

На правах рукописи

Волкова Елена Сергеевна

**ВЛИЯНИЕ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ НА
УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И СВОЙСТВА
ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО В ЛЕСОСТЕПИ
СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Ульяновск – 2025

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

- Научный руководитель:** доктор сельскохозяйственных наук, профессор **Куликова Алевтина Христофоровна.**
- Официальные оппоненты:** **Матыченков Владимир Викторович,** доктор биологических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Пушкинский научный центр биологических исследований Российской академии наук», институт фундаментальных проблем биологии РАН, лаборатория экологии и физиологии фототрофных организмов, ведущий научный сотрудник. **Арефьев Александр Николаевич,** доктор сельскохозяйственных наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет», кафедра почвоведения, агрохимии и химии, профессор кафедры.
- Ведущая организация:** федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный аграрный университет» Екатеринбург.

Защита диссертации состоится «3» апреля 2025 г. в 10⁰⁰ час. на заседании диссертационного совета 99.2.117.03 при ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» по адресу: 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2. Тел. 8(846)6346131

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аграрный университет», на сайте <http://ssaa.ru> и на сайте ВАК Минобрнауки РФ <https://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Троц Наталья Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Озимая пшеница – одна из самых востребованных и высокоурожайных зерновых культур как в Ульяновской области, так и Поволжье в целом. Однако средняя урожайность культуры в данной зоне далека от своей потенциальной возможности и часто не превышает 3,0 т/га.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения продуктивности озимой пшеницы в условиях региона является использование кремниевых удобрений, улучшающих свойства и режимы почвы, активизирующих деятельность почвенных микроорганизмов и тем самым способствующих оптимизации питания сельскохозяйственных культур (Матыченков В.В. и др., 2002; Лобода Б.П. и др., 2003; Куликова А.Х., 2013; Zellener W. et. All, 2021). Установлена высокая эффективность природных кремнийсодержащих пород таких, как диатомиты, цеолиты, бентониты и др. в качестве удобрений. Тем не менее, большинство исследователей приходит к выводу, что агрономическую ценность названных пород можно значительно повысить совместным применением с органическими и минеральными удобрениями с тем, чтобы обеспечить растения всеми элементами питания в оптимальном соотношении (Арефьев А.Н., 2015; Куликова А.Х. и др, 2020; Матыченков В.В. и др., 2022; Оленин О.А., Зудилин С.Н., 2022; Ramesh, K et al, 2011). Следует отметить, что свойства, в том числе кристалло-структурные характеристики кремнистых пород позволяют внедрить в них те или иные элементы и создать, таким образом, высокоэффективные безопасные удобрения нового поколения. В связи с этим представленная диссертационная работа посвящена изучению влияния цеолита и удобрений на его основе, а также сочетания их с минеральными удобрениями на плодородие чернозёма типичного и продуктивность озимой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Исследования являются составной частью плана научной работы ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина» (рег. № АААА–А16–116.041.110.183–9) и поддержаны Грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 19-416-730002 «Научные основы, разработка и испытание биомодифицированных удобрений сельскохозяйственных культур на основе кремнистых пород».

Степень разработанности темы. Необходимость применения цеолитов в производстве сельскохозяйственной продукции приобрела широкое значение за последние два десятилетия, о чем свидетельствует хронологически восходящая тенденция количества публикаций (Матыченков В.В. и др., 2002; Андроникашвили Т.Г., 2008; Гришин Г.Е., 2009; Титова В.И., 2014; Арефьев А.Н. и др., 2015; Белоусов В.С. и др., 2019; Биккинина, Л.М.-Х. и др., 2019; Чекаев Н.П. и др., 2019; Безручко Е.В., 2020; Козлов А.В., 2022; Куликова А.Х. и др., 2022; Ramesh K. et al, 2011; Jakkula V. et al, 2018; Cataldo E., 2021 и др.). В более ранних публикациях также сообщалось о влиянии цеолитов на свойства почвы, а также об их способности

удерживать влагу и питательные вещества в пахотном слое, повышать урожайность культур и снижать поступление тяжелых металлов в продукцию (Сафронов Г.В., 1989; Мустафаев Ю.Х., 1990; Буров А.В., 2000; Лобода Б.П., 2000; Rivero, L., Rodríguez-Fuentes, G., 1988; Mumpton F.A., 1999). Однако изучение эффективности цеолитов при внедрении в них тех или иных элементов (или соединений), в частности, аминокислот и карбамида, в технологии возделывания озимой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья не проводилось.

Цель и задачи исследования. Целью исследований являлась комплексная оценка эффективности применения цеолита Юшанского месторождения Ульяновской области, а также удобрений на его основе при возделывании озимой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Задачи исследования:

- провести полевые опыты с использованием в технологии возделывания озимой пшеницы цеолита, а также удобрений, полученных на его основе обогащением аминокислотами и карбамидом;

- установить влияние цеолита и удобрений на его основе на физические, биологические и химические свойства чернозёма типичного (структурно-агрегатный состав, плотность почвы, содержание продуктивной влаги, водопотребление, микробиологическая активность, агрохимические показатели);

- оценить влияние цеолита как в чистом виде, так и при обогащении его аминокислотами и карбамидом на урожайность и качество зерна озимой пшеницы, в том числе его экологическую безопасность;

- определить баланс элементов питания в черноземе типичном под посевами озимой пшеницы при использовании цеолита и цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, в качестве удобрения;

- дать энергетическую и экономическую оценку технологии возделывания озимой пшеницы с применением экспериментальных удобрений.

