

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

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

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Куликова А.Х.

г. Ульяновск 2023

Содержание

1. ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИЕ ПОРОДЫ В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР⁹
 - 1.1. Общая характеристика цеолитсодержащих пород¹⁷
 - 1.2. Цеолиты в качестве удобрения²²
 - 1.3. Биологические особенности кукурузы²⁵
2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ³²
 - 2.1. Почвенно – климатическая характеристика опытного поля³²
 - 2.1.1. Агроклиматические условия³²
 - 2.1.2. Особенности почвенного покрова⁴³
 - 2.2. Объекты исследования и обоснование схемы полевых опытов. Технология возделывания кукурузы⁴⁶
 - 2.3. Методы наблюдений, учетов и анализов⁵¹
3. ВЛИЯНИЕ ЦЕОЛИТА НА СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО⁵³
 - 3.1. Агро - и воднофизические показатели⁵⁴
 - 3.2. Биологические свойства⁶²
 - 3.3. Агрохимическое состояние⁶⁵
4. УРОЖАЙ ЗЕРНА КУКУРУЗЫ И ЕГО КАЧЕСТВО⁷⁹
 - 4.1. Урожайность⁸⁰
 - 4.2. Качество продукции⁸⁴
 - 4.3. Экологическая безопасность зерна⁸⁸
5. БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ПОЧВЕ ПОД ПОСЕВАМИ КУКУРУЗЫ⁹³

6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ
КУКУРУЗЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦЕОЛИТА И УДОБРЕНИЙ НА ЕГО
ОСНОВЕ¹⁰⁶

ЗАКЛЮЧЕНИЕ¹¹⁰

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ¹¹³

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК¹¹⁴

ПРИЛОЖЕНИЯ¹³¹

Введение

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 NPK 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 так же 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» (Дмитровград, 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».

1. ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИЕ ПОРОДЫ В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В сложившейся в современное время ситуации в сельском хозяйстве все актуальнее становится вовлечение в сферу сельскохозяйственного производства нетрадиционных минерально-сырьевых ресурсов, которыми богата наша страна. Это минералы и породы, обладающие уникальными адсорбционными, ионообменными и каталитическими свойствами. Благодаря разнообразию минерального состава и кристаллоструктурного строения, а также характера пористости, они имеют широкое применение в народном хозяйстве, в том числе представляют большой интерес для использования в производстве сельскохозяйственной продукции. К числу таких материалов следует отнести, прежде всего, наноструктурированные высококремнистые породы такие, как опалкристобалиты (опоки, трепелы, диатомиты) и цеолиты (Куликова А.Х., 2010, 2013).

Высококремнистые породы обладают рядом свойств, важных с агрономической точки зрения. Во-первых – это природные сорбенты со специфическим характером пористости, обладающие высокой адсорбционной и ионообменной емкостью (0,8 – 0,12 г-экв/кг), поэтому способны удерживать в пахотном слое элементы питания от выноса их за пределы корнеобитаемого слоя, которые затем высвобождаются и используются растениями. Во-вторых, они (высококремнистые породы) содержат в своем составе до 1,5 – 2,0 % калия, серы и ряд микроэлементов. Однако, прежде всего, они могут быть использованы как кремниевое удобрение (содержание оксида кремния > 80 %, в том числе аморфного > 40-50 %), необходимость применения которого (так же, как азота, фосфора, калия) доказана (Куликова А.Х., Яшин Е.А., 2015; Куликова А.Х., 2021).

В России находится крупная сырьевая база различных по составу и качеству кремнийсодержащих пород. Так, запасы Инзенского месторождения диатомитов (Ульяновская область) составляют свыше 80 млн. м³, Хотынецкого

месторождения трепелов (Орловская область) – 20–22 млн. м³, Юшанского месторождения цеолитов (Ульяновская область) 900 – 1000 тыс. м³.

Кремний является одним из самых распространенных элементов в земной коре и занимает второе место после кислорода. В мировой и отечественной литературе проблема изучения его роли в жизненных процессах как вообще, так и растений в частности – посвящено огромное количество работ. Важнейшим заключением при исследовании роли и функций кремния в растениях является вывод о возможности повышения природной устойчивости растений к биологическим (грибковые заболевания, насекомые, вредители) и абиогенным (низкие температуры, засуха, солевая и алюминиевая интоксикация, загрязнение тяжелыми металлами, углеводородами и т.д.) стрессам. Многие авторы отмечают, что подвижный кремний в связи с постоянным отчуждением с урожаем культур (установлено, что ежегодный суммарный вынос его составляет $2,75 \cdot 10^7$ т) является дефицитным элементом питания для растений и микроорганизмов. Однако долгое время его изучение не являлось задачей для биологов, почвоведов и агрохимиков. Более того, до настоящего времени во всех учебниках по агрохимии кремний относится к группе условно необходимых растениям элементов; считалось, что он инертен и в обычных условиях не принимает участия в химических реакциях. И только в 1922 году В.И. Вернадский отнес кремний к элементам – биофилам, безусловно необходимым растениям, так как он находится во всех живых организмах, где выполняет очень важные функции (Вернадский В.И., 1954, 1960).

В последние годы данный элемент вызывает очень высокий интерес в плане его изучения. Исследования по изучению роли кремния в жизни растений и эффективности кремниевых удобрений широко ведутся в Китае, Германии, США и, особенно, Японии, где основной продовольственной культурой является рис, отличающийся исключительно высокой потребностью в этом элементе (зола соломы риса на 91 % состоит из кремния). В Японии кремниевые удобрения с 1955 года внесены в реестр минеральных удобрений. В нашей стране еще в 70 – 80-е годы прошлого столетия поднимался вопрос о необходимости производства

удобрений, содержащих в своем составе кремний (Водяницкий Ю.Н., 1984). Однако они так и не производились и не производятся, а в качестве удобрения лишь в малой степени применяются различные отходы промышленности, а так же синтетические кремнийсодержащие препараты. Между тем, как уже отмечалось, страна обладает огромными ресурсами высококремнистых пород, которые могут быть использованы в этом качестве.

Как уже отмечалось выше, в настоящее время широко рассматривается проблема возможности использования природных экологически безопасных материалов в качестве альтернативных 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. Обладая такими свойствами, они оказывают положительное влияние, прежде всего, на физические, биологические и агрохимические свойства почвы и, как следствие, урожайность и качество продукции (Черкасов М.С., Петаева К.Р., Горячева И.С., 2018).

Множество исследований 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 (Пашкевич Е.Б., 2008; Козлов А.В. 2015, 2021; Арефьев А.Н., 2017 Самсонова Н.Е., 2019;). 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 (2019) отмечает, что установлено положительное влияние кремния (кремниевых удобрений) на количество и качество урожая 30 видов сельскохозяйственных культур (зерновые, пропашные, фруктовые и овощные) (Самсонова Н.Е., 2019).

Положительное 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 аграрная наука как отечественная, так и в особенности зарубежная, имеют огромный интерес к кремнию как элементу питания для сельскохозяйственных культур (Ma, J.F., 2006; Chanchal, M.C.H. 2016; Tubana, B., 2017; Landberg, T., 2017).

Многочисленные исследования (Ma, J.F., 2006; Пашкевич Е.Б., 2008; Козлов А.В., 2015; Chanchal, M.C.H. 2016; Tubana, B., 2017; Landberg, T., 2017; Самсонова Н.Е., 2019; Арефьев А.Н., 2017) доказывают необходимость применения различных веществ с содержанием кремния 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 эффективности кремниевых пород при совместном применении их с минеральными и органическими удобрениями, а также создания на их основе высокоэффективных и экологически безопасных удобрений. Исходя из этого, можно сказать, что изучение кремния и кремнийсодержащих веществ в агроэкосистемах необходимо и еще долгое время останется одной из самых актуальных тем для изучения в сфере агрохимии и защиты растений. Тем более, как справедливо отмечает Н.Е. Самсонова (2019), 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.

Однако возможность использования кремнийсодержащих пород при возделывании сельскохозяйственных культур обусловлена не только влиянием их на свойства почвы, но и низким содержанием доступного кремния в почве, 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. В связи с вышесказанным имеется необходимость изучения эффективности высококремнистых пород, в том числе цеолита Юшанского месторождения, в системе удобрений сельскохозяйственных культур.

Использование почв для производства сельскохозяйственной продукции без принятия правильных агротехнологических мероприятий часто сопровождается их физической деградацией: под воздействием тяжелой сельскохозяйственной техники происходит разрушение комковато-зернистой структуры и переуплотнение пахотного горизонта и, как правило, снижение урожайности возделываемых культур. Поэтому очень важно поддерживать физическое состояние почвы на оптимальном уровне всеми агротехническими средствами, направленными на возделывание культур. В этом отношении значительная роль принадлежит удобрениям, прежде всего, органическим (солома, сидераты, навоз). Доказана так же роль кремниевых соединений в улучшении физических свойств почвы. В качестве последних могут выступать высококремнистые породы (Куликова А.Х., 2013; Куликова А.Х., Козлов А.В., Смывалов В.С., 2019).

Сложная экологическая обстановка и увеличение цен на минеральные удобрения в последние годы усилили интерес к поиску безопасных и экологичных путей развития сельского хозяйства. Одним из них является разработка и внедрение в производство экологически адаптированных технологий возделывания сельскохозяйственных культур с применением новых удобрений с максимальным использованием биологических факторов формирования урожайности. Особое внимание в этом вопросе заслуживает создание органоминеральных удобрений с содержанием в их основе кремния, поскольку о положительной роли кремния в системе «почва – растение» свидетельствуют

многочисленные исследования российских и зарубежных авторов. Также стоит обратить внимание на продукты переработки органических отходов, содержащих в своем составе значительное количество элементов питания (Куликова А.Х., Яшин Е.А., 2019).

В научной литературе имеются многочисленные сведения о том, что кремний способствует повышению устойчивости растений к поражению грибными заболеваниями, насекомыми-вредителями, полеганию, интоксикации любыми токсикантами, то есть формирует защитные функции организма (Yoshida S., 1975; Воронков М.Г., 1978; Матыченков В.В., 2008; Козлов А.В., Уромова И.Б., Фролов Е.А., Мозолева К.Ю., 2015). Особенно широко исследовано благотворное влияние кремния на сопротивляемость злаковых растений грибным заболеваниям: глазковой пятнистости, вызываемой грибом *Helminiosporium oryzae*, стеблевой гнили (*Leptosphaeria raevini*), мучнистой росе (*Erysiphe graminis*) (Воронков М.Г., 1978). Однако в настоящее время не существует единого мнения относительно роли кремния в защите растений от патогенных микроорганизмов. Изначальная концепция, сформировавшаяся к 60-м годам прошлого столетия, заключалась в признании появления механического барьера на пути распространения инфекции. При этом считалось, что кремний содействует укреплению клеточных стенок эпидермиса, которые для грибов, насекомых, а также иных вредителей становятся трудно преодолимым барьером (Yoshida, 1975). Теория приобрела обширное распространение, а также никак не отрицается и в настоящее время. Таким образом, результаты работ (Г.В. Ефимовой и С.А. Дякунчак, 2015) выявили, что выращивание риса в присутствии метасиликата натрия способствует утолщению оболочек клеток эпидермиса. Фитопатологическая оценка зараженных пирикуляриозом листьев риса доказала, что при внесении метасиликата натрия поражение растений происходило в наименьшей степени.

Между тем, параллельно развитию данной теории, доказываемой соответствующими экспериментами, было установлено, что не всегда существует зависимость между кремниевым питанием и упрочнением листовой поверхности

растений. Было сделано заключение, что кремний защищает растения от грибной инфекции, однако увеличение механической прочности растительной ткани недостаточно, чтобы объяснить механизм защиты (Okuda A., 1965). Следовательно, физический барьер на пути патогена является лишь частью комплексной оборонительной реакции растения, в которую вовлечен кремний (Куликова А.Х., Яшин Е.А., 2015).

В соответствии с иной точкой зрения, кремний является катализатором естественной защитной системы растения. М. Gherif, а также др. (M. Cherif, J. Menzies, N. Benhamou, R. Belanger, 1992) установили, что кремниевое питание растений содействует увеличению активности ферментов хитиназ, способных уничтожать гифы патогенных грибов. Аналогичные результаты получены А. Fawe (2001). При проведении экспериментов с огурцами он допустил, что кремний играет активную роль в повышении возможности растений сопротивляться инфекции за счет стимулирования природных защитных реакций, а также устанавливает продолжительность ответной реакции растения.

По мнению В.В. Матыченкова (Матыченков В.В., 2008), активные формы кремния способствуют быстрому и целенаправленному синтезу специфических органических молекул внутри растительной клетки, которые помогают растению справляться со стрессом или адаптироваться к нему. Последнее подтверждается и тем, что содержание кремния в тканях живых организмов, подвергающихся стрессу, увеличивается. Разнообразие растений (как силикофильных, так и несилицидных), положительно реагирующих на подкормку кремнием, свидетельствует об универсальности защитной функции кремния.

В нашей стране эффективность кремниевых удобрений обширно исследовалась в бывшем Свердловском сельскохозяйственном институте. Происходило изучение отходов марганцевых руд, суперфосфатного производства, белой сажи и диатомита (Барсукова Г.А., Рочев В.А. и др., 1980; Швейкина Р.В., 1986). Выявлено, что за 6 лет севооборота увеличение урожая от утилизации отходов марганцевой промышленности наблюдалось на уровне 11-18 %. Наилучше откликнувшейся на изменения свойства почвы при внесении в нее

данных материалов культурой оказался ячмень. Урожайность на третьем году последствий силикагелевого варианта увеличилась с 23 до 87% в пересчете на НРК. Абсолютно во всех опытах прибавка урожая от внесения кремнийсодержащих отходов была обусловлена повышением подвижности P_2O_5 в почве. На серой лесной почве она увеличилась в 1,5-2 раза (Куликова А.Х., 2013).

Исследования, проведенные Шудженом А.Х., Кемечевой М.Х. и Шхапацевым А.К. в 2003 году, показали, что под действием обработки семян риса ТЭС (тетраэтоксисилан), силикатом натрия и метасиликатом натрия урожайность зерна увеличивалась в сравнении с вариантом необработанных семян на 17–19 %, что составило 0,7–0,8 т/га.

И, не случайно, в 70-80-х годах XX века обнаружилась потребность в кремнийсодержащих удобрениях и встал вопрос о массовом производстве метасиликата калия из сынныритовой руды с 25% Si и 15% содержание калия, огромные запасы которого обнаружены на севере Читинской области (Соболев В.С., 1982). Было показано, что метасиликат калия может превосходить хлорид калия по своему действию на растение. Например, выход зерна гречихи от метасиликата калия был на 11% выше, чем от KCl. Однако промышленность страны до сих пор не выпускала и не производит силикатные удобрения, а различные промышленные отходы используются в качестве кремниевых удобрений ограниченно (Куликова А.Х., 2013).

Между тем во многих районах страны имеются значительные (в том числе крупные) месторождения кремнийсодержащих пород типа трепелов, опоки, диатомитов и цеолитов, эффективность которых в качестве удобрения достаточно изучена.

Классификация кремнистых пород основана на генезисе и минеральном составе. По генезису выделяют чисто хемогенные (гейзериты, кремниевые конкреции), биогенные (диатомиты, радиоляриты) и хемогенные породы, образовавшиеся в результате скопления скелетов организмов, которые при диагенезе и катагенезе существенно изменились в результате растворения и переотложения кремнезема (в виде комочков опала), перекристаллизации с

образованием халцедона и т.п. К хемобиогенным породам относятся трепелы, опоки и некоторые яшмы и т.п. Главные породообразующие минералы силицитов – различные оксиды и гидрооксиды кремния – опал аморфный, содержащий до 30 % воды; различные кристаллические минералы – халцедон, кварцит, кварц, кристобалит и др. Второстепенные – карбонаты, окислы и гидроокислы железа, глауконит, хлориты, сульфиды железа и терригенные примеси (Ископаемые водоросли СССР, 1967; Страхов Н.М., 1976).

Все названные породы и минералы являются природными сорбентами, обладающими высокими адсорбционными свойствами. Благодаря разнообразию минерального состава и кристалло-структурного строения, а также характера пористости они широко применяются в народном хозяйстве (Дистанов У.Г., 1989). Наибольший интерес среди них представляют цеолиты и опал-кристобалитовые породы (опоки, трепелы, диатомиты).

Пористая открытая микроструктура цеолитов предопределяет их уникальные полезные свойства. В процессах адсорбции и ионного обмена цеолиты проявляют способность избирательно поглощать одни ионы или молекулы раньше других, т. е. работают как «молекулярные сита». Реакционная способность некоторых адсорбированных молекул резко и избирательно возрастает, в результате чего цеолиты проявляют каталитическую активность во многих реакциях в зависимости от цели их применения.

1.1. Общая характеристика цеолитсодержащих пород

Цеолиты представляют собой светло-серые, голубовато-серые, буровато-желтые плотные породы, сложенные в основном минералами группы цеолитов, являющихся каркасными алюмосиликатами щелочных и щелочноземельных металлов с обобщённой эмпирической формулой: $Mx/n [(AlO_2) \times (SiO_2)_y] \times zH_2O$, где М - катион (катионы) с валентностью n, z - число молекул воды; отношение y :

х имеет различные значения и обычно находится в пределах от 1 до 5. Кристаллическая решетка цеолитов состоит из четырех, пяти, шестичленных и еще более сложных колец, образованных кремнекислородными тетраэдрами. В результате такого строения во внутрикристаллическом пространстве цеолитов образуется система связанных друг с другом и с окружающей средой пор, в которых находятся обменные катионы кальция и натрия, реже - калия, магния и молекулы «цеолитной» воды (H_2O), по отношению к которой они способны захватывать и удерживать воду при внесении в почву. Это же касается различных элементов, в том числе загрязняющих и токсичных и тем самым снизить поступление их в растения. Цеолиты характеризуются максимальными значениями обменной емкости между природными сорбентами - до 1,5 г-экв/кг (Дистанов У.Г., Конюхова Т.П., 1990).

Цеолиты относятся к высококремнистым породам, как и диатомиты, трепелы, опоки и различные глины (бентониты, палыгорскитовые глины), которые обладают достаточным содержанием особо значимых элементов и ионообменными, каталитическими и адсорбционными свойствами, а также аморфного (биодоступного) кремния. Преимущество этих свойств дает возможность их применения в качестве силикатного (кремниевого) удобрения, а также они оказывают благоприятное воздействие на систему «почва-растение».

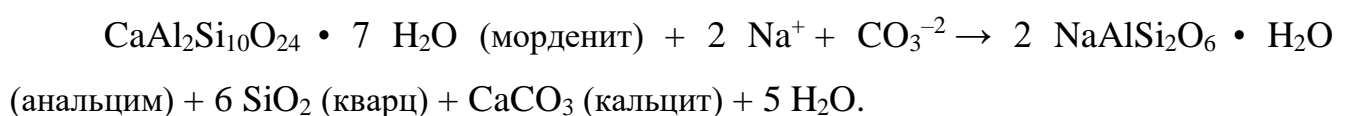
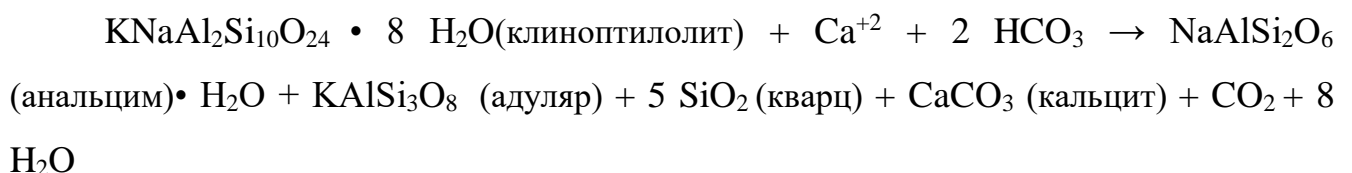
Цеолиты представляют из себя комплекс различных минералов. К ним (имеющим практическое значение) относят клиноптилолит, гейландит, морденит, шабазит, эрионит и филлипсит (Цеолитсодержащие породы ..., 2001).

В экзогенных условиях цеолиты имеют также широкие области распространения. Имеются указания, например, на образование цеолитов в почвах. Как новообразования цеолиты встречаются в осадочных породах молодого возраста (Бетехтин А.Г., 2007).

Образование природных цеолитов происходит в различных геологических условиях: позднемагматических, гидротермальных, метаморфических, диагенетических зонах выветривания. В общем случае механизм их формирования представляет реакцию поровых вод с вулканическим стеклом,

слабо раскристаллизованным глинистым осадком, плагиоклазами или кремнеземом. В зависимости от состава исходных пород и физико-химической обстановки (температура, давление, парциальное давление воды, активность различных ионов и др.) происходит образование того или иного вида цеолитов. Так, клиноптилолит и морденит обычно образуются за счет кислой тефры, в то время как филлипсит и анальцит — чаще за счет основной. Первоначально возникшие цеолиты с течением времени могут переходить в другие более устойчивые в изменившихся условиях формы. Например, хорошо известно замещение клиноптилолита анальцитом, а последнего — в свою очередь ломонтитом (Ерёмин Н.И., 2004).

Наиболее широко распространенные диагенетически-осадочные цеолиты, единственные, дающие существенные промышленные концентрации, относятся к кайнозойскому и мезозойскому возрасту. В палеозойских и более древних толщах такие образования практически отсутствуют. Чаще всего благоприятными для диагенетической цеолитизации оказываются морские туфы кислого состава, стекло которых на глубине около 100 м при температуре в десятки градусов взаимодействует с поровыми водами, в результате чего образуются клиноптилолит либо морденит: вулканическое стекло + H₂O *- клиноптилолит + SiO₂ + Fe₂ + 4 (морденит). Прямые определения pH растворов, экстрагированных из верхнемиоценовых цеолитизированных кислых туфов, колеблются от 8,3 до 9,5, составляя в среднем 8,9. По тем же данным, при повышении температуры до 85— 125 °С (как результат метаморфизма нагрузки либо наложения гидротермальных растворов) указанные цеолиты переходят в анальцит:



Стекло кислых туфов, отложившихся в условиях соленых озер, содержащих ионы CO₃⁻² и HCO и имевших величину pH около 9,5, обычно

превращалось в филлипсит, клиноптилолит, реже в морденит и шабазит. Такие озера типичны для аридных климатических зон. В этой обстановке седиментации нередко проявляется горизонтальная зональность, когда в пределах одного слоя в прибрежной части озера фиксируются туфы и глины, далее – цеолиты, а в центре озера появляются калиевые полевые шпаты (<https://natural-museum.ru/mineral/цеолиты>).

Соответственно морским либо озерным условиям формирования цеолитов в кислых туфах в настоящее время отчетливо выделяются два главнейших их геолого-промышленных типа месторождений:

1. Пластовые согласные залежи и линзы в морских вулканогенно-осадочных толщах мезо-кайнозойского возраста;
2. Пластовые согласные залежи и линзы в флювиально-лакустриновых толщах кайнозойского возраста.

К первому типу относятся российские месторождения Шивиртуйское и Холинское в Читинской области, Хонгуру в Якутии, Куликовское в Амурской области, Чугуевское в Приморье, Лютогское на Сахалине, Ягоднинское на Камчатке, Пегасское в Кузбассе, месторождения Японии (Итая и др. в районе <зеленых туфов>), Украины (Сокирница в Закарпатье), республик Закавказья (Айдагское, Дзегви, Ноембрянское и др.), Италии, Венгрии (Токай, Харча и др.), Югославии, Мексики, Германии и других стран. Представителями второго типа являются многочисленные миоцен-плейстоценовые месторождения Запада США, а также ряда стран восточной Африки. Генетически в составе выделенных типов преимущественно говорят о вулканогенно-осадочных, реже гидротермально-метасоматических стратиформных месторождениях (https://studopedia.su/5_55821_kratkie-svedeniya-o-genezise-prirodnih-tseolitov.html).

Цеолиты — водные алюмосиликаты, содержащие в своем составе оксиды щелочных и щелочноземельных металлов, отличающиеся строго регулярной структурой пор, которые в обычных температурных условиях заполнены молекулами воды. Эта вода, названная цеолитной, выделяется при нагреве, цеолиты «кипят», с чем и связано происхождение этого слова («цео» и «лит», т. е.

«кипящие камни»). Термин «цеолиты» введен в минералогию свыше 200 лет назад шведским ученым А.Ф. Кронштедом (<https://zeol.ru/o-ceolitam>).

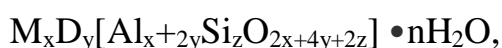
Свойства природных цеолитов изучены и систематизированы в трудах академиков А.Е. Ферсмана и В.И. Вернадского (1937 г., 1957 г.).

Ценность цеолитов в качестве удобрения в агрономии формируется их адсорбционными структурными характеристиками и уникальными свойствами кремния. К примеру, кремний в цеолитах Юшанского месторождения Ульяновской области составляет до 58 %, в том числе аморфного (биодоступного - до 35 %) (Цеолитсодержащие породы..., 2001).

В настоящее время доказана эффективность применения природных цеолитов для осушки влажного зерна, в качестве минерального субстрата в гидропонике, антислэживателей удобрений и носителей ядохимикатов, для обработки экскрементов животных и птиц с получением удобрительных смесей (Мовсумзаде и др., 2000).

Суммарный объем полостей и соединяющих их каналов в цеолитах составляет около 50 % объема кристалла, а диаметр этих каналов на поверхности кристалла (так называемых «входных окон») варьирует от 0,26 до 0,8 нм. Внутренние полости и соединяющие их каналы заполнены молекулами так называемой «цеолитной» воды.

В общем виде состав цеолитов может быть выражен формулой:



где M и D – одно- и двухвалентные катионы соответственно (Цицишвили и др., 1985).

К цеолитам, имеющим в настоящее время наибольшую практическую ценность (то есть образующим крупные, почти мономинеральные промышленные скопления и характеризующимся высокой адсорбционной способностью, каталитической активностью, термостойкостью, кислотостойкостью и др.) относятся клиноптилолит, морденит и шабазит.

Таким образом, цеолиты являются полиминеральными образованиями, обладающими уникальными свойствами, особым кристалло-структурным строением, высокой обменной способностью, высоким содержанием аморфного доступного кремния и представляющими безусловный интерес для применения в сельскохозяйственном производстве.

1.2. Цеолиты в качестве удобрения

В земледелии природные цеолиты применяются в качестве мелиорантов для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. По результатам обобщенных литературных данных цеолитсодержащие породы вносят в почву от 0,2 до 30 тонн на гектар с минеральными и органическими удобрениями или без них. Имеются сведения о том, что в садоводстве дозы внесения цеолитов достигают более значительных величин – 70 т/га (Цхакая и др., 1985). В большинстве случаев урожайность зерновых повышается на 5-15 %, овощных, плодовых и технических культур - на 10-20 %, в некоторых случаях до 50-80 %.

Расхождение между собой информации по урожайности объясняется различием в применяемых дозах и катионным составом цеолитов, различием в типе почв, условиях эксперимента и т. д. Помимо всего вышеперечисленного отмечается положительное влияние цеолитов на качество зерна, увеличение клейковины и белка; улучшение качества плодов, увеличение массы сухого вещества, содержания сахаров и т.д. (Михайлов А.С., Дистанов У.Г., 1999; Мовсумзаде Э.М. и др., 2000; Ульянова О.А., Чупрова В.В., 2002). Так, по данным группы исследователей (И. А. Буров, А. Н. Тюрин, А. В. Якимов и др., 2001) улучшилось и качество продукции, содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы повысилась на 2,9-6,5 %. В зерне яровой пшеницы повысилась содержание белка до 2,3 % и клейковины до 24,2 %, а в зеленой массе однолетних трав - протеина до 6,4 %.

Большинство исследовательских работ подтверждает, что высококремнистые породы такие, как цеолиты способствуют повышению урожайности культур, а также оказывают исключительно положительное влияние на качество продукции. Наиболее крупные месторождения высококремнистых пород выявлены в середине 20-го века, тем самым сформировало начало обширному исследованию и их применению в сельском хозяйстве всемирно. Соответствующие исследования осуществлялись в таких странах, как Япония, Канада и США в 1960-1970 гг. (Цхакая Н.Л., Квашам Н.Ф., 1985; Сафронов Г.В., 1989). Такие научные работы проводились также в бывшем СССР. К примеру, была принята научно-техническая программа «Опытно-производственные испытания и определение масштабов использования природных цеолитов в народном хозяйстве РСФСР в 1987-1990 гг.», которая была принята Госпланом РФ (Лобода Б.П., 2000). Данная программа в эти годы не реализовалась и лишь в начале 21 века восстановились весьма интенсивные научные работы по исследованию эффективности цеолитсодержащих пород при возделывании сельскохозяйственных культур. Эти исследования усиленно проводятся в этом направлении в Поволжье, в местах, где выявлены колоссальные запасы цеолитов. Это – Татарско-Шатрашанское месторождение, где запасы составляют более 125,6 млн. тонн, Бессоновское и Лунинское месторождение в Пензенской, Юшанское месторождение – в Ульяновской области. Большая часть работ приводит к положительным результатам использования цеолитсодержащих пород в качестве удобрения. Цеолитсодержащие породы и стоки животноводческих комплексов, на основе которых приготовлено комплексное удобрение, содействовали улучшению агрохимических свойств почвы, питательного и водного режимов, а также жизнедеятельности почвенной биоты. Такие результаты показаны в исследованиях Л.М. Бикининой, Ш.А. Алиева и Р.Х. Гизатуллина (2011).

