPK + Цеолит, обогащенный карбамидом (ЦК), 500 кг/га.

Опыты проведены в четырехкратной повторности. Посевная площадь делянки в ООО «Родник» 294 м². (14x21), учетная – 180 м². (10x18), расположение делянок рендомизированное.

Почва опытного поля ООО «Родник» – чернозем выщелоченный малогумусный среднемощный среднесуглинистый (содержание гумуса 3,5 %) с повышенной обеспеченностью доступными фосфором и высокой – калием (по Чирикову, 127 и 182 мг/кг соответственно), слабокислой реакцией почвенной среды (рН_{KCl} 5,1 единиц).

Объектом исследования являлась кукуруза на зерно, гибрид MAS 10. Данный гибрид кукурузы сочетает высокую урожайность и низкую влажность зерна, выращивается преимущественно на зерно. Культура устойчива к полеганию и ломкости стебля. В свою очередь, гибрид имеет оптимальную устойчивость к поражению болезнями и вредителями.

За годы проведения исследований климатические показатели существенно отличались от среднемноголетних как по количеству осадков, так и по распределению их в течение вегетации. Также значительно варьировались показатели термического режима – среднесуточной температуры воздуха.

Тем не менее, температурный режим, количество осадков и влагообеспеченность почвы, несмотря на их колебания и отклонения в отдельные периоды от нормы, равно как агрохимические показатели плодородия были вполне благоприятны для возделывания кукурузы.

Химические анализы почвы и растений (зерно кукурузы) выполняли в испытательной лаборатории «Ульяновская ГСХА» (№: РОСС.RU. 0001513.748) и аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ «САС «Ульяновская» (№: RA.RU.510251).

При экономическом анализе технологий возделывания кукурузы были использованы нормативы и расценки, принятые для производственных условий в ООО «Родник». Стоимость продукции рассчитывалась в соответствии с ценой реализации, которая сложилась в 2022 году. Все расчеты выполнены на основе технологических карт.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Глава 3. Влияние цеолита на свойства чернозема выщелоченного

3.1. Агро - и водно-физические показатели

Показатели физического состояния чернозема выщелоченного под посевами кукурузы при внесении в почву цеолита как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами и карбамидом (средние за 2020-2022 гг.) представлены в таблице 1.

При внесении в почву цеолита физическое состояние почвы значительно изменилось в лучшую сторону, особенно при использовании более высокой его дозы (500 кг/га) и обогащении аминокислотами, при применении которых данные показатели достигли оптимальных для кукурузы значений. Плотность пахотного слоя на вариантах без применения NPK по отношению к контролю составила 1,15 и 1,14 г/см³, коэффициент структурности 2,67 и 3,13. На вариантах с совместным применением удобрений на основе цеолита и NPK показатели были следующие – плотность составила 1,13 и 1,10 г/см³, коэффициент структурности 2,69 и 3,31. Содержание водопрочных агрегатов составило 72,7 и 72,8 %, а на вариантах NPK с цеолитом 74,8 и 75,7 %. Таким образом, внесение в почву цеолита и удобрений на его основе является фактором, несомненно улучшающим агрофизическое состояние чернозема выщелоченного, что прежде всего, обязано кремнию, который находится в цеолите до 30 % в аморфном состоянии.

Результаты определения запасов продуктивной влаги в черноземе выщелоченном показали, что зимне-весенние запасы доступной влаги вполне достаточны для получения нормальных всходов культуры как в пахотном (0-30 см), так и метровом (0-100 см) слоях почвы.

Таблица 1 – Агрофизические показатели почвы под посевами кукурузы

Варианты	Содержание агрегатов, % (сухое просеивание)			K _c *	Содержание водопрочных агрегатов, %		Плотность почвы, г/см ³	
	>10 мм	10-0,25 мм	<0,25 мм		3-0,25 мм	<0,25 мм		
Без удобрений	39,8	53,0	7,2	1,13	67,8	32,2	1,25	
Ц, 250 кг/га	29,7	63,9	6,4	1,77	69,5	30,5	1,19	
Ц, 500 кг/га	20,6	72,9	6,5	2,69	71,5	26,5	1,16	
ЦА, 250 кг/га	20,8	73,2	6,0	2,73	71,2	28,8	1,18	
ЦА, 500 кг/га	18,4	75,8	5,8	3,13	72,7	27,3	1,14	
ЦК, 250 кг/га	24,5	69,2	6,3	2,25	69,9	30,1	1,20	
ЦК, 500 кг/га	21,1	72,8	6,1	2,68	72,8	27,2	1,15	
N₆₀P₆₀K₆₀ - фон	33,1	59,8	7,1	1,49	67,0	33,0	1,26	
Фон + Ц, 250 кг/га	32,9	62,9	4,2	1,70	71,5	28,5	1,21	
Фон + Ц, 500 кг/га	22,8	72,9	4,3	2,69	73,5	26,5	1,14	
Фон + ЦА, 250 кг/га	23,8	72,2	4,0	2,60	73,2	26,8	1,16	
Фон + ЦА, 500 кг/га	19,6	76,8	3,6	3,31	75,7	24,3	1,10	
Фон + ЦК, 250 кг/га	26,7	69,2	4,1	2,25	70,9	29,1	1,19	
Фон + ЦК, 500 кг/га	23,3	72,8	3,9	2,68	74,8	25,2	1,13	
НСР ₀₅	Фактор А	0,6	0,9	0,4	-	1,2	1,2	0,06
	Фактор В	0,7	0,7	0,6	-	0,7	0,7	0,05

