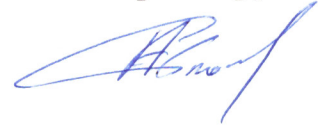


На правах рукописи



Плотников Алексей Михайлович

**ФОРМИРОВАНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЁМА
ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В АГРОЛАНДШАФТАХ
ЛЕСОСТЕПНОГО ЗАУРАЛЬЯ**

Специальность 4.1.3 Агрохимия, агропочвоведение,
защита и карантин растений

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
доктора сельскохозяйственных наук

Москва - 2025

Работа выполнена на кафедре землеустройства, земледелия, агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет»

Научный консультант: **Абрамов Николай Васильевич**,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Официальные оппоненты: **Воронкова Наталья Артёмовна**,
доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», профессор кафедры химии и химической технологии

Холодов Владимир Алексеевич,
доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ
ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», заведующий лабораторией органического вещества и биохимии почв

Троц Наталья Михайловна,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет», декан агрономического факультета, заведующая кафедрой агрохимии, почвоведения и агроэкологии

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «26» июня 2025 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.006.01 при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», 127434, Москва, ул. Прянишникова, 31а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» и на сайте: https://www.vniia-pr.ru/upload/iblock/c90/gc3o6o94ebhoxxy60jr6nyl1cocadslo/plotnikov_diss_03_03_2025.pdf

Автореферат разослан «___» «_____» 2025 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а, учёному секретарю диссертационного совета.

E-mail: dissovet_vniia@mail.ru

**Учёный секретарь
диссертационного совета**



Л.В. Никитина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Чернозёмы – золотой фонд аграрного сектора, однако, вовлеченные в оборот, они формируются в условиях постоянного дефицита органического вещества на фоне процессов выщелачивания и повышенного биогенного выноса катионов щелочноземельных металлов. Это приводит к снижению эффективного плодородия чернозёмов, наблюдается уменьшение запасов гумуса, доступных форм питательных веществ, рост подкисления почв, разрушается ППК и почвенная структура (Шеуджен, 2015; Сычёв др., 2020; Завалин, 2022). Эти неблагоприятные процессы приводят к ухудшению агрохимических и агрофизических свойств почв, что отрицательно влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур и качество продукции.

Стабильное функционирование агроландшафтов – одна из важнейших задач, имеющая первостепенное значение для развития агропромышленного комплекса страны (Шарков, 2016, Бобренко, 2021). Переход на цифровые технологии в отрасли растениеводства позволяет учитывать множество изменяющихся факторов, влияющих на плодородие чернозёма. Разрабатываемые математические модели дают возможность понять и спрогнозировать вектор изменения свойств почвы, выявить взаимодействия между участниками агроэкосистемы. Это ставит результаты экспериментов на новый, более аргументированный уровень объективности оценки происходящих процессов в почве.

В этой связи необходимы исследования по определению оптимальных параметров основных показателей почвенного плодородия в современных условиях и способов их регулирования. На основе обобщения экспериментальных данных и анализа информации с помощью математических методов можно определить действие технологических приёмов на продуктивность севооборотов, качество продукции и плодородие почвы.

Цель исследований – провести оценку процессов трансформации параметров плодородия черноземов при различных уровнях антропогенной нагрузки, дать научное обоснование агротехническим приёмам, обеспечивающим оптимальные показатели свойств чернозёмов и получение максимальной урожайности зерновых культур Зауралья.

Задачи исследований:

1. Дать научно-обоснованную оценку становления эффективного плодородия чернозёма в условиях лесостепи Зауралья.
2. Установить процесс формирования агрохимических, физико-химических и агрофизических свойств чернозёма в системе зернопаровых севооборотов и обработки почвы агроландшафтов.
3. Оценить роль органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов в трансформации параметров плодородия чернозёма.
4. Определить влияние органоминеральной системы удобрения и химических мелиорантов на величину урожая и качество продукции зерновых культур.
5. Уточнить баланс и вынос элементов питания в зернопаровых севооборотах при различном уровне насыщения.
6. Установить взаимосвязь агрохимических приемов и продуктивности зерновых культур.
7. Определить экономическую эффективность достигнутых параметров почвенного плодородия.