Научная новизна. Впервые в условиях лесостепи Среднего Поволжья изучено влияние цеолита и удобрений на его основе, обогащенных аминокислотами и карбамидом, на фундаментальные свойства чернозема типичного (физические, биологические, химические), урожайность и качество зерна озимой пшеницы (в том числе экологическую безопасность). Дана агрономическая, экологическая, экономическая и энергетическая оценка технологии возделывания озимой пшеницы с использованием в качестве удобрения цеолита и цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом.

Методология и методы исследования. Методологической основой исследования явился комплексный подход к изучению изменений свойств и режимов почвы при внесении в нее цеолита и удобрений на его основе, влияния их на формирование урожайности озимой пшеницы и качество продукции. Данная методология определила круг задач, приведенных выше. Используются методы проведения полевых опытов, лабораторных анализов

почвенных и растительных образцов; статистические методы обработки данных, табличное и графическое представление результатов.

Защищаемые положения:

– применение цеолита как в чистом виде, так и удобрений на его основе обогащением аминокислотами и карбамидом способствует улучшению агрофизического состояния почвы, активности почвенных микроорганизмов, её водного и питательного режимов. При этом содержание доступных форм элементов питания в пахотном слое (0-30 см) увеличивалось: азота на 1,9-6,8 мг/кг, фосфора на 2-39 мг/кг, калия на 6-35 мг/кг почвы;

– использование экспериментальных удобрений обеспечивает повышение урожайности озимой пшеницы на естественном фоне на 0,22-0,88 т/га (5-21 %), на фоне NPK на 0,16-0,95 т/га (3-18 %);

– внесение в почву цеолита, а также цеолита, обогащенного карбамидом и аминокислотами, способствует увеличению интенсивности баланса по азоту до 62 %, фосфору до 121 %, калию до 261 %;

– применение в технологии возделывания озимой пшеницы цеолитсодержащих удобрений экономически выгодно, экологически и энергетически эффективно.

Достоверность полученных результатов подтверждается большим количеством экспериментального материала, проведением полевых опытов и лабораторных анализов в строгом соответствии с методическими требованиями и ГОСТами, математической обработкой данных и положительными результатами при использовании данной технологии в ООО «Органические биосистемы».

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

Личный вклад соискателя. Автор непосредственно принимал участие в разработке программы исследований, им лично проведены полевые и лабораторные эксперименты, сделаны математическая обработка экспериментальных данных, анализ и обобщение полученных результатов, а также сформулированы выводы и рекомендация производству.

Апробация работы и публикации. Основные результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на научных конференциях Ульяновского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина (2021-2024 гг.); на VIII Международном военно-техническом форуме «АРМИЯ-2022» Секция «Кремний в системе почва – растение» (Москва, 2022 г.); на Международном форуме «Агробиотехнологии:

достижения и перспективы развития» (Москва, 2023 г.); на Международной научной конференции II Никитинские чтения (Пермь, 2023 г.); на Молодежном форуме «Структурно-функциональное единство почв и сопредельных сред» (Москва, 2024 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 14 научных работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных журналах, 2 статьи в журналах, входящих в международную базу данных Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 173 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 6 глав, выводов и предложения производству, содержит 24 таблицы, 40 рисунков, 27 приложений. Библиографический список включает 176 источников использованной литературы, в том числе 31 – иностранных авторов.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность и благодарность научному руководителю, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Куликовой Алевтине Христофоровне за всестороннюю поддержку и помощь при выполнении работы; а также кандидату сельскохозяйственных наук, доценту Яшину Евгению Александровичу и всему коллективу кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Кремний как элемент питания растений (обзор литературных сведений)

Проведен аналитический обзор литературных сведений по изучаемой проблеме и проанализированы: роль кремния в системе «почва-растение», удобрения на основе кремнийсодержащих веществ, цеолит и цеолитсодержащие породы в качестве кремниевого удобрения озимой пшеницы.

Глава 2. Условия, объекты и методы исследования

Исследования проводили в 2020-2023 гг. на опытном поле Ульяновского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина в двухфакторном полевом опыте по следующей схеме:

1. Контроль - фон 1 (Ф1); 1.1. Фон 1+ цеолит, 250кг/га (Ф1+Ц1); 1.2. Фон 1 + цеолит, 500кг/га (Ф1+Ц2); 1.3. Фон 1 + цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га (Ф1+ЦК1); 1.4. Фон 1 + цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг/га (Ф1+ЦК2); 1.5. Фон 1 + цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га (Ф1+ЦА1); 1.6. Фон 1 + цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га (Ф1+ЦА2); **2. N40P40K40 - фон 2 (Ф2);** 2.1. Фон 2 + цеолит, 250кг/га (Ф2+Ц1); 2.2. Фон 2 + цеолит, 500кг/га (Ф2+Ц2); 2.3. Фон 2 + цеолит, обогащенный карбамидом, 250кг/га (Ф2+ЦК1); 2.4. Фон 2 + цеолит, обогащенный карбамидом, 500кг/га (Ф2+ЦК2); 2.5. Фон 2 + цеолит, обогащенный аминокислотами, 250 кг/га (Ф2+ЦА1); 2.6. Фон 2 + цеолит, обогащенный аминокислотами, 500 кг/га (Ф2+ЦА2).

Технологическая линия обогащения цеолита состоит из 3 этапов: на 1 этапе производится каскадная механическая активация природного цеолита, в результате чего происходит очистка его от примесей. 2 – этап – термическая активация, когда при расчетных температурах происходит удаление цеолитной воды, газообразных и органических примесей. На 3-м этапе производится обогащение подготовленного цеолита водным раствором аминокислотного комплекса или другими компонентами (при необходимости) на специально разработанном оборудовании по специальной технологии. Производство заканчивается сушкой и гранулированием продукта.

Опыт проводили в четырехкратной повторности с рендомизированным расположением делянок. Посевная площадь делянки 40 м² (4x10), учетная – 20 м² (2x10).