*K_c – коэффициент структурности

При внесении в почву цеолита как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами, водоудерживающая способность чернозема выщелоченного повышается. При этом запасы доступной влаги в пахотном слое (0-30 см) увеличились на 2-12 мм, 0-100 см – на 4-16 мм уже в начале вегетации. Преимущество вариантов с внесением цеолита и удобрений на его основе сохранялось до конца вегетации культуры, несмотря на усиленное потребление влаги растениями кукурузы на формирование урожая. Таким образом, имея большую

удельную поверхность, высококремнистые породы способны удерживать в себе значительное количество влаги, сохраняя ее в корнеобитаемом слое и постепенно расходуя в течение вегетации, так как она остается доступной. Последнее особенно важно в засушливые и критические периоды развития растений.

3.2. Биологические свойства

Микроорганизмы (живые организмы) остро реагируют на любые изменения почвы под влиянием разнообразных факторов. Деятельность микроорганизмов имеет важнейшее значение в биологическом цикле веществ и энергии, особенно, что касается почвенной среды, так как впоследствии их деятельности поддерживается постоянное определенное количество элементов питания в необходимом количестве.

При анализе результатов по исследованию биологической активности почвы по вариантам опыта обращает на себя внимание достаточно невысокая степень разложения льняного полотна, которая практически не превышает 20 %, а на контрольном варианте всего 12,5 %. Последнее вызвано засушливыми условиями второй половины вегетации кукурузы. В то же время, внесение в почву цеолита сопровождалось заметным усилением деятельности почвенных микроорганизмов – на 6 и 13 % (относительные значения) соответственно дозам породам, что несомненно обусловлено улучшением при этом структурного состояния пахотного слоя почвы. Создание оптимальных условий для жизнедеятельности микроорганизмов через улучшение физических и водно-физических свойств почвы обеспечивает улучшение питательного режима почвы и формирование более высокой урожайности сельскохозяйственных культур.

Существенно повышалась биологическая активность почвы при использовании в качестве удобрения цеолита, обогащенного аминокислотами, на 50 и 64 % (относительные значения). Таким образом, внесение активного кремнезема в почву с биологически активными аминокислотами непосредственно влияет на деятельность почвенной микрофлоры, механизм которой мало изучен. Тем не менее, можно предположить, что аминокислоты являются биологическим катализатором, поступая в почву в составе цеолита активизируют деятельность почвенных микроорганизмов.

3.3. Агрохимическое состояние

Результаты изучения влияния экспериментальных удобрений на содержание основных элементов питания в пахотном слое почвы (мг/кг) и ее обменную кислотность (единиц рН_{KCl}) под посевами кукурузы представлены в таблице 2.

По данным таблицы можно сделать вывод, что наиболее эффективным является вариант, где вносился цеолит, обогащенный аминокислотами, в дозе 500 кг/га на фоне NPK по 60 кг/га д.в. По сравнению с контролем показатели азота изменились на 1,3 мг/кг, а по сравнению с фоном остались на том же уровне. Содержание доступного фосфора в почве увеличилось на 27 мг/кг, что в свою очередь свидетельствует о положительном воздействии цеолита в переводе недоступных форм элемента в доступные. Содержание обменного калия в свою очередь повысилось с 146 мг/кг до 167 мг/кг, что обусловлено в том числе содержанием его в цеолите. Следует обратить внимание на кислотность почвы, которая в свою очередь уменьшалась в зависимости от доз внесения удобрений на 0,4 единицы.

Этот положительный эффект обусловлен тем, что в составе цеолита присутствует Ca+Mg в сумме до 17 % и более, которое в свою очередь способствует уменьшению в почве концентрации ионов водорода, тем самым снижая кислотность.

Таблица 2 – Агрохимические показатели состояния почвы в пахотном слое (мг/кг) и ее обменная кислотность (единиц рН_{KCl}) под посевами кукурузы