Цеолиты, как активные природные сорбенты, поглощают, длительно удерживают и постепенно выделяют в окружающую среду поглощенные ионы питательных элементов. Эти свойства цеолитов могут быть использованы при

совместном внесении их в почву с минеральными и органическими удобрениями. Подобный способ внесения удобрений увеличивает продолжительность действия и последствий их в течение 3-5 лет, повышая эффективность использования удобрений на 25-30 процентов. Цеолиты обеспечивают пролонгирующее действие при наполнении полостей минерала ионами аммония, калия, микроэлементов, в том числе редкоземельных. Расход удобрений при сорбционной технологии сокращается на 30-40 процентов, затраты на их внесение — на 30-35 процентов, при этом предотвращается опасность загрязнения биосферы (http://ceolitsnab.ru/posledniye-novosti/news_post/primeneniye-tseolitov-v-selskom-khozyaystve).

В некоторых научных работах есть данные, которые показывают, что «... подкормка сельскохозяйственных культур, в том числе кукурузы, цеолитом в сочетании с навозом оказывает значительное влияние на сохранение и повышение агрономически богатой структуры чернозема выщелоченного (возросла на 13 %), способность его водоудержания повысилась, более того, значительно лучше стали кислотнo-основные свойства почвы (pH_{KCl} снизилось на 1,4 единицы, гидролитическая кислотность на 5,69 и 4,45 мг-экв/100г почвы. Урожайность сахарной свеклы в результате удобрения цеолитом навозом и минеральных удобрений увеличилась на 31-41 %, ярового ячменя на 19-21 %, сено однолетних трав на 17 %, озимой пшеницы – на 14-15 %. Кроме того, значительно лучше стало качество продукции: содержание клейковины в зерне озимой пшеницы увеличилось на 2,3-2,5 %, сахара в сахарной свекле на 0,93-0,99 %, белка однолетних трав на 135-141 кг/га» (цит. по Арефьеву А.Н., 2017). Вследствие данных работ рекомендуется использовать цеолитсодержащие породы Бессоновского и Лунинского месторождений Пензенской области на черноземах выщелоченных дозой 10 т/га с использованием органических и минеральных удобрений.

Однако эффективность цеолита в качестве удобрения в разных почвенно-климатических условиях проявляется по-разному, что обуславливает необходимость исследований в данном направлении.

1.3. Биологические особенности кукурузы

Кукуруза (*Zea mays* L., $2n=20$) — одна из основных культур мирового земледелия разностороннего использования и высокой урожайности. Урожайность ее в благоприятных почвенно-климатических условиях превышает 10-15 т/га. Последнее обусловлено тем, что кукуруза относится к растениям фотосинтетического цикла Хетча-Слэка (C_4), для которых характерна высокая скорость фотосинтеза, что определяет высокую активность роста и соответствующую продуктивность (Петр И., 1985). В связи с этим кукуруза предъявляет большие требования к минеральному питанию. Так, при урожайности зерна 10 т/га она выносит более 250 кг азота, 100 кг фосфора и 360 кг калия (Минеев В.Г., 2004). Следовательно, оптимизация питательного режима является важнейшей задачей при выращивании данной культуры. При этом необходимо обеспечить растения элементами питания в течение всей вегетации в соответствии с потребностями в том или ином элементе. В этом отношении, как установлено в последние годы, большое значение приобретает применение кремнистых пород и удобрений на его основе пролонгированного действия таких, как диатомиты, цеолиты, трепелы и их модификаций (Куликова А.Х., Яшин Е.А., Черкасов М.С., 2020). Однако формирование высокой урожайности любых сельскохозяйственных культур и, особенно, высокоурожайных, как кукуруза, связано с большими расходами, основная часть из которых приходится на применение удобрений. Поэтому очень важно провести экономическую и энергетическую оценку технологий возделывания культур. Последнее определило цель наших исследований — установить агрономическую и экономическую эффективность возделывания кукурузы с применением цеолита и удобрений на его основе, полученных внедрением в него аминокислот и мочевины.

Требования к температуре

Кукуруза – теплолюбивая культура. Прорастание семян происходит при температуре 7-10 °С, всходы появляются при 10-12 °С. Согласно данным А.С. Иваненко, О.А. Кулясовой (2008), биологический минимум появления жизнеспособных всходов у кремнистых сортов наблюдается при 10-11 °С, у зубовидных – при 11-12 °С. Наиболее оптимальная температура появления всходов отмечается при 16-20 °С. При в меру влажной почве появление всходов происходит при температуре 20-25 °С через 5-6 дней.

Всходы кукурузы повреждаются при температуре 2-3 °С. Осенние заморозки -1,5-2 °С приводят к подмораживанию листьев, вследствие этого происходит резкое снижение качества зеленой массы, к примеру, идет уменьшение содержание каротина. Однако, такие заморозки вовсе не опасны в фазе восковой спелости зерна. Данная сельскохозяйственная культура легче переносит весенние заморозки, чем осенние. Так же поврежденные всходы могут отрастать в течение недели. Сгибнувшие растения от осенних заморозков могут быть пригодны на сено или силос, делая это сразу после заморозков, так как мерзлые растения склонны к быстрому загниванию. Заморозок в 3 °С приводит к потере всхожести влажного недозрелого зерна.

Пыльца у кукурузы содержит примерно 60 % воды и имеет слабую водоудерживающую способность. При температуре более 30-35 °С и относительной влажности воздуха менее 30 % данная культура в течение 1-2 часа после растрескивания пыльников, высыхает и теряет способность прорастания. Это приводит к плохому качеству початков.

Условия Ульяновской области позволяет возделывать сорта кукурузы различных групп спелости с периодом вегетации до 140 дней.

Климат лесостепной зоны Среднего Поволжья является сухим, умеренно-континентальным климатом с неравномерным распределением осадков в течение всего года. Средняя температура воздуха самого теплого месяца (июль) достигает +20,3 °С, а самого холодного месяца (январь) – 14,3 °С. Соответственно, средняя годовая температура воздуха составляет +4 °С. Продолжительность безморозного периода составляет 130-150 дней, периода со средней суточной температурой

воздуха +10 °С – 142 дня. Сумма активных температур выше 10 °С достигает 2400-2600 °С. В итоге метеорологические условия благоприятно влияют на возделывание кукурузы (Куликова А.Х., 2007).

Требования к влаге

Кукуруза по требованиям к влаге – мезофит. На производство 1 т сухого вещества тратится от 160 до 406 м³ воды, к тому же меньше, чем у овса и ячменя. Кукуруза за период вегетации потребляет примерно 3000-6000 м³/га воды, кроме того, при высокой урожайности расход воды возрастает. Кукуруза результативно использует осадки второй половины лета и частично осени, а также способна накапливать большую органическую массу даже в засушливых районах, чему способствует развитая корневая система (Куликова А.Х., 2013). В начальные фазы развития среднесуточный расход воды составляет 30-40 м³/га, в период от выметывания до молочного состояния зерна – 80-100 м³/га (Баранов В.Ф., 1997, 2005).

До фазы выхода в трубку кукуруза сравнительно хорошо переносит засуху. Критический период наступает за 10 дней до выметывания и продолжается до 20 дней после, недостаток влаги в этот период приводит к резкому спаду урожайности. В этот период производится пыльца и происходит формирование семян. Изобильное водоснабжение в начале вегетации, недостаток и нерегулярность полива в последующий период снижают урожайность зерна.

Растения кукурузы способны выдерживать временный недостаток влаги в почве и низкую относительную влажность воздуха. Наиболее благоприятные условия увлажнения создаются при влажности корнеобитаемого слоя не менее 75-80 % наименьшей влагоемкости.

Кукуруза отрицательно переносит переувлажнение почвы, в то же время резко снижая урожайность зерна. Так же избыток влаги влечет к недостатку кислорода, снижает процесс поступления фосфора в корни, следовательно, осуществляется упадок содержания общего, органического и нуклеинового фосфора, ухудшаются процессы фосфорилирования и энергетического обмена в корнях, белковый обмен (Капранов В.Н., 2009).

Требования к почве

Кукуруза может произрастать на разных почвах, самый преимущественным вариантом для кукурузы являются черноземы, темно-каштановые, темно-серые суглинистые и супесчаные, а также пойменные почвы. Высокая урожайность данной сельскохозяйственной культуры преобладает на чистых, рыхлых, воздухопроницаемых почвах с сильным гумусовым слоем, обеспеченным в достатке питательными веществами и влагой (Кинтаналья М.Г.Ф., 1987). Наилучший показатель кислотности рН почвы для растения 5,5-7,5 единиц. Наиболее высокий результат урожайности кукурузы на силос получается на черноземах, дерново-подзолистых почвах, осушенных торфяно-болотных (при глубоком залегании грунтовых вод) почвах. Семена кукурузы требовательны к хорошей аэрации, так как крупные зародыши поглощают много кислорода. Увеличение корневой системы и высоты растений, числа цветков и семян, а также массы листьев находятся в прямом соотношении от пористости почвы, в том числе некапиллярной и общей. Оптимальная плотность почвы при возделывании кукурузы составляет 0,9-1,1 г/см³ (Куликова А.Х., 1997). Формирование наиболее высокой урожайности происходит в том случае, когда в почвенном воздухе содержание кислорода не менее 18-20 %. Соответственно, если в почвенном воздухе содержание кислорода менее 10 %, то рост корней замедляется, а при 5 % вовсе останавливается. Кроме того, нарушаются такие процессы как, поглощение воды и питательных элементов, а также обмен веществ в корнях и надземной части растений.

Требования к питанию

При технологии возделывания кукурузы важно принимать еще один значимый фактор, как потребность в элементах питания. Питательный режим культуры, как и потребность в обеспечении влаги, обуславливается фазой развития и биологическими особенностями самого растения. Абсорбция основных питательных элементов проходит по одновершинной кривой и соответствует ходу накопления сухого вещества. На первоначальных этапах развития кукурузы большое значение имеет азот. Недостаток поглощения азота в

ранние периоды приводит к задержке роста и развития растения. Необходимое количество азота наблюдается в течение 2-3 недель перед выметыванием, а «... критический период потребления азота приходится на фазы цветения и образования семян» (Матыченков И.В., 2014). Конечное потребление азота происходит после начала фазы молочной спелости зерна.

Важное значение в питательном режиме имеет также и фосфор, который играет большую роль в начале роста растения, особенно когда закладываются будущие соцветия, а именно в фазе 4-6 листьев. Недостаток его в этот период может привести к неполному развитию початков и формированию неправильных рядов зерен. Полное обеспечение растения фосфором способствует развитию корневой системы, повышает засухоустойчивость, ускоряет формирование початков и созревание урожая. Поглощение фосфора растениями проходит в минимальных количествах, а поступление протекает медленнее и равномернее, чем азота и калия. Наибольшее использование его приходится на период формирования зерна и продолжается почти до созревания.

Нехватка еще одного важного элемента, как калия, приводит к замедлению передвижения углеводов, снижению синтетической деятельности листьев, ослаблению корневой системы и понижению устойчивости кукурузы к полеганию. К началу фазы выметывания растения поглощают до 90 % калия. После окончания цветения поступление калия истекает (стабилизируется). С фазы молочной спелости зерна содержание калия в тканях растения уменьшается, вследствие его вымывания осадками и экзосмоса через корневую систему в почву. Согласно данным К.П. Афендулова и А.И. Лантуховой (1978), с началом образования зерна накопление сухого вещества в стеблях, а в фазе молочно-восковой спелости зерна в листьях, прекращается и начинается усиленное перемещение питательных веществ из вегетативных органов в репродуктивные. При этом на налив зерна используется до 59 % азота из других органов растения, 36 % фосфора и 82 % калия. Остальное количество азота и фосфора (реже калия) поступает в зерно за счет продолжающегося потребления элементов из почвы.

Основной функцией кремния в растении является увеличение устойчивости организма к неблагоприятным условиям, выражающееся в утолщении эпидермальных тканей, ускорении роста и развития корневой системы, связывании токсичных соединений и увеличении биохимической устойчивости к стрессам, снижении действия высоких температур (Усанова З.И., 2012). Кремний необходим для улучшения потребления азота, фосфора и калия. Он стимулирует ростовые процессы, ускоряет наступление фаз выметывания и созревания, что связано с увеличением энергии для метаболических процессов и синтеза сахаров (Матыченков В.В., 2002). Интерес к кремнию связан с возможностью его использования в качестве экологически чистой альтернативы пестицидам, а также для повышения природной устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам (Бородин Д.Б., 2016). Накопление кремния в проводящих сосудах вызывает повышение механической прочности тканей. Кремний необходим для нормального роста и развития надземных органов и корневой системы растений

На дерново-подзолистых и серых лесных почвах, на выщелоченных и оподзоленных черноземах кукуруза отзывается в первую очередь на азотные удобрения. Фосфорные удобрения продуктивны в основном на типичных и обыкновенных черноземах, а калийные – на супесчаных, торфяных и пойменных почвах.

Кукуруза высокотребовательна и очень отзывчива на внесение органических и минеральных удобрений.

Современные мировые тенденции развития сельского хозяйства (повышение цен на минеральные удобрения, необходимость восстановления почвенного плодородия, поиск альтернативы ядохимикатам), приводят к необходимости создания новых видов удобрений, действующим веществом которых является кремний.

Таким образом, кукуруза является высокотребовательной культурой к режиму питания растений, кроме того, на рост и развитие влияет многочисленное количество факторов окружающей среды и воздействие человека.

Краткий анализ литературных сведений дает основание считать

доказанной высокую эффективность цеолитов при возделывании сельскохозяйственных культур. Однако влияние его на систему «почва-растение» различно в зависимости от почвенно-климатических условий и особенностей возделываемых культур, а также состава самих цеолитов. Кроме того, возможности повышения его эффективности обогащением его, прежде всего, азотосодержащими соединениями, так как в составе кремнистых пород азот отсутствует, практически не изучены

Последнее обуславливает необходимость изучения особенностей и применения цеолитов в системе удобрения культур в конкретных почвенно-климатических условиях, а также удобрений на его основе.

2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Почвенно – климатическая характеристика опытного поля

2.1.1. Агроклиматические условия

Исследования проводились в условиях опытного поля Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина в 2019 году и ООО «Родник» Мелекесского района в период с 2020 года по 2022 годы.

Особенности функционирования агроэкосистем и формирования урожайности сельскохозяйственных культур находятся в тесной зависимости от условий их выращивания, поэтому существует необходимость оценки почвенно-климатических условий проведения полевых опытов.

Ульяновская область относится к Средне-Русской провинции лесостепной зоны. По почвенному районированию области территория Мелекесского района относится к восточному почвенному району. Основной фон почвенного покрова составляют черноземы и темно-серые лесные почвы. На общем фоне черноземных почв небольшими массивами, отдельными островами, встречаются серые и светло-серые лесные почвы, в поймах рек - пойменные почвы.

В Мелекесском районе по классификации и диагностике почв встречаются следующие черноземы:

1) по степени выщелоченности карбонатов

1. Карбонатные – вскипающие от соляной кислоты с поверхности или в пахотном слое.
2. Типичные – вскипающие в гумусовом горизонте.
3. Выщелоченные – вскипающие в горизонте В₂ и глубже.
4. Оподзоленные – в пределах почвенного профиля вскипание отсутствует.

- 2) по мощности перегнойного горизонта (A+B₁)
 1. Мощные от 80 до 120 см
 2. Среднемощные от 40 до 80 см
- 3) по содержанию гумуса в пахотном слое
 1. Среднегумусные - гумуса 6-9%
 2. Малогумусные - гумуса 4-6%
 3. Слабогумусированные - гумуса меньше 4%
- 4) по гранулометрическому составу
 1. Глинистые и тяжелосуглинистые
 2. Среднесуглинистые
 3. Легкосуглинистые
 4. Супесчаные
 5. Песчаные
- 5) по степени смывости
 1. Слабосмытые
 2. Среднесмытые
 3. Сильносмытые

Придержки по гранулометрическому составу, смывости в равной степени относятся и к почвам других типов почвообразования.

В Поволжье можно выделить 4 крупные почвенно-климатические подзоны: лесостепь, засушливая черноземная степь, сухая степь и полупустынная степь.

Климат лесостепи Поволжья сухой, континентальный с теплым летом и холодной зимой, с неравномерным распределением осадков в течение года.

Средняя температура воздуха в Ульяновске по данным многолетних наблюдений составляет +4,0 °С. Наиболее тёплый месяц — июль, его средняя температура +20,2 °С. Наиболее холодный месяц — февраль с температурой -10,4 °С. Самая высокая температура, отмеченная в Ульяновске за весь период наблюдений, +39,3 °С (2 августа 2010 года), а самая низкая -40,0 °С (2 февраля 1967 года). Безморозный период продолжается 130 – 150 дней, период со

средней суточной температурой воздуха + 10 °С – 142 дня. Сумма активных температур находится в интервале 2200 – 2400 °С.

За год в зоне выпадает от 380 до 520 мм осадков, в т. ч. с апреля по октябрь – 260 – 310 мм. Среднегодовая сумма осадков в Ульяновске — около 470 мм. Средняя годовая влажность воздуха составляет около 74 %, летом — 60-70 %, зимой — 80-85 %. Максимум осадков приходится на июнь (63 мм), а минимум — на февраль и март (24 мм). В течение года среднее количество дней с осадками — около 200 (от 10 в апреле до 23 дней в январе). В Ульяновске наблюдаются относительно сильные ветра и довольно часто. Это обусловлено расположением города на Приволжской возвышенности и в местах частой смены атмосферного давления. В розе ветров наблюдается преобладание западных (35 %), южных (25 %) и северных (17 %) ветров, дующих со среднегодовой скоростью 3,9 м/с.

Высота снежного покрова в Ульяновской области вначале зимы небольшая - 4-5 см, к середине января - 20-30 см, максимальна во второй декаде марта - 40 см.

Наступлением зимы можно считать первую декаду ноября. Он, как правило, характеризуется влажной и пасмурной погодой. Устойчивый снежный покров устанавливается в период 10 – 15 ноября и сходит 28 марта – 7 апреля. Значительные перепады температуры от 0 °С до – 25 °С наблюдаются в январе-феврале. Морозы начинаются с середины февраля. Фактически его можно считать самым холодным месяцем в году. Концом зимы считается месяц март, но и в этом месяце возможны морозы до – 25 °С градусов. Высота снежного покрова к началу марта доходит до уровня 40 см.

Весна — самый короткий период года (2 месяца), с конца марта до третьей декады мая. В этот период характерны резкие перепады температуры, в особенности для апреля.

Лето имеет продолжительность примерно 3,5 месяца. Приблизительно с 23 мая по 15 июля температура в сумме составляет 150 °С и выше. В июне возможны как жара 30-35.0 °С, так и интенсивные дожди с прохладной (16 °С) погодой. Самые высокие температуры года в июле, среднесуточная температура иногда достигает 25 °С и держится 10-15 дней, население в этот период ощущает

недомогание. Часто характерен дефицит осадков, реже влажный сверх нормы. Начало сентября в Ульяновске это и календарное, и сезонное начало осени. Он характеризуется заметно меньшей продолжительностью светового дня, прохладными утрами и по-летнему теплой послеобеденной температурой. Часты дожди, более продолжительные и холодные.

В 2019 году, по данным метеостанции Чердаклинского района, норма среднемесячной температуры мая составляла 12,5 °С, фактическая температура месяца по данным наблюдений была + 16,6 °С, отклонение от нормы + 4,1 °С. Норма суммы осадков в мае 39 мм, выпало осадков 15 мм. Эта сумма составляет 37 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (+0,1 °С) была 25 мая. Самую высокую температуру воздуха (+32,1 °С) наблюдали 31 мая.

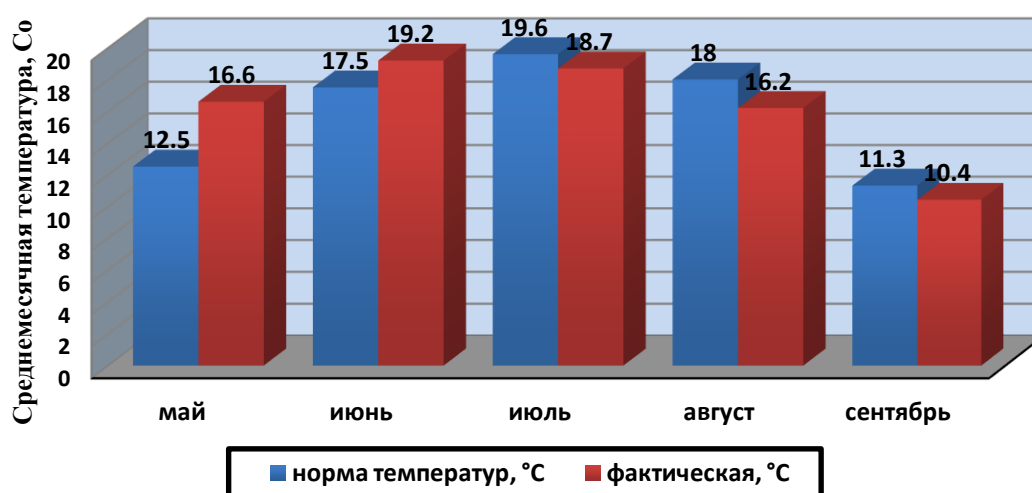


Рисунок 1. Среднемесячная температура воздуха за вегетационный период 2019 года

Среднемесячная температура июня составляла +17,5 °С, фактическая температура месяца по данным наблюдений – +19,2 °С, отклонение от нормы +1,7 °С. Норма суммы осадков в июне 63 мм, выпало осадков 61 мм. Эта сумма составляет 97 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (+4,0 °С) была 14 июня, самая высокая (+33,5 °С) 23 июня.

Среднемесячная температура июля находилась на уровне + 19,6 °С, фактическая температура месяца по данным наблюдений 18,7 °С, отклонение от

нормы – 0,9 °С. Норма суммы осадков в июле 60 мм, выпало осадков 39 мм. Эта сумма составляет 65 % от нормы. Самую низкую температуру воздуха (+4,3 °С) отмечали 30 июля. Самая высокая температура воздуха (+29,3 °С) была 9 июля.

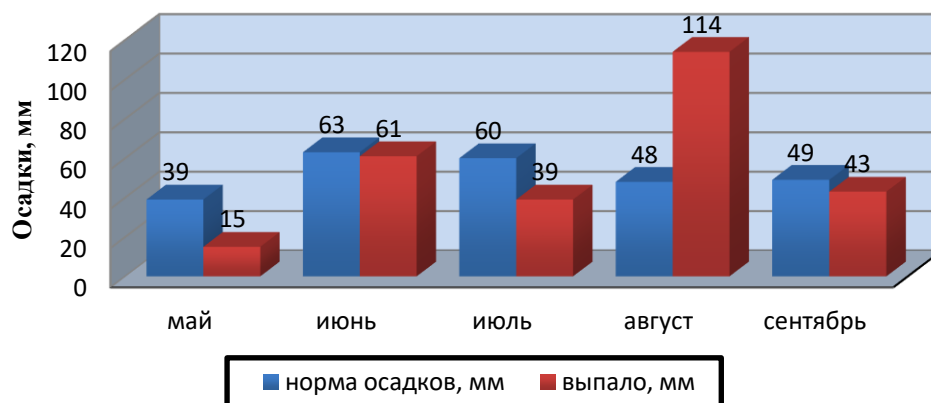


Рисунок 2. Месячная сумма осадков 2019 года (вегетационный период)

Среднемесячная температура августа 18,0 °С, фактическая температура месяца по данным наблюдений + 16,2 °С, отклонение от нормы - 1,8 °С. Норма суммы осадков в августе 48 мм, выпало 114 мм. Эта сумма составляет 237 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (+4,3 °С) была 30 августа, самая высокая (+31,5 °С) 19 августа.

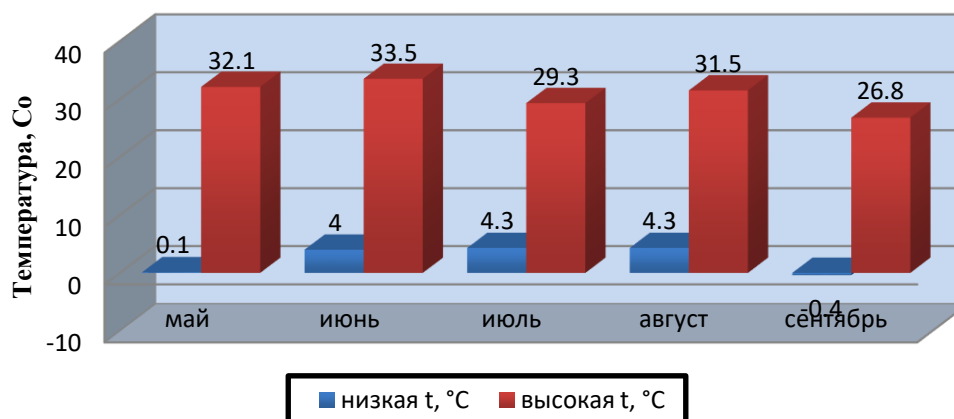


Рисунок 3. Самая низкая и высокая температуры воздуха 2019 года (вегетационный период)

Среднемесячная температура сентября 11,3 °С, фактическая температура месяца по данным наблюдений + 10,4 °С, отклонение от нормы – 0,9 °С. Норма суммы осадков в сентябре 49 мм, выпало 43 мм. Эта сумма составляет 87 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (-0,4 °С) была 26 сентября, самая высокая (+26,8 °С) 14 сентября.

В 2020 году, по данным метеостанции Мелекесского района, среднемесячная температура мая составила 12,5 °С, фактическая температура месяца по данным наблюдений + 13,0 °С, отклонение от нормы + 0,5 °С. Норма суммы осадков в мае 39 мм, выпало осадков 44 мм. Эта сумма составляет 113 % от нормы. Самую низкую температуру воздуха (-3,0 °С) отмечали 3 мая, самую высокую (+27,3 °С) 30 мая.

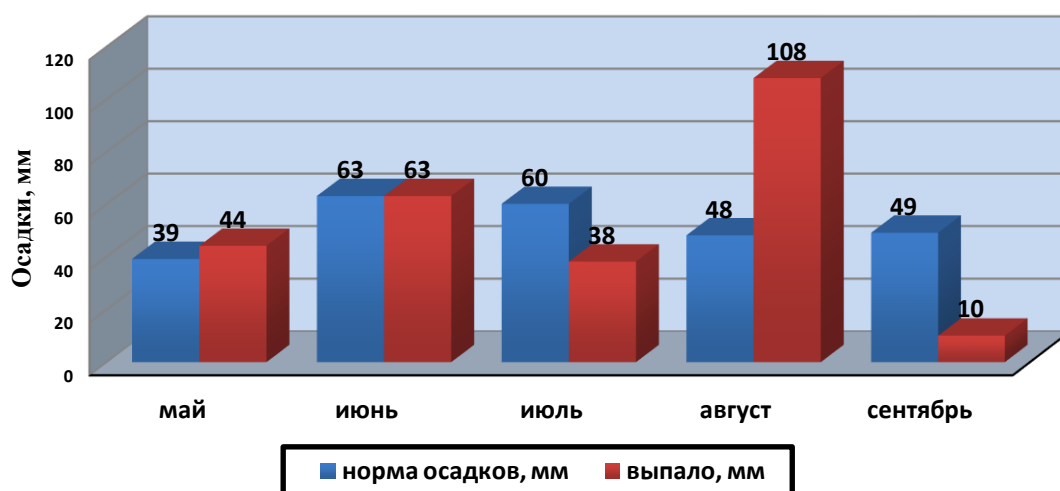


Рисунок 4. Месячная сумма осадков 2020 года (вегетационный период)

Среднемесячная температура июня 17,5 °С, фактическая температура месяца по данным наблюдения + 17,2 °С, отклонение от нормы -0,3 °С. Норма суммы осадков в июне 63 мм, выпало осадков 63 мм. Эта сумма составляет 100 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (+5,2 °С) была 23 июня. Самая высокая температура воздуха (+28,7 °С) была 17 июня.

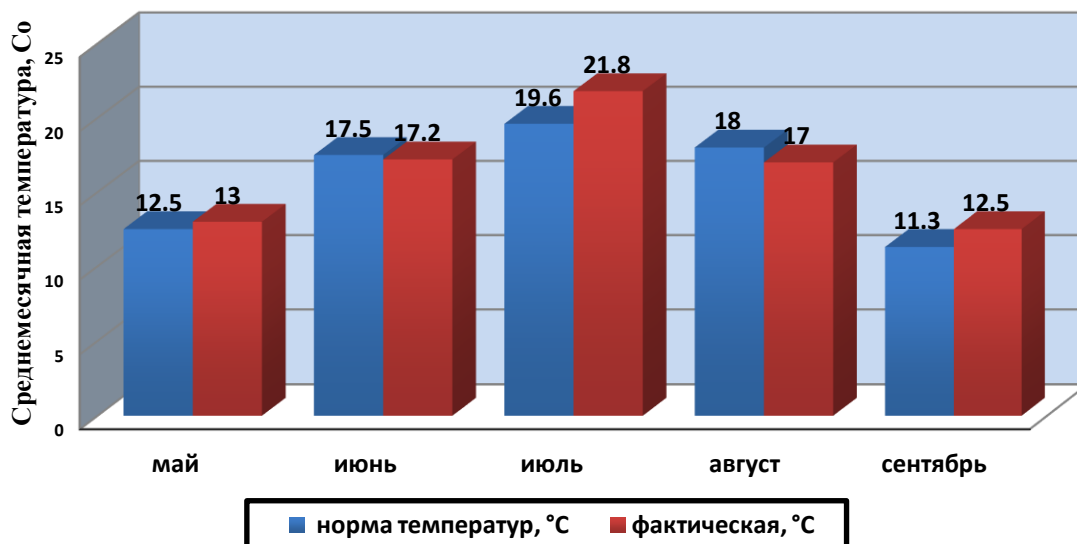


Рисунок 5. Среднемесячная температура воздуха за вегетационный период 2020 года

Среднемесячная температура июля 19,6 °С, фактическая температура месяца по данным наблюдений + 21,8 °С, отклонение от нормы + 2,2 °С. Нормы суммы осадков в июле 60 мм, выпало осадков 38 мм. Эта сумма составляет 63 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (+4,9 °С) была 1 июля. Самая высокая температура воздуха (+36,0 °С) была 14 июля.