Степень разработанности темы исследований

Вопросы плодородия почв и питания растений нашли отражение в полевых опытах разных почвенно-климатических зон страны (Гамзиков, 2013; Кирюшин,

2015; Минеев и др., 2017), в том числе лесостепного Зауралья (Егоров, Кривонос, 1995; Кузнецов, Егоров, 2001; Волынкина О.В. и др., 2017), которые свидетельствуют о тесной связи факторов почвенного плодородия с продуктивностью агроценозов. При этом ученые отмечают деградацию почвенного плодородия, что выражается в снижении содержания гумуса, дисбалансе элементов питания и ухудшении агрофизических свойств почв.

Разработанные ранее агротехнологии становятся неактуальными, так как почва, как объект исследований существенно изменилась и не в лучшую сторону. В Зауралье процессы деградации достигли за пятьдесят лет катастрофического уровня. Содержание гумуса в старопахотных чернозёмах снизилось до уровня 3,5-4,0 %.

В оценке процесса формирования почвенного плодородия на современном этапе следует провести переоценку роли севооборотов, удобрений, средств химизации в сохранении плодородия. В условиях цифровизации, используя математический программный аппарат, раскрыть регрессионные зависимости, объясняющие взаимодействия компонентов в агроландшафтах.

Научная новизна. Впервые в условиях лесостепного Зауралья дана оценка современным процессам трансформации плодородия чернозёмов пашни, залежи и целины. При длительном сельскохозяйственном использовании, за период 43-55 лет исследований, чернозёмы приобретают признаки деградации – снижение суммы обменных оснований до 33,9 %; увеличение обменной кислотности на 19,2-20,2 %; уплотнение верхних пахотных горизонтов на 8,5-33,3 % до 1,38 г/см³, разрушение структуры и снижение коэффициента структурности, утяжеление гранулометрического состава. В легкосуглинистых разновидностях чернозёма относительное снижение содержания гумуса составило 30,1 %, в тяжелосуглинистых 16,6 %.

При совместном применении извести в дозах 2-3 т/га и органических удобрений выявлено снижение избыточной кислотности в зернопаровых севооборотах, где происходит замена в почвенно-поглощающем комплексе обменного водорода на кальций. Отмечено снижение актуальной кислотности на 0,21-0,25, обменной на 0,17-0,24 ед. чернозёма из расчета на одну тонну извести. Использование органических удобрений в севооборотах улучшало агрофизические свойства чернозёма: плотность сложения почвы на 0,01-0,10 г/см³, общую пористость на 0,3-2,3 %.

Расчеты баланса гумуса показали, что доза в 40 т/га полуперепревшего навоза компенсировала минерализацию гумуса в севообороте на 113,6 %, а сапропель в дозе 20 т/га – на 81,6 %.

Предложены пути повышения коэффициентов использования питательных веществ удобрений на основе комплексного использования кальцийсодержащих соединений с органическими и минеральными удобрениями. Коэффициент использования азота минерального удобрения составлял 19,8-53,5 %, на фоне известкования и гипсования он повышался до 57 %, фосфора (P₂O₅) с 10,5 до 26-27 %. На фоне 40 кг/га полимерного гидрогеля коэффициенты использования элементов минеральных удобрений достигали в среднем по дозам 42,6-78,1 % (N) и 16,5-38,7% (P).

Установлено, что погодные условия оказывают значительное влияние на эффективность применения удобрений. Корреляционное отношение между урожайностью зерновых культур и значением ГТК составило 0,48, с применением минеральных удобрений – 0,66. Погодный фактор вегетационных периодов определял урожайность культур, в основном, суммой выпавших осадков (на 32,5 %) вне зависимости от минерального питания.