Варианты	рН _{KCl}	N-NO ₃ + N-NH ₄		P ₂ O ₅		K ₂ O		
		содержание	отклонение	содержание	отклонение	содержание	отклонение	
Без удобрений	5,6	7,8	-	138	-	146	-	
Ц, 250 кг/га	5,5	7,7	+0,1	143	+5	153	7	
Ц, 500 кг/га	5,6	8,1	+0,3	148	+10	155	9	
ЦА, 250 кг/га	5,6	8,3	+0,5	144	+6	157	11	
ЦА, 500 кг/га	5,4	8,7	+0,9	146	+8	161	15	
ЦК, 250 кг/га	5,3	8,2	+0,4	141	+3	155	9	
ЦК, 500 кг/га	5,5	8,5	+0,7	142	+4	160	14	
N₆₀P₆₀K₆₀ - фон	5,5	9,1	+1,3	158	+20	167	21	
Фон + Ц, 250 кг/га	5,3	8,3	+0,5	151	+13	155	9	
Фон + Ц, 500 кг/га	5,2	8,5	+0,7	156	+18	160	14	
Фон + ЦА, 250 кг/га	6,5	8,8	+1,0	161	+23	165	19	
Фон + ЦА, 500 кг/га	6,8	9,1	+1,3	165	+27	167	21	
Фон + ЦК, 250 кг/га	5,2	8,7	+0,9	162	+24	163	17	
Фон + ЦК, 500 кг/га	5,2	8,9	+1,1	164	+26	165	19	
НСР ₀₅	Фактор А	0,14	0,19	-	3,96	-	4,61	-
	Фактор В	0,26	0,36	-	7,42	-	8,62	-

Глава 4. Урожай зерна кукурузы и его качество

4.1. Урожайность зерна

Урожайность кукурузы на зерно в соответствии с использованием в технологиях ее возделывания новых экспериментальных удобрений на основе цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, показана ниже в таблице 3.

Как свидетельствуют данные таблицы, обогащение цеолита аминокислотами и карбамидом позволило значительно повысить урожайность зерна кукурузы: при применении с дозой 250 и 500 кг/га прибавка ее составила 0,96-0,97 т/га, или 19 %.

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 2,09 т/га.

Однако применение на этом фоне экспериментальных удобрений на основе цеолита повысило продуктивность кукурузы по отношению к контролю на 3,22-3,28 т/га, или на 62-63 %.

Последнее убедительно доказывает высокую эффективность удобрений на основе цеолита обогащением его аминокислотами и карбамидом.

Таблица 3 – Урожайность зерна кукурузы в зависимости от применения удобрений

Варианты	Урожайность, т/га				Отклонение от контроля, +/-		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Средняя	т/га	%	
Без удобрений	5,42	4,58	5,53	5,18	-	-	
Ц, 250 кг/га	5,57	4,87	5,64	5,36	+0,18	4	
Ц, 500 кг/га	6,22	5,52	6,15	5,96	+0,78	15	
ЦА, 250 кг/га	6,29	5,89	6,35	6,18	+1,00	19	
ЦА, 500 кг/га	6,48	5,45	6,50	6,14	+0,96	19	
ЦК, 250 кг/га	6,31	5,29	6,22	5,94	+0,76	15	
ЦК, 500 кг/га	6,51	5,50	6,45	6,15	+0,97	19	
N₆₀P₆₀K₆₀ - фон	7,63	6,54	7,65	7,27	+2,09	40	
Фон + Ц, 250 кг/га	7,79	6,48	7,75	7,34	+2,16	42	
Фон + Ц, 500 кг/га	8,14	7,20	8,20	7,84	+2,66	51	
Фон + ЦА, 250 кг/га	7,94	6,85	7,85	7,55	+2,37	46	
Фон + ЦА, 500 кг/га	8,95	7,68	8,75	8,46	+3,28	63	
Фон + ЦК, 250 кг/га	7,82	6,72	7,76	7,43	+2,25	43	
Фон + ЦК, 500 кг/га	8,76	7,64	8,82	8,41	+3,22	62	
НСР ₀₅	Фактор А	0,32	0,33	0,29	0,09	-	-
	Фактор В	0,38	0,37	0,37	0,16	-	-

Установлена тесная корреляционная зависимость урожайности зерна кукурузы от содержания элементов питания (NPK) в пахотном слое почвы в доступной форме (рисунки 1,2,3).