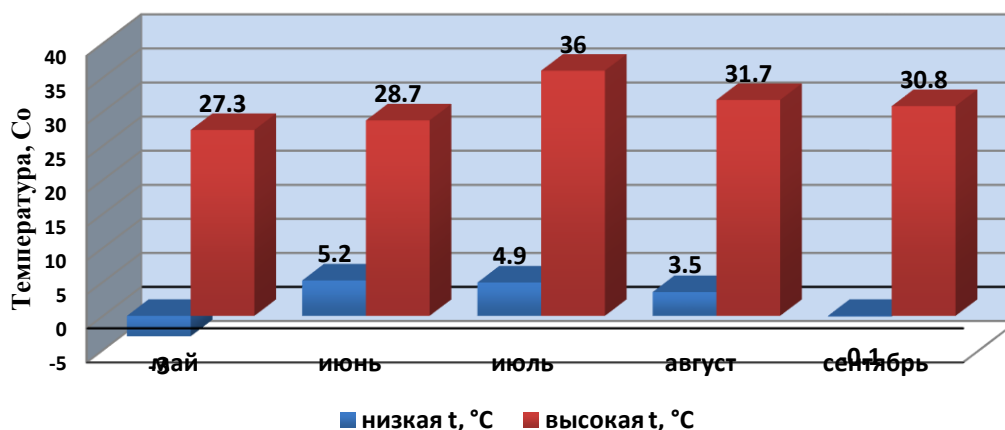


Рисунок 6. Самая низкая и высокая температура воздуха 2020 года (вегетационный период)

Среднемесячная температура августа 18,0 °С, фактическая температура месяца по данным наблюдений +17,0 °С, отклонение от нормы -1,0 °С. Нормы суммы осадков в августе 48 мм, выпало осадков 108 мм. Эта сумма составляет 225 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (+3,5 °С) была 20 августа. Самая высокая температура воздуха (+31,7 °С) была 6 августа.

Среднемесячная температура сентября 11,3 °С, фактическая температура месяца по данным наблюдений +12,5 °С, отклонение от нормы +0,5 °С. Нормы суммы осадков в августе 49 мм, выпало осадков 10 мм. Эта сумма составляет 20 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (-0,1 °С) была 29 сентября. Самая высокая температура воздуха (+30,8 °С) была 1 сентября.

В 2021 году, по данным метеостанции Мелекесского района, среднемесячная температура мая составила 12,5 °С, фактическая температура месяца по данным наблюдений +18,1 °С, отклонение от нормы +5,6 °С. Норма суммы осадков в мае 39 мм, выпало осадков 45 мм. Эта сумма составляет 86 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (+2,3 °С) была 6 мая. Самая высокая температура воздуха (+34,0 °С) была 17 мая.

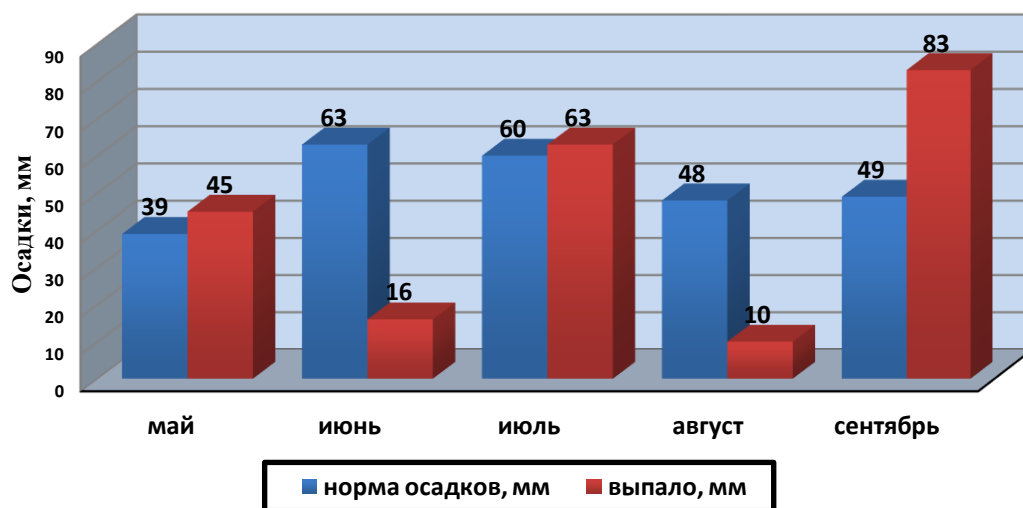


Рисунок 7. Месячная сумма осадков 2021 года (вегетационный период)

Среднемесячная температура июня: 17,5 °С. Фактическая температура месяца по данным наблюдений: +21,8 °С. Отклонение от нормы: +4,3 °С. Норма суммы осадков в июне: 63 мм. Выпало осадков: 16 мм. Эта сумма составляет 25

% от нормы. Самая низкая температура воздуха (8,1 °С) была 19 июня. Самая высокая температура воздуха (35,8 °С) была 25 июня.

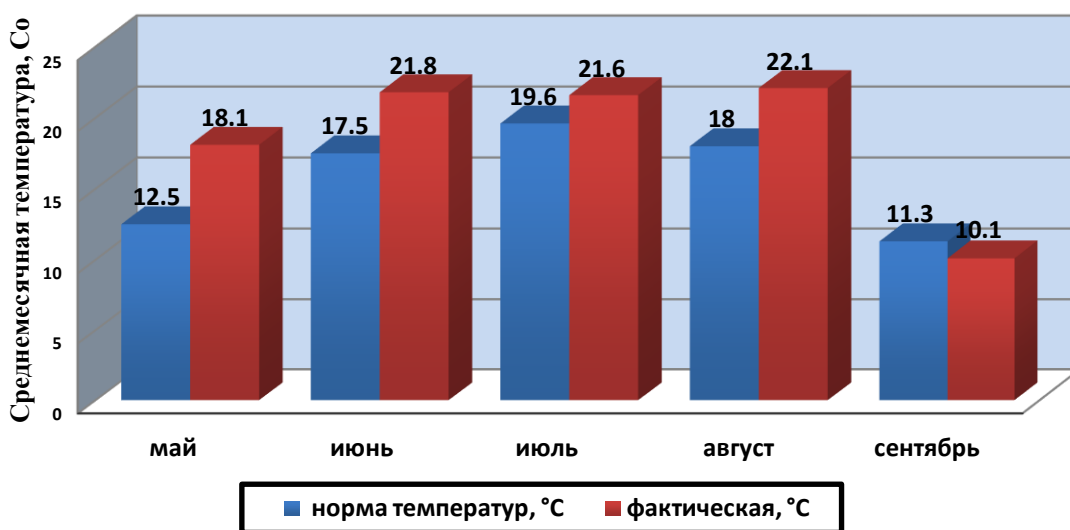


Рисунок 8. Среднемесячная температура воздуха за вегетационный период 2021 года

Среднемесячная температура июля: 19,6 °С. Фактическая температура месяца по данным наблюдений: + 21,6 °С. Отклонение от нормы: +2,0 °С. Норма суммы осадков в июле: 60 мм. Выпало осадков: 63 мм. Эта сумма составляет 105 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (9,6 °С) была 25 июля. Самая высокая температура воздуха (34,2 °С) была 20 июля.

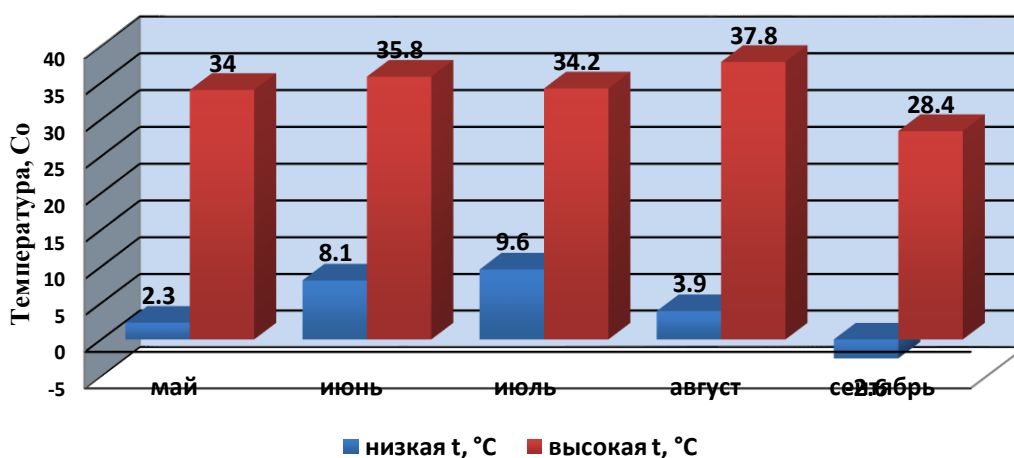


Рисунок 9. Самая низкая и высокая температура воздуха 2021 года (вегетационный период)

Среднемесячная температура августа: 18,0 °С. Фактическая температура месяца по данным наблюдений: +22,1 °С. Отклонение от нормы: +4,1 °С. Норма суммы осадков в августе: 48 мм. Выпало осадков: 10 мм. Эта сумма составляет 20 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (3,9 °С) была 29 августа. Самая высокая температура воздуха (37,8 °С) была 3 августа.

Среднемесячная температура сентября: 11,3 °С. Фактическая температура месяца по данным наблюдений: +10,1 °С. Отклонение от нормы: -1,2 °С. Норма суммы осадков в сентябре: 49 мм. Выпало осадков: 83 мм. Эта сумма составляет 169 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (-2,6 °С) была 20 сентября. Самая высокая температура воздуха (28,4 °С) была 1 сентября.

В 2022 году, по данным метеостанции Мелекесского района, среднемесячная температура мая составила +14,4 °С, фактическая температура месяца по данным наблюдений +9,7 °С, отклонение от нормы -4,7 °С. Норма суммы осадков в мае 44 мм, выпало осадков 60 мм. Эта сумма составляет 136 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (-3,2 °С) была 6 мая. Самая высокая температура воздуха (+24,2 °С) была 31 мая.

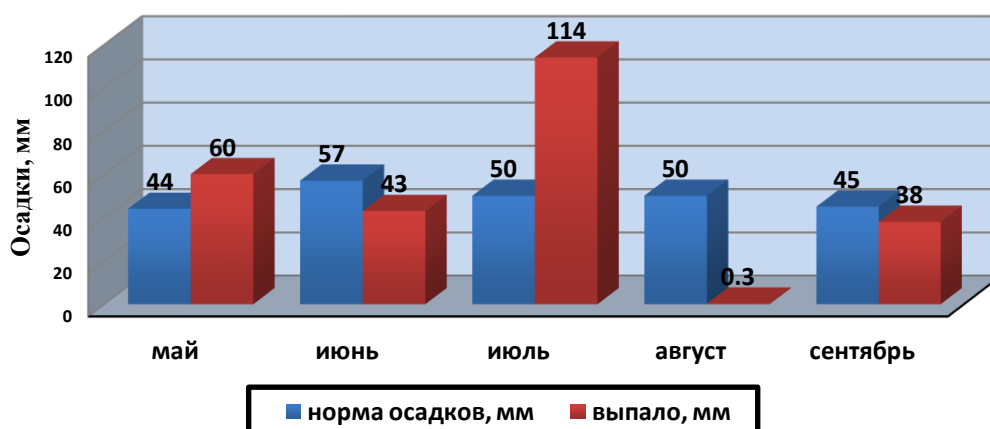


Рисунок 10. Месячная сумма осадков 2022 года (вегетационный период)

Среднемесячная температура июня: 18,5 °С. Фактическая температура месяца по данным наблюдений: +18,0 °С. Отклонение от нормы: -0,5 °С. Норма суммы осадков в июне: 57 мм. Выпало осадков: 43 мм. Эта сумма составляет 75

% от нормы. Самая низкая температура воздуха (5,8 °С) была 13 июня. Самая высокая температура воздуха (29,7 °С) была 15 июня.

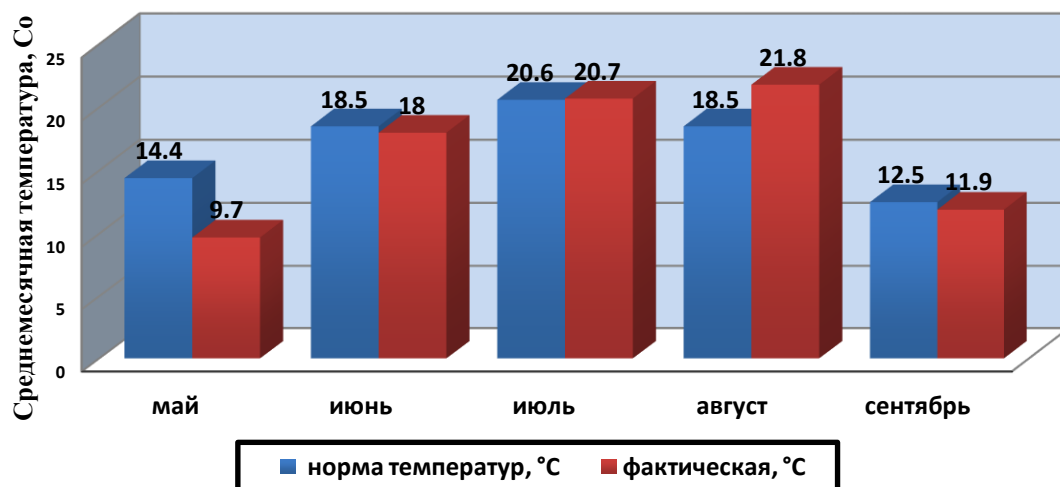


Рисунок 11. Среднемесячная температура воздуха за вегетационный период 2022 года

Среднемесячная температура июля: 20,6 °С. Фактическая температура месяца по данным наблюдений: + 20,7 °С. Отклонение от нормы: +0,2 °С. Норма суммы осадков в июле: 50 мм. Выпало осадков: 114 мм. Эта сумма составляет 227 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (8,0 °С) была 6 июля. Самая высокая температура воздуха (31,2 °С) была 9 июля.

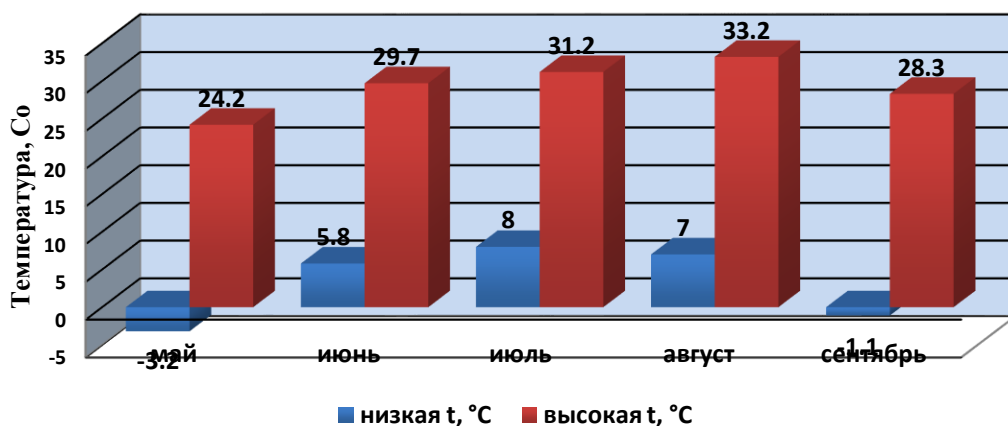


Рисунок 12. Самая низкая и высокая температура воздуха 2022 года (вегетационный период)

Среднемесячная температура августа: 18,5 °С. Фактическая температура месяца по данным наблюдений: +21,8 °С. Отклонение от нормы: +3,3 °С. Норма суммы осадков в августе: 50 мм. Выпало осадков: 0,3 мм. Эта сумма составляет 1 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (7,0 °С) была 20 августа. Самая высокая температура воздуха (33,2 °С) была 30 августа.

Среднемесячная температура сентября: 12,5 °С. Фактическая температура месяца по данным наблюдений: +11,9 °С. Отклонение от нормы: -0,6 °С. Норма суммы осадков в сентябре: 45 мм. Выпало осадков: 38 мм. Эта сумма составляет 85 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (-1,1 °С) была 12 сентября. Самая высокая температура воздуха (28,3 °С) была 1 сентября.

За годы проведения исследований климатические показатели существенно отличались от среднегодовых показателей, 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.

2.1.2. Особенности почвенного покрова

В 2019 году исследования проводились на опытном поле Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина Чердаклинского района Ульяновской области, которое расположено в левобережном Приволжском агропочвенном районе. Преобладающими почвообразующими породами являются древнеаллювиальные отложения в виде разнообразных суглинистых осадков.

Рельеф представлен слабоволнистой равниной с высотой над уровнем моря 45-50 м, комплексом древних (среднечетвертичных) террас долины р. Волга.

Микро- и мезорельеф – линейные и блюдцеобразные понижения. Почвенный покров составляют два подтипа чернозема - выщелоченный и типичный.

Черноземы выщелоченные характеризуются тёмно-серой окраской гумусового слоя (А+АВ) - ясной зернистой или зернисто-комковатой структурой. Под гумусовым слоем залегает бурый с затеками гумуса переходный горизонт В, который, постепенно переходит в почвообразующую породу. Вскипание от соляной кислоты наблюдается ниже гумусового горизонта.

Рельеф - слабоволнистая равнина.

Почва опытного поля Ульяновского ГАУ: чернозем выщелоченный слабогумусированный среднесплодный легкосуглинистый. От соляной кислоты вскипает с 80 см. Характеризуется следующими морфологическими признаками по горизонтам:

А _{пах}	0-28 см	Пахотный горизонт. Темно-серый, свежий, легкосуглинистый, комковато-пылеватый, уплотнен, включение корней, переход ясный.
А ₁	28-46 см	Гумусово-элювиальный горизонт. Темно-серый, свежий, легкосуглинистый, зернистый, уплотнен, включение корней, переход заметный.
АВ	46-64 см	Элювиально-иллювиальный горизонт. Темно-серый с буроватым оттенком, свежий, среднесуглинистый, зернистый, уплотнен, включение корней, переход ясный.
В	64-125 см	Иллювиальный горизонт. Бурый цвет, отмечаются затеки гумусового горизонта, свежий, легкосуглинистый, комковатый, плотный, переход постепенный.
С	125-170 см	Почвообразующая порода. Желто-бурый цвет, свежий, легкосуглинистый, бесструктурный, уплотнен, псевдомицелий карбонатов кальция.

В целом черноземы выщелоченные имеют высокое природное плодородие, бонитет пашни для зерновых культур 57-76 баллов. (Почвы учебно-опытного

хозяйства Ульяновского сельскохозяйственного института Чердаклинского района и рекомендации по их использованию. ВОЛГОГИПРОЗЕМ. Ульяновск, 1984 г.)

В 2020-2022 году исследования проводились в ООО «Родник» Мелекесского района, Ульяновской области.

Почва поля, где выращивалась кукуруза: чернозем выщелоченный малогумусный среднемогучный среднесуглинистый, характеризующийся следующими морфологическими признаками по горизонтам:

$A_{\text{пах}}$	0-25 см	Пахотный горизонт. Темно-серый, влажный, среднесуглинистый, комковато-порошистый, слабоуплотненный, включение корней мало, переход заметный.
A_1	25-41 см	Гумусово-элювиальный горизонт. Темно-серый с оттенком бурого цвета, влажный, среднесуглинистый, зернистый, уплотнен, включение корней мало, переход постепенный.
AB	41-63 см	Элювиально-иллювиальный горизонт. Темно-серый с буроватым оттенком, увлажнен, среднесуглинистый, зернистый, уплотнен, включение корней мало, переход заметный.
B	63-84 см	Иллювиальный горизонт. Бурый, свежий, среднесуглинистый, зернисто-комковатый, уплотнен, включение редких единичных корешков растений, переход ясный.
C	84-150 см	Почвообразующая порода. Желто-бурый, свежий, среднесуглинистый, комковатый, уплотнен, вскипает с 91 см, белоглазка 108 см.

Почвообразующими породами послужили делювиальные желто-бурые средние суглинки.

Главная отличительная особенность – отсутствие свободных карбонатов в гумусовом слое, т.е. карбонаты вымыты за пределы гумусовых горизонтов.

Вскипание от 10 % соляной кислоты слабое с 91 см, бурное с 100 см. Выделение карбонатов в виде жилок с 90 см, белоглазки – 108 см. (Почвы и кормовые угодья колхоза Заветы Ильича Мелекесского района Ульяновской области и рекомендации по их использованию и улучшению. ВОЛГОГИПРОЗЕМ. Ульяновск, 1980 г.)

2.2. Объекты исследования и обоснование схемы полевых опытов.

Технология возделывания кукурузы

Объектами исследования являлись:

- кукуруза (*Zéa máys*) – однолетнее растение, относящееся к семейству Мятликовые. Однодомное, раздельнополое, перекрестноопыляющееся. Корневая система растения мощная, мочковатая, многоярусная, сильноразветвленная, на черноземах способно проникать на глубину до 4 м. Стебель прямостоячий, хорошо облиствен, округлый, гладкий толщиной от 1,5 до 7 см. Высота данной культуры варьирует от 50 см до 7 м. Листья крупные, линейные, цельнокрайние, сверху опушенные, расположенные по двум противоположным сторонам стебля поочередно. Число листьев на одном растении колеблется от 8 до 45. Плодом кукурузы является зерновка, чаще голая и крупная. Масса 1000 семян у мелкосеменных сортов составляет 150 г, крупносеменных – 300-400 г. Окраска различается в зависимости от сорта и группы, может быть белой, кремовой, желтой, оранжевой, красной и др.

Кукуруза относится к семейству мятликовых, подсемейству просовидных. От большинства растений данного семейства она отличается мощным ростом, толстым стеблем и широкими длинными листьями.

Стебель растения прямой, мясистый, состоит из отдельных междоузлий. Высота от 45 см до 9 метров. В период формирования мужских и женских соцветий суточный прирост растений достигает 15 сантиметров. Листья –

ширококоленовидные, сверху опушенные. Расположены они поочередно – каждому надземному междоузлию соответствует один лист. По количеству листьев на главном стебле различают сорта кукурузы: высокоскороспелые сорта имеют 8-11 листьев, скороспелые украинские сорта – 14-18, позднеспелые сорта – 23-25 листьев. Многие сорта кукурузы кустятся и во влажные годы из первых надземных узлов образуют пасынки.

Корень мочковатый, мощно разветвленный, с густой сетью мельчайших корешков. В первые 2-3 недели жизни образуются первичные корни – первый ярус корневой системы. Затем формируется второй ярус корней, которые проникают в глубину почвы. При дальнейшем развитии кукуруза образует третий ярус корней, которые вначале отходят в сторону на 30-35 см, а затем глубоко проникают в почву (до 2,5 м). В основном же корневая система у кукурузы расположена на глубине 30-60 сантиметров. Кукуруза хорошо удаётся во всех зонах при правильном выборе сроков посева.

Семена начинают прорастать при температуре почвы около 10 °С. Оптимальная же температура, при которой растение хорошо развивается, находится в пределах 19-26 °С тепла. Недостаток тепла во все фазы роста и особенно во время формирования урожая зерна снижает продуктивность растений. Небольшие весенние заморозки (2-3 °С) не наносят ущерба всходам кукурузы, в то время как осенью они губят растения.

Кукуруза – светолюбивое растение короткого светового дня и хорошо формирует плодоносящие органы при создании растениям нормальных условий освещения.

В зависимости от сорта вегетационный период у кукурузы составляет 90-150 дней. В средней полосе районированные сорта способны достигнуть фазы молочно-восковой спелости за 80-85 дней и полной спелости за 110-115 дней.

В наших опытах 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 болезням и вредителями. Початок имеет более цилиндрическую форму, длиной 20-21 см, зерен в ряду равно 34-36. Густота стояния в первую очередь зависит от региона выращивания, которая составляет: на Полесье – 80-85 тыс./га, в Лесостепи – 75-80 тыс./га, в Степи – 50-55 тыс./га.

- природный цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области, химический состав которого представлен: SiO_2 общ 56,6 %; SiO_2 аморф. 26,7 %; CaO 13,3 %; K_2O 1,25 %; MgO 1,73 %; P_2O_5 0,49 %; SO_3 0,5 %. Суммарная ионообменная способность составляет 93 мг-экв/100 г. Основная роль в обмене принадлежит кальцию (86-88 %). Водоудерживающая способность достигает 96 %;

- цеолит, обогащенный аминокислотами, в составе которых содержится (%): аспаргиновая кислота (3,31+0,11), глутаминовая кислота (2,88+0,43), серин (0,70+0,11), гистидин (0,52+0,08), глицин (0,95+0,14), треонин (0,60+0,09), аргинин (0,89+0,13), тирозин (1,15+0,17), цистин (0,32+0,05), валин (1,82+0,27), метионин (0,42+0,06), фенилаланин (1,76+0,26), изолейцин (3,18+0,48), лейцин (4,46+0,67), лизин (7,41+1,11), пролин (3,10+0,46);

- цеолит, обогащенный карбамидом, является источником макро и микроэлементов, в том числе в 10 кг цеолита содержится: кремний ионообменный – 7,0 кг, кальций – 935 г, калий ионообменный 240,0 г., фосфор ионообменный – 177 г., магний – 127 г., натрий – 42 г., медь – 0,573 г., цинк – 3,058 г., марганец – 8.468., кобальт – 0,160 г;

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

- почва опытного поля Ульяновского ГАУ - чернозем выщелоченный слабогумусированный среднемошный легкосуглинистый (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).

В 2019 году исследование проводилось на базе опытного поля кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология» Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина.

Схема полевого опыта состояла из 8-и вариантов:

1. Контроль
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. N60P60K60 (NPK).

Цеолит Юшанского месторождения характеризуется высоким содержанием кремния общего (SiO_2) (56,6 %), более того практически половина его (26,7 %) представлена аморфными, то есть биодоступными формами. В его состав входит 6,44 % оксида алюминия, 2,15 % оксида железа, 13,3 % оксида кальция и 1,73 % – магния. Содержание K_2O составляет – 1,25 %, SO_3 – 0,5 %, P_2O_5 – 0,49 %, $\text{SiO}_2(\text{аморф.})$ – 26,7 %.

Физико-химические свойства цеолита отличаются своей уникальностью. Обменная емкость максимальная среди природных цеолитов – до 1,5 г-экв/кг, общая пористость составляет 23-53 %, рН водной вытяжки 6,4-7,9 единиц, обладает высокой влагоемкостью и способностью удерживать влагу, элементы питания и таким образом пролонгировать их влияние на систему «почва-растение» (Дистанов У.Г., Конюхова Т.П., 1990).

Применяемое минеральное удобрение азофоска, в состав которого входит азот, фосфор и калий по 16 % и мочевины (карбамид) с содержанием азота 46 %.

Данные опыты проводили в полном соответствии с методическими требованиями такими, как площадь одной отдельной делянки (60 м²), повторность – четырехкратная, расположение делянок произвольное (рэндомизированное). Уборку урожая осуществляли со всей делянки.

Цеолит и сами удобрения вносились вручную под предпосевную культивацию. Опыт был принят методической комиссией университета, которая оценила на «отлично».

В опыте возделывали кукурузу на зерно, гибрид MAS 10. Технология возделывания данной культуры заключалась в том, что после уборки предшественника (озимой пшеницы) проводили дискование стерни БДТ-7А в агрегате с Т-150 на 10-12 см, затем через 2 недели вспашку на глубину 25-30 см. В зимний период осуществляли снегозадержание, после схода снега – ранневесеннее боронование с целью сохранения влаги в почве. Далее вносили цеолит и удобрения на его основе под предпосевную культивацию, сеяли кукурузу. Потом проводили две междурядные обработки. Урожай убирали с площади всей учетной делянки с пересчетом на 14 %-ую влажность и 100 %-ую чистоту (ГОСТ 27548-97).

В последующие 2020-2022 года схема опыта была увеличена до 14 вариантов и исследования проводили на базе ООО «Родник» Мелекесского района, Ульяновской области.