Почва опытного участка – чернозем типичный среднесиловый с содержанием гумуса 4,6 %, обеспеченностью подвижными фосфором и калием 155 мг/кг и 176 мг/кг, соответственно, рН_{KCl} 6,7 единиц.

Погодные условия за годы проведения полевых опытов отличались по температурному режиму, количеству выпавших атмосферных осадков, характеру их распределения в течение вегетации культуры. Гидротермический коэффициент по Селянинову за исследуемые периоды составил 0,78 в 2021 году, 0,84 в 2022 году и 0,44 в 2023 году. Данный коэффициент показывает насколько засушливым был вегетационный период. Наиболее благоприятным в этом отношении был 2022 год.

Возделываемая культура - озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Саратовская 17. Основным достоинством данного сорта является сочетание высоких урожайных свойств с хорошими показателями качества.

Технология возделывания озимой пшеницы основывалась на общепринятых в Ульяновской области агротехнических приемах. Экспериментальные удобрения вносили вручную под культивацию перед посевом озимой пшеницы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Глава 3. Влияние цеолита и удобрений на его основе на свойства чернозема типичного

3.1 Физические (структурно-агрегатный состав, плотность почвы, водный режим почвы)

Исследования показали, что количество агрономически ценных агрегатов размерами 0,25-10 мм в почве под посевами озимой пшеницы при применении цеолита, а также удобрений на его основе существенно повышалось и составило на естественном фоне в зависимости от дозы удобрения 63,4 и 69,5 % (на контроле 59,8 %), на фоне NPK соответственно

65,5 и 75,5 %. При этом произошло разуплотнение почвы (рис. 1) и показатели агрофизического состояния почвы приобрели оптимальные значения для культуры.

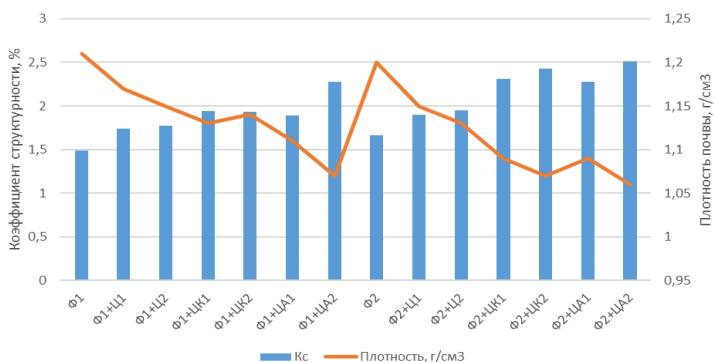


Рисунок 1. Влияние удобрений на плотность пахотного слоя почвы (0-30 см) и коэффициент структурности чернозема типичного под посевами озимой пшеницы

Следует отметить, агрофизическое состояние почвы в значительной степени повлияло на урожайность озимой пшеницы (рис. 2).

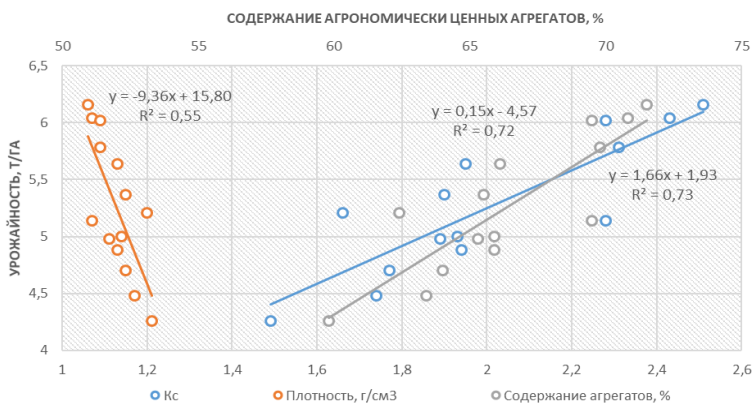


Рисунок 2. Зависимость урожайности озимой пшеницы от агрофизических показателей почвы

В начале вегетационного периода в среднем за три года запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-30 см составляли 49-53 мм в зависимости от дозы цеолита и удобрений на его основе, превышая контроль на 3-7 мм на естественном фоне и на 5-7 мм на фоне минеральных удобрений.

Коэффициент водопотребления по вариантам различался значительно (табл. 1).

Таблица 1 – Коэффициент водопотребления озимой пшеницей по вариантам опыта, 2021-2023 гг.

№ п/п	Вариант	Урожайность зерна, т/га	Коэффициент водопотребления, м ³ /т	Отклонение от фона		Средний по фону
				м ³ /т	%	
1.	Ф1	4,26	508	-	-	452
1.1.	Ф1+Ц1	4,48	478	-30	6	
1.2.	Ф1+Ц2	4,70	456	-52	10	
1.3.	Ф1+ЦК1	4,88	441	-67	13	
1.4.	Ф1+ЦК2	5,00	432	-76	15	
1.5.	Ф1+ЦА1	4,98	432	-76	15	
1.6.	Ф1+ЦА2	5,14	419	-89	18	
2.	Ф2	5,21	411	-	-	376
2.1.	Ф2+Ц1	5,37	401	-10	2	
2.2.	Ф2+Ц2	5,64	382	-29	7	
2.3.	Ф2+ЦК1	5,78	372	-39	10	
2.4.	Ф2+ЦК2	6,04	356	-55	13	
2.5.	Ф2+ЦА1	6,02	357	-54	13	
2.6.	Ф2+ЦА2	6,16	351	-60	14	

Так, в посевах озимой пшеницы на естественном фоне на формирование 1 тонны зерна было использовано от 419 м³/га на варианте с применением цеолита, обогащенного аминокислотами (500 кг/га), до 478 м³/га на варианте с применением цеолита в чистом виде (250 кг/га). Отклонение от фона составило от -30 до -89 м³/га. На минеральном фоне коэффициент водопотребления колебался от 351 м³/га до 401 м³/га на вариантах с применением цеолита, обогащенного аминокислотами (500 кг/га), и цеолита в чистом виде (250 кг/га), соответственно. Таким образом, экспериментальные удобрения способствовали более рациональному расходованию влаги на формирование урожая культуры.