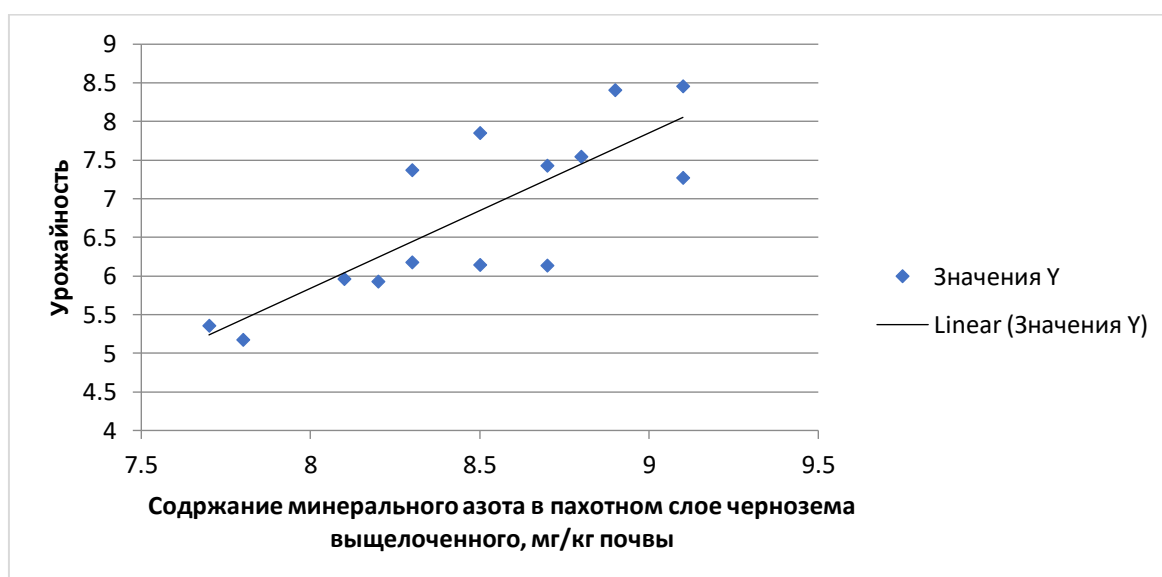


Рисунок 1 – Зависимость урожайности кукурузы (y) от содержания в черноземе выщелоченном от минерального азота

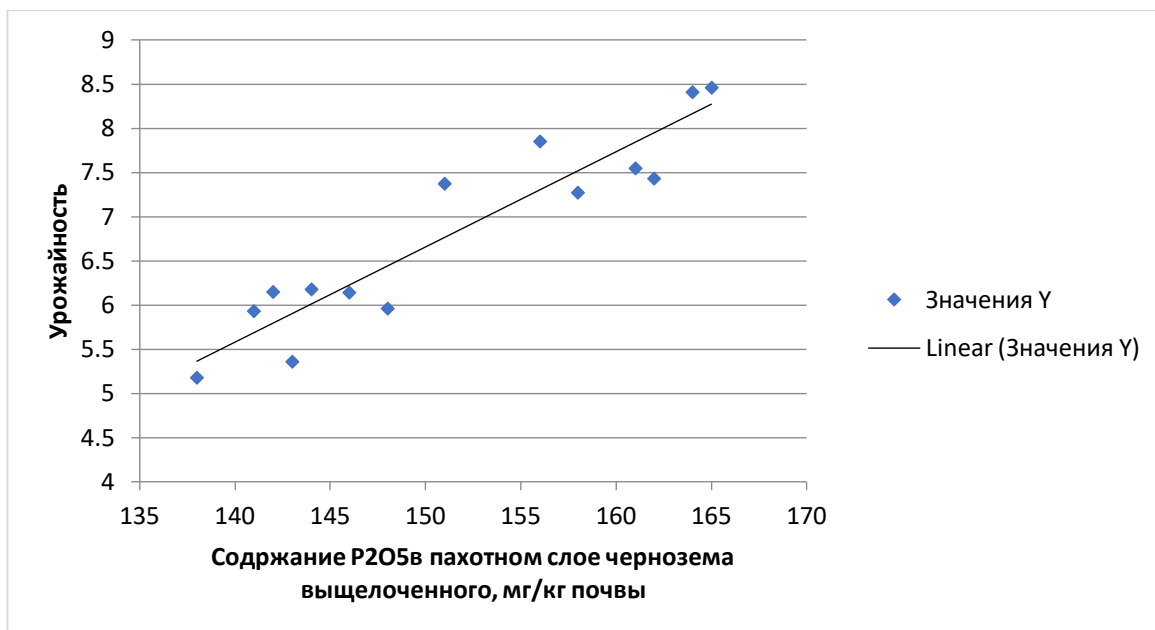


Рисунок 2 – Зависимость урожайности кукурузы (y) от содержания в почве доступного фосфора