Схема опыта следующая:

1.1. Контроль (фон 1)

1.2. Цеолит, 250кг/га

1.3. Цеолит, 500кг/га

1.4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250кг/га

1.5. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500кг/га

1.6. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га

1.7. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг/га

2.1. N60P60K60 (НРК) (фон 2)

2.2. НРК+ Цеолит, 250кг/га

2.3. НРК+ Цеолит, 500кг/га

2.4. НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250кг/га

2.5. НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500кг/га

2.6. НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га

2.7. НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг/га

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

В опыте возделывали кукурузу на зерно, гибрид MAS 10. Технология возделывания культуры аналогична и заключалась в том, что после уборки предшественника проводили дискование стерни БДТ-7А в агрегате с К-700 на 10-12 см, затем через 2 недели вспашку ПЛН-8-35 в агрегате с К-700 на глубину 25 см. Проводили снегозадержание в зимний период, после схода снега – ранневесеннее боронование с целью сохранения влаги в почве. Далее вручную внесли цеолит и удобрения на его основе совместно с минеральными удобрениями под предпосевную культивацию. Следом проводили посев кукурузы. Во время вегитации осуществляли две междурядные обработки. Урожай убирали с площади всей учетной делянки с пересчетом на 14 %-ую влажность и 100 %-ую чистоту (ГОСТ 27548-97).

2.3. Методы наблюдений, учетов и анализов

Закладку и проведение опытов осуществляли строго по методическим требованиям (Доспехов Б.А., 2011). Анализ почвенных и растительных образцов проводили по следующим методикам:

В почвенных образцах определяли:

- подвижный (доступный) фосфор (P₂O₅) по Чирикову в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91);

- обменный (доступный) калий (K₂O) по Чирикову в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91);

- рН_{KCl} по ГОСТу 26483-85;

- агрегатный состав при сухом просеивании по Саввинову (Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А., 1986);

- водопрочность структуры по Саввинову (Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А., 1986);

- плотность почвы методом режущих колец (Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А., 1986);

В растительных образцах:

- общий азот по Къельдалю (ГОСТ 13496.4-93);

- фосфор фотометрическим методом по ГОСТ 26657-97;

- калий методом пламенной фотометрии по ГОСТ 30504-97;

- тяжелые металлы (Cu, Zn, Cd, Pb, Ni) методом атомно-адсорбционной спектрофотометрии по ГОСТ 30692-2000.

- влажность зерна по ГОСТ 13586.5-2015;

- крахмал по ГОСТ 10845-98;

- белок по ГОСТ 13496.4-2019;

- содержание микроэлементов в зерне по ГОСТ 32343-2013.

Микробиологическая активность почвы определялась по интенсивности разложения целлюлозы (методом льняных полотен). Фенологические наблюдения проводились в соответствии с ГОСТ 10842–64 согласно методике государственного сортоиспытания. Учет фактической урожайности культур проводили с площади всей делянки в пересчете на 100 % чистоту и 14 % влажность.

Образцы почв и растений для лабораторных анализов отбирали в трехкратной повторности.

Перечисленные 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).

3. ВЛИЯНИЕ ЦЕОЛИТА НА СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

Черноземы, как наиболее плодородные почвы, являются главной базой земледелия России. В зоне Среднего Поволжья преобладают черноземы выщелоченные, которые обеспечивают наивысшую продуктивность пашни. Интенсивное использование почв при низких объемах применения органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов, использовании тяжелой техники, развития водной эрозии, привело в последние годы к значительному снижению плодородия почвы. В результате чего, даже при невысоких урожаях сельскохозяйственных культур в пахотном горизонте почв сложился отрицательный баланс гумуса, азота, фосфора и калия, кальция, происходит подкисление (Ильвачев Ю. А., 1999).

Вследствие недостаточного внесения химических мелиорантов и удобрений, а также интенсивной механической обработки происходит утрата агрономически ценной структуры. Степень выпаханности черноземных почв колеблется в интервале от 23,1 до 70,7 %. Старопахотные черноземы за период их использования утратили 21,7-59,2 % водопрочных агрегатов. Как следствие выше перечисленных факторов, в черноземных почвах отмечается увеличение равновесной плотности. Переуплотнение почвы ведет, в свою очередь, к снижению величины общей пористости, пористости аэрации, влагоемкости и водопроницаемости (Курносов М. В., 2006).

Такое положение можно расценивать как критическое. Если не приостановить данные явления, то в дальнейшем процесс может стать необратимым.

Поэтому очень важно поддерживать физическое состояние почвы на оптимальном уровне всеми агротехническими средствами, направленными на возделывание культур. В этом отношении значительная роль принадлежит системе удобрения, прежде всего, органической (солома, сидераты, навоз)

(Куликова А.Х., Захаров Н.Г., Карпов А.В., Козлов А.В., Хайрtdинова Н.А., Яшин Е.А., 2017). Доказана так же роль кремниевых соединений в улучшении физических свойств почвы. В качестве последних могут выступать высококремнистые породы (Куликова А.Х., 2013).

Использование химических и биологических мелиорантов снижает вредное антропогенное воздействие, улучшает почвенное плодородие.

Поэтому возникает потребность в научно-опытном обосновании, выборе и оптимизации применения различных мелиоративных приемов на черноземах выщелоченных Среднего Поволжья, в их экономической и энергетической оценке.

В связи с этим использование местных более дешевых мелиорантов позволяет существенным образом изменять основные показатели почвенного плодородия в лучшую сторону.

Использование местных более дешевых минеральных агроруд таких, как природные цеолиты, диатомиты, доломиты в сочетании с минеральными и органическими удобрениями может существенно повысить эффективное плодородие черноземных почв.

Как говорилось ранее, высококремнистые породы оказывают разностороннее конструктивное влияние на состояние почвы, да и в общем, на систему «почва-растение». Наши исследования были направлены на изучение влияния цеолита и удобрений на его основе обогащением аминокислотами и карбамидом на агро- и воднофизические показатели, биологическую активность и агрохимические свойства почвы.

3.1. Агро - и воднофизические показатели

Абсолютно важное значение имеет оптимизация агрофизических свойств почвы, так как от физического состояния почвы зависят водный, питательный и

воздушный режимы почвы. Более того, жизнедеятельность почвенных микроорганизмов в особой степени определяется физическим состоянием почвы. Важнейшие агрофизические показатели почвы такие, как плотность, определяемая как масса абсолютно-сухой почвы в единице объема, агрегатный состав и водопрочность агрегатов, общее количество пор и соотношение капиллярной и некапиллярной пористости являются основой создания оптимальных условий водного, воздушного, теплового и питательного режимов для жизни растений (Казаков Г.И., 1997; Тимонов В.Ю. и др., 2009).

В таблице 1 представлены агрофизические показатели чернозема выщелоченного при возделывании кукурузы с использованием в качестве удобрения цеолита, а также цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом по 8-ми вариантам.

Данные таблицы показывают, что физическое состояние почвы опытного поля (чернозем выщелоченный) не соответствует требованиям возделываемой культуры: плотность пахотного слоя на контроле составляла $1,25 \text{ г/см}^3$, содержание агрономически наиболее ценных агрегатов размерами $0 - 0,25 \text{ мм}$ $56,3 \%$, коэффициент структурности ниже приемлемых значений (2 и более, Буров Д.И., 1970). Кукуруза является требовательной сельскохозяйственной культурой к физическому состоянию почвы, прежде всего, в связи с особенностями развития корневой системы, которая в начале развития (первые недели жизни) формирует первый ярус первичных корней. Затем второй ярус, который распространяется как в сторону, так и глубину до 30-35 см, а далее проникает в почву до 60 см и более, кукуруза образует в ходе своего развития. Разумеется, большая часть чувствительных (питающих) корней находится в слое 20-40 см, следовательно, нужно создавать оптимальное агрофизическое состояние до глубины не менее 30 см.

Результаты исследований показывают, что агрофизические показатели чернозема выщелоченного при внесении в почву цеолита как в чистом виде, так и удобрений на его основе стали вполне оптимальными для культуры «... оптимальная глубина пахотного слоя для кукурузы составляет 28 – 30 см,

плотность почвы – 1,07-1,16 г/см³, общая пористость – 56-59 %, капиллярная пористость – 36-37 %, пористость аэрации – 20-22 %, содержание водопрочных агрегатов – более 58 %, а коэффициент структурности составил не менее 2,3» (Куликова А.Х., 1997).

Таблица 1

Показатели физического состояния чернозема выщелоченного под посевами кукурузы при внесении в почву цеолита как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами и карбамидом (Опыт 2019 г.)

Вариант	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	
Контроль (без удобрений)	38,5	56,3	5,2	1,29	69,8	30,2	1,25
Цеолит, 250 кг/га	33,7	61,9	4,4	1,62	71,5	28,5	1,20
Цеолит, 500 кг/га	25,2	70,9	4,5	2,36	73,5	26,5	1,14
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	24,8	71,2	4,0	2,00	73,2	26,8	1,18
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	21,4	74,8	3,8	2,52	75,7	24,2	1,12
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	27,5	68,2	4,3	1,86	70,9	23,1	1,20
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	25,1	70,8	4,1	2,15	74,8	25,2	1,14
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	35,2	58,8	6,1	1,42	69,0	31,0	1,26
НСР ₀₅	1,5	3,4	0,2		3,0	1,3	0,02

*K_c – коэффициент структурности

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 составила 1,14 и 1,12 г/см³, коэффициент структурности 2,36 и 2,52, а содержание водопрочных агрегатов составило 73,5 и 75,7 %.

В результате, состояние строения пахотного слоя почвы улучшилось и стало соответствующим требованиям данной культуры. Многие исследователи считают, что поликремниевые кислоты в том числе (как и гуминовые кислоты) способны при присутствии катионов кальция склеивать почвенные частицы в агрегаты (Аммосова Я.Ш. и др., 1990; Norton I.D., 1993). Соответственно, при этом повысилось содержание водопрочных агрегатов в почве от 69,8 % на контроле до 73,2-75,7 % на вариантах с внесением цеолита, обогащенного аминокислотами дозами 250 и 500 кг/га. Можно отметить, что эффективность цеолита, обогащенного карбамидом, в этом отношении была ниже. Минеральные удобрения положительного влияния на структурно-агрегатный состав и плотность почвы пахотного слоя чернозема выщелоченного не проявили.

Следовательно, цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области при применении как в чистом виде, так и, особенно, обогащении его аминокислотами, оказал положительное влияние на физические показатели пахотного слоя чернозема выщелоченного, которые достигли оптимальных значений для возделывания кукурузы значения. В том числе, 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 лучшие значения для кукурузы.

В таблице 2 приведены показатели физического состояния чернозема выщелоченного под посевами кукурузы в опытах, проведенных в ООО «Родник».

Как следует из результатов исследований, закономерности изменения агрофизических показателей почвы при использовании в технологии возделывания кукурузы цеолита и удобрений на его основе аналогичны.

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 г.)

Вариант	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		
Контроль (без удобрений)	39,8	53,0	7,2	1,13	67,8	32,2	1,25	
Цеолит, 250 кг/га	29,7	63,9	6,4	1,77	69,5	30,5	1,19	
Цеолит, 500 кг/га	20,6	72,9	6,5	2,69	71,5	28,5	1,16	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	20,8	73,2	6,0	2,73	71,2	28,8	1,18	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	18,4	75,8	5,8	3,13	72,7	27,3	1,14	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	24,5	69,2	6,3	2,25	69,9	30,1	1,20	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	21,1	72,8	6,1	2,68	72,8	27,2	1,15	
N₆₀P₆₀K₆₀	33,1	59,8	7,1	1,49	67,0	33,0	1,26	
НРК + Цеолит, 250 кг/га	32,9	62,9	4,2	1,70	71,5	28,5	1,21	
НРК + Цеолит, 500 кг/га	22,8	72,9	4,3	2,69	73,5	26,5	1,14	
НРК + Цеолит обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	23,8	72,2	4,0	2,60	73,2	26,8	1,16	
НРК + Цеолит обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	19,6	76,8	3,6	3,31	75,7	24,3	1,10	
НРК + Цеолит обогащенный карбамидом, 250 кг/га	26,7	69,2	4,1	2,25	70,9	29,1	1,19	
НРК + Цеолит обогащенный карбамидом, 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 применении цеолита физическое состояние почвы значительно улучшилось, особенно при внесении более высокой его дозы (500 кг/га) и обогащении аминокислотами, при применении которых показатели достигли оптимальных значений для возделывания кукурузы. Плотность пахотного горизонта на вариантах без применения минеральных удобрений на естественном фоне составила 1,15 и 1,14 г/см³, коэффициент структурности 2,68 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, а 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 %.

Проблема накопления, сохранения, рационального использования влаги в земледелии является одной из главнейших, особенно в зоне рискованного земледелия, куда относится и Среднее Поволжье. В лесостепи Поволжья влагообеспеченность находится в первом минимуме и является фактором, часто резко ограничивающим продуктивный процесс сельскохозяйственных культур. В этих условиях все агротехнические процессы должны быть направлены на сбережение и экономное расходование почвенной влаги. В этом отношении большой интерес представляют высококремнистые породы, способные удерживать в почвах и постепенно расходовать влагу, равно как и питательные вещества, необходимые растениям (Дистанов У.Г., 1989). Например, цеолит представляет собой микропористую кристаллическую «губку», объем которой достигает 50 % каркаса.

Положительное действие кремнистых пород может быть обусловлено не только характером пористого структурного строения, адсорбционной способностью, то есть свойствами самих пород, но и аморфным кремнеземом, присутствующим в них. Так В.В. Матыченков (2008) приводит данные, которые показывают, что один атом кремния может удерживать до 119 молекул воды. По данным Р.К. Айлера (1982) свежесквашенный кремниевый гель кремниевой кислоты может содержать до 330 молей H₂O на 1 моль SiO₂.

Результаты определения запасов доступной (продуктивной) влаги в черноземе выщелоченном под посевами кукурузы представлены в таблице 3.

Таблица 3

Запасы продуктивной влаги в черноземе выщелоченном под посевами кукурузы при внесении экспериментальных удобрений, мм

Вариант	Посев				Уборка			
	Слой почвы, см							
	0-30 см		0-100 см		0-30 см		0-100 см	
	запасы	отклонение	запасы	отклонение	запасы	отклонение	запасы	отклонение
Контроль (без удобрений)	37	-	149	-	30	-	111	-
Цеолит, 250 кг/га	41	+4	159	+10	34	+4	118	+7
Цеолит, 500 кг/га	49	+12	162	+13	38	+8	123	+12
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	43	+6	157	+8	38	+8	121	+10
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	45	+8	165	+16	38	+8	126	+15
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	40	+3	154	+5	35	+5	119	+8
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	39	+2	153	+4	36	+6	120	+9
N₆₀P₆₀K₆₀	36	-1	150	+1	29	-1	104	-7
НСР ₀₅	3		7		4		6	

Из данных таблицы следует, что зимне-весенние запасы доступной влаги вполне достаточны как в пахотном (0-30 см), так и метровом (0-100 см) слоях почвы (таблица 4).

Таблица 4

Оценка влагообеспеченности почвы (Бондарев А.Г., 1996)

Запасы продуктивной влаги, мм		Обеспеченность
В слое 0-20 см	В слое 0-100 см	
<20	<50	Недостаточная
20-30	50-150	Достаточная
30-40	150-200	Оптимальная
>40	>200	Избыточная

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) увеличилось 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. Авторы (Матыченков В.В., 2008; Рочев В.Н., Швейкина Р.В., Барсукова Г.А., 1980; Matichenkov V.V., Vocharnikova E.A., 2004) считают, что последнее имеет большое значение и для питания растений, особенно при внесении удобрений. Оно связано с тем, что адсорбция OH^- на кремнеземе первична, а других катионов, в том числе элементов питания – вторична, которые потом легко переходят в почвенный раствор, улучшая питательный режим почвы.

Таким образом, результаты исследований агро- и воднофизических свойств почвы при внесении в почву цеолита и удобрений на его основе показали, что последние в значительной степени улучшают физическое и агрохимическое состояние чернозема выщелоченного.

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 конкретное количество элементов питания в целесообразном количестве. В этом отношении, кроме создания необходимых условий аэрации, наибольшее значение имеет обогащение пахотного слоя органическим веществом и питательными элементами в виде минеральных удобрений.

Исходя из многочисленных исследований почв (Аристовская Т.В., 1980; Risa W.A., Clayton G.W., 1999; Терехова В.А., 2001; Матаруева И.А., 2005; Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Т.М., 2005; Добровольская Т.Г. 2009; Емцев В.Т., Мишустин Е.Н., 2016 и др.) установлено, что большую роль играет почвенная биота в протекании самых разнообразных биохимических и биологических процессов в почве, которые и создают ее естественное плодородие. Их функции отмечаются исключительным разнообразием, при этом одна из главных из них заключается в обеспечении корневого питания растений за счет ферментативной или иной химической способности, переводящей труднорастворимые и труднодоступные элементы питания в соединения, которые способны усваиваться растениями. Почвенной биотой производятся процессы аммонификации растительных и животных остатков, нитрификация промежуточных

нитрификация промежуточных азотсодержащих продуктов, трансформация промежуточных азотсодержащих продуктов, трансформация минеральной части почвы, органических и минеральных удобрений, иных соединений почвенной системы и т.д. Биологическое состояние почвы при использовании агротехнических приемов имеет особо важное значение, так как микроорганизмы почвы представляют собой выдающимися чувствительными индикаторами любых изменений, которые происходят в почве под воздействием всевозможных факторов.

Почвенная биота является весьма сложным комплексом разнообразных организмов, включающая в себя макро-, мезо- и микрофауну, не говоря уже о живых корнях растений. Основная доля приходится на микрофлору, это, прежде всего бактерии, актиномицеты, микроскопические грибы и водоросли, они составляют наибольшую часть живой биомассы и выделяются высокой интенсивностью метаболизма (Звягинцев Д.Г. и др., 2005; Матаруева И.А., 2005). В исследованиях почвенной биоты отмечается изучение количества и многообразия микроорганизмов, которые обитают в почве, количества факторов возможных экологических групп, биохимической и ферментативной активности выделяемых ими метаболитов, выделения углекислого газа, концентрации биогенной минерализации различных элементов органического вещества и окислительно-восстановительных преобразований минеральной части почвы. Они являются содержательными показателями для оценки состояния микроценозов почвы и в целом биогеоценозов, также «... скорость разложения целлюлозы, общая протеазная активность и биомасса микроорганизмов являются наиболее целесообразными показателями деятельности микроорганизмов» (цит. по Сорокину И.Д., 1996). Концентрация распада целлюлозы в почве характеризует энергию круговорота азота, а общая протеазная активность – азота почвенными организмами. Метод аппликации довольно полно характеризует общую тенденцию микробиологических процессов в почве. Клетчатка (целлюлоза) является одним из самых основных элементов органического вещества почвы. Разложение ее происходит разнообразными группами микроорганизмов такими,

как истинные бактерии, миксобактерии, актиномицеты, грибная микрофлора, более того, часто служит фактором общей биологической активности почвы. В таблице 3 приведены показатели деятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов под посевами кукурузы, определенных методом аппликации (по степени разрушения льняного полотна).

При анализе приведенных результатов таблицы 3 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.

Таблица 5

Влияние цеолита и удобрений на его основе на биологическую активность пахотного слоя почвы под посевами кукурузы

Вариант	Биологическая активность, %	Отклонение от контроля	
		%, абсолютное значение	%, относительное значение
1	2	3	4
Контроль (без удобрений)	12,5	-	-
Цеолит, 250 кг/га	13,3	+0,8	+6
Цеолит, 500 кг/га	14,1	+1,6	+13
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	18,7	+6,2	+50

1	2	3	4
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	20,5	+8,0	+64
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	16,3	+3,8	+30
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	19,7	+7,2	+58
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	18,8	+6,3	+50
НСР ₀₅	3,6		

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.

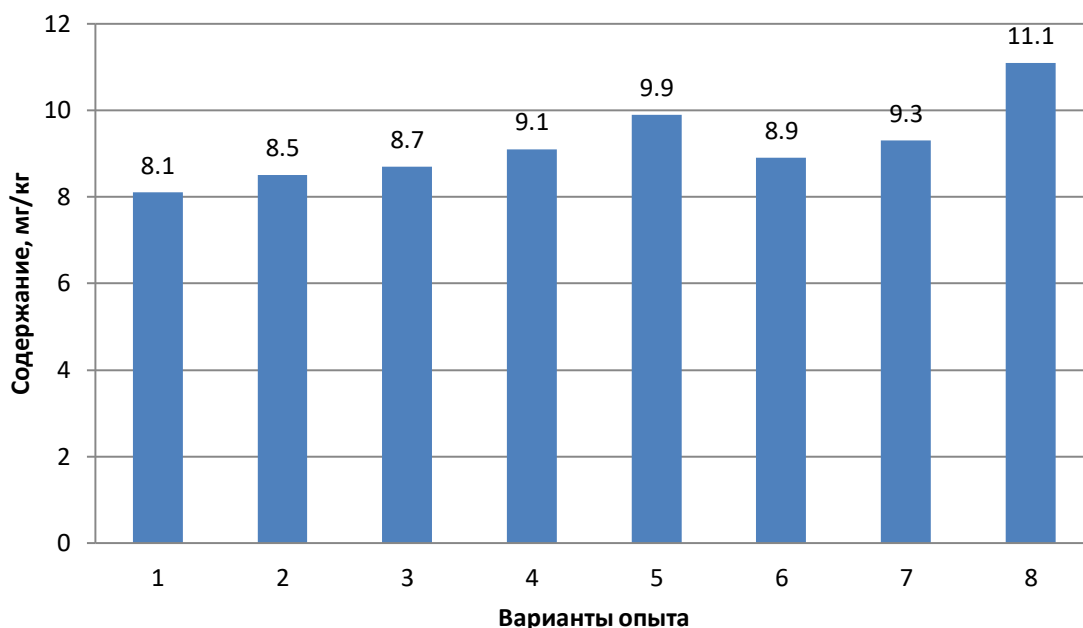
3.3. Агрохимическое состояние

Плодородие почвы в целом характеризуется тремя основными группами факторов: агрофизическими, биологическими и агрохимическими. Основными агрохимическими показателями являются: содержание и запасы гумуса, валовые и подвижные формы элементов питания, рН водной и солевой вытяжки, гидролитическая кислотность, показатели почвенно-поглощающего комплекса. Между свойствами почв и уровнем минерального питания, который определяет

высоту урожая, существует тесная взаимосвязь. Следовательно, уровни содержания питательных веществ в почве являются критерием оптимальности свойств почв, необходимых для нормального роста и развития и формирования высокой урожайности культур.

Содержание минерального азота в почве. Азот – один из основных элементов, необходимых для растений. Он входит в состав всех простых и сложных белков, которые являются главной составной частью цитоплазмы растительных клеток, и входит в состав нуклеиновых кислот, играющих исключительно важную роль в обмене веществ и организме. Азот содержится в хлорофилле, фосфатидах, алкалоидах, ферментах и во многих других органических веществах растительных клеток.

Он самый дешевый элемент, если иметь в виду биологический азот и самый дорогой – если технический. Например, в мировом сельском хозяйстве используется только 3,5 % общей потребительской энергии, из которых 45 % приходится на производство минеральных удобрений. Из этих 45 % 90 % затрачивается на производство азотных удобрений (Юлушев И. Г., 2005). Поскольку более 95 % валового азота находится в органической, практически недоступной растениям форме, крайне важна мобилизация его в минеральной форме, осуществляемой микроорганизмами. Процесс разложения органического азотсодержащего вещества в почве начинается с аммонификации. Поэтому любые агротехнические приемы, способствующие усилению активности аммонифицирующей микрофлоры, сопровождаются повышением уровня азотного питания растений. Изменения в содержании минеральных форм азота в пахотном слое чернозема выщелоченного в зависимости от применения цеолита в системе удобрения кукурузы представлены на рисунке 10.



Варианты опыта:

1. Контроль; 2. Цеолит, 250кг/га; 3. Цеолит, 500кг/га; 4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250кг/га; 5. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500кг/га; 6. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га; 7. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг; 8. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (NPK)

Рисунок 10 – Содержание минерального азота ($N-NO_3 + N-NH_4$) в пахотном слое (0–30 см) чернозёма выщелоченного, мг/кг

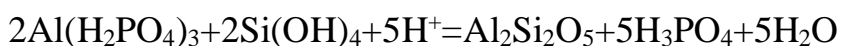
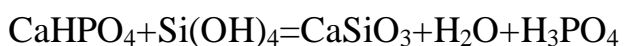
Анализ данных показывает, что содержание аммонийного и нитратного азота в почве на варианте с внесением цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 500 кг/га мало уступает варианту с внесением полной дозы минеральных удобрений как по фазам развития кукурузы, так и в среднем за вегетацию культуры. Это обуславливается внесением в почву цеолита как высококремнистой породы, что сопровождалось усилением в ней процессов нитрификации и аммонификации.

Содержание доступного фосфора в почве. Фосфор является одним из важнейших элементов питания в почве. Без фосфорной кислоты не может существовать ни одна живая клетка, так как она входит в состав нуклепротеидов клеточных ядер (РНК и ДНК). Фосфор так же содержится в составе ряда других органических веществ таких, как фитин, лецитин, сахарофосфаты и других биологически важных соединений в растениях, без которых жизнедеятельность

организмов невозможна.

Влияние кремниевых соединений (удобрений) на эффективное плодородие почвы, прежде всего, связывают с положительным действием на содержание доступного растениям фосфора.

Взаимодействие кремниевых и фосфорных соединений в изучении имеет особо длительную историю, начиная с конца 19-го века и до настоящего времени. Доказано, что кремниевые соединения способствуют переводу недоступных фосфатов в доступные, а также препятствуют фиксации фосфора, к примеру, вносимых с минеральными удобрениями, почвой. «... кремниевые соединения могут снизить расход фосфорных удобрений на 30-50 %. Механизм взаимовлияния силикат- и фосфат- ионов до конца не выяснен» (цит. по Матыченкову В.В., 2008). Существует несколько гипотез влияния кремниевых соединений на фосфаты. Особо распространенное мнение, высказанное в 1949 году К.Л. Аскинази и многократно подтвержденное в последующем, что анион кремниевой кислоты вытесняет фосфат-ион из труднодоступных фосфатов с образованием соответствующих силикатов (Аскинази К.Л., 1949; Рочев В.А., Швейкина Р.В., Барсукова Г.А., Попова Н.Н., 1980); Гладкова К.Ф., 98; Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., 2003; Самсонова Н.Е., 2005, 2019; Матыченков В.В., 2008; Куликова А.Х., 2013; Матыченков И.В., 2014) составляет:



В полевых экспериментах с использованием диатомита в качестве удобрения установлена прямолинейная зависимость между увеличением количества монокремниевой кислоты при внесении в почву кремнийсодержащей породы и повышением содержания в ней подвижного фосфора. Уравнение регрессии имеет вид:

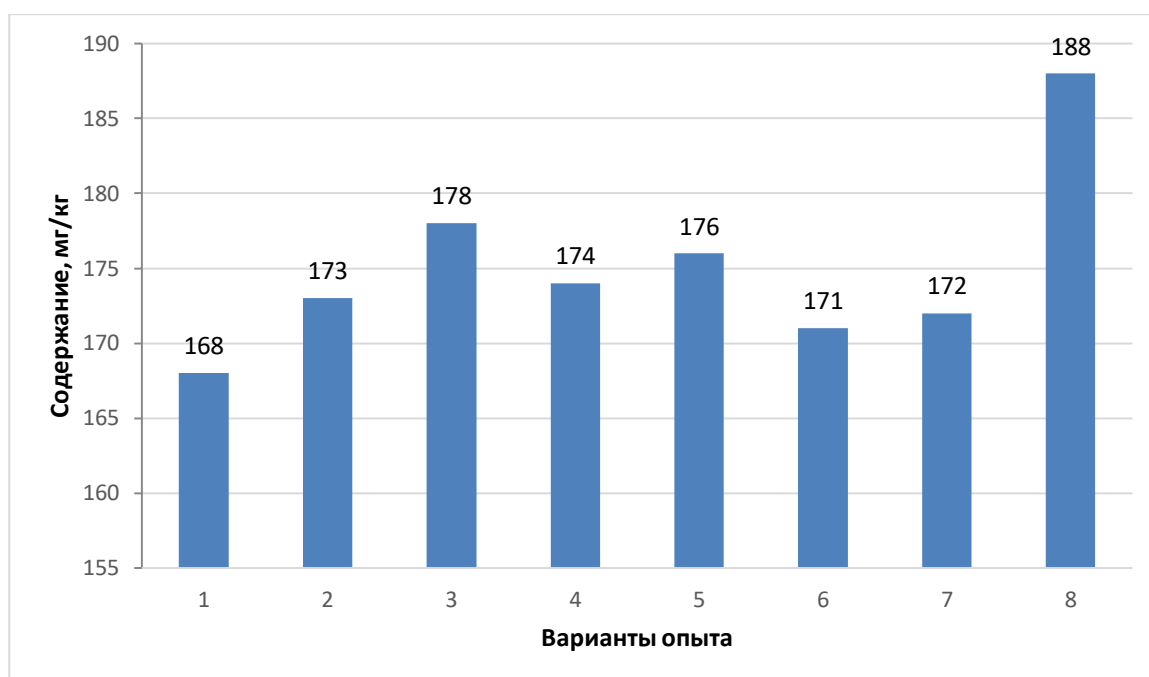
$$y = 49,46 + 3,33x (R = 0,6)$$

где y – содержание водорастворимого кремния, мг/кг почвы.