На основе полевых опытов выявлены регрессионные зависимости, позволяющие определить роль отдельных агрохимических факторов и их совокупностей в формировании продуктивности агроценозов. Проведена оценка влияния на урожайность таких

факторов, как нормы и виды удобрений в отдельности и в совокупности. Доказано наличие средней парной связи между агрохимическими приемами и продуктивностью растений. Наиболее полно зависимость описывалась в уравнениях нелинейной множественной регрессии ($r=0,89-0,96$), при применении сапропеля корреляционное отношение было 0,98. Зависимость между урожайностью и дозами азотно-фосфорного удобрения, а также птичьего помета была сильная – 0,70 и 0,66 соответственно. Изменения урожайности в большей степени были обусловлены дозами органического и минеральных удобрений ($r = 0,99$), для описания этой связи предложено уравнение линейной множественной регрессии. Полученные в работе регрессионные модели зависимостей служат основой собственного программного обеспечения для своевременного решения производственных вопросов использования удобрений и химических мелиорантов.

Корреляционно-регрессионный анализ позволил выявить ряд неизвестных ранее зависимостей агрохимических приемов повышения уровня плодородия чернозёма и урожайности зерновых культур. Это позволяет более эффективно совершенствовать мероприятия по повышению продуктивности агроценозов и осуществлять прогнозирование урожайности в условиях лесостепного Зауралья.

Установлены оптимальные параметры свойств почвенного плодородия чернозёма выщелоченного которые обеспечивают наибольшую продуктивность зернопаровых севооборотов при содержании гумуса 3,8 % и выше: содержание подвижного фосфора – 95-165 мг/кг, калия – 135-190 мг/кг; ёмкость катионного обмена – 28-35 мг.-экв. / 100 г почвы; степень насыщенности основаниями – 88-93 %; кислотность актуальная – 6,3-7,0 ед., обменная – 5,4-6,0 ед.; количество агрономически ценных агрегатов – 63,0-72,0 %; коэффициент структурности – 1,7-2,5; плотность сложения – 1,07-1,15 г/см³; общая пористость – 56,0-59,0 %,

Теоретическая значимость работы. Установлены показатели агрофизических и агрохимических свойств, баланса азота, фосфора, калия, кальция в агроценозах. Разработана теоретическая основа построения систем удобрения, обеспечивающая оптимальные параметры плодородия чернозёма и получение планируемых урожаев. На чернозёме выщелоченном предложены регрессионные модели связей агрохимических факторов с продуктивностью зерновых культур.

Практическая значимость работы. Результаты исследований могут быть использованы в системе земледелия для улучшения агрофизических, агрохимических показателей плодородия чернозёмных почв, роста урожайности возделываемых культур на 20-30 %, получения продукции высокого качества.

Для повышения уровня рентабельности производства зерновых культур предложена органоминеральная система удобрений с использованием азотно-фосфорных удобрений, навоза полуперепревшего, извести, гипса и их сочетаний.

Результаты по исследованию зависимости урожайности зерновых культур от доз и видов агрохимикатов с использованием регрессионных функций могут быть использованы для формирования базовых моделей и алгоритмов в программном обеспечении цифровизации сельского хозяйства.

Основные защищаемые положения:

1. Трансформация плодородия чернозёмных почв Зауралья при длительном использовании для производства сельскохозяйственной продукции.
2. Оптимизация параметров эффективного плодородия чернозёма выщелоченного позволяет увеличить урожайность зерновых культур.
3. Органоминеральная система удобрения, обеспечивает повышение продуктивности зернопаровых севооборотов в агроландшафтах лесостепной зоны Зауралья.
4. Баланс основных элементов питания в ротации севооборотов зависит от количества внесенных удобрений и урожайности зерновых культур.