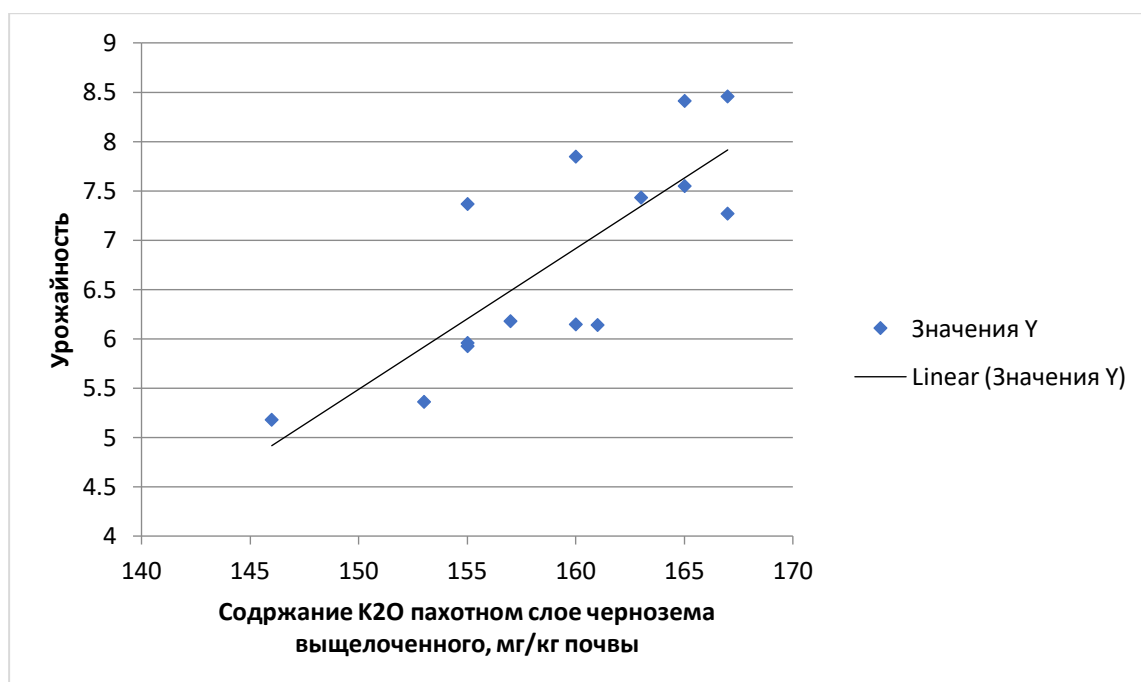


Рисунок 3 – Зависимость урожайности кукурузы (y) от содержания в почве обменного калия

4.2. Качество продукции

Одним из важнейших показателей для сельхозпроизводителей кукурузы является качество зерновой продукции. Функцией качества продукции является определение возможности использования их в различных отраслях. Примером может служить производство кормов, на пищевые цели и др.

Возделывание кукурузы с применением в качестве удобрения цеолита сопровождалось улучшением качества продукции (таблица 4).

При применении цеолита в чистом виде в дозах 250 и 500 кг/га значительных изменений в качестве зерна кукурузы не произошло. Однако, при обогащении цеолита аминокислотами и карбамидом в дозе 250 кг/га на естественном фоне, прибавка содержания крахмала в зерне увеличилось почти в 2 раза, и составила 78,1 и 75,3 % на контроле (47,9 %). На фоне минеральных удобрений показатели качества находились на аналогичном уровне и варьировались от 65 до 75 %. Можно отметить, что содержание белка в зерне возросло на 9-12 %, а также увеличилось содержание фосфора и калия.

Результаты, приведенные в таблице, доказывают оптимизацию всех качественных показателей зерна кукурузы при применении в качестве удобрения обогащенного аминокислотами цеолита.

Таблица 4 – Качественные показатели зерна кукурузы в зависимости от применения цеолита и удобрений на его основе, %

Варианты	Белок	Крахмал	N	P	K	
Без удобрений	8,28	47,91	1,56	0,32	0,52	
Ц, 250 кг/га	8,87	78,12	1,49	0,29	0,46	
Ц, 500 кг/га	8,63	75,63	1,45	0,25	0,45	
ЦА, 250 кг/га	9,04	73,00	1,52	0,28	0,47	
ЦА, 500 кг/га	8,69	82,26	1,46	0,30	0,49	
ЦК, 250 кг/га	9,10	75,34	1,53	0,27	0,44	
ЦК, 500 кг/га	8,81	82,77	1,48	0,28	0,49	
N₆₀P₆₀K₆₀ - фон	8,51	77,94	1,43	0,30	0,45	
Фон + Ц, 250 кг/га	8,93	71,61	1,50	0,33	0,49	
Фон + Ц, 500 кг/га	8,93	65,52	1,50	0,31	0,50	
Фон + ЦА, 250 кг/га	9,10	74,07	1,53	0,29	0,44	
Фон + ЦА, 500 кг/га	9,28	68,58	1,56	0,33	0,52	
Фон + ЦК, 250 кг/га	8,63	76,76	1,45	0,30	0,45	
Фон + ЦК, 500 кг/га	9,22	75,57	1,55	0,31	0,46	
НСР ₀₅	Фактор А	0,23	1,83	0,04	0,01	0,01
	Фактор В	0,43	3,42	0,08	0,02	0,02

4.3. Экологическая безопасность зерна

В современном мире одним из главных направлений в сельском хозяйстве является получение экологически безопасной сельскохозяйственной продукции.

При использовании удобрений в производстве продукции растительного происхождения важен не только объем производимой продукции, но и необходимое исключение возможности загрязнения токсикантами, которые могут находиться в удобрениях в виде примесей.

При анализе данных таблицы 5, прежде всего, обращает на себя внимание, что содержание всех определяемых тяжелых металлов ни по одному элементу не превышает предельно-допустимые их концентрации (ПДК) в зерновой продукции. Тем не менее, применение цеолита, обогащенного аминокислотами, позволяет существенно снизить поступление тяжелых металлов в продукцию в дозе 500 кг/га: меди на 50-51 %, никеля на 17-20 %, свинца – на 21-25 % и на 65-70 % кадмия. Необходимо также отметить очень низкое содержание кадмия в зерне, что, по-

видимому, обусловлено невысоким количеством его подвижных соединений в самой почве.

Таким образом, цеолит и удобрения на его основе, при внесении в почву, несомненно, способствуют получению экологически более безопасной продукции. Опасность загрязнения продукции кадмием также отсутствует.