В силу большого разнообразия в природных условиях факторов, которые влияют на взаимодействие кремниевых и фосфорных соединений, можно предположить, что имеется ряд других механизмов. Например, «... возможен анионный обмен SiO_2 на анионы фосфорной кислоты» (цит. по Read W.L., 1973), а «... анионы кремниевой кислоты способны блокировать активные карбонаты почвенного раствора, предохраняя тем самым внесенные с удобрением фосфаты от ретроградации» (цит. по Акентьевой М.В., 1952), и ко всему этому «... при внесении кремнийсодержащих соединений возможен спад фиксирующей способности коллоидной фракции почв не менее 0,1 мк в отношении фосфатов» (цит. по Иванову А.Л., 1992).

Кремниевые соединения способствуют улучшению питания растений не только азотом и фосфором, но и другими элементами такими, как калий (Khalid R.A., Silva L.A., 1978; Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Матыченков И.В., 2011). Микроорганизмы, которое способны воздействовать на минеральную часть почвы (например, бактерии *Bacillus mucilaginosus*), активно разлагают труднорастворимые минералы в почвах (силикаты, глинистые минералы, апатиты, фосфориты), что отмечается высвобождением и поступлением в почвенной раствор ионов калия, водорастворимых форм кремния, подвижных соединений фосфора, которые, в результате становятся доступными растениями.

Основную роль в питании растений играют подвижные формы фосфора. Именно недостаток этих форм лимитирует урожайность сельскохозяйственных культур. Поэтому очень важно в почве создать условия, способствующие высвобождению фосфат-ионов из твердой фазы в раствор. Поскольку данные процессы осуществляют литотрофные и органотрофные микроорганизмы, присмы, способствующие активизации их деятельности, сопровождаются, как правило, повышением в почвенной среде доступных форм фосфора. Данные по содержанию доступных форм фосфора представлены на рисунке 11.



Варианты опыта:

1. Контроль; 2. Цеолит, 250кг/га; 3. Цеолит, 500кг/га; 4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250кг/га; 5. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500кг/га; 6. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га; 7. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг; 8. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (NPK)

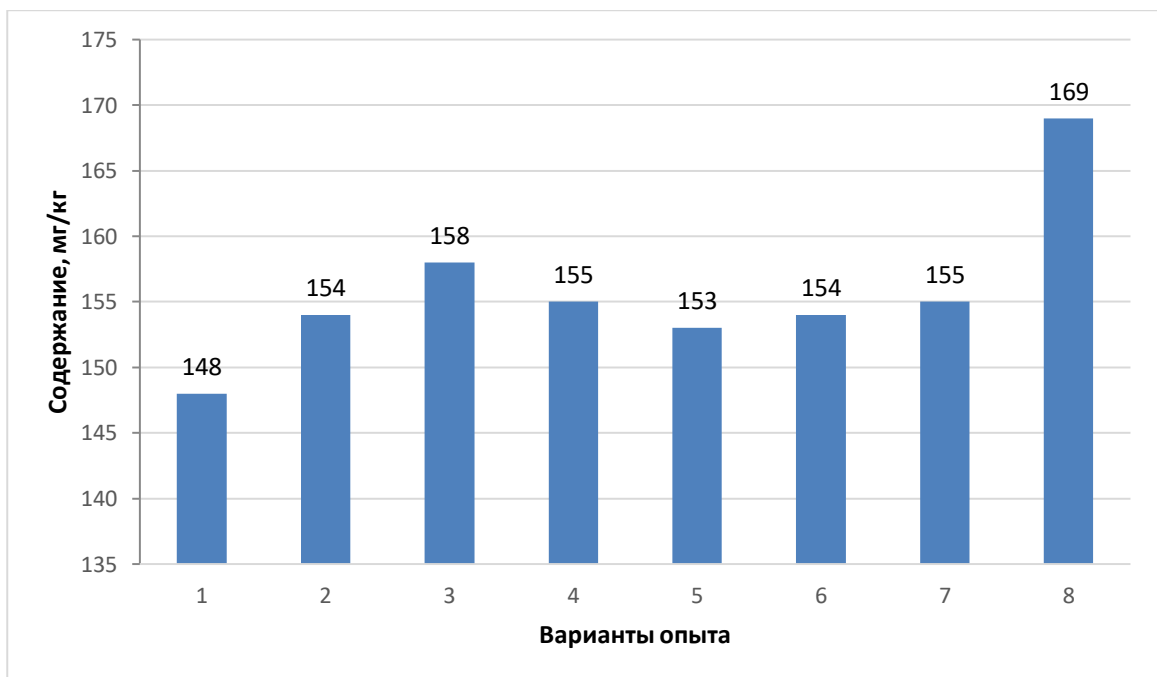
Рисунок 11 – Содержание подвижного фосфора в пахотном слое (0–30 см) чернозёма выщелоченного, мг/кг

При анализе данных, прежде всего, обращает на себя внимание высокая обеспеченность доступным фосфором почвы опытного участка. Тем не менее, при внесении цеолита в почву появляется выраженная тенденция повышения его содержания в пахотном слое и поддержание его в течение всей вегетации, несмотря на усиленное потребление элемента на формирование урожая, на более высоком уровне. Последнее обязано активному кремнию, присутствующему в цеолите и способности его вытеснить фосфор в почвенный раствор из труднодоступных фосфатов.

Содержание обменного калия в почве. Содержание обменного калия в почве является важнейшим показателем почвенного плодородия и обеспечения формирования стабильных урожаев сельскохозяйственных культур. Калий оказывает положительное влияние на процессы регулирования осмотического давления в клетках, синтез высокомолекулярных соединений, энергетический

уровень развития корневой системы растений, повышает холодоустойчивость и зимостойкость культур, усиливает синтез и накопление в растениях ряда витаминов и т. д.

В почве калий находится в разных формах: 1) водорастворимый; 2) обменный; 3) труднообменный или резервный; 4) обменный, в том числе фиксированный; 5) калий растворимых силикатов; 6) калий органической части почвы. Разные формы калия находятся в динамическом равновесии, растения в первую очередь потребляют водорастворимый и обменный калий (Прокопьев В. В., Дерюгин И. П., 2000). Поступление в почвенный раствор этих форм происходит из почвенных запасов. Поэтому очень важно создавать в почве такие условия, которые бы обеспечивали постоянное поступление в почвенный раствор калия в доступной форме. Данные предоставлены на рисунке 12.



Варианты опыта:

1. Контроль; 2. Цеолит, 250кг/га; 3. Цеолит, 500кг/га; 4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250кг/га; 5. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500кг/га; 6. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га; 7. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг; 8. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (NPK)

Рисунок 12 – Содержание K_2O в пахотном слое чернозёма выщелоченного, мг/кг

Результаты исследования показали, что применение цеолита, в дозе 500

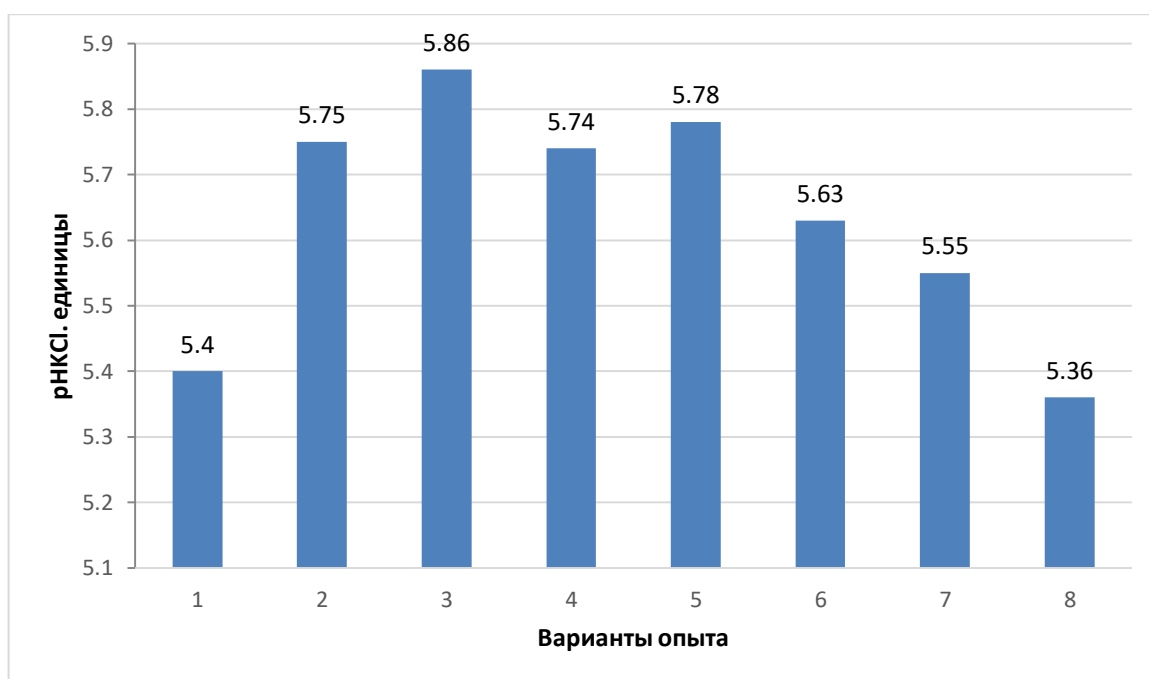
кг/га увеличивает содержание калия в почве в сравнении с контрольным вариантом на 7 %. Несмотря на усиленное потребление на формирование урожая, до конца вегетации на вариантах с внесением цеолита поддерживался высокий уровень калийного питания, а разница между ними и контролем сохранялась. Это в свою очередь создает хорошие условия для формирования высокой урожайности.

Реакция среды почвенного раствора — соотношение концентрации H^+ и OH^- ионов почвенного раствора, выраженное в виде рН водной или солевой вытяжки. Удобрения, как правило, изменяют реакцию почвенного раствора.

Реакция почвы оказывает влияние на питательный режим почв, рост, развитие и урожайность растений, деятельность микроорганизмов почвы, трансформацию форм питательных элементов удобрений и почвы, агрофизические, агрохимические, физико-химические и биологические свойства почв. Удобрения и мелиоранты позволяют регулировать реакцию почв в желаемую для возделываемых культур сторону.

Реакция почвенного раствора определяется концентрацией ионов водорода (H^+) и гидроксид-иона (OH^-). В чистой воде с нейтральной реакцией, концентрация ионов водорода совпадает с концентрацией гидроксид-иона и равна $1 \cdot 10^{-7}$ моль/л. При добавлении 1 ммоль соляной и азотной кислоты к 1 л воды, которые полностью диссоциируют в водном растворе, концентрация ионов водорода составит 1 ммоль H^+ , или $1 \cdot 10^3$ моль/дм³. Концентрацию ионов водорода выражают через показатель рН, равный: $pH = -\lg(C_{H^+})$.

Результаты исследований показали, что при применении цеолита и удобрений на его основе происходит существенная нейтрализация почвенной кислотности: она уменьшилась на 0,15-0,46 единиц рН_{KCl}. При этом почва перешла из категории слабокислой в близкую к нейтральной.



Варианты опыта:

1. Контроль; 2. Цеолит, 250кг/га; 3. Цеолит, 500кг/га; 4. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250кг/га; 5. Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500кг/га; 6. Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га; 7. Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг; 8. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (NPK)

Рисунок 13 – Обменная кислотность пахотного слоя чернозёма выщелоченного в зависимости от применения удобрений

Уменьшение кислотности почвы на вариантах с применением цеолита, как в чистом виде, так и обогащенного обязано содержанию в его составе Са+Mg до 17 %, которые улучшают почвенную среду и в свою очередь способствуют уменьшению содержания в ней концентрацию ионов водорода, тем самым нейтрализуя кислотность.

Результаты исследований 2020-2022 гг. (таблица 6) также доказывают, что применение цеолита в качестве удобрения, обогащенного аминокислотами и карбамидом по сравнению с контролем, способствует улучшению показателей содержания в почвенном растворе минерального азота ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$) на 0,5-1,3 мг/кг под посевами кукурузы. Аминокислоты, имея небольшой размер молекул (менее 10-и ангстрем) и более высокую биологическую активность, намного легче проникают в поры цеолита при его внедрении и так же легко высвобождаются при поступлении в почву, обогащая ее доступным азотом.

Для оптимизации режима питания кукурузы на черноземах выщелоченных

достаточно вносить в почву цеолит, обогащенный аминокислотами в дозе 500 кг/га. Приведенные выше данные свидетельствуют о несомненной роли цеолита в улучшении калийного питания растений. Она обусловлена, с одной стороны, достаточно высоким содержанием K_2O в самом цеолите, которое по отдельным месторождениям достигает 2 % (в нашем случае 1,25 %); с другой – усилением при этом активности, прежде всего, литотрофных микроорганизмов, что сопровождается высвобождением калия из соответствующих минералов почвы (Прокопьев В. В., Дерюгин И. П., 2000). Например, микроорганизмы осуществляют биodeградацию следующих алюмосиликатов: андалузита, берилла, мусковита, нефелина, ортоклаза и других. Основными агентами при этом являются гетеротрофы – микроскопические грибы и бактерии, которые осуществляют процессы ацидолиза, алкалолиза и комплексолиза, происходящих при выделении комплексообразующих соединений. Последние взаимодействуют с элементами кристаллической решетки минералов, разрушая силоксанную и алюмоокислородные связи (Умаров М. Г., 1999). Высвобождается при этом и кремний, что обеспечивает постоянное нахождение определенного количества активного кремния в почвенном растворе. Последнее особенно важно для кукурузы, которая является кремнелюбивой культурой, а в черноземе выщелоченном опытных полей наблюдается дефицит актуального кремния.

Таблица 6

Влияние экспериментальных удобрений на содержание основных элементов питания в пахотном слое почвы (мг/кг) и ее обменную кислотность (единиц pH_{KCl}) под посевами кукурузы (2020-2022 гг.)

Вариант	pH_{KCl} 1	N-NO ₃ +N-NH ₄		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		содержани е	отклонени е от контроля	содержани е	отклонени е от контроля	содержани е	отклонени е от контроля
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль (без удобрений)	5,6	7,8	-	138	-	146	-
Цеолит, 250 кг/га	5,5	7,7	+0,1	143	+5	153	+7

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8
Цеолит, 500 кг/га	5,6	8,1	+0,3	148	+10	155	+9
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	5,6	8,3	+0,5	144	+6	157	+11
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	5,4	8,7	+0,9	146	+8	161	+15
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	5,3	8,2	+0,4	141	+3	155	+9
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	5,5	8,5	+0,7	142	+4	160	+14
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,5	9,1	+1,3	158	+20	167	+21
НРК + Цеолит, 250 кг/г	5,3	8,3	+0,5	151	+13	155	+9
НРК + Цеолит, 500 кг/г	5,2	8,5	+0,7	156	+18	160	+14
НРК + Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	6,5	8,8	+1,0	161	+23	165	+19
НРК + Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	6,8	9,1	+1,3	165	+27	167	+21
НРК + Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	5,2	8,7	+0,9	162	+24	163	+17
НРК + Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	5,2	8,9	+1,1	164	+26	165	+19
НСР ₀	Фактор А	0,14	0,19		3,96		4,61
	Фактор В	0,26	0,36		7,42		8,62

По данным таблицы можно сделать вывод, что наиболее отличившимся является вариант, где вносился цеолит, обогащенный аминокислотами, в дозе 500 кг/га на фоне НРК 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.

Фосфор в почве увеличился на 27 мг/кг, что в свою очередь свидетельствует о положительном воздействии цеолита в переводе недоступных форм элемента в доступные. Содержание калия в свою очередь изменилось с 146 мг/кг до 167 мг/кг, что связано с большим потреблением кукурузой его, как калиелюбивой культурой, данному элементу следует отдавать особое внимание. Так же и без внимания нельзя оставлять кислотность почвы, которая в свою очередь уменьшалась в зависимости от доз внесения удобрений на 0,4 единицы. Этот положительный эффект был получен за счет того, что в составе цеолита присутствует Са+Mg в сумме до 17 % и более, которое в свою очередь способствует уменьшению в почве концентрации ионов водорода, тем самым снижая кислотность.

Таким образом, применение цеолита и удобрений на его основе способствовало значительному улучшению питательного режима почвы. При этом содержание минерального азота ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$), доступных фосфора и калия в пахотном слое чернозема выщелоченного в течение всей вегетации кукурузы поддерживалось на более высоком уровне, чем на контроле: азота на 0,1-1,3 мг/кг, фосфора на 5-26 мг/кг почвы, калия на 7-21 мг/кг почвы.

Нами установлена тесная зависимость между содержанием минерального азота в пахотном слое и урожайностью кукурузы. Уравнение регрессии первой степени имеет следующий вид (рисунок 14).

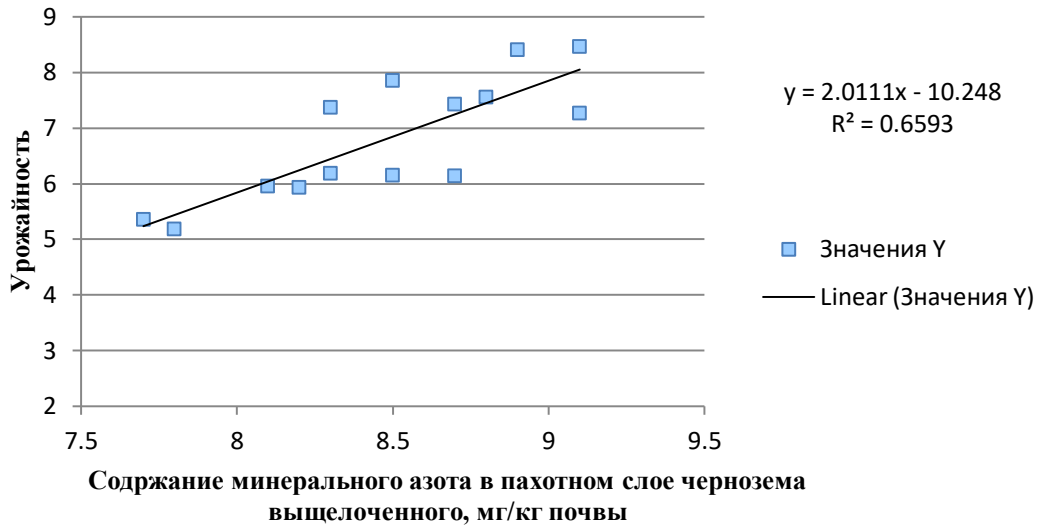


Рисунок 14 – Зависимость урожайности кукурузы (y) от содержания в черноземе выщелоченном от минерального азота

При анализе полученных экспериментальных данных установлена связь между содержанием подвижного фосфора и калия на урожайность кукурузы. Уравнения регрессии имеет следующий вид (рисунок 15, 16).

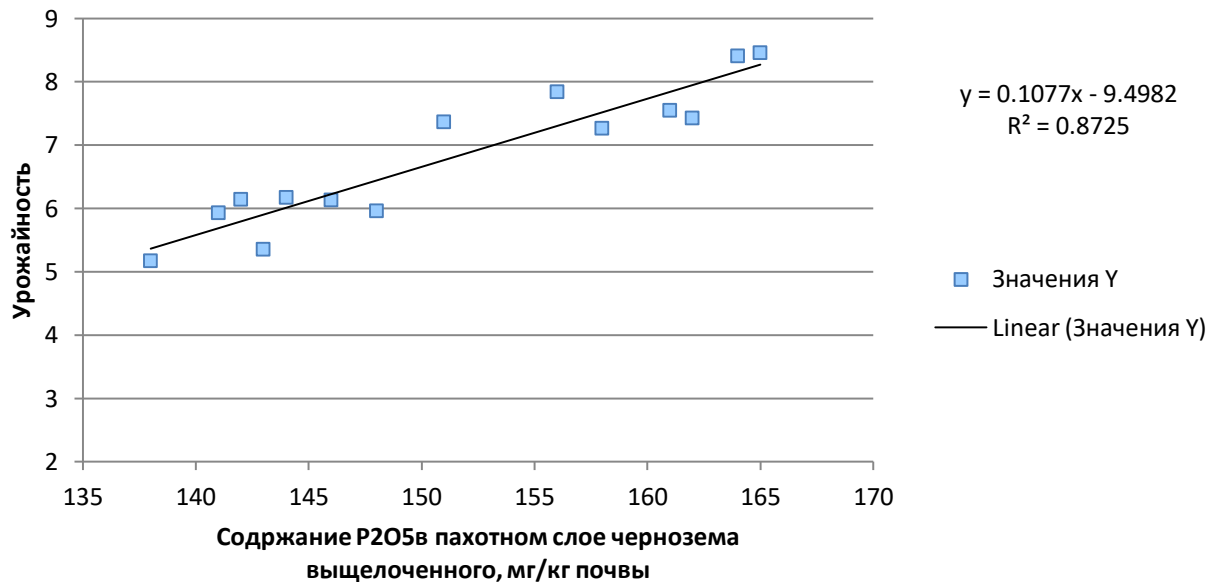


Рисунок 15 – Зависимость урожайности кукурузы (y) от содержания в почве доступного фосфора

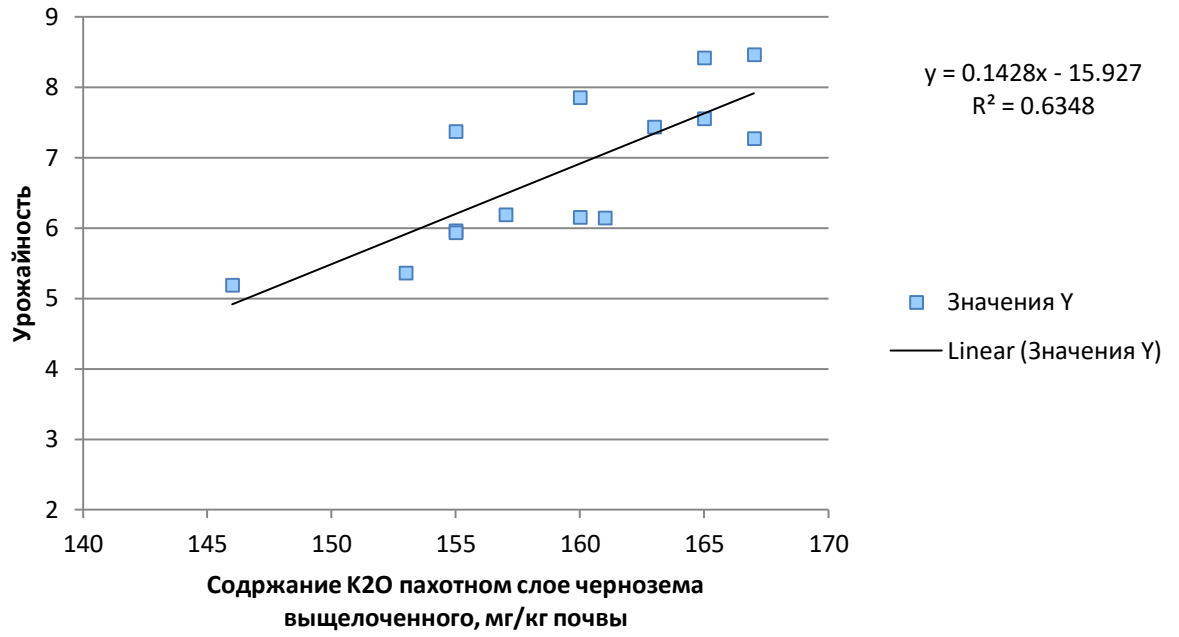


Рисунок 16 – Зависимость урожайности кукурузы (y) от содержания в почве обменного калия

4. УРОЖАЙ ЗЕРНА КУКУРУЗЫ И ЕГО КАЧЕСТВО

Урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции формируются под влиянием абиотических и биотических факторов жизни. К абиотическим факторам относятся тепло, свет, влага, режим минерального питания, к биотическим — вид и сорт растений, микробиологические процессы трансформации питательных веществ в почве и др. Максимальная продуктивность растений проявляется лишь при гармоничном сочетании всех факторов жизни. Абиотические факторы в настоящее время довольно легко контролируются, однако в полевых условиях лишь некоторые из них регулируются агротехническими приемами.

Ни один из факторов жизни растений не может быть заменен другим, все они играют определенную роль в жизни растений. Еще Ю. Либихом (1840) было показано, что продуктивность сельскохозяйственных культур определяется элементом (фактором), находящимся в минимуме. В то же время оптимизация условий произрастания позволяет несколько снизить негативное действие отдельных лимитирующих факторов. Так, например, улучшение условий минерального питания растений значительно снижает отрицательное действие кислотности почвы на их рост, повышает их устойчивость к болезням и т. д. (<https://www.activestudy.info/vliyanie-vneshnix-uslovij-na-urozhajnost-selskoxozyajstvennyx-kultur-i-effektivnost-udobrenij/>)

Кремнийсодержащие породы (цеолиты) позволяют существенно изменить в лучшую сторону базовые физические, химические свойства почвы, а значит общую тенденцию биологических процессов и ее питательный режим.

Многочисленные экспериментальные данные удостоверяют о конструктивном влиянии кремнийсодержащих пород на урожайность сельскохозяйственных культур. Большинство исследователей приходят к выводу, что биогенность и агрономическую ценность кремнийсодержащего и минерального сырья можно повысить путем предварительного смешивания их с

органическими и минеральными удобрениями. Поскольку состав данных пород по элементам питания не всегда идентичен потребностям возделываемых сельскохозяйственных культур и продуктивность их достигается за счет предотвращения дефицита доступного кремния и положительного воздействия данных пород на физико-химический состав почвы. Обогащение (модификация) кремнийсодержащих пород предварительной подготовкой и внедрение в них различных соединений или ионов необходима для обеспечения растений нужными компонентами в наилучшем соотношении. Испытуемые удобрения, в основу которых входит цеолит Юшанского месторождения Ульяновской области, в большей степени соответствуют этим требованиям.

4.1. Урожайность

Урожайность сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических условиях формируется уровнем их питания. Культура, как кукуруза в Среднем Поволжье, как показали наши предварительные исследования, что на черноземах выщелоченных способна формировать урожайность зерна в 5-6 т/га (Черкасов М.С., Горячева И.О., 2021).

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 таблицах 7 и 8.

Приведенные ниже результаты определения урожайности зерна культуры подтверждены литературными сведениями о возможности роста эффективности кремнийсодержащих пород в качестве применения удобрения сельскохозяйственных культур. Полученные данные дают обоснование о необходимости обогащения цеолита аминокислотами и карбамидом, что приводит к существенному повышению урожайности зерна кукурузы.

Урожайность зерна кукурузы в зависимости от применения удобрений
(2019 г.)

Вариант	Урожайность, т/га	Отклонения от контроля	
		т/га, +/-	%
Контроль	6,59	-	-
Цеолит, 250 кг/г	7,64	+ 1,05	16
Цеолит, 500 кг/г	8,20	+ 1,61	24
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	8,79	+ 2,20	33
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	9,07	+ 2,48	38
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	8,12	+ 1,53	23
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	8,65	+ 2,06	31
НРК	9,42	+ 2,83	43
НСР ₀₅	0,31	-	-

Данные таблицы свидетельствуют о высокой эффективности цеолита при возделывании кукурузы: урожайность зерна повысилась в зависимости от дозы породы от 1,05 до 1,61 т/га. При этом следует отметить, что удвоение дозы цеолита значительно повысило урожайность, но не пропорционально, а только на 53 %. Последнее необходимо учесть при выборе дозы породы для применения в производственных условиях. Обогащение цеолита аминокислотами и карбамидом сопровождалось очень значительным повышением его эффективности в качестве удобрения. Прибавки урожая зерна составили от 1,53 (цеолит, обогащенный карбамидом, доза 250 кг/га) до 2,48 т/га (цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га). В последнем случае также необходимо отметить, что с экономической точки зрения предпочтительней доза обогащенного аминокислотами цеолита в

250 кг/га, так как разница между дозами 250 и 500 кг/га по показателю достоверности несущественная.

Наиболее высокая урожайность зерна в опытах сформировалась при применении минеральных удобрений в дозе по 60 кг д.в./га азота, фосфора и калия. Кукуруза – интенсивная культура и для формирования соответствующей урожайности даже на высоком фоне обеспеченности элементами питания требуется внесение удобрений. Что касается цеолита – в нем нет азота и обогащение его как аминокислотами, так и карбамидом способствует улучшению азотного питания. Последнее, как видно из результатов опыта и способствовало очень значительному повышению урожайности культуры.

На основании полученных данных по однофакторному опыту с применением удобрений на основе цеолита было принято решение расширить схему опыта до 14-и вариантов с применением цеолита и удобрений на его основе на фоне минеральных удобрений. Опыт проведен, как указывалось выше, в производственных условиях ООО «Родник» Мелекесского района Ульяновской области. Результаты их приведены в таблице 8.

Как свидетельствуют приведенные результаты (таблица 8), полученные в производственных условиях ООО «Родник», полностью подтвердили результаты исследований, проведенных на опытном поле Ульяновского ГАУ: обогащение цеолита аминокислотами и карбамидом позволило значительно повысить урожайность зерна кукурузы: при применении с дозой 500 кг/га прибавка ее составила 0,97 т/га, или 16 %. 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 2,10 т/га. Однако применение на этом фоне экспериментальных удобрений на основе цеолита повысило продуктивность кукурузы по отношению к контролю на 3,23-3,28 т/га, или на 43-44 %. Последнее убедительно доказывает высокую эффективность удобрений на основе цеолита обогащением его аминокислотами и карбамидом. Корреляционный анализ данных показал, что формирование

урожайности зерна кукурузы в значительной степени определялось питательным режимом, создаваемым при внесении удобрений в почву (рис. 14,15,16).