3.2 Биологические (общая биологическая активность)

При рассмотрении интенсивности разложения льняного полотна по годам исследования заметна значительная ее вариабельность (рис. 3).

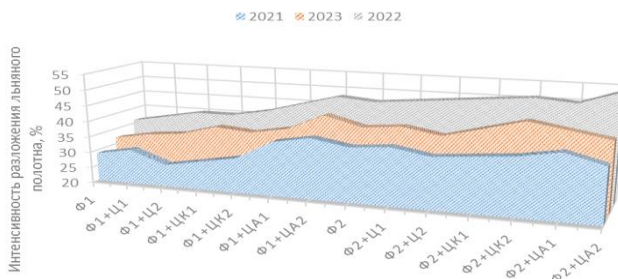


Рисунок 3. Разложение льняного полотна в почве под посевами озимой пшеницы

Благодаря сложившимся благоприятным погодно-климатическим условиям в 2022 году и хорошим запасам продуктивной влаги как в пахотном, так и в метровом слоях степень разложения льняного полотна на естественном фоне варьировала от 36 до 48 %. Применение удобрений на основе цеолита повышало активность целлюлозолитической микробиоты в зависимости от вида и дозы удобрения на 6-33 % (относительных) в сравнении с контролем. На фоне минеральных удобрений эта разница составила от 2 до 15 %.

Анализ показателей корреляционной зависимости урожайности зерна от биологической активности почвы позволяет установить, что степень влияния высокая с показателем коэффициента корреляции 0,9 (рис. 4).

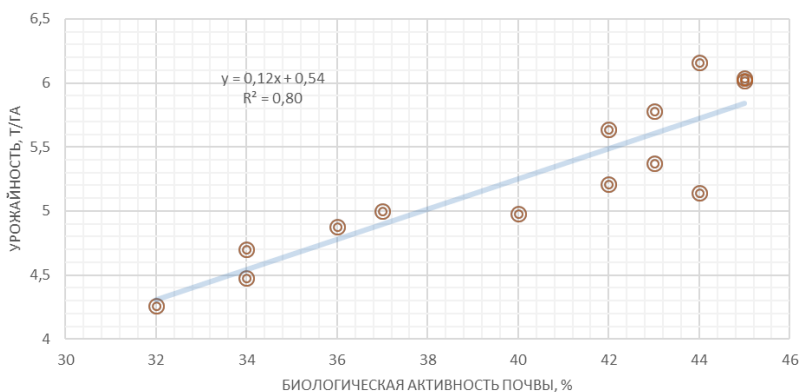


Рисунок 4. Зависимость урожайности озимой пшеницы от биологической активности почвы

Создание оптимальных условий для жизнедеятельности микроорганизмов через улучшение физических и водно-физических свойств почвы обеспечивало улучшение питательного режима почвы и формирование (как будет показано ниже) более высокой урожайности сельскохозяйственной культуры.

3.3 Химические (питательный режим, реакция почвенного раствора)

Внесение в почву цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом, по сравнению с применением породы в чистом виде способствовало более значительному повышению содержания под посевами озимой пшеницы в почвенном растворе минерального азота ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$) на 0,8–1,8 мг/кг (10-22 %). Количество доступных растениям фосфора повысилось от 2 до 10 мг/кг на естественном фоне и от 26 до 39 мг/кг на фоне минеральных удобрений, что подтверждает роль кремниевых соединений в повышении доступности данного элемента. Содержание калия в пахотном

слое почвы возрасло на 6-35 мг/кг, что выше по отношению к контролю на 6-38 % (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние цеолита и экспериментальных удобрений на его основе на агрохимические показатели чернозема типичного под посевами озимой пшеницы

№ п/п	Варианты	N-NO ₃ , мг/кг	N-NH ₄ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
1.	Ф1	5,3	5,6	155	93
1.1.	Ф1+Ц1	6,5	6,3	157	99
1.2.	Ф1+Ц2	6,8	6,6	159	109
1.3.	Ф1+ЦК1	7,5	7,6	164	102
1.4.	Ф1+ЦК2	8,4	8,2	162	105
1.5.	Ф1+ЦА1	8,4	6,2	172	105
1.6.	Ф1+ЦА2	8,0	6,7	172	108
2.	Ф2	8,2	6,8	179	115
2.1.	Ф2+Ц1	8,3	7,3	185	127
2.2.	Ф2+Ц2	8,3	8,1	181	116
2.3.	Ф2+ЦК1	9,4	7,4	194	112
2.4.	Ф2+ЦК2	9,8	7,5	191	112
2.5.	Ф2+ЦА1	9,4	7,8	194	128
2.6.	Ф2+ЦА2	10,1	7,6	194	120
НСР ₀₅	Фактор А	0,49	0,71	2,93	7,00
	Фактор В	0,92	Fф<Fт	5,49	Fф<Fт

Ниже представлена корреляционная зависимость урожайности озимой пшеницы от содержания питательных элементов в пахотном слое почвы (табл. 3).