Таблица 5 – Содержание тяжелых металлов в зерне кукурузы, мг/кг

Варианты	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd
Без удобрений	1,4	6,5	0,40	0,24	0,07
Ц, 250 кг/га	1,2	6,6	0,33	0,23	0,04
Ц, 500 кг/га	1,1	6,0	0,28	0,18	0,03
ЦА, 250 кг/га	0,7	6,9	0,34	0,20	0,02
ЦА, 500 кг/га	1,1	6,5	0,32	0,19	0,02
ЦК, 250 кг/га	1,0	6,0	0,33	0,23	0,04
ЦК, 500 кг/га	1,0	5,7	0,33	0,23	0,02
N₆₀P₆₀K₆₀ - фон	1,0	6,1	0,41	0,27	0,05
Фон + Ц, 250 кг/га	2,6	6,7	0,35	0,26	0,03
Фон + Ц, 500 кг/га	0,7	7,7	0,29	0,22	0,02
Фон + ЦА, 250 кг/га	1,2	6,2	0,33	0,21	0,03
Фон + ЦА, 500 кг/га	0,7	9,1	0,32	0,19	0,02
Фон + ЦК, 250 кг/га	0,6	9,0	0,33	0,24	0,03
Фон + ЦК, 500 кг/га	0,5	9,0	0,32	0,24	0,03
НСР ₀₅	Фактор А	0,02	0,18	0,01	0,01
	Фактор В	0,05	0,33	0,02	0,02
ПДК в зерне	30,0	50,0	5,00	0,50	0,10

Глава 5. Баланс элементов питания в почве под посевами кукурузы

Испытываемые системы удобрения по-разному влияли на баланс азота в черноземе выщелоченном. Так, баланс азота на экспериментальных вариантах без внесения расчетных доз НРК находился на отрицательном уровне и его значения колебались от -163,5 до -191,4 кг/га. Внесение минеральных, а также экспериментальных удобрений было недостаточно для компенсации расхода азота на формирование высокой урожайности кукурузы, и он оставался относительно на том же уровне. На вариантах без применения удобрений баланс фосфора находился на отрицательном значении и его показатели находились на уровне от -87,5 до -96,7 кг/га. При внесении НРК напряженность его уменьшилась почти в 2 раза и составили -46,7 кг/га. На экспериментальных вариантах с применением цеолита как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами и карбамидом с добавлением минеральных удобрений, баланс фосфора также остался на отрицательных значениях от -47,6 до -57,6 кг/га. Баланс калия на вариантах без применения минеральных удобрений находился на отрицательном значении от -111,4 до -128,9 кг/га. Внесение в почву минеральных удобрений и удобрений на основе цеолита позволило снизить его напряженность до -88 кг/га.

Совместное внесение в почву цеолита как в чистом виде, так и обогащённого, и минеральных удобрений способствовало повышению интенсивности баланса по азоту. Наиболее высокий показатель эффективности отмечен на варианте НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га. Так, интенсивность баланса азота

без внесения минеральных удобрений составляла от 11 до 12 %, тогда как на фоне минеральных удобрений – от 33 до 35 %. Интенсивность баланса по фосфору при применении минеральных удобрений находилась на уровне 59 %, на вариантах без внесения минеральных удобрений показатели интенсивности составили 5 %. На вариантах с совместным применением цеолита и NPK наблюдали наиболее высокие значения баланса 54-58 %. На удобренных вариантах интенсивность баланса по калию была значительно выше контроля. Наиболее высокие её значения в 44-48 % были при внесении NPK и обогащенного цеолита. Применение расчетных доз минеральных удобрений поддерживало интенсивность баланса калия на уровне 48 %.

Таким образом, расчеты баланса элементов питания показывают, что при возделывании кукурузы, как высокоурожайной культуры, на черноземе выщелоченном в условиях лесостепи Поволжья обязательно необходимо использовать удобрения, в том числе совместно с высококремнистыми породами.

Глава 6. Экономическая оценка технологии возделывания кукурузы с применением цеолита и удобрений на его основе

При экономическом анализе технологий возделывания кукурузы были использованы нормативы и расценки, принятые для производственных условий в ООО «Родник». Стоимость продукции рассчитывалась в соответствии с ценой реализации, которые сложились в 2022 году. Все расчеты выполнены на основе технологических карт.

Применение испытываемых удобрений на основе цеолита способствовало увеличению сбора зерна с одного гектара и, соответственно, получить больше выручки от продажи произведённой продукции.

При внесении в почву цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, произошло увеличение урожайности зерна на 1,09 т/га. Прибыль от продажи продукции находилась в прямой зависимости от урожайности и составляла от 77,7 тыс. руб./га на контроле до 126,9 тыс. руб./га на варианте с внесением цеолита, обогащенного аминокислотами, в дозе 500 кг/га на фоне NPK.