Таблица 8

Урожайность зерна кукурузы в зависимости от применения удобрений
(2020-2022 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га				Отклонение от контроля, +/-		
	2020	2021	2022	средняя	т/га	%	
Контроль (без удобрений)	5,42	4,58	5,53	5,18	-	-	
Цеолит, 250 кг/га	5,57	4,87	5,64	5,36	+0,18	4	
Цеолит, 500 кг/га	6,22	5,52	6,15	5,96	+0,78	15	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	6,29	5,89	6,35	6,18	+1,00	19	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	6,48	5,45	6,50	6,14	+0,96	19	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	6,31	5,29	6,22	5,94	+0,76	15	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	6,51	5,50	6,45	6,15	+0,97	19	
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	7,63	6,54	7,65	7,27	+2,09	40	
НРК+ Цеолит 250кг/га	7,79	6,48	7,75	7,34	+2,16	42	
НРК+ Цеолит 500кг/га	8,14	7,20	8,20	7,84	+2,66	51	
НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250кг/га	7,94	6,85	7,85	7,55	+2,37	46	
НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500кг/га	8,95	7,68	8,75	8,46	+3,28	63	
НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га	7,82	6,72	7,76	7,43	+2,25	43	
НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг/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	-	-

Из приведенных ранее рисунком следует, что между урожаем зерна кукурузы и содержанием питательных элементов в пахотном слое чернозема выщелоченного существует тесная положительная взаимосвязь, описываемая соответствующими уравнениями регрессии. Из результатов проведенных исследований по изучению влияния цеолита и удобрений на его основе на содержание в пахотном слое почвы, в среднем за вегетацию культуры, подвижного фосфора следует:

- между урожайностью кукурузы и содержанием минерального азота в почве

установлена положительная зависимость, выражаемая уравнениями регрессии $Y = 2,0111x - 10,248$ ($R^2 = 0,6593$);

- между урожайностью кукурузы и содержанием P_2O_5 в почве установлена положительная зависимость, выражаемая уравнениями регрессии $Y = 0,1077x - 9,4982$ ($R^2 = 0,8725$);

между урожайностью кукурузы и содержанием K_2O в почве установлена отрицательная зависимость, выражаемая уравнениями регрессии $Y = 0,1428x - 15,927$ ($R^2 = 0,6348$).

Таким образом, при внесении в почву цеолита в чистом виде дозой 250 кг/га в качестве кремниевого удобрения на естественном фоне 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, а применение их совместно с минеральными удобрениями ($N_{60}P_{60}K_{60}$) от 2,16 (NPK+ Цеолит, 250 кг/га) до 3,28 т/га (NPK+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га).

4.2. Качество продукции

Урожайность и качество продукции являются интегральным показателем эффективности всех агротехнических приемов, применяемых в технологии их возделывания. Что касается системы удобрения, она должна обеспечивать сбалансированный всеми элементами режим питания растений в любых почвенно-климатических условиях. Это касается не только основных макроэлементов как азот, фосфор и калий, но и кремния, а так же микроэлементов.

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

Возделывание кукурузы с применением в качестве удобрения цеолита сопровождалось улучшением качества продукции (таблица 9).

Таблица 9

Качественные показатели зерна кукурузы в зависимости от применения цеолита и удобрений на его основе, % (2019 г.)

Вариант	Белок	Крахмал	N	P	K
Контроль (без удобрений)	11,8	53,3	1,89	0,26	0,37
Цеолит, 250 кг/га	12,5	48,1	1,90	0,23	0,37
Цеолит, 500 кг/га	12,9	43,3	1,89	0,28	0,36
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	13,0	42,0	1,93	0,23	0,40
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	13,3	39,4	2,12	0,28	0,38
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	11,6	45,6	1,86	0,28	0,34
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	12,4	41,7	1,99	0,28	0,38
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	11,9	50,8	1,86	0,29	0,39
НСР ₀₅	0,3	1,9	0,05	0,05	0,03

Приведенные результаты доказывают улучшение всех качественных показателей зерна кукурузы при применении в качестве удобрения обогащенного аминокислотами цеолита. Исходя из данных таблицы, отмечается, что содержание белка в зерне возросло на 10-13 %, а так же увеличилось содержание фосфора и калия.

Необходимо отметить, что зерно кукурузы является источником белка для животного организма и человека, а так же играет большую роль в пищевом производстве за счет образования белками вязких коллоидных растворов. Это

позволяет использовать кукурузу для выпечки хлебобулочных и кондитерских изделий. Так же, исходя из проведенных опытов, выявлена зависимость содержания белка от содержания азота в зерне кукурузы, чем больше азота в зерне, тем выше содержание белка.

Наряду с достаточно высоким источником белка, кукуруза содержит небольшое количество жиров, что делает ее привлекательной в лечебном и детском питании. По данным различных исследований зерно этой культуры может содержать от 4 до 8 % жира (Шаззо А.А., Бутина Е.А., Герасименко Е.О., 2011).

В кукурузной крупе содержится высокое количество крахмала (больше только в рисе), что позволяет использовать кукурузу для производства этилового спирта. Следует отметить, что повышение содержания крахмала в зерне кукурузы, начала звучать в последнее время в связи с увеличением интереса к производству биоэтанола. Однако, крахмал кукурузы, в отличие от пшеничного или ржаного, труднее поддается тепловой и ферментативной обработке (Кузьменкова Н.М., Крикунова Л.Н., 2012) и его растворимость зависит от количества липидов, которые в свою очередь уменьшают ее, образуя амилозно-липидные комплексы (Андреев Н.Р., Карпов В.Г., 1999).

Кроме крахмала в большую группу безазотистых экстрактивных веществ входят другие углеводы. Причем крахмал содержится в эндосперме зерна, а остальные сахара – в зародыше. Углеводы имеют большое значение для организма. Они входят в состав клеточной оболочки, клеточного сока, пластид, нуклеопротеидов протоплазм и клеточного ядра.

Таким образом, результаты исследований показали, что для кукурузы оптимизация режима питания сельскохозяйственных культур при использовании нового экспериментального удобрения на его основе позволяет получить качественную продукцию.

В таблице 10 представлены качественные показатели зерна кукурузы в среднем за 3 года в условиях ООО «Родник».

Качественные показатели зерна кукурузы в зависимости от применения
цеолита и удобрений на его основе, %
(2020-2022 гг.)

Вариант	Белок	Крахмал	N	P	K	
Контроль (без удобрений)	8,28	47,91	1,56	0,32	0,52	
Цеолит, 250 кг/га	8,87	78,12	1,49	0,29	0,46	
Цеолит, 500 кг/га	8,63	75,63	1,45	0,25	0,45	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	9,04	73,0	1,52	0,28	0,47	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	8,69	82,26	1,46	0,30	0,49	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	9,10	75,34	1,53	0,27	0,44	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	8,81	82,77	1,48	0,28	0,49	
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (NPK)	8,51	77,94	1,43	0,30	0,45	
NPK+ Цеолит, 250кг/га	8,93	71,61	1,50	0,33	0,49	
NPK+ Цеолит, 500кг/га	8,93	65,52	1,50	0,31	0,50	
NPK+ Цеолит обогащенный аминокислотами 250кг/га	9,10	74,07	1,53	0,29	0,44	
NPK+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500кг/га	9,28	68,58	1,56	0,33	0,52	
NPK+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га	8,63	76,76	1,45	0,30	0,45	
NPK+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг/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

Применение цеолита в чистом виде в дозах 250 и 500 кг/га не привело к значительным изменениям в качестве зерна кукурузы. Однако при обогащении цеолита аминокислотами и карбамидом в дозе 250 кг/га на фоне контроля (без удобрений), прибавка содержания крахмала в зерне увеличилось почти в 2 раза, и составила 78,1 и 75,3 % соответственно, что выше контроля (47,9 %). На фоне

минеральных удобрений показатели крахмала 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 улучшение всех качественных показателей зерна кукурузы при применении в качестве удобрения обогащенного аминокислотами цеолита.

4.3. Экологическая безопасность зерна

В современном мире одним из главных направлений в сельском хозяйстве является получение высокой урожайности, в том числе экологически безопасной и качественной 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.

Существует ряд определенных агротехнических приемов для достижения поставленной цели. Прежде всего, это научно-обоснованное чередование культур в севообороте, снижение применения доз минеральных удобрений, пестицидов, химических мелиорантов и т.д. В связи с концентрацией техногенной и антропогенной нагрузки избежать химического загрязнения почв различными видами токсикантов невозможно.

Решение этой проблемы заключается во внедрении в технологии возделывания культур в качестве удобрения кремнийсодержащих пород (цеолиты, диатомиты, трепелы и др.).

Высококремнистые породы улучшают агрофизические свойства почвы, обеспечивая необходимыми питательными элементами, а так же связывают

тяжелые металлы в труднодоступные формы, препятствуя их поступлению в растения.

С позиции экологически безопасного ведения сельскохозяйственного производства значительную опасность представляют пестициды и тяжелые металлы, наиболее опасными из которых являются кадмий, свинец, никель.

Кадмий относится к числу наиболее фитотоксичных элементов, как было отмечено ранее – это наиболее подвижный, следовательно, наиболее доступный из всех тяжелых металлов элемент. Накапливаясь в клетках и тканях живых организмов, кадмий способен вызывать серьезные нарушения их метаболизма. Соответственно вызывает торможение роста растений, ингибирует процессы нарастания надземной массы, снижая объем питающих корней и, как следствие, урожайность культур (Лукин С.В., Кононенко Л.А., Мирошникова Ю.В., 2004).

По токсичности свинец относится к высокоопасному классу. Повышенная концентрация свинца в растениях (более 3-5 мг/кг сухой массы) подавляет фотосинтез, дыхание, митоз, ростовые процессы и в целом их продуктивность, а также «... при повышении содержания его в почве он в большей степени накапливается в корнях растений, в меньшей степени – основной продукции» (цит. по Ковальскому А.Л., 1991).

Никель относится к не особо опасным элементам, оказывая неспецифическое влияние на ряд металлоферментных комплексов. Данный элемент способствует организации спиральной структуры незаменимых кислот, так же входит в состав гормона инсулина. Элемент, вызывающий эндемические заболевания – хлороз и некроз.

К тяжелым металлам относятся даже те элементы, которые необходимы растениями, это цинк и медь. Но в то же время в избыточном поступлении в растения оказывают высокотоксичное действие. Оба этих элемента входят в состав ряда ферментов, которые регулируют важные процессы жизнедеятельности, но в то же время – они высокотоксичны.

Из приведенных данных в таблице 11 следует, что применение цеолита, обогащенного с аминокислотами, в использовании в качестве удобрения

кукурузы, позволяет существенно снизить поступление металлов в продукцию: меди от дозы 500 кг/га на 22-25 %, цинка – на 15-17 %, никеля на 27-17 %, свинца – на 23-27 % и на 50 % кадмия. Кадмий, как и другие тяжелые металлы, обладает способностью с монокремниевой кислотой образовывать труднорастворимые силикаты (Матыченков В.В., 2008). Более того, усиление дозы цеолита сопровождается практически уменьшением накопления элементов в зерне кукурузы.

Таблица 11

Содержание тяжелых металлов в зерне кукурузы, мг/кг (2019 г.)

Вариант	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd
Контроль (без удобрений)	3,2	13,6	0,41	0,26	0,04
Цеолит, 250 кг/га	2,9	12,4	0,35	0,25	0,03
Цеолит, 500 кг/га	2,5	11,5	0,30	0,20	0,02
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	2,8	11,9	0,35	0,22	0,03
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	2,4	11,3	0,34	0,19	0,02
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	3,0	12,4	0,35	0,24	0,03
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	2,7	12,2	0,35	0,24	0,03
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,3	15,0	0,42	0,29	0,04
НСР ₀₅	0,1	0,4	0,02	0,04	0,01
ПДК в зерне	30,0	50,0	5,00	0,50	0,10

На варианте с использованием минеральных удобрений поступление тяжелых металлов в продукцию заметно увеличилось, что связано с присутствием в удобрениях данных элементов в виде примесей, так и относительным

подкислением почвенной среды при использовании физиологически кислых удобрений, при которых тяжелые металлы становятся более подвижными.

В таблице 12 представлены результаты определения тяжелых металлов в зерне кукурузы в ООО «Родник» (в среднем за 3 года).

Таблица 12

Содержание тяжелых металлов в зерне кукурузы, мг/кг (2020-2022 гг.)

Вариант	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd
Контроль (без удобрений)	1,4	6,5	0,40	0,24	0,07
Цеолит, 250 кг/га	1,2	6,6	0,33	0,23	0,04
Цеолит, 500 кг/га	1,1	6,0	0,28	0,18	0,03
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	0,7	6,9	0,34	0,20	0,02
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	1,1	6,5	0,32	0,19	0,02
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	1,0	6,0	0,33	0,23	0,04
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	1,0	5,7	0,33	0,23	0,02
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,0	6,1	0,41	0,27	0,05
НРК+ Цеолит, 250 кг/га	2,6	6,7	0,35	0,26	0,03
НРК+ Цеолит, 500 кг/га	0,7	7,7	0,29	0,22	0,02
НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	1,2	6,2	0,33	0,21	0,03
НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	0,7	9,1	0,32	0,19	0,02
НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	0,6	9,0	0,33	0,24	0,03
НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 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

При анализе данных таблицы, 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 с аминокислотами, при использовании в качестве удобрения кукурузы, 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 безопасной продукции. Опасность загрязнения продукции кадмием, также отсутствует.

5. БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ПОЧВЕ ПОД ПОСЕВАМИ КУКУРУЗЫ

Проблема повышения плодородия почвы требует систематического учета питательных веществ, выносимых из почвы с урожаем, а также размеров их компенсации в основном за счет внесения минеральных и органических удобрений. Баланс питательных веществ в земледелии позволяет достаточно правильно и своевременно определить потребность края, района, хозяйства в удобрениях на соответствии с планируемой урожайностью.

В литературе имеется немало данных, характеризующих складывающийся баланс азота, фосфора и калия в земледелии регионов, почвенно-климатических зон, сельскохозяйственных предприятий, в основу расчета которых положены соответствующие методики.

Баланс питательных веществ — это количественное выражение содержания питательных веществ в почве конкретной площади с учетом всех статей поступления и расхода в течение определенного промежутка времени.

Источники поступления питательных веществ:

1. Минеральные удобрения;
2. Органические удобрения;
3. Посевной материал;
4. Учет несимбиотической фиксации азота;
5. Атмосферные осадки.

Расходную часть составляют:

1. Вынос питательных веществ сельскохозяйственными культурами;
2. Потери питательных веществ удобрений за счет вымывания;
3. Потери азота в результате денитрификации (15 %);
4. Газообразные потери азота;
5. Потери питательных веществ из удобрений в результате эрозии почвы;
6. Закрепление почвой фосфора и калия удобрений в труднодоступное состояние;

7. Технологические потери.

В структуре баланса вынос питательных веществ сельскохозяйственными культурами является основной расходной статьей и от точности его определения во многом зависит достоверность расчетов. Величина выноса зависит от вида культур, их урожайности и почвенно-климатических условий.

Потери питательных веществ удобрений за счет вымывания происходят в основном в зоне избыточного увлажнения и менее выражены на почвах с периодическим промывным водным режимом. В большей степени инфильтрация происходит на легких почвах, чем на тяжелых.

В газообразной форме из внесенных удобрений теряется до 28 % азота. В расчетах принимаются потери азота для минеральных удобрений 22 %, для органических – 27 %.

Общие потери питательных веществ из почвы, из вносимых удобрений на среднеэродированных почвах составляет 4 кг азота, 1,5 кг фосфора и 3 кг калия с 1 гектара, для слабоэродированных – 2, 0,7 и 1,5 кг, сильноэродированных соответственно N – 5, P₂O₅ – 2, K₂O – 4 кг.

Одним из факторов, снижающих эффективность фосфорных и калийных удобрений в круговороте питательных веществ, является способность почвы закреплять эти элементы в труднодоступные соединения. В связи с этим при определении баланса фосфора и калия необходимо учитывать этот фактор, поскольку эти элементы, закрепленные почвой, практически не принимают участия в питании растений.

За счет технологий внесения удобрений происходят потери, которые необходимо учитывать при определении баланса питательных веществ. Для расчета в земледелии берут потери азота, фосфора и калия в количестве 7 %.

Основной частью прихода питательных веществ в почву является поступление их с минеральными и органическими удобрениями, семенами, атмосферными осадками и несимбиотической фиксацией азота.

Связывание атмосферного азота в органической форме осуществляется свободноживущими почвенными микроорганизмами. Средняя величина накопления азота за счет данного источника составляет 5-6 кг/га в год.

Поступление азота и калия с осадками составляет 5 кг/га и 3 кг/га соответственно.

Баланс азота. В отношении баланса азота необходимо в перспективе стремиться к возможно большему выравниванию его количеств, ежегодно выносимых с урожаями и возвращаемых в почву с удобрениями.

Подчеркивая необходимость резкого улучшения баланса азота, академик Д.Н. Прянишников писал, что «...структура земледелия, при которой только 31 % азота возвращается почве, не может гарантировать поднятие урожаев» (1962).

Азот – один из основных элементов, необходимых для растений. Он входит в состав всех простых и сложных белков, которые являются главной составной частью цитоплазмы растительных клеток, и входит в состав нуклеиновых кислот, играющих исключительно важную роль в обмене веществ и организме. Азот содержится в хлорофилле, фосфатидах, алкалоидах, ферментах и во многих других органических веществах растительных клеток.

Он самый дешевый элемент, если иметь в виду биологический азот и самый дорогой – если технический. Например, в мировом сельском хозяйстве используется только 3,5 % общей потребительской энергии, из которых 45 % приходится на производство минеральных удобрений. Из этих 45 % большая часть затрачивается на производство азотных удобрений (Юлушев И. Г., 2005).

Азот – для растений лимитирующий фактор. Потребность в нем растение испытывает с момента прорастания семян. Наиболее интенсивно растение поглощает и усваивает азот в период максимального роста и образования вегетативных органов – стеблей и листьев. Содержание N в вегетативной массе увеличивается до фазы цветения, а затем уменьшается за счёт оттока его в генеративные органы. Максимальное количество N содержится в зерне, меньше в листья и минимальное – в стеблях.

При недостатке азота тормозится рост растения, ослабляется кущение, уменьшается площадь листьев. Всё это приводит к сокращению периода вегетации, что ведёт к недобору урожая. Характерный признак дефицита азота – хлороз листьев – бледно-зелёная окраска из-за ослабления синтеза хлорофилла.

Избыток азота в почве также приводит к отрицательным последствиям и увеличению периода вегетации, снижению урожая и его качества.

Вынос азота, в первую очередь, находился в зависимости от урожайности основной продукции культур севооборота и содержания в ней азота. Увеличение урожайности культур на экспериментальных вариантах оказывало влияние на увеличение выноса азота. Например, общий вынос азота на контрольном варианте составлял 184,8 кг/га, тогда как на варианте с NPK произошло увеличение выноса элемента до 247,5 кг/га (таблица 13).

Таблица 13

Вынос азота из почвы в зависимости от применения удобрений, кг/га (2020–2022 гг.)

№ п/п	Варианты	С урожая м	Газообразные потери	Инфильтрация с осадками	Технологические потери	Всего
1	2	3	4	5	6	7
1	Контроль (без удобрений)	155,4	13,2	3	-	184,8
2	Цеолит, 250 кг/га	160,8	13,2	3	-	190,2
3	Цеолит, 500 кг/га	178,8	13,2	3	-	208,2
4	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	185,4	13,2	3	-	214,8
5	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	184,2	13,2	3	-	213,6
6	Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	177,9	13,2	3	-	207,3
7	Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	184,5	13,2	3	-	213,9
8	N₆₀P₆₀K₆₀	218,1	13,2	3	4,2	247,5
9	NPK+ Цеолит, 250 кг/га	221,1	13,2	3	4,2	250,5
10	NPK+ Цеолит, 500 кг/га	235,5	13,2	3	4,2	264,9
11	NPK+ Цеолит, -обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	226,5	13,2	3	4,2	255,9

1	2	3	4	5	6	7
12	НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	253,8	13,2	3	4,2	283,2
13	НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	222,9	13,2	3	4,2	252,3
14	НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	252,3	13,2	3	4,2	281,7

Применение в системе удобрений цеолита, как в чистом виде, так и модифицированного аминокислотами и карбамидом привело к увеличению общего выноса азота. Их показатели варьировались от 190,2 до 214,8 кг/га, в зависимости от урожайности.

На фоне минеральных удобрений показатели выноса азота составили от 250,5 до 283,2 кг/га, что в свою очередь обуславливается повышением урожайности на данных вариантах опыта. Наиболее высокий вынос азота в 283,2 кг/га наблюдался на варианте с применением цеолита, модифицированного аминокислотами, в дозе 500 кг/га на фоне минеральных удобрений.

Приходные статьи и количество поступившего азота в почву в зависимости от систем удобрения представлены в таблице 14.

Таблица 14

Поступление азота в почву в зависимости от применения удобрений, кг/га
(2020–2022 гг.)

№ п/п	Варианты	С семе нам и	С осад кам и	С минераль ными удобрени	Фик саци я м.о.	С ПКО	Всего
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Контроль (без удобрений)	0,5	5	-	5	10,82	21,3
2	Цеолит, 250 кг/га	0,5	5	-	5	11,19	21,7
3	Цеолит, 500 кг/га	0,5	5	-	5	12,64	22,9
4	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	0,5	5	-	5	12,91	23,4
5	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	0,5	5	-	5	12,82	23,3
6	Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	0,5	5	-	5	12,39	22,9

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	0,5	5	-	5	12,84	23,3
8	N₆₀P₆₀K₆₀	0,5	5	60	5	15,17	85,7
9	НРК+ Цеолит, 250 кг/га	0,5	5	60	5	15,38	85,9
10	НРК+ Цеолит, 500 кг/га	0,5	5	60	5	16,39	86,9
11	НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	0,5	5	60	5	15,76	86,3
12	НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	0,5	5	60	5	17,66	88,2
13	НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	0,5	5	60	5	15,52	86,0
14	НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	0,5	5	60	5	17,56	88,1

Полученные данные показывают, что большая часть азота поступала в почву с минеральными удобрениями.

Общий баланс азота в почве под посевами кукурузы в среднем за 3 года представлен в таблице 15.

Таблица 15

Баланс азота в почве в зависимости от систем удобрения культур севооборота, кг/га (2020-2022 гг.)

№ п/п	Варианты	Приход	Расход	Баланс ±
1	2	3	4	5
1	Контроль (без удобрений)	21,3	184,8	-163,5
2	Цеолит, 250 кг/га	21,7	190,2	-168,5
3	Цеолит, 500 кг/га	22,9	208,2	-185,3
4	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	23,4	214,8	-191,4
5	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	23,3	213,6	-190,3
6	Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	22,9	207,3	-184,4
7	Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	23,3	213,9	-190,6
8	N₆₀P₆₀K₆₀	85,7	247,5	-161,8
9	НРК+ Цеолит, 250 кг/га	85,9	250,5	-164,6

1	2	3	4	5
10	НРК+ Цеолит, 500 кг/га	86,9	264,9	-178,0
11	НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	86,3	255,9	-169,6
12	НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	88,2	283,2	-195,0
13	НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	86,0	252,3	-166,3
14	НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	88,1	281,7	-193,6

Как видно из таблицы, 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 удобрений не смогло компенсировать расход азота, так как применялись только минеральные удобрения, а для восполнения баланса необходимо еще применение органических удобрений или сидератов. При добавлении удобрений к цеолиту, как в чистом виде, так и модифицированному аминокислотами и карбамидом, баланс также находился на отрицательном значении и его показатели стали колебаться от $-161,8$ до $-195,0$ кг/га.

Таким образом, при формировании урожайности зерна кукурузы более 5 т/га на черноземах выщелоченных баланс азота складывается отрицательным на более чем 160 кг/га. Он остается отрицательным и при применении экспериментальных удобрений на основе цеолита и минеральных удобрений.

Баланс фосфора. Фосфор – один из важнейших макроэлементов, необходимых для полноценного развития растения, уступая только азоту. Фосфор - подвижный элемент, что означает, что он способен перемещаться внутри растения. Фосфор является составной частью растительных клеток и необходим для деления клеток и развития растущей верхушки растения. Это жизненно важно для молодых растений, когда корневая система слабо развита.

Показатели баланса подвижного фосфора в почве под посевами кукурузы в среднем за 3 года представлены в таблице 16.

Фосфор способствует образованию корней и росту, влияет на качество семян, плодов и цветов, а также повышает устойчивость к болезням. Он участвует в нескольких различных процессах растений, включая генетический перенос, транспортировку питательных веществ.

На вариантах без применения удобрений баланс фосфора находился на отрицательном значении, и его показатели колебались от -87,5 до -96,7 кг/га. При внесении NPK значения баланса фосфора не изменились в положительную сторону, но напряженность его уменьшилась почти в 2 раза, и составили -46,7 кг/га. Этому поспособствовали элементы, накопленные в ПКО кукурузы, которые были заделаны в почву. На экспериментальных вариантах с применением цеолита, как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами и карбамидом с добавлением минеральных удобрений баланс фосфора также остался отрицательным и его показатели стали колебаться от -47,6 до -57,6 кг/га.

Таблица 16

Баланс фосфора в почве в зависимости от систем удобрения культур севооборота, кг/га (2020-2022 гг.)

№ п/п	Варианты	Приход	Расход	Баланс ±
1	2	3	4	5
1	Контроль (без удобрений)	4,5	92	-87,5
2	Цеолит, 250 кг/га	4,6	93,8	-89,2
3	Цеолит, 500 кг/га	5,2	99,8	-94,7
4	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	5,3	102	-96,7
5	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	5,3	101,6	-96,3
6	Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	5,1	99,5	-94,4
7	Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	5,3	101,7	-96,4
8	N₆₀P₆₀K₆₀	66,2	112,9	-46,7
9	NPK+ Цеолит, 250 кг/га	66,3	113,9	-47,6

1	2	3	4	5
10	НРК+ Цеолит, 500 кг/га	66,7	118,7	-52,0
11	НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	66,5	115,7	-49,2
12	НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	67,3	124,8	-57,6
13	НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	66,4	114,5	-48,1
14	НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	67,2	124,3	-57,1

Баланс калия. Валовое содержание калия в черноземах колеблется от 1 до 3 % и в большей степени зависит от материнской породы. Основная часть калия, находящаяся в почве, недоступна растениям и входит в состав кристаллической решетки минералов. Растения усваивают водорастворимый калий, который находится в почве в обменном состоянии. В органической форме калий находится в составе растительных остатков и органических веществ микроорганизмов. Растениями он может усваиваться после перехода в почвенный раствор в процессе минерализации органических веществ (Верниченко И.В., 2002; Мурзабулатов Б.С., 2013).

Калий – «основа жизни», регулирует углеводный обмен – ассимиляцию углекислого газа в процессе фотосинтеза, транспорт углеводов, а также накопление и отложение запасных питательных веществ в органах растения. Повышает эффективность азота и благоприятствует образованию белков, способствует эффективному использованию воды, повышает засухоустойчивость растений.

При отсутствии калия в клетках растения накапливается аммиак и снижается устойчивость к грибковым заболеваниям.

Калий играет важную роль в фотосинтезе и передвижении углеводов, в процессах усвоения азота растением, в формировании клеточных стенок, обуславливает обводненность и поддержание структуры клетки.

Критический период в потребности калия – ранние сроки роста растения. Максимальное его поглощения – в период интенсивного нарастания вегетативной массы.

Недостаток калия приводит к тому, что тормозится процесс фотосинтеза, рост растений. Внешние признаки недостатка калия – листья с краёв желтеют, отмирают. Показатели баланса подвижного калия в почве представлены в таблице 17.

Как можно заметить, баланс калия на всех вариантах складывался отрицательным. На вариантах на естественном фоне его значения и колеблются от -111,4 до -128,9 кг/га. На вариантах с добавлением к цеолиту, как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами и карбамидом, NPK баланс также оставался в отрицательном значении, и показатели составили от -89,7 до -108,8 кг/га. При внесении минеральных удобрений без добавления цеолита баланс также оставался в отрицательном значении и составлял -88,0 кг/га.

Общий запас NPK в почвах находится на достаточно высоком уровне, большая часть которых мало доступна растениям, так как находится в виде труднодоступных для них соединений. Поэтому общий запас NPK характеризует потенциальное почвенное плодородие.

Таблица 17

Баланс калия в почве в зависимости от применения удобрений,
кг/га (2020-2022 гг.)

№ п/п	Варианты	Приход	Расход	Баланс ±
1	2	3	4	5
1	Контроль (без удобрений)	16,2	127,6	-111,4
2	Цеолит, 250 кг/га	16,6	131,20	-114,6
3	Цеолит, 500 кг/га	18,1	143,2	-125,1
4	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	18,7	147,6	-128,9
5	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	18,6	146,8	-128,2
6	Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	18,0	142,6	-124,6

1	2	3	4	5
7	Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	18,6	147	-128,4
8	N₆₀P₆₀K₆₀	81,4	169,4	-88,0
9	НРК+ Цеолит, 250 кг/га	81,7	171,4	-89,7
10	НРК+ Цеолит, 500 кг/га	82,9	181	-98,1
11	НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	82,2	175	-92,9
12	НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	84,4	193,2	-108,8
13	НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	81,9	172,6	-90,8
14	НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	84,3	192,2	-107,9

Без внесения удобрений при возделывании сельскохозяйственных культуры для формирования высокой урожайности недостаточно элементов питания, находящихся в почве в доступном состоянии. Следовательно, повысить эффективное плодородие можно только за счет применения удобрений и активизации деятельности почвенных микроорганизмов.