Таблица 3 – Связь урожайности зерна озимой пшеницы и содержания питательных элементов в почве

Показатели, мг/кг	Коэффициент корреляции	Степень зависимости	Уравнение регрессии
N-NO ₃ +N-NH ₄	0,91	прямая, сильная	y = 0,28x + 0,96
P ₂ O ₅	0,95	прямая, сильная	y = 0,04x - 1,59
K ₂ O	0,78	прямая, сильная	y = 0,05x + 0,02

Несмотря на высокую обеспеченность почвы подвижными формами биогенных элементов, применение цеолита и удобрений на его основе позволили улучшить минеральное питание растений и сформировать существенную прибавку урожая зерна озимой пшеницы.

В нашем исследовании отмечали повышение эффективности использования растениями микроэлементов из почвы при добавлении в нее цеолита и цеолита, обогащенного аминокислотами и карбамидом. Аналогичные результаты приводятся в разных литературных источниках.

Почва опытного поля Ульяновского ГАУ чернозем типичный с нейтральной реакцией среды, обладает высокой буферностью в отношении подкисления, в связи с этим существенных изменений кислотности данной почвы при внесении цеолита и удобрений на его основе не происходило.

Глава 4. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от применения в технологии ее возделывания цеолита и удобрений на его основе

Внесение цеолита и удобрений на его основе оказало положительное влияние на физическое, биологическое состояние и питательный режим почвы, что способствовало формированию более высокой урожайности зерна озимой пшеницы (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние цеолита и экспериментальных удобрений на его основе на урожайность зерна озимой пшеницы, т/га

№ п/п	Варианты	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Средняя за 3 года	Отклонение от фона		Средняя по фону
						т/га	%	
1.	Ф1	3,37	5,27	4,14	4,26	-	-	4,77
1.1.	Ф1+Ц1	3,61	5,44	4,38	4,48	+0,22	5	
1.2.	Ф1+Ц2	3,77	5,86	4,48	4,70	+0,44	10	
1.3.	Ф1+ЦК1	4,08	5,99	4,57	4,88	+0,62	15	
1.4.	Ф1+ЦК2	4,17	6,18	4,64	5,00	+0,74	17	
1.5.	Ф1+ЦА1	4,04	6,06	4,84	4,98	+0,72	17	
1.6.	Ф1+ЦА2	4,12	6,29	5,02	5,14	+0,88	21	
2.	Ф2	4,13	6,33	5,16	5,21	-	-	5,75
2.1.	Ф2+Ц1	4,40	6,49	5,22	5,37	+0,16	3	
2.2.	Ф2+Ц2	4,60	6,98	5,35	5,64	+0,43	8	
2.3.	Ф2+ЦК1	4,78	7,16	5,41	5,78	+0,57	11	
2.4.	Ф2+ЦК2	5,27	7,33	5,53	6,04	+0,83	16	
2.5.	Ф2+ЦА1	5,17	7,20	5,69	6,02	+0,81	16	
2.6.	Ф2+ЦА2	5,25	7,39	5,85	6,16	+0,95	18	
НСР ₀₅	Фактор А	0,14	0,15	0,14	0,10			
	Фактор В	0,25	0,28	0,26	0,15			
	Взаимосвязь АВ	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт			

Естественное плодородие почвы позволило сформировать в среднем за 3 года урожайность озимой пшеницы в 4,26 т/га. Внесение в почву цеолита и экспериментальных удобрений на его основе увеличило урожайность зерна на 0,22 и 0,88 т/га (5-21 %), соответственно.

Максимальную прибавку урожайности на минеральном фоне наблюдали при применении цеолита, обогащенного аминокислотами (500 кг/га), что на 0,95 т/га больше по сравнению с фоном.

Средняя урожайность по естественному агрофону составила 4,77 т/га, по минеральному – 5,75 т/га.

2022 год был наиболее высокопродуктивным и урожайность зерна достигала на естественном и минеральном фонах 6,29 и 7,39 т/га соответственно. В 2021 и 2023 гг. сложившиеся погодно-климатические условия такие, как недостаточное количество осадков после посева и во время возобновления вегетации, высокий температурный режим на протяжении всего периода вегетации, низкий гидротермический коэффициент увлажнения являлись снижающими урожайность факторами.

Дисперсионный анализ урожайности озимой пшеницы за 2021-2023 годы показал, что 61-72,3 % изменений уровня урожайности вызваны влиянием фона, влияние экспериментальных удобрений составило от 23,2 до 33 % (рис. 5).

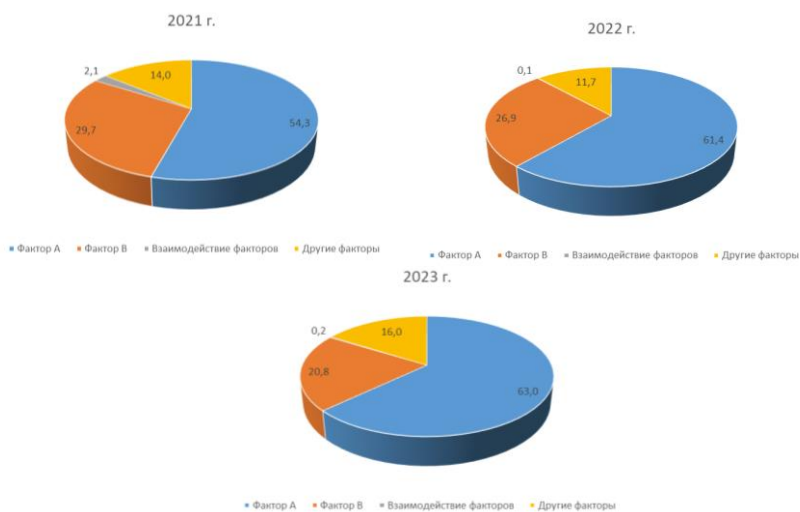


Рисунок 5. Вклад изучаемых факторов в формирование урожайности озимой пшеницы

В нашем случае 99,0 % вариаций урожайности зерна озимой пшеницы могут быть объяснены содержанием запасов продуктивной влаги и элементов питания в пахотном слое почвы. При этом в формировании урожайности зерна озимой пшеницы доля запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы составляет 22 % (x_1), содержание доступного

минерального азота 27 % (x_2), подвижных фосфора и калия 28 (x_3) и 23 % (x_4) соответственно.