Наиболее высокие производственные затраты на получение продукции установлены на вариантах с внесением минеральных удобрений и цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 500 кг/га – 52 407 тыс. руб./га, а также варианте с внесением минеральных удобрений и цеолита, обогащенного карбамидом в дозе 500 кг/га – 52 252 тыс. руб./га, а наименьшие затраты – на контрольном варианте (33 981 тыс. руб./га). Эта разница обусловлена достаточной высокой стоимостью удобрений.

Высокая стоимость произведенной продукции перекрывает дополнительные материальные затраты для приобретения и внесения данных удобрений, что позволяет получить условный чистый доход с 1 га в опытном варианте больше контроля. На варианте с внесением NPK и цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 500 кг/га, позволило получить более высокий чистый доход – 74 493 тыс. руб./га.

Наиболее высокие показатели рентабельности производства зерна кукурузы установлены при внесении минеральных удобрений и цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом в дозах 250 кг/га (144 и 142 %).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области при применении как в чистом виде, так и, особенно, обогащении его аминокислотами и карбамидом, оказал положительное влияние на физические показатели пахотного

слоя чернозема выщелоченного, которые достигли оптимальных значений для возделывания кукурузы. При этом, количество агрономически ценных агрегатов (0,25-10 мм) увеличилось на 5,6-18,5 % (абсолютные значения), водопрочных на 2,0-5,9 % (абсолютные значения), коэффициент структурности повысился с 1,25 на контроле до 1,62-2,52 единиц. Плотность почвы приобрела оптимальное для кукурузы состояние.

2. Цеолит в значительной степени способствует усилению водоудерживающей способности почвы и эффективному использованию продуктивной влаги в течение всей вегетации культуры. Запасы доступной влаги при внесении цеолита в чистом виде уже в начале вегетации повысились на 4-10 мм в пахотном и 10-13 мм метровом слоях. Преимущество экспериментальных вариантов сохранялось до конца вегетации кукурузы.

3. Улучшение агро- и воднофизических свойств почвы сопровождалось усилением деятельности почвенных микроорганизмов, в целом, общей биологической активности почвы. Так, при внесении цеолита в почву ее биологическая активность, определяемая по методу льяных полотен, повысилась в зависимости от дозы применения на 6 и 13 относительных процентов. Существенное усиление активности почвенной биоты произошло при использовании цеолита, обогащенного аминокислотами, на 50 и 64 относительных процентов.

4. Усиление активности микроорганизмов способствовало значительному улучшению питательного режима почвы. При этом содержание минерального азота (NH_4^{++} NO_3^-), доступных фосфора и калия в пахотном слое (0-30) чернозема выщелоченного в течение всей вегетации кукурузы поддерживалось на более высоком уровне: азот на 9,1 мг/кг, фосфора на 165 мг/кг, калия на 167 мг/кг почвы.

5. Цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области, содержащий в своем составе до 17 % кальция и магния, обладает способностью нейтрализовать кислотность почвы: в почве под посевами кукурузы она снизилась с 5,6 (контроль) до 6,8 (NPK+ цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га) единиц рНксл.

6. Улучшение агро- и воднофизических, а также биологических свойств почвы непосредственно положительно повлияло на урожайность зерна экспериментальной культуры. Внесение в почву цеолита в чистом виде дозой 250 кг/га в качестве кремниевого удобрения в среднем за 3 года обеспечило повышение урожайности зерна кукурузы на 0,18 т/га, удвоение дозы (500 кг/га) – на 0,78 т/га. Последнее подтверждает высокую отзывчивость культуры на кремниевое питание. Обогащение цеолита как аминокислотами, так и карбамидом обеспечило прибавку зерна в среднем за 3 года до 1,00 тонны на одном гектаре, применение их совместно с минеральными удобрениями ($\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$) от 2,16 (NPK + Цеолит, 250 кг/га) до 3,28 т/га (NPK + Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га).

7. Применение цеолита и удобрений на его основе в технологии возделывания зерна обеспечивает более высокое качество и экологическую безопасность зерна: содержание белка увеличилось на 9-12 %, а фосфора и калия существенно не изменилось. Одновременно снизилось поступление тяжелых металлов в продукцию: меди на 50-51 %, никеля на 17-20 %, свинца на 21-25 %, и кадмия на 65-70 % (доза экспериментальных удобрений 500 кг/га).

8. Кукуруза высокоурожайная интенсивная культура и для формирования урожайности потребляет большое количество элементов питания. В связи с этим

баланс элементов питания в почве при внесении только цеолита и удобрений на его основе складывается отрицательным: азот от -163,5 до -191,4 кг/га, фосфор – от -87,5 до -96,7 кг/га, калий от -111,4 до 128,9 кг/га. Интенсивность баланса элементов питания под посевами кукурузы без применения минеральных удобрений была резко отрицательной и составляла 11 % по азоту, 5 % по фосфору, 13 % по калию. Значительное улучшение интенсивности баланса наблюдали при внесении в почву цеолита и удобрений на его основе на фоне NPK: до 31-35 % по азоту, 54-59 % по фосфору и 44-48 % по калию.