Баланс элементов питания в первую очередь будет зависеть от агрохимических показателей почвы. Проведенные наблюдения на чернозёме выщелоченном за уровнем почвенных показателей указывают на то, что внесение цеолита, как в чистом виде, так и обогащённого и минеральных удобрений заметно улучшало его питательный режим.

На неудобренных вариантах баланс элементов питания в черноземе выщелоченном был дефицитным. 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 наблюдали на варианте НРК+ Цеолит, модифицированный аминокислотами, 250кг/га. Так, интенсивность баланса азота при этом составляла без внесения минеральных удобрений от 11 до 12 %, тогда как на фоне минеральных удобрений – от 33 до 35 % (таблица 18).

Интенсивность баланса элементов питания в черноземе
выщелоченном в зависимости от систем удобрения, %

№ п/п	Варианты	Интенсивность баланса		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Контроль (без удобрений)	12	5	13
2	Цеолит, 250 кг/га	11	5	13
3	Цеолит, 500 кг/га	11	5	13
4	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	11	5	13
5	Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	11	5	13
6	Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	11	5	13
7	Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	11	5	13
8	N₆₀P₆₀K₆₀	35	59	48
9	НРК+ Цеолит, 250 кг/га	34	58	48
10	НРК+ Цеолит, 500 кг/га	33	56	46
11	НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	34	57	47
12	НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	31	54	44
13	НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	34	58	47
14	НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	31	54	44

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 НРК получились 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 НРК и обогащенного аминокислотами и карбамидом. 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.

6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУКУРУЗЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦЕОЛИТА И УДОБРЕНИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ

Оценка экономической эффективности технологии возделывания сельскохозяйственных культур является неотъемлемой частью прогнозирования устойчивости функционирования предприятий, производящих сельскохозяйственную продукцию. Чтобы выдерживать конкуренцию, и просто выжить в условиях экономических санкций, необходимо производить продукцию с высокими показателями качества и минимальными затратами на ее производство. Последнее особенно актуально для технологий с применением минеральных удобрений в связи с постоянным удорожанием их стоимости, что приводит к увеличению затрат на их внесение. И, несмотря на значительное повышение урожайности культур, производство продукции их становится убыточным. То же самое касается органических удобрений и нетрадиционных минеральных ресурсов, как кремнийсодержащие породы или осадки сточных вод, которые значительно дешевле, но затраты на их транспортировку и внесение существенны. Ниже приводится экономическая оценка технологии возделывания кукурузы с применением цеолита и удобрений на его основе обогащением его аминокислотами и карбамидом.

Стоимость продукции рассчитывалась в соответствии с ценой реализации, которые сложились в 2022 году. Все расчеты выполнены на основе технологических карт.

Проведенные экономические расчеты дали возможность выбрать наиболее целесообразную технологию возделывания кукурузы с применением цеолита, модифицированного аминокислотами и карбамидом (таблица 19).

Экономическая эффективность возделывания кукурузы (2020 – 2022 гг.)

Варианты	Показатели					
	Урожайность, т/га	Стоимость продукции, руб.	Производственные затраты, руб.	Себестоимость, руб./т	Условный доход, руб./га	Рентабельность, %
Контроль (без удобрений)	5,18	77700	33981	6560	43719	129
Цеолит, 250 кг/га	5,36	80400	37153	6931	43247	116
Цеолит, 500 кг/га	5,96	89400	41619	6983	47781	115
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	6,18	92700	40180	6502	52520	131
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	6,14	92100	43173	7031	48927	113
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	5,93	88950	39410	6646	49540	126
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	6,15	92250	43204	7025	49046	114
N₆₀P₆₀K₆₀	7,27	109050	42506	5847	66544	157
НРК+ Цеолит, 250 кг/га	7,37	110550	45430	6164	65120	143
НРК+ Цеолит, 500 кг/га	7,85	117750	49526	6309	68224	138
НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	7,55	113250	46485	6157	66765	144
НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	8,46	126900	52407	6195	74493	142
НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	7,43	111450	46115	6207	65335	142
НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	8,41	126150	52252	6213	73898	141

Данные расчеты показателей дали возможность оценить экономическую эффективность применения цеолита и удобрений на его основе в технологии возделывания кукурузы.

Применение испытуемых удобрений на основе цеолита способствовало увеличению сбора зерна с одного гектара и, соответственно, получить больше выручки от продажи производственной продукции. Например, при внесении цеолита в дозе 500 кг/га урожайность зерна кукурузы повысилась на 0,8 т/га.

При внесении цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, произошло увеличение урожайности зерна до 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 52407 тыс. руб./га, а так же на варианте с внесением минеральных удобрений и цеолита, обогащенного карбамидом в дозе 500 кг/га – 52252 тыс. руб./га, а наименьшие затраты – на контрольном варианте (33981 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, получили более высокий чистый доход – 74493 тыс. руб./га. Себестоимость одной тонны зерна при внесении данного удобрения была выше, чем на контрольном варианте.

Самые высокие показатели рентабельности производства зерна кукурузы отмечены при возделывании ее с применением цеолита, обогащенного аминокислотами дозой 250 кг/га на естественном фоне (131 %)

и на фоне NPK – 144 %. Следовательно, возделывание кукурузы на зерно наиболее экономически эффективно с применением цеолита, обогащенного аминокислотами, как на естественном фоне, так и совместно с минеральными удобрениями (N₆₀P₆₀K₆₀) в дозах 250 кг/га.

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 льняных 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 ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$), 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 pH_{KCl} .

6. Улучшение агро- и воднофизических, а так же 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 так же 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 с применением минеральных удобрений. 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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агрохимия: Классический университетский учебник для стран СНГ. В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, Г.П. Гамзиков и др., Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.
2. Акентьева, М. В. Кремнефосфорные удобрения и их роль в питании растений в каштановых почвах при орошении. Автореф. дис. канд. с.-х. наук. – Саратов, СХИ, 1952. – 25 с.
3. Алексеева, А. А., Фомина Н.В. Ферментативная активность почв лесных питомников лесостепной зоны Красноярского края // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – № 12. – С. 71-75.
4. Алиев, Ш. А. Цеолиты – перспективное агрохимическое сырье. Приемы применения местных агроруд в качестве удобрений в земледелии Среднего Поволжья / Ш. А. Алиев, Т.Х. Ишкаев, А.Х. Яппаров. – Казань: Центр инновационных технологий, 2009. – С. 152-161.
5. Аммосова, Я. М. и др. Кремнезем в системе почва-растение / Аммосова Я. М., Балабко П.Н., Матыченков В.В., Аветян Н.А. // Агрохимия. – 1990. – № 10. – С. 103-108.
6. Аммосова, Я. М., Использование соединений кремния в сельском хозяйстве / Я.М. Аммосова, В.М. Дьяков, В.В. Матыченков Е.А. Чернышев // М.: Изд-во. Мин. Хим. Пром., 1990. – Вып. 7(98). – 32 с.
7. Арефьев, А. Н. и др. Изменение плодородия чернозема выщелоченного и урожайности сельскохозяйственных культур / Арефьев А.Н., Кузин Е.Н., Ефремова Е.Н., Калмыкова Е.В. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. – 2015. – №2 (38). – С. 1-6.
8. Арефьев, А. Н. Кузина Е.Е., Кузин Е.Н. Влияние природных цеолитов и удобрений на агрохимические свойства чернозема

выщелоченного // Нива Поволжья. – 2015. – № 3 (36). – С. 18-26.

9. Арефьев, А. Н. Влияние природных цеолитов и удобрений на агрохимические свойства чернозема выщелоченного / А.Н. Арефьев, Е. Е. Кузина, Е.Н. Кузин // Нива Поволжье, 2015. – № 3(36). – С. 18-26.

10. Арефьев, А. Н. Теоретическое обоснование и разработка приемов 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.

11. Аристовская, Т. В. Микробиология процессов почвообразования. – Л.: наука, 1980. – 187 с.

12. Аскинази, Д. Л. Фосфатный режим почвы и известкование почв с кислой реакцией. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1949. – 216 с.

13. Бетехтин, А. Г. Курс минералогии: учебное пособие / А. Г. Бетехтин. — М. : КДУ, 2007.

14. Биккинина, Л. М. Эффективность комплексного удобрения на основе цеолитсодержащих пород и стоков животноводческих комплексов / Л.М. Биккинина, Ш. А. Ашев, Р.Х. Гизатуллин // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6. [Электронный курс]. Режим доступа URL:www.Scienceeducation.ru | 100-4981 (Дата обращения 25.05.2021).

15. Биккинина, Л. М.-Х. Эффективность комплексного удобрения на основе цеолитсодержащих пород и стоков животноводческих комплексов / Л.М.- Х. Биккинина, Ш. А. Алиев, Р.Х. Гизатуллин // РАЕ: Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6.

16. Бочарникова, Е. А., Матыченков В.В., Матыченков И.В. Кремнистые удобрения и мелиоранты: источники изучения, теория и практика применения //Агрохимия. – 2011. – №7. – С. 84 – 96

17. Бочарникова, Е. А. Влияние бурого угля, монокремниевой кислоты и кремнийорганического мелиоранта на их основе на поглощение кадмия и ячменя и горохом // Агрохимия. 2016. № 5. С. 41-46.

18. Буров, А. В. Цеолитсодержащая порода Татарстана и ее применение. Казань: ФЭН, 2001, 176 с.
19. Буров, А. И. «Живой» камень Татарстана / А.И. Буров // Научно-технический журнал «Георесурсы». - 2013. - №3(53). – С. 5–7.
20. Буров, Д. И. Научные основы обработки почв Заволжья. – Куйбышев, 1970. – 294 с.
21. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина // Москва, Агропромиздат, 1986, 416 с.
22. Вернадский В.И. / Избр. соч. М., 1954, 1960. Т.1–4.
23. Водяницкий, Ю. Н. Дефицит кремния в некоторых почвах и пути его устранения // Агрохимия, 1984. № 8. С. 127–132.
24. Воронков, М.Г. Кремний и жизнь / М.Г. Воронков, Г.И. Зелчан, А.Ю. Лукевиц. – Рига: Зинатне, 1978. – 578 с.
25. 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.
26. Гришин, Г. Е. Изменение урожая и качества продукции под влиянием цеолита и удобрений / Г.Е. Гришин, Е.Е. Кузина, Л.А. Кузина // Нива Поволжье, 2009. № 2. С. 7-12.
27. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Том 1' // Глезер З.И., Жузе А.П., Макарова И.В., Прошина-Лавренко А.И. (ответственный редактор), Шешукова-Порецкая В.С. - Ленинград: Наука, 1974 - с.403 ил
28. Дистанов, У. Г. Перспективы нетрадиционного минерального сырья // Химизация с.-х. 1989. № 12. С. 37-41.
29. Дистанов, У. Г. Природные сорбенты и охрана окружающей среды / У.Г. Дистанов, Т. П. Конюхова // Химия в с.-х., 1990. – № 9. – С. 35-39.
30. Добровольская, Т. Г. и др. Оценка бактериального разнообразия

почв: Эволюция подходов и методов // Почвоведение, – 2009. – № 10. – С. 1222-1232.

31. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований: учебник / Б.А. Доспехов. – М.: ИД Альянс, 2011. – 352 с.

32. Емцев, В. Т. Микробиология. / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин – М.: Изд-во Юрайт, 2016. -445 с.

33. Ермолаев, А. А. Кремний и устойчивость земледелия. / – Воронеж. – 1992. – 216 с.

34. Ермолаев, А. А. Применение цеолитов в сельском хозяйстве. // Химия в сельском хозяйстве. – 1987. – № 5. – С. 39-43.

35. Звягинцев, Д. Г. Биология почв. / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова // – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.

36. Иваненко, А. С. Агроклиматические ресурсы Тюменской области / А.С. Иваненко, О.А. Кулясова. – Тюмень: изд-во ТГСХА, 2008. – 206 с.

37. Иванов, А. Л. Изучение влияния совместного внесения фосфорных и кремнийсодержащих удобрений на фосфатный режим основных типов почв Казахстана / А.Л. Иванов // Агрехимия, - 1952. - №5. – С. 25-30.

38. Ильвачев, Ю. А. Эффективность применения сидератов, навоза и полиакриламидного сополимера как мелиорантов для повышения плодородия выщелоченных черноземов Среднего Поволжья. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 1999. 24 с.

39. Ирмулатов, Б. Р. Агрэкологическая оценка влияния мульчи из соломы на агроценоз яровой пшеницы в условиях Северо-Востока Казахстана / Б.Р. Ирмулатов, А.К. Сарбасов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – №6. – С. 108-114.

40. Исламгулова, Г. Е. Влияние природных цеолитов на плодородие почв и продуктивность сельскохозяйственных культур / Г.Е. Исламгулова и др. // Аграрная наука. 2008. № 7. С. 21-23.

41. Казаков, Г. И. Обработка почвы в Среднем Поволжье / Г.И. Казаков. – Самара: Изд-во Самарской ГСХА, 2008. -251 с.
42. Казанов, Г. И. Обработка почвы в Среднем Поволжье. / Г.И. Казанов // Самара, 1997, 200 с.
43. Капранов, В. Н. Влияние диатомита и минеральных удобрений на фенотипические признаки растений / В.Н. Капранов // Агрохимия, – 2009. – №1. – С. 34-43.
44. Качинский, М. А. Физика почв / – М.: Высшая школа. – 1965. – 323 с.
45. Кинтаналья, М. Г. Ф. Влияние разового внесения кремнийсодержащего шлама на свойства темно-каштановых почв под рисом на юге Украины / М.Г.Ф. Кинтаналья // Автореф. канд. дисс. с.-х. нацк. –М.: Университет Дружбы Народов , 1987. – 17 с.
46. Ковальский, А. Л. Биогеохимия растений / А.Л. Ковальский // – Новосибирск: наука, 1991. – 294 с.
47. Ковда, В. А. Основы учения о почвах. Т. 1 / – М.:Наука. – 1973. – 446 с.
48. Козлов, А. В., Куликова А.Х., Яшин Е.А. Роль и значение кремния и кремний-содержащих пород агроэкосистемах // Вестник Мининского университета. – 2015. – №4. – С. 13 – 27
49. Козлов, А. В. и др. Физиологическое значение кремния в онтогенезе культурных растений и при их защите от фитопатогенов / Козлов А.В., Уромова, И. П., Фролов Е.А., Мозолева К.Ю. // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 1. – С. 17-19.
50. Козлов, Ю. В. Использование соединений кремния при выращивании зерновых культур/ Ю.В. Козлов, Н.Е. Самсонова// Плодородие. – 2009. – №6. – с. 20-22.
51. Колесников, М. П. Формы кремния в растениях // Успехи биологической химии. – 2001. – Т. 41. – С. 301-332.
52. Копцин, Г. Н. Современные подходы к реимидации почв,

загрязненных тяжелыми металлами (обзор литературы) // Почвоведение. – 2014. – № 7. – С. 851-868.

53. Королев, А. А. Влияние цеолитсодержащей породы, дефеката и органических удобрений на содержание гумуса и физико-химические свойства чернозема выщелоченного / А.А. Королев // Материалы Международной научной конференции «Агрохимические приемы рационального применения средств химизации как повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур». – М., 2007. – С. 26

54. Кузин, Е. Н. Изменение урожайности культур зернопропашного севооборота на фоне последствий природного цеолита и повторного внесения удобрений/ Кузин, Е. Н., Кузина Е.Е. // Нива Поволжья. – 2013. – № 1. – С. 24-29.

55. Кузин, Е. Н. Сидераты повышают плодородие черноземных почв / Е. Н. Кузин, Г. Е. Гришин, Ю. А. Ильвачев // Земледелие. – 1999. – № 3. – С. 15-16.

56. Кузнецова, И. В., Бондарев А.Г., Данилова В.И. Устойчивость структурного состояния и сложения почв при уплотнении // Почвоведение. – 2000. – № 9. – С. 1106-1113.

57. Куликова, А. Х. Кремний и высококремнистых пород в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновск: Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. – 175 с.

58. Куликова, А. Х. Влияние высококремнистых пород как удобрений сельскохозяйственных культур на урожайность и качество продукции / А.Х. Куликова //Агрохимия. - 2010. – №7.– С. 18-25.

59. Куликова, А. Х. Влияние высококремнистых пород на свойства чернозема выщелоченного и урожайность сельскохозяйственных культур в условиях Среднего Поволжья / А.Х. Куликова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2010. – №1.– С. 16-25.

60. Куликова, А. Х. Эффективность органоминеральных удобрений в технологии возделывания ячменя / А. Х. Куликова, Е. А. Яшин // 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. 36-40.

61. Куликова, А. Х. Агрофизическая оценка физических и биологических свойств почв Среднего Поволжья / А.Х. Куликова, Н.Г. Захаров, А.В. Карпов, А.В. Козлов, Н.А. Хайртдинова, Е.А. Яшин. – Ульяновск, 2017. – 244 с.

62. Куликова, А. Х. Агрофизическое состояние почв Ульяновской области и агротехнические меры по его оптимизации / А.Х. Куликова, А.В. Дозоров, А. В. Карпов, Н.Г. Захаров, Н.А. Хайртдинова, А.Ю. Наумов, Е.А. Черкасов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – № 5 (365). – С. 55-58.

63. 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. Хайртдинова, Е.А. Яшин. - Ульяновск, 2017. – 244 с.

64. Куликова, А. Х. Баланс элементов питания в черноземе типичном при возделывании проса с использованием соломы, биопрепарата Байкал ЭМ-1 и минеральных удобрений / А.Х. Куликова, Е.А. Яшин, С.А. Антонова // В сборнике: Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Ульяновск, УлГАУ – 2018. – С. 12-20.

65. Куликова, А. Х. Влияние высококремнистых пород как удобрений сельскохозяйственных культур на урожайность и качество продукции / А.Х. Куликова //Агрохимия, 2010. – № 7.– С. 18-25.

66. Куликова, А. Х. Влияние кремнийсодержащих материалов на свойства почвы, состояние посевов и урожайность зерновых культур в условиях Среднего Поволжья / А.Х. Куликова, А.В. Козлов, В.С. Смывалов // Агрохимия. – 2019. – №. 4. – С. 60-69.

67. Куликова, А. Х. Влияние микроэлементсодержащих удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур / А.Х. Куликова, Е.А. Черкасов, Б.К. Саматов // В сборнике: Микроэлементы и регуляторы роста в питании растений: теоретические и практические аспекты. Ульяновск, УГСХА. – 2014. – С. 71-74.

68. Куликова, А. Х. Воспроизводство биогенных ресурсов в агроэкосистемах и регулирование плодородия чернозема лесостепи Поволжья / А.Х. Куликова // Диссертация доктора с.-х. наук, 1997. – 362 с.

69. Куликова, А. Х. Воспроизводство плодородия почвы при использовании осадков сточных вод в качестве удобрения сидерата / А.Х. Куликова, Н.Г. Захаров, С.В. Шайкин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2007. – № 2 (5). С. 13-16.

70. Куликова, А. Х. Гумусное состояние почв учхоза УГСХА. Концепция воспроизводства плодородия. – Ульяновск. – Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2002. – № 9. – С. 10-18.

71. Куликова, А. Х. Диатомит – эффективное экологически безопасное удобрение / А.Х. Куликова, Е.А. Яшин // В сборнике: Каталог научных разработок и инновационных проектов. – Ульяновск. – 2015. – С. 14.

72. Куликова, А. Х. Диатомит в системе удобрения сельскохозяйственных культур / В сборнике: Актуальные вопросы агрономии, агрохимии и агроэкологии. Ульяновск, УГСХА. – 2012. – С. 96-103.

73. Куликова, А. Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. – Ульяновск. – 2013. – 176 с.

74. Куликова, А. Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур / АХ. Куликова // Ульяновск, 2013. – 176 с.

75. Куликова, А. Х. Роль кремния и высококремнистых пород в защите посевов сельскохозяйственных культур / А.Х. Куликова, Е.А. Яшин //

Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2015. – № 4 (32). – С. 30 – 35.

76. Куликова, А. Х. Эффективность предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур биопрепаратами и диатомитовым порошком в условиях Среднего Поволжья / А.Х. Куликова, А.С. Дронина, С.А. Никифорова, 2010. – 211 с.

77. Куликова, А. Х. 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.

78. Куликова, А. Х. Кремнистые породы в системе удобрений сельскохозяйственных культур / А.Х. Куликова, А.В. Карпов, Е.А. Яшин. – Ульяновск, 2020. – 176с.

79. Курносоев Михаил Вячеславович. Влияние цеолитсодержащей породы на агроメリоративные свойства чернозема выщелоченного в условиях лесостепного Поволжья : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.02 Пенза, 2006 199 с. РГБ ОД, 61:07-6/77

80. Кцоев, Б. К. Кремний и урожай / Кцоев Б.К., Ермолаев А.А. / – Орджоникидзе. – 1990. – 142 с.

81. Лобода, Б. П. Применение цеолитсодержащего минерального сырья в растениеводстве / Б.П. Лобода // Агрoхимия, 2000. – № 6. – С. 78-91.

82. Лукин, С. В. Содержание свинца, кадмия, ртути и мышьяка в агроландшафтах Белгородской области // Достижения науки и техники АПК. – 2008. № 7. – С. 39-41.

83. Лукин, С. В. Влияние кадмия на развитие фотосинтетического аппарата и урожайность яровой пшеницы / С.В. Лукин, Л.А. Кононенко, Ю.В. Мирошникова // Агрoхимия, - 2004. – № 3. – С. 63-68.

84. Макеева, Т. Ф. Роль Сосковского цеолита в повышении агроэкологической эффективности органических и минеральных удобрений

на серых лесных почвах Орловской области / Т.Ф. Макеев, М.В. Гудилина // Вестник ОрелГАУ. – 2008. – № 4. – С. 36-39.

85. Матаруева, И. А. Микробиологические закономерности формирования гумусовых запасов дерново-подзолистых почв / И.А. Матаруева // – Кострома: КГСХА, 2005. – 190 с.

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

87. Матыченков, В. В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва – растение; автореферат, дисс. докт. биол. наук / Матыченков Владимир Викторович. – М.: Пушино – 2008. – 313 с.

88. Матыченков, В. В. Влияние кремниевых удобрений на растение и почву / В.В. Матыченков, Е.А. Бочарникова, Е.Н. Аммосова // Агрохимия, 2002. – № 9. С. 86-93.

89. Матыченков, В. В. Градация почв по дефициту доступного растениям кремния / В.В. Матыченков // Агрохимия, 2007. – № 7. – С. 22-27.

90. Матыченков, И.В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе почва – растение / И.В. Матыченков // Диссертация на соискание уч. степени канд. биол. наук. – М., 2014. – 136 с.

91. Механическая обработка и агрофизические свойства почвы / В. Ю. Тимонов, Н. М. Чернышева, С. С. Балабанов, Н. И. Картамышев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 6. – С. 53-57.

92. Минерально-производственный комплекс неметаллических полезных ископаемых Ульяновской области. / Казань: Изд-во Казанского университета, 2002. – 156 с.

93. Михайлов, А. С. Минеральное сырье. Цеолиты: справочник / А.С.Михайлов, У.Г.Дистанов. - М.: Геоинформмарк, 1999. – 29 с.

94. Мовсумзаде, Э. М. Природные и синтетические цеолиты, их получение и применение: монография / Э.М.Мовсумзаде, М.Л.Павлов, Б.Г.Успенский, Н.Д.Костина. - Уфа: Реактив, 2000. - 230 с.
95. Пазова, Т. Х., Шекихачев Ю.А., Сохроков А.Х., Дохов М.П., Твердохлебов С.А., Кишев М.А. Оптимизация состава машинно-тракторного парка / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 75. – С. 285–295.
96. Пашкевич, Е. Б. и др. Сравнение структуры микробного сообщества в ризосфере викоовсяной смеси, ячменя и кукурузы на фоне минеральных удобрений / Пашкевич Е.Б., Верховцева Н.В., Егорова Е.В., Кузьмина Н.В. // Материалы конференции «Физиология растений и экология на рубеже веков». – Ярославль. – 2003. – С. 168-171.
97. 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.
98. Петр, И. Формирование урожайности зерновых культур / И.Петр // интенсивное производство зерна / пер. с чеш. З.К. Благовещенской. – М: Агропромиздат. – 1985. – С.84 – 174.
99. Постников, А. В., Илларионова Э.С. Использование цеолитов в растениеводстве // Агрохимия. – 1990. – № 7. – С. 113-152.
100. Посыпанов, Г. С., Долгодворов В.Е. Энергетическая оценка технологии возделывания полевых культур.- М.: Изд-во МСХА, 1995.- 23 с.
101. Почвы учебно-опытного хозяйства Ульяновского сельскохозяйственного института Чердаклинского района и рекомендации по их использованию. ВОЛГОГИПРОЗЕМ. Ульяновск, 1984г.
102. Применение цеолитов в сельском хозяйстве. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zemledelie.org> (Дата обращения 17.05.2021).
103. Прокопьев, В. В. Калий и Калийные удобрения / Прокопьев В.В., Дерюгин И.П. / – М.: ЛЕ-ДУМ. – 2000. – 185 с.

104. Самсонова, Н. Е. Кремний в почве и растениях / Н.Е. Самсонова // *Агрохимия*, 2005. – № 6. – С. 76-86.
105. Самсонова, Н. Е. Кремний в растениях и животных организмах / Н.Е. Самсонова // *Агрохимия*, 2019. – № 1. – С. 86-96.
106. 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.
107. Сафронов, Г. В. Эффективность цеолитов в народном хозяйстве и прикладные проблемы внедрения / Г.В. Сафронов // *Применение природных цеолитов в народном хозяйстве: Докл. Респ. Конф. М.*, 1989. С. 3-9.
108. Сладких, А. Ф. Природное питание и урожайность / А.Ф. Сладких, О.А. Карасева // *Сахарная свекла*, 2000. – № 7. – С. 15-16.
109. Сорокина О. А., Сорокин Н.Д., Фомина Н.В. Изменение гумусового состояния и биологической активности при вовлечении серых лесных почв из-под леса в пашню // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. – 2006. – № 12. – С. 72-78.
110. Степанова, Л. П. и др. Влияние удобрительных форм на основе отходов производства и природных минералов на экологическую устойчивость агрофизических и физико-химических свойств чернозема оподзоленного / Степанова Л.П., Коренькова Е.А., Яковлева Е.В., Степанова Е.И. // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. – 2015. – № 13. – С. 19-25.
111. Страхов, Н. М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. / Страхов. Н.М. / – М. – 1976.– 175 с.
112. Тах, И. П., Агиров А.Х. Ферментативная активность различных типов почв лесостепного пояса в условиях западного Кавказа // *Новые технологии*. – 2009. – № 4. – С. 1-7.
113. Терехова, В. А. Биотестирование почв: подходы и проблемы /

В.А. Терехова // Почвоведение, – 2011. – № 2. – С. 190-198.

114. Тимонов, В. Ю. Механическая обработка и агрофизическое состояние почвы / В.Ю. Тимонов и др. // Вестник Курско-сельскохозяйственной академии. 2009. – № 6. – С. 53-57.

115. Титова, В. И. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества / В. И. Титова, А. В. Козлов. – Нижний Новгород. – 2012. – 64 с.

116. Титова, В.И. Сравнительное изучение влияния цеолита и минеральных удобрений на продуктивность зерновых культур и агрохимическую характеристику светло-серой лесной легкосуглинистой почвы / В.И. Титова, Н.В. Забегалов // Почвоведение и агрохимия, 2014. – № 1(52). – С. 190-197.

117. Тойгильдина И.А. Эффективность высококремнистых пород и минеральных удобрений при возделывании сахарной свеклы в условиях Среднего Поволжья. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саранск, 2008. 17 с.

118. Тур от патогенов / Е.Б. Пашкевич, Е.П. Кирюшин // Проблемы агрохимии и экологии. - 2008. – № 2. – С. 52-57.

119. Удобрения, их свойства и способы использования/ Под ред. Д.А. Коренькова. – М.: Колос, 1982. – 415 с.

120. Усанова З. И. Эффективность применения новых видов удобрений и наноматериала в технологии возделывания овса / З. И. Усанова, А. С. Васильев // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 8. – С. 19-22.

121. Усманов У.Г. Природные сорбенты и охрана окружающей среды / У.Г. Усманов, Т.П. Конюхова // Химизация с.-х. 1990. № 9. С. 35-39.

122. Физиологическое значение кремния в онтогенезе культурных растений и при их защите от фитопатогенов / А. В. Козлов, И. П. Уромова, Е. А. Фролов, К. Ю. Мозолева // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 1. – С. 39.

123. Хамоков М.М., Шекихачев Ю.А., Алоев В.З., Курасов В.С., Темукуев Т.Б. Производственная и энергетическая эффективность использования биогазовой установки / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 76. – С. 333–342.

124. Цеолитсодержащие породы Татарстана и их применение / И. А. Буров, А. Н. Тюрин, А. В. Якимов [и др.]. – Казань : Издательство "Фэн" Академии наук Республики Татарстан, 2001. – 176 с.

125. Цхакая, Н. Л. Японский опыт по использованию природных цеолитов / Н.Л. Цхакая, Н.Ф. Квашам // . – Тбилиси, 1985. – С. 25-30.