Оценочное уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$y = -2,418 + 0,032x_1 + 0,093x_2 + 0,028x_3 - 0,003x_4$$

Качество продукции

Влияние системы удобрения на качественные характеристики зерна озимой пшеницы представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные показатели качества зерна озимой пшеницы, % (2021-2023 гг.)

Варианты	Азот	Фосфор	Калий	Белок	Клейковина	ИДК, ед.	
Ф1	1,92	0,61	0,26	10,94	21,53	83	
Ф1+Ц1	1,99	0,68	0,27	11,34	23,20	86	
Ф1+Ц2	1,98	0,68	0,26	11,31	24,83	82	
Ф1+ЦК1	1,99	0,71	0,26	11,32	25,23	81	
Ф1+ЦК2	2,03	0,64	0,27	11,57	25,20	85	
Ф1+ЦА1	2,11	0,70	0,28	12,01	25,70	83	
Ф1+ЦА2	2,07	0,72	0,28	11,82	24,77	84	
Ф2	2,15	0,73	0,27	12,24	25,27	83	
Ф2+Ц1	2,12	0,71	0,28	12,07	25,47	82	
Ф2+Ц2	2,13	0,76	0,30	12,12	26,50	87	
Ф2+ЦК1	2,12	0,73	0,29	12,08	26,67	85	
Ф2+ЦК2	2,18	0,76	0,29	12,43	26,53	83	
Ф2+ЦА1	2,15	0,75	0,29	12,27	26,43	77	
Ф2+ЦА2	2,15	0,78	0,30	12,27	26,40	83	
НСР ₀₅	Фактор А	0,05	0,03	0,01	0,27	0,78	3,26
	Фактор В	0,09	0,06	0,02	0,50	1,46	Fф<Fт

Улучшение питательного режима при внесении цеолита с азотсодержащими соединениями (карбамид и аминокислоты) в критические фазы роста озимой пшеницы позволило увеличить уровень содержания белка и клейковины в зерне озимой пшеницы на 0,37-1,07 % и 1,67-4,17 % по отношению к контролю соответственно. На фоне минеральных удобрений наиболее эффективными были варианты с применением цеолита, обогащенного аминокислотами, в дозе 250 кг/га и цеолита, обогащенного карбамидом в дозе 500 кг/га (содержание белка 12,27 % и 12,43 %).

Экологическая безопасность

Применение цеолита и использование его в качестве удобрения озимой пшеницы позволяет снизить поступление тяжелых металлов в продукцию: меди на 11-16 %, цинка – на 6-25 %, никеля на 11-36 %, свинца – на 27-65 % и на 27-50 % кадмия в зависимости от дозы и обогащения аминокислотами и карбамидом. На фоне минеральных удобрений также наблюдалось уменьшение поступления тяжелых металлов в продукцию, но в меньшей степени.

Содержание в зерне озимой пшеницы тяжелых металлов не

превышало предельно допустимые концентрации химических веществ за исключением никеля на варианте с применением минеральных удобрений, где уровень содержания элемента в продукции составил 0,5 мг/кг, что является границей предельно допустимого количества. Наибольшее содержание практически всех элементов отмечали на контрольном варианте (без удобрений) и на фоне минеральных удобрений ($N_{40}P_{40}K_{40}$).

Глава 5. Баланс элементов питания в черноземе типичном под посевами озимой пшеницы

На всех вариантах как на естественном фоне, так и минеральном наблюдали отрицательный баланс по азоту. Повышенный уровень азотного питания озимой пшеницы, обусловленный действием удобрений, оказал положительное влияние на урожайность культуры, что свидетельствует об активном использовании потребляемого ею азота в процессах обмена веществ и достаточном количестве N для формирования высокой ее урожайности.

Вынос фосфора компенсировался внесением удобрений и поступлением его в почву на минеральном фоне. При этом наблюдался небольшой положительный баланс, который составлял в зависимости от применяемой системы удобрения от 1,28 до 8,1 кг/га. На естественном фоне баланс фосфора отрицательный, однако использование удобрений на основе цеолита позволило сократить разницу на 5-28 % в зависимости от дозы вносимого удобрения по отношению к контрольному варианту.

Выращивание озимой пшеницы на естественном фоне приводило к дефициту калия в черноземе типичном на -9,22 кг/га. Применение цеолита в дозе 250 кг/га способствовало снижению отрицательного баланса до -0,22 кг/га, а с увеличением дозы до 500 кг/га он становился положительным (1,94 кг/га). На минеральном фоне баланс калия положительный на всех вариантах за счет применения минеральных удобрений и колебался от 27,76 до 37,08 кг/га.

Внесение в почву цеолита как в чистом виде, так и обогащенного аминокислотами и карбамидом повышало интенсивность баланса элементов питания (NPK) в большей степени на фоне минеральных удобрений. При этом интенсивность баланса по азоту составляла до 62 %; по фосфору 121 %, по калию 286 %.

Глава 6. Экономическая и энергетическая оценка технологии возделывания озимой пшеницы с применением экспериментальных удобрений

Экономическая эффективность

Анализ экономической эффективности возделывания озимой пшеницы с использованием удобрений на основе цеолита показал, что наиболее высокую рентабельность производства имеют варианты с применением в качестве

удобрения цеолита при обогащении его карбамидом и аминокислотами в дозах 250 кг/га с уровнем рентабельности 45 и 46 % (на контроле 40 %). В этом отношении система удобрения с применением только минеральных удобрений уступает (41 %). На фоне минеральных удобрений лучший экономический эффект наблюдали при применении цеолита, обогащенного аминокислотами (250 кг/га), где рентабельность составила 48 %.