9. Наиболее экономически эффективно возделывание кукурузы на зерно с применением цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, в дозе 500 кг/га на фоне минеральных удобрений, а также применение цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом в дозе 250 кг/га. Уровень рентабельности при использовании данного удобрения на естественном фоне составлял 131 %, совместно с NPK – 144 % (на контроле 129 %).

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ

С целью повышения урожайности и качества продукции сельхозтоваропроизводителям рекомендуем при производстве зерна кукурузы использовать в качестве удобрения цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области, обогащенного аминокислотами и карбамидом в дозах 250-500 кг/га. Производители – ООО «БиоРесурс» (г. Ульяновск, ул. Азовская, д. 64, оф. 13), ООО «Керамзит» (г. Ульяновск, ул. Московское шоссе, д. 22).

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

В дальнейшем актуально изучение эффективности воздействия цеолита и удобрений на его основе на урожайность сельскохозяйственных культур и свойства черноземных почв среднего Поволжья.

Список работ в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ

1. Черкасов. М.С. Эффективность цеолита, в том числе модифицированного, в качестве удобрения кукурузы / А. Х. Куликова, Е. А. Яшин, М. С. Черкасов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3 (51). – С. 76-84. – DOI 10.18286/1816-4501-2020-3-76-84.
2. Черкасов. М.С. Влияние цеолита и удобрений на его основе на урожайность кукурузы и баланс элементов питания в черноземе выщелоченном под ее посевами / А. Х. Куликова, А. В. Карпов, М. С. Черкасов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 2 (62). – С. 72-79.

Публикации в изданиях Scopus

3. Alevtina Kulikova, Vitaly Isaichev, Evgeny Yashin, Elena Volkova, and **Mikhail Cherkasov**. The Role of Organic Fertilizers and Zeolite in Growing Organic Produce. XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022", Ed.: Beskopylny, Alexey and Shamtsyan, Mark and Artiukh, Viktor, Springer International Publishing, pp. 2378–2384, 2023.

Публикации в других изданиях

4. Черкасов. М. С. Эффективность удобрений при возделывании кукурузы на зерно на черноземе выщелоченном среднего Поволжья / А. Х. Куликова, М. С.

Черкасов, И. О. Горячева // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : Материалы Национальной научно-практической конференции. В 2-х томах, Ульяновск, 20–21 июня 2019 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2019. – С. 41-46.

5. Черкасов, М. С. Влияние удобрений на агрохимические свойства чернозема выщелоченного при возделывании кукурузы / М. С. Черкасов, И. О. Горячева // В мире научных открытий : Материалы III Международной студенческой научной конференции, Ульяновск, 22–23 мая 2019 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2019. – С. 158-161.

6. Черкасов, М. С. Цеолиты и их значение в качестве удобрения сельскохозяйственных культур / М. С. Черкасов, К. Р. Петаева, И. С. Горячева // Молодежь и наука XXI века : Материалы Международной научной конференции, Ульяновск, 13 декабря 2018 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2018. – С. 337-341.

7. Черкасов, М. С. Эффективность нового, экологически безопасного удобрения сельскохозяйственных культур на основе модифицированного цеолита / М. С. Черкасов, Д. В. Солнцева, Е. С. Волкова // Актуальные проблемы аграрной науки: состояние и тенденции развития : Материалы Национальной научно-практической конференции, Димитровград, 02 декабря 2019 года. – Димитровград: Технологический институт - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина", 2019. – С. 215-218.

8. Черкасов, М. С. Цеолит, обогащенный аминокислотами, в системе удобрения кукурузы / М. С. Черкасов, И. О. Горячева // В мире научных открытий : Материалы IV Международной студенческой научной конференции, Ульяновск, 20–21 мая 2020 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2020. – С. 106-110.

9. Черкасов, М. С. Цеолит – экологическое безопасное удобрение / М. С. Черкасов, И. О. Горячева, А. А. Пятова // Экологические проблемы и пути их решения: естественнонаучные и социокультурные аспекты : Сборник статей по материалам VI Молодежной межрегиональной научно-практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов, Нижний Новгород, 25 ноября 2020 года / Мининский университет. – Нижний Новгород: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина", 2020. – С. 81-83.

10. Черкасов, М. С. Агрономическая, экономическая и энергетическая эффективность возделывания кукурузы с применением цеолита и удобрений на его основе / А. Х. Куликова, А. В. Карпов, Е. А. Яшин, **М. С. Черкасов** // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : Материалы XI Международной научно-практической конференции, Ульяновск, 23–24 июня 2021 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2021. – С. 43-52.

11. Черкасов, М. С. Эффективность цеолитов Юшанского месторождения в системе удобрения кукурузы / М. С. Черкасов, И. О. Горячева // В мире научных открытий : Материалы V Международной студенческой научной конференции,

Ульяновск, 20–21 мая 2021 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2021. – С. 161-164.

Отпечатано в типографии
Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина
Подписано в печать 18.08.2023 Формат 60x84/16
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл.печ.л. 1,0 Заказ 5. Тираж 100 экз.
432980, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1