126. Челишев, Н. Ф. Ионообменные свойства природных высококремнистых цеолитов / Н.Ф. Челишев // М: Наука. 1989. 128 с.

127. 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.

128. Чупрова, В. В. Использование древесной коры и цеолитов при выращивании декоративных культур / В. В. Чупрова, О. А. Ульянова // Агрохимия. — 2002. — № 7. — С. 47 — 55.

129. Шекихачева, Л. З. Энергетическая оценка возделывания гибридов кукурузы в зависимости от глубины заделки семян // NovaInfo.Ru. – 2016. – № 43-1. – С. 105–107.

130. Шекихачева, Л. З. Энергетическая оценка возделывания гибридов кукурузы в зависимости от срока посева семян // NovaInfo.Ru. – 2016. – № 44-1. – С. 86-88.

131. Яковлев, Е. Н. Использование природных цеолитов под полевые культуры на различных типах почв Дальнего Востока / Е.Н. Яковлев и др. // Новосибирск. 1991. С. 110-112.

132. Яппаров, И. А. и др. Способы применения цеолитсодержащих пород в земледелии / Яппаров И.А., Биккинина Л.М., Ильясов М.М., Суханова И.М., Гизатуллин Р.Х., Нуртдинова Г.Х. // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – № 23. – С. 157-160.
133. Яшин, Е. А. Эффективность использования диатомита и его смесей с куриным пометом в качестве удобрений сельскохозяйственных культур на черноземе выщелоченном Среднего Поволжья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук:06.01.04 / Яшин Евгений Александрович. – Саранск, 2004. – 18 с.
134. 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.
135. Choi, S.S. Improvement of grass establishment in scoping areas / S.S. Choi // *CAB abstracts: Soil and fertilizers.* 1992. P. 0062-03278.
136. Epstein E. Silicon: its manifold roles in plants // *Ann. Appl. Biol.* 2009. (155). P. 155 – 160.
137. Greger, M. Plant uptake of silicon nanoparticles / M. Greger, T. Landberg, S. Nazaralian // *7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced. Abstracts. India.* - 2017. - P. 68.
138. Heather A. Currie, Carole C. Perry. Silica in plants: Biological, biochemical and chemical studies // *Ann. Bot.* 2007. December. 100 (7). P. 1383 – 1389.
139. Khalid, R.A. Residual effects of calcium Silicate in tropical Soils: // Biological extraction of residual Soil silicon / R.A. Khalid, L.A. Silva // *Soil Sci Am. I.*, – 1978. – Vol. 42/ – №1. – P. 94-97.
140. 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.

141. 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.
142. Ma J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses // Soil Sci. Plant Nutr. 2004. V. 50. P. 11 – 18.
143. Ma, J.F. Silicon uptake and accumulation in higher plants / J.F. Ma, N. Yamaji // Trends Plant Sci. - 2006. - № 11. - P. 342–397.
144. 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.
145. Matichenkov, V.V. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties / V.V. Matichenkov, E.A. Bocharnikova // Silicon in Agriculture / Eds. L.E. Datnoff, G.H. Snyder, G.H. Korndorfer. Amsterdam: Elsevier, 2001. P. 209–219.
146. Norton, L.D. Mineralogy of high calcium/sulfur-containing coal combustion by-products and their effect on soil surface sealing / L.D. Norton // Agriculture Utilization of Urban and Industrial By-products: Proceed. Symp. sponsored by Division S – 6 and S – 7 of the Science Soc. Am. and A – 5 of the Am. Soc. Agron. in Cincinnati. Ohio, 7-12 Nov. 1993. ASA Special Publication Number 58, 1995. P.87-106.
147. Okuda, A. The role of silicon the mineral Nutrition of the rice / A.Okuda, E. Takahashi // John Hopkins Prass.- Baltimore, 1965. Plant. -P. 123 - 146.
148. Read, D.W.,etal. Residual value presphorus fertilizer of chenzemic soil / D.W. Read // Canad. T. Soil Sci., – 1973/ – Vol. 53, – №4. P. 398.
149. Resichert, L.M. Sealing, amendment, and rain intensity effects of erosion of high-clay solies/ L.M. Resichert, L.D Norton, Huang Chi-hua // Soil Sci. Soc. Am. 1. - 1994. - P. 1199-1205.

150. Silicon and disease resistance in dicotyledons Jn. / A.Fawe, J.Menzies, M. Cherif, R. Belanger // *Silicon in Agriculture*.-2001. - PP. 159-170.
151. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium Ketrimum* infected cucumber plants / M.Cherif , J.Menzies, N.Benhamou, R. Belanger // *Physiol. Mol. Plant.- Pathol*, 1992.- P. 337 - 385.
152. Swiate, K. The improvement of enzymetic hydrolysis efficiency of rape strow and *miseenthus giganteus* polysaccharides /K. Swiatek, M. Lewandowska, M. Swiatek, W. Bedharski, B. Brzozowski // *Bioressource Technology*. – 2014. – T. 151. – p. 323-331.
153. 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.
154. Yoshida S. The physiology of silicon in rice // *Food Fert. Tech. Centr. Tech.Bull. Taipei. Taiwan*, 1975. № 4. P. 8–12.
155. http://ceolitsnab.ru/posledniye-novosti/news_post/primeneniye-tseolitov-v-selskom-khozyaystve
156. <https://natural-museum.ru/mineral/цеолиты>
157. https://studopedia.su/5_55821_kratkie-svedeniya-o-genezise-prirodnih-tseolitov.html
158. <https://www.activestudy.info/vliyanie-vneshnix-uslovij-na-urozhajnost-selskoxozyajstvennyx-kultur-i-effektivnost-udobrenij/>
159. <https://zeol.ru/o-ceolitah>

ПРИЛОЖЕНИЯ

Значения температуры воздуха и количества осадков за 2019 год
исследований

Месяц	Декада	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма
		Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
Май	1	+15,6	5,5	10,1	9,8	-3,2	13
	2	+17,5	4,9	12,6	2,3	-10,7	13
	3	+17,0	2,2	14,8	2,4	-10,6	13
	мес.	+16,6	4,1	12,5	15	-24	39
Июнь	1	+19,6	3,3	16,3	15	-6	21
	2	+18,5	0,8	17,7	1,7	-19,3	21
	3	+19,5	0,9	18,6	30	9	21
	мес.	+19,2	1,7	17,5	61	-2	63
Июль	1	+18,0	-1,4	19,4	6,9	-13,1	20
	2	+19,4	-0,5	19,9	22	2	20
	3	+18,6	-1	19,6	10	-10	20
	мес.	+18,7	-0,9	19,6	39	-21	60
Август	1	+15,0	-3,7	18,7	100	84	16
	2	+18,7	1,1	17,6	9,3	-6,7	16
	3	+15,0	-1,9	16,9	4,3	-11,7	16
	мес.	+16,2	-1,8	18,0	114	66	48
Сентябрь	1	+13,4	-0,6	14,0	0,0	-17	17
	2	+12,3	0,9	11,4	29	13	16
	3	+5,7	-3	8,7	14	-2	16
	мес.	+10,4	-0,9	11,3	43	-6	49

Значения температуры воздуха и количества осадков за 2020 год
исследований

Месяц	Декада	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма
		Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
Май	1	+14,0	3,9	10,1	5,6	-7,4	13
	2	+10,3	-2,3	12,6	25	12	13
	3	+14,4	-0,4	14,8	13	0	13
	мес.	+13,0	0,5	12,5	44	5	39
Июнь	1	+16,5	0,2	16,3	44	23	21
	2	+18,9	1,2	17,7	6,8	-14,2	21
	3	+16,1	-2,5	18,6	13	-8	21
	мес.	+17,2	-0,3	17,5	63	0	63
Июль	1	+23,7	4,3	19,4	23	3	20
	2	+22,2	2,3	19,9	14	-6	20
	3	+19,7	0,1	19,6	1,6	-18,4	20
	мес.	+21,8	2,2	19,6	38	-22	60
Август	1	+19,0	0,3	18,7	25	9	16
	2	+14,3	-3,3	17,6	72	56	16
	3	+17,8	0,9	16,9	11	-5	16
	мес.	+17	-1	18,0	108	60	48
Сентябрь	1	+15,5	1,5	14,0	2,3	-14,7	17
	2	+11,4	0	11,4	7,1	-8,9	16
	3	+10,5	1,8	8,7	0,5	-15,5	16
	мес.	+12,5	1,2	11,3	9,9	-39,1	49

Значения температуры воздуха и количества осадков за 2021 год
исследований

Месяц	Декада	Температура, ° С		Норма	Осадки, мм		Норма
		Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
Май	1	+14,5	4,4	10,1	31	18	13
	2	+22,2	9,6	12,6	3	-10	13
	3	+17,7	2,9	14,8	11	-2	13
	мес.	+18,1	5,6	12,5	45	6	39
Июнь	1	+18,0	1,7	16,3	0	-21	21
	2	+21,0	3,3	17,7	1,6	-19,4	21
	3	+26,4	7,8	18,6	15	-6	21
	мес.	+21,8	4,3	17,5	16	-47	63
Июль	1	+21,8	2,4	19,4	15	-5	20
	2	+23,1	3,2	19,9	18	-2	20
	3	+19,9	0,3	19,6	30	10	20
	мес.	+21,6	2	19,6	63	3	60
Август	1	+23,5	4,8	18,7	3,5	-12,5	16
	2	+24,2	6,6	17,6	1,5	-14,5	16
	3	+18,9	2	16,9	5	-11	16
	мес.	+22,1	4,1	18,0	10	-38	48
Сентябрь	1	+11,8	-2,2	14,0	26	9	17
	2	+10,3	-1,1	11,4	0	-16	16
	3	+8,2	-0,5	8,7	57	41	16
	мес.	+10,1	-1,2	11,3	83	34	49

Значения температуры воздуха и количества осадков за 2022 год
исследований

Месяц	Декада	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма
		Среднее	Отклонение		Среднее	Отклонение	
Май	1	+8,87	-3,7	12,57	16,8	2,8	14
	2	+9,64	-4,86	14,5	33,2	13,2	20
	3	+10,02	-6,21	16,23	9,6	-0,4	10
	мес.	+9,5	-4,96	14,4	60	15,6	44
Июнь	1	+17,85	0,33	17,55	7,9	-9,7	17
	2	+18,65	0,1	18,55	14,1	-5,1	20
	3	+17,61	-1,85	19,46	21	1	20
	мес.	+18,0	-0,5	18,5	43	-14	57
Июль	1	+19,54	-0,8	20,34	47	27	20
	2	+21,6	1,6	20,0	45,5	25,5	20
	3	+21,0	0,4	20,6	21,1	11,1	10
	мес.	+20,7	0,1	20,6	113,6	63,6	50
Август	1	+22,31	2,37	19,94	0,3	-19,7	20
	2	+20,61	1,86	18,75	0	-10	10
	3	+22,29	5,32	16,97	0	-20	20
	мес.	+21,7	3,2	18,5	0,3	-49,7	50
Сентябрь	1	+10,78	-3,92	14,7	3,1	-11,9	15
	2	+12,92	0,43	12,49	10,1	0,1	10
	3	+12,05	1,75	10,3	24,8	4,8	20
	мес.	+11,9	-0,6	12,5	38	-7	45

Влияние экспериментальных удобрений на содержание основных элементов питания в пахотном слое почвы (мг/кг) и ее обменную кислотность (единиц рН_{KCl}) под посевами кукурузы (2019 г.)

Вариант	рН _{KCl}	N-NO ₃ +N-NH ₄		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля
Контроль (без удобрений)	5,40	8,1	-	168	-	148	-
Цеолит, 250 кг/га	5,75	8,5	+0,4	173	+5	154	+6
Цеолит, 500 кг/га	5,86	8,7	+0,6	178	+10	158	+10
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	5,74	9,1	+1,0	174	+6	155	+7
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	5,78	9,9	+1,8	176	+8	153	+8
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	5,63	8,9	+0,8	171	+3	154	+5
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	5,55	9,3	+1,2	172	+4	155	+5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,36	11,1	+3,0	188	+20	169	+21
НСР ₀₅	0,11	0,4		5		6	

Приложение 6

Влияние экспериментальных удобрений на содержание основных элементов питания в пахотном слое почвы (мг/кг) и ее обменную кислотность (единиц рН_{KCl}) под посевами кукурузы (2020г.)

Вариант	рН _{KCl}	N-NO ₃ +N-NH ₄		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль (без удобрений)	5,12	7,48	-	128	-	142	-
Цеолит, 250 кг/га	4,98	7,04	-0,44	139	+11	144	+2
Цеолит, 500 кг/га	5,12	7,93	+0,45	144	+16	140	-2
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	5,06	8,06	+0,58	140	+12	143	+1
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	5,21	8,26	+0,78	132	+4	159	+17
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	4,92	7,53	+0,05	139	+11	145	+3
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	4,99	8,37	+0,89	141	+13	157	+15
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,95	8,62	+1,14	146	+18	163	+21
НРК + Цеолит, 250 кг/г	4,8	7,69	+0,21	144	+16	148	+6
НРК + Цеолит, 500 кг/г	5,12	8,09	+0,61	147	+19	160	+18
НРК + Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	6,28	8,56	+1,08	160	+32	163	+21

Продолжение приложения 6

1	2	3	4	5	6	7	8
НРК + Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	6,13	8,32	+0,84	158	+30	151	+9
НРК + Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	4,73	8,04	+0,56	152	+24	150	+8
НРК + Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	4,83	8,61	+1,13	158	+30	161	+19
НС P ₀₅	Фактор А	0,37	0,50		8,01		12,52
	Фактор В	0,34	0,63		9,07		11,95

Влияние экспериментальных удобрений на содержание основных элементов питания в пахотном слое почвы (мг/кг) и ее обменную кислотность (единиц рН_{KCl}) под посевами кукурузы (2021г.)

Вариант	рН _{KCl}	N-NO ₃ +N-NH ₄		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль (без удобрений)	5,68	7,59	-	147	-	140	-
Цеолит, 250 кг/га	6	7,73	+0,14	135	-12	158	+18
Цеолит, 500 кг/га	5,79	7,51	-0,08	149	+2	169	+29
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	6,06	7,79	+0,2	143	-4	158	+18
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	5,46	8,55	+0,96	154	+7	153	+13
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	5,52	8,56	+0,97	131	-16	164	+24
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	5,67	8,46	+0,87	131	-16	159	+19
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,85	9,25	+1,66	162	+15	159	+19
НРК + Цеолит, 250 кг/г	5,67	8,25	+0,66	154	+7	161	+21
НРК + Цеолит, 500 кг/г	4,79	8,68	+1,09	157	+10	157	+17
НРК + Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	6,58	8,2	+0,61	156	+9	154	+14

Продолжение приложения 7

1	2	3	4	5	6	7	8
НРК + Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	7,06	9,34	+1,75	166	+19	173	+33
НРК + Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	5,24	8,85	+1,26	168	+21	160	+20
НРК + Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	5,28	9,06	+1,47	154	+7	167	+27
НС P ₀₅	Фактор А	0,43	0,42		7,51		10,79
	Фактор В	0,41	0,55		12,31		8,85

Влияние экспериментальных удобрений на содержание основных элементов питания в пахотном слое почвы (мг/кг) и ее обменную кислотность (единиц рН_{KCl}) под посевами кукурузы (2022г.)

Вариант	рН _{KCl}	N-NO ₃ +N-NH ₄		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля
1	2	3	4	5	6	7	8
Контроль (без удобрений)	6	8,33	-	140	-	156	-
Цеолит, 250 кг/га	5,52	8,33	-	155	+15	156	-
Цеолит, 500 кг/га	5,89	8,86	+0,53	151	+11	156	-
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	5,68	9,05	+0,72	149	+9	169	13
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	5,53	9,29	+0,96	152	+12	171	15
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	5,46	8,51	+0,18	153	+13	156	-
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	5,84	8,67	+0,34	154	+14	164	8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,7	9,43	+1,1	166	+26	180	24
НРК + Цеолит, 250 кг/г	5,43	8,96	+0,63	155	+15	156	-
НРК + Цеолит, 500 кг/г	5,69	8,73	+0,4	165	+25	164	8
НРК + Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	6,64	9,64	+1,31	166	+26	178	22

Продолжение приложения 8

1	2	3	4	5	6	7	8
НРК + Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	7,21	9,64	+1,31	172	+32	177	21
НРК + Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	5,63	9,21	+0,88	166	+26	178	22
НРК + Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	5,49	9,03	+0,7	180	+40	167	11
НС P ₀₅	Фактор А	0,48	0,55		9,45		11,34
	Фактор В	0,46	0,46		14,89		14,87

Качественные показатели зерна кукурузы в зависимости от применения
цеолита и удобрений на его основе, %
(2020 г.)

Вариант	Белок	Крахмал	N	P	K	
Контроль (без удобрений)	8,08	47,33	1,43	0,30	0,47	
Цеолит, 250 кг/га	8,71	73,78	1,42	0,26	0,43	
Цеолит, 500 кг/га	8,50	73,98	1,32	0,25	0,42	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	8,42	68,46	1,49	0,25	0,45	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	8,30	78,68	1,42	0,27	0,45	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	8,28	74,29	1,47	0,26	0,43	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	8,46	81,80	1,35	0,26	0,47	
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (NPK)	8,34	70,48	1,33	0,28	0,44	
NPK+ Цеолит, 250кг/га	8,67	65,30	1,48	0,32	0,46	
NPK+ Цеолит, 500кг/га	8,93	64,75	1,36	0,29	0,48	
NPK+ Цеолит обогащенный аминокислотами 250кг/га	8,81	71,89	1,47	0,27	0,41	
NPK+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500кг/га	8,48	66,43	1,47	0,33	0,50	
NPK+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га	7,78	72,03	1,39	0,27	0,41	
NPK+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг/га	9,15	74,92	1,43	0,30	0,46	
НСР ₀₅	Фактор А	0,56	5,74	0,09	0,02	0,03
	Фактор В	0,59	5,42	0,10	0,02	0,04

Качественные показатели зерна кукурузы в зависимости от применения
цеолита и удобрений на его основе, %
(2021 г.)

Вариант	Белок	Крахмал	N	P	K	
Контроль (без удобрений)	8,08	45,06	1,69	0,31	0,53	
Цеолит, 250 кг/га	8,67	77,51	1,43	0,29	0,47	
Цеолит, 500 кг/га	8,76	74,05	1,53	0,24	0,45	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	8,92	75,91	1,52	0,29	0,46	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	8,46	85,30	1,37	0,31	0,52	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	9,25	71,87	1,54	0,28	0,43	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	8,42	83,17	1,60	0,29	0,47	
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (NPK)	8,42	84,94	1,47	0,31	0,43	
NPK+ Цеолит, 250кг/га	8,31	72,29	1,41	0,32	0,52	
NPK+ Цеолит, 500кг/га	8,25	61,25	1,50	0,32	0,50	
NPK+ Цеолит обогащенный аминокислотами 250кг/га	8,60	75,25	1,52	0,30	0,43	
NPK+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500кг/га	9,84	67,68	1,57	0,31	0,52	
NPK+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га	8,91	78,55	1,46	0,31	0,46	
NPK+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг/га	8,80	73,84	1,63	0,32	0,42	
НСР ₀₅	Фактор А	0,80	5,23	0,09	0,02	0,04
	Фактор В	0,75	4,38	0,11	0,03	0,03

Качественные показатели зерна кукурузы в зависимости от применения
цеолита и удобрений на его основе, %
(2022 г.)

Вариант	Белок	Крахмал	N	P	K	
Контроль (без удобрений)	8,68	51,34	1,56	0,35	0,56	
Цеолит, 250 кг/га	9,23	83,07	1,62	0,32	0,48	
Цеолит, 500 кг/га	8,63	78,86	1,50	0,26	0,48	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	9,78	74,63	1,55	0,30	0,50	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	9,31	82,80	1,59	0,32	0,50	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	9,77	79,86	1,58	0,27	0,46	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	9,55	83,34	1,49	0,29	0,53	
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (NPK)	8,77	78,40	1,49	0,31	0,48	
NPK+ Цеолит, 250кг/га	9,81	77,24	1,61	0,35	0,49	
NPK+ Цеолит, 500кг/га	9,61	70,56	1,64	0,32	0,52	
NPK+ Цеолит обогащенный аминокислотами 250кг/га	9,89	75,07	1,60	0,30	0,48	
NPK+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500кг/га	9,52	71,63	1,64	0,35	0,54	
NPK+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га	9,20	79,70	1,50	0,32	0,48	
NPK+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг/га	9,71	77,95	1,59	0,31	0,50	
НСР ₀₅	Фактор А	0,78	3,95	0,13	0,02	0,03
	Фактор В	0,66	5,63	0,11	0,03	0,04

Содержание тяжелых металлов в зерне кукурузы, мг/кг (2020 г.)

Вариант	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	
Контроль (без удобрений)	1,37	6,46	0,40	0,24	0,06	
Цеолит, 250 кг/га	1,11	6,39	0,31	0,21	0,04	
Цеолит, 500 кг/га	1,08	5,76	0,25	0,18	0,03	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	0,68	6,66	0,34	0,19	0,02	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	1,06	6,46	0,31	0,19	0,02	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	0,93	5,56	0,32	0,22	0,04	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	0,99	5,16	0,33	0,22	0,02	
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,99	6,04	0,38	0,25	0,05	
НРК+ Цеолит, 250 кг/га	2,60	6,23	0,34	0,25	0,03	
НРК+ Цеолит, 500 кг/га	0,65	6,96	0,28	0,20	0,02	
НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	1,16	5,72	0,32	0,20	0,03	
НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	0,68	8,70	0,31	0,19	0,02	
НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	0,56	8,64	0,30	0,22	0,03	
НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	0,46	8,89	0,29	0,22	0,03	
НСР ₀₅	Фактор А	0,08	0,37	0,02	0,02	0,01
	Фактор В	0,14	0,50	0,03	0,02	0,01
ПДК в зерне	30,0	50,0	5,00	0,50	0,10	

Содержание тяжелых металлов в зерне кукурузы, мг/кг (2021 г.)

Вариант	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	
Контроль (без удобрений)	1,33	6,01	0,37	0,22	0,08	
Цеолит, 250 кг/га	1,22	6,77	0,33	0,25	0,04	
Цеолит, 500 кг/га	1,01	6,20	0,29	0,18	0,03	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	0,67	6,99	0,34	0,20	0,02	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	1,13	6,17	0,33	0,19	0,02	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	1,01	6,25	0,32	0,24	0,04	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	0,96	5,74	0,33	0,23	0,02	
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,94	5,67	0,44	0,26	0,05	
НРК+ Цеолит, 250 кг/га	2,50	6,53	0,35	0,27	0,03	
НРК+ Цеолит, 500 кг/га	0,72	8,06	0,28	0,23	0,02	
НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	1,17	6,18	0,31	0,21	0,03	
НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	0,69	9,41	0,33	0,18	0,02	
НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	0,59	9,18	0,35	0,25	0,02	
НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	0,50	8,85	0,33	0,26	0,03	
НСР ₀₅	Фактор А	0,09	0,43	0,03	0,01	0,01
	Фактор В	0,12	0,69	0,03	0,02	0,01
ПДК в зерне	30,0	50,0	5,00	0,50	0,10	

Содержание тяжелых металлов в зерне кукурузы, мг/кг (2022 г.)

Вариант	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	
Контроль (без удобрений)	1,50	7,03	0,43	0,26	0,07	
Цеолит, 250 кг/га	1,27	6,64	0,35	0,23	0,04	
Цеолит, 500 кг/га	1,21	6,04	0,30	0,18	0,03	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	0,75	7,05	0,34	0,21	0,02	
Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	1,11	6,87	0,32	0,19	0,02	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	1,06	6,19	0,35	0,23	0,04	
Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	1,05	6,20	0,33	0,24	0,02	
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,07	6,59	0,41	0,30	0,05	
НРК+ Цеолит, 250 кг/га	2,70	7,34	0,36	0,26	0,03	
НРК+ Цеолит, 500 кг/га	0,73	8,08	0,31	0,23	0,02	
НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га	1,27	6,70	0,36	0,22	0,03	
НРК+ Цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га	0,73	9,19	0,32	0,20	0,02	
НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 250 кг/га	0,65	9,18	0,34	0,25	0,03	
НРК+ Цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га	0,54	9,26	0,34	0,24	0,02	
НСР ₀₅	Фактор А	0,08	0,43	0,03	0,02	0,01
	Фактор В	0,10	0,54	0,03	0,02	0,01
ПДК в зерне	30,0	50,0	5,00	0,50	0,10	

Технологическая карта НРК + цеолит, обогащенный карбамидом, 500 кг/га

Культура - кукуруза		Валовый сбор:							Семена: (т)					Удобрения: ц/га всего, т руб/т								
Сорт - Mas 10		Урожай основ. продук., ц/га 84,10 8410 ц							Кукуруза 0,25					Азофоска 0,6 6 34240								
Площадь - 100 га		Урожай побоч. продук., ц/га 100,92 10092 ц							Семена (всего) 25					Цеолит 0,0 0 10000								
Предшественник - Озимая пшеница									300000 руб 6%					Цеолит модифицирова 5,0 50 12000								
N п.п.	Наименование работ	Объем работы			Состав агрегата		Персонал		Норма выра-ботки	Колич. нормо-смен	Затр. тр.ч.час		Расход топлива ц	Элек. энерг. кВт.час	Авто-транс. т км	Тариф. ставка за норму (руб)		Тариф. фонд з/п на весь объем работ		Допол. и пов. оплата (руб.)		Допл. за про-дукц. (руб)
		Колич. га, ц	Кэф. пере-га мя	га мя пахоты	трактор, автомоб.	с-х ма-шина	тракто-рист	прицеп щик			тракто-риста	приц. щика				трак-тов	приц-ков	трак-тов	приц-ков	тр-ров	пр-ков	
1	Лушение стерни	100	11,6	46,4	Т-150	БДТ-7	1	25,00	4,00	28,00	7,77			920	3680,0						920,0	
2	Погрузка мин. удобрений	56	4,9	2,0	ЮМЗ-6	ПЭ-0,8	1	2	140,0	0,40	2,80	0,80	0,31	840	480	336,0	384,0	153,6			84,0	
3	Транспортировка мин. удоб	56	4,9	9,1	ГАЗ-53		1	30,00	1,87	13,07	2,90			30	560	1045,3					261,3	
4	Вспашка Ранневесенние боронование	100	18,9	180,0	К-701	ПЛН-9-35	1	10,5	9,52	66,67	37,00			920	8761,9						2190,5	
5	Внесение гербицидов	100	7,2	36,0	ДТ-75	БЗСС-1	1	20,0	5,00	35,00	4,86			780	3900,0						975,0	
6	Внесение удобрений	100	4,9	4,9	МТЗ-80	ОПШ-15	1	2	100,00	1,00	7,00	2,00	1,04	1130	480	1130,0	960,0			384,0	282,5	
7	Внесение удобрений	56	4,9	2,7	МТЗ-80	РУМ 900	1	2	100,0	0,56	3,92	1,12	0,58	1130	480	632,8	537,6			215,0	158,2	
8	Предпосевная культивация	100	18,9	36,3	К-701	КПС-4	1	52,0	1,92	13,46	7,47			780	1500,0						375,0	
9	Обработка семян и протравливание	25	4,9	24,5	эл.дв.	ПС-10	1	1	5,0	5,00	35,00	5,00	9,71	100	780	480	3900,0	2400,0		960,0	975,0	
10	Погрузка семян	25	4,9	0,9	эл.дв.	ЗПС-100	1	2	140,0	0,18	1,25	0,36	0,35	100	780	480	139,3	171,4		68,6	34,8	
11	Транспортировка семян	25	4,9	4,1	ГАЗ-53		1	30,0	0,83	5,83	1,30			30	560						0,0	
12	Сев с удобрениями	100	4,9	19,6	МТЗ-80	СУПН-8	1	25,0	4,00	28,00	4,14			1130	480	4520,0		1808,0			1130,0	
13	Прикатывание посева 1-я междурядная	100	4,9	8,8	МТЗ-80	ЗККШ-6А	1	56,0	1,79	12,50	1,85			840	1500,0						375,0	
14	обработка 2-я междурядная	100	4,9	23,3	МТЗ-80	КРН-5,6	1	21,00	4,76	33,33	4,93			1480	7047,6			2819,0			1761,9	
15	обработка Сбор початков с	100,0	4,9	25,8	МТЗ-80	КРН-5,6	1	19,00	5,26	36,84	5,45			1480	7789,5						1947,4	
16	обмолотом	100	18,9	126,0	CLAAS ME CONSPER		1	15,00	6,67	46,67	24,09			1350	9000,0		3600,0				2250,0	
17	Транспортировка зерна	8410,0	4,9	234,1	Камаз- 55102		1	176,00	47,78	334,49	148,51			30	560	26759,1					6689,8	
18	Первичная очистка зерна	8410,0		0,0	эл.дв.	Петкус	1	2	100,00	84,10	588,70	#####	261,38	33640	780	480	65598,0	80736,0	26239,2	#####	16399,5	
ИТОГО				784,6					184,6	1292,5	177,5	523,6	33840	90		147239,5	85189,0	34466,2	#####		36809,9	
Затраты на 1 га				7,85					1,85	12,93	1,77	5,24	338	1		1472,40	851,89	344,66	340,76		368,10	
Затраты на 1 ц				0,09					0,02	0,00	0,06	4	0,00			1,75	1,01	0,41	0,41		0,44	
% от общих затрат																						
% от общих затрат																						