Следует отметить, что использование цеолита, обогащенного аминокислотами, не приводит к максимальному повышению продуктивности озимой пшеницы, но позволяет получать продукцию с меньшими производственными затратами и более высоким уровнем рентабельности, что очень важно в современных экономических условиях ведения аграрного бизнеса.

Энергетическая эффективность технологии возделывания озимой пшеницы

Энергозатраты, пошедшие на производство зерна, полностью окупались выходом валовой энергии на всех опытных вариантах, однако эффективность их была различна. Максимальный коэффициент биоэнергетической эффективности как на естественном, так и на минеральном фоне был у варианта с использованием цеолита, обогащенного аминокислотами (250 кг/га) и составил 3,03 и 3,07, соответственно. Наименьшей энергетической эффективностью обладали варианты с применением в системе удобрения цеолита в дозе 500 кг/га как на естественном, так и на минеральном фоне.

Заключение

1. Применение цеолита и экспериментальных удобрений на его основе в системе удобрения озимой пшеницы способствовало улучшению структурного состояния и разуплотнению пахотного слоя чернозема типичного (0-30 см): содержание агрономически ценных агрегатов увеличивалось до 69,5 % на естественном фоне и до 70,8 % на фоне минеральных удобрений (на контроле 59,8 %). Плотность пахотного слоя почвы составила от 1,17 до 1,07 г/см³ (на контроле 1,21 г/см³). На фоне минеральных удобрений аналогичная закономерность сохранялась. Экспериментальные удобрения способствовали более рациональному расходованию влаги на формирование урожая культуры.

2. Внесение удобрений на основе цеолита при обогащении его карбамидом и аминокислотами сопровождалось увеличением запасов продуктивной влаги в почве. В начале вегетационного периода запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы (0-30 см) составляли в зависимости от дозы цеолита и удобрений на его основе 49-53 мм, превышая контроль на 3-7 мм, в метровом слое почвы на 1-4 мм.

3. Внесение в почву цеолита и удобрений на его основе способствовало повышению активности почвенных микроорганизмов.

Наиболее высокую активность микроорганизмов наблюдали на вариантах с внесением цеолита, обогащенного аминокислотами, и на аналогичных вариантах на фоне минеральных удобрений, где превышение показателей относительно контроля составило 8-12 % и 12-13 %, соответственно.

4. Цеолитсодержащие удобрения, внесенные в почву как отдельно, так и на минеральном фоне способствовали увеличению содержания в ней доступных форм основных элементов минерального питания. В среднем за 3 года в пахотном слое (0-30 см) под посевами озимой пшеницы повышение содержания минерального азота по отношению к контролю составило 1,9-3,8 мг/кг, фосфора 2-17 мг/кг и калия 6-15 мг/га на естественном фоне и соответственно на 4,7-6,8 мг/кг ($N-NO_3^-+N-NH_4^+$), 30-39 мг/кг P_2O_5 и 19-35 мг/га K_2O на фоне NPK.

5. Использование цеолита и цеолита, обогащенного карбамидом и аминокислотами, в системе удобрения озимой пшеницы обеспечило повышение урожайности зерна экспериментальной культуры от 0,22 до 0,88 т/га на естественном фоне и на 0,16-0,95 т/га минеральном. Наибольшие прибавки урожайности зерна по отношению к фонам отмечали на вариантах с применением цеолита в дозе 500 кг/га как в чистом виде (0,88 т/га), так и обогащенного аминокислотами (0,95 т/га).

6. При использовании цеолита и удобрений на его основе в технологии возделывания озимой пшеницы происходило улучшение показателей качества зерна и составило: содержание белка 12,3 %, клейковины 23,9 % на естественном фоне, 12,1 % и 24,2 %, соответственно, на минеральном фоне на варианте с применением цеолита, обогащенного аминокислотами (250 кг/га).

7. Применение цеолита в качестве удобрения является экологически безопасным приемом, способствующим снижению поступления тяжелых металлов в основную продукцию: меди на 11-16 %, цинка – на 6-25 %, никеля на 11-36 %, свинца – на 27-65 % и на 27-50 % кадмия в зависимости от дозы и обогащения аминокислотами и карбамидом. На фоне минеральных удобрений наблюдали такую же закономерность, но в меньшей степени.

8. Внесение в почву цеолита, а также цеолита, обогащенного карбамидом и аминокислотами, способствовало повышению интенсивности баланса в почве под посевами озимой пшеницы по азоту до 41 % и 62 % на естественном и минеральном фонах, соответственно. Интенсивность баланса по фосфору составила 19-34 % на естественном фоне и 103-121 % на минеральном. Интенсивность баланса по калию наиболее высокая и составила 261 % на минеральном и 113 % на естественных фонах.

9. Экономически эффективно использование в системе удобрения озимой пшеницы цеолита при обогащении его аминокислотами. Наиболее высокий уровень рентабельности производства зерна культуры в 46 % и 48 % обеспечил вариант с использованием цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 250 кг/га на естественном и минеральном фонах, соответственно. Максимальный доход с одного гектара как на естественном,

так и минеральном фонах обеспечивала система удобрения с применением цеолита, обогащенного аминокислотами, в дозе 250 кг/га и составил 17347,0 и 21533,5 руб. (на контроле 13496 руб./га).