5. Регрессионные уравнения действия норм и видов удобрений на продуктивность растений для прогнозирования урожайности и уровня качества зерновых культур.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов исследований обеспечена методической основой проведения полевых экспериментов и обработки данных, многолетними наблюдениями и большим объемом полевых исследований на протяжении 20 лет на различных объектах в лесостепном Зауралье, в том числе на опытном поле Курганской ГСХА, достаточной повторностью отбора проб и биометрических показателей в полевых экспериментах с последующей статистической обработкой данных. Отбор проб и лабораторные анализы проведены в соответствии с принятыми ГОСТами и утвержденными методиками. Результаты исследований опубликованы в рецензируемых журналах.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на ежегодных научных конференциях Курганской ГСХА (Курган, 2004, 2008-2010, 2013, 2015-2018, 2020, 2022), Международных научно-практических конференциях (Москва, 2004, 2006; Ставрополь, 2005, 2013; пос. Персиановский, 2010; Тюмень, 2010; Саратов, 2011, 2013; Екатеринбург, 2011, 2015), Всероссийских научно-технических конференциях (Челябинск, 2009, 2014), Всероссийских научно-практических конференциях (Киров, 2004; Томск, 2012; Ижевск, 2015, 2016).

Личный вклад соискателя. Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева» (в настоящее время ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет») в 2001-2023 годах. Разработка программы исследований, полевые и лабораторные работы, математическая обработка, экономическая оценка, анализ и интерпретация полученных результатов, формулирование выводов и предложений производству выполнены лично соискателем в рамках плана НИР кафедры землеустройства, земледелия, агрохимии и почвоведения.

Проведен всесторонний анализ развития деградационных процессов чернозёмов Зауралья, изучено их современное состояние, рассмотрены особенности природных и антропогенного факторов и трансформация свойств почв в результате сельскохозяйственной нагрузки на почвенный покров, пути сохранения плодородия от деградации.

Производственная проверка полученных результатов осуществлялась в 2020-2023 годах на площади 7582 га. Акты о внедрении прилагаются к диссертации.

Публикации. По материалам исследований опубликовано 56 работ, в том числе 17 – в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, патент на изобретение, монография.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 396 страницах печатного текста. Работа состоит из введения, 8 глав, заключения, предложений производству, содержит 109 таблиц, 27 рисунков и 93 приложения. Список литературы включает 581 источник, в том числе 31 зарубежных авторов.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность за ценные советы и постоянную поддержку научному консультанту, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Николаю Васильевичу Абрамову. Автор благодарит за помощь в проведении исследований и консультации сотрудников кафедры землеустройства, земледелия, агрохимии и почвоведения Созинова А.В., Яковлева В.А., а также Гилева С.Д., Немченко В.В., Кириллову Е.В. (Курганский НИИСХ – филиал ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДЛЯ ПРОДУЦИРОВАНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ

На основе анализа научной литературы дана оценка антропогенного воздействия на черноземные почвы в современных агроландшафтах, и пути стабилизации функционирования агроландшафтов. Рассмотрено влияние на продуктивность агроценозов таких факторов как органические и минеральные удобрения, химические мелиоранты, почвенный кондиционер – силънонабухающие полимерные гидрогели.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках плана НИР кафедры «Землеустройство, земледелие, агрохимия и почвоведение» была разработана программа исследований на период выполнения 2001-2023 гг. «Мониторинг состояния плодородия чернозёмов лесостепного Зауралья и разработка агротехнологических приемов, обеспечивающих сохранение и воспроизводство их плодородия».

Программа включала основные этапы исследований:

- 1) эволюции почвенного покрова сельскохозяйственных ландшафтов Зауралья (2001-2005 гг.);
- 2) трансформации плодородия сельскохозяйственных ландшафтов Зауралья (2001-2022 гг.);
- 3) разработки технологических приёмов возделывания сельскохозяйственных культур в зернопаровых севооборотах, обеспечивающих воспроизводство плодородия чернозёма выщелоченного