10. Наиболее энергетически эффективными являлись технологии возделывания озимой пшеницы с применением цеолита, обогащенного аминокислотами в дозе 250 кг/га как на естественном фоне, так и на фоне минеральных удобрений (коэффициенты биоэнергетической эффективности – 3,03 и 3,07, соответственно).

Предложение производству

При возделывании озимой пшеницы на черноземе типичном в условиях лесостепи Среднего Поволжья с целью оптимизации системы удобрения и повышения урожайности и качества зерна сельскохозяйственным товаропроизводителям рекомендуем использовать цеолит, обогащенный аминокислотами, в дозе 250 кг/га.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В дальнейшем актуально изучение эффективности действия и последствия цеолита и экспериментальных удобрений на его основе на фундаментальные свойства почвы, влияния их на урожайность зерновых культур в севообороте. Исследование данных аспектов целесообразно проводить не только в условиях лесостепной, но лесной и степной зонах Среднего Поволжья.

Список работ в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ

1. Волкова, Е.С. Кремнистые породы в системе удобрения озимой пшеницы / А.Х. Куликова, Е.А. Яшин, Е.С. Волкова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3(51). – С. 53-59.
2. Волкова, Е.С. Влияние систем удобрения на плодородие чернозема типичного и урожайность озимой пшеницы / А.Х. Куликова, Е.С. Волкова, Е.А. Яшин, Е.А. Черкасов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4(60). – С. 32-37.
3. Волкова, Е.С. Влияние органической, органоминеральной и минеральной систем удобрения на свойства почвы и урожайность озимой пшеницы в Среднем Поволжье / А. Х. Куликова, Е. А. Яшин, А. Е. Яшин, Е. С. Волкова // Агрохимия. – 2022. – № 2. – С. 13-21.
4. Волкова, Е.С. Цеолит и удобрения на его основе в системе удобрения озимой пшеницы / А. Х. Куликова, Е. А. Яшин, Е. С. Волкова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2(66). – С. 84-89.

Публикации в изданиях Scopus

5. Volkova, E. The yield formation of winter wheat under the influence of fertilization systems using two field experiments as an example / A. Kh. Kulikova, E. S. Volkova, E. A. Yashin [et al.] // II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023), Ufa, Russia, 03–05 июля 2023 года. Vol. 71. – Les Ulis Cedex A, France: EDP SCIENCES S A, 2023. – P. 1053.

6. Volkova, E. The Role of Organic Fertilizers and Zeolite in Growing Organic Produce / A. Kulikova, V. Isaichev, E. Yashin, E. Volkova and M. Cherkasov // INTERAGROMASH 2022, LNNS 575, 536242_1_En, Chapter 266.

Публикации в других изданиях

7. Волкова, Е.С. Баланс элементов питания в почве и урожайность озимой пшеницы на фоне внесения кремниевых удобрений на черноземах лесостепи Поволжья / Е.С. Волкова // Кремний и жизнь. Кремнистые породы в сельском хозяйстве: Материалы Национальной научно-практической конференции с Международным участием, Ульяновск, 08–09 апреля 2021 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2021. – С. 32-40.

8. Волкова, Е.С. Содержание тяжелых металлов в почвах опытного поля Ульяновского ГАУ и приёмы их детоксикации / Е.С. Волкова, И.В. Разенков // Актуальные вопросы аграрной науки: Материалы Национальной научно-практической конференции, Ульяновск, 20–21 октября 2021 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2021. – С. 27-30.

9. Волкова, Е.С. Влияние систем удобрения на питательный режим почвы / Е. С. Волкова // В мире научных открытий: Материалы VI Международной студенческой научной конференции, Ульяновск, 24–25 мая 2022 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2022. – С. 34-37.

10. Волкова, Е.С. Влияние систем удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур и экономическая оценка их эффективности / А.Х. Куликова, Е.А. Яшин, Е.С. Волкова // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: Материалы XIII Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Ульяновского ГАУ, Ульяновск, 23 июня 2023 года / Редколлегия: И.И. Богданов [и др.]. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2023. – С. 49-56.

11. Волкова, Е.С. Влияние кремниевых пород на урожайность сельскохозяйственных культур и плодородие почвы / А.А. Пятова, Е.С. Волкова // II Никитинские чтения «Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии в природных и антропогенных ландшафтах»: Материалы Международной научной конференции, посвященной первому

профессору почвоведения на Урале, заведующему кафедрой почвоведения (1924-1932) Василию Васильевичу Никитину, 100-летию первой кафедры почвоведения на Урале, 140-летию науки почвоведения, Пермь, 14–17 ноября 2023 года. – Пермь: Издательство «От и До», 2023. – С. 238-243.

12. Волкова Е.С. Приемы снижения поступления тяжелых металлов в сельскохозяйственную продукцию / Разенков И.В., Волкова Е.С. // «Ремедиация почв: инновационные подходы к восстановлению экологических функций: материалы Международной молодежной научной школы» в рамках Международного форума «Агробиотехнологии: достижения и перспективы развития», 2023. – С. 160-165.

13. Волкова, Е.С. Влияние цеолита и удобрений на его основе на агрофизические свойства почвы при возделывании сельскохозяйственных культур / Е.С. Волкова, А.А. Пятова // Материалы II Международной научной конференции «Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы» в рамках молодежного форума «Структурно-функциональное единство почв и сопредельных сред», 2024. – С. 598-604.

14. Волкова, Е.С. Эффективность кремнийсодержащих материалов при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях Среднего Поволжья / А.Х. Куликова, Е.А. Яшин, Е.С. Волкова, П.П. Смирнов // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Диатомит - 21 век. Инновации и перспективы», 2024 – С. 39-48.

Отпечатано в типографии
Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина
Подписано в печать 31.01.2025. Формат 60x84/16
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл.печ.л. 1,1. Заказ 2. Тираж 100 экз.
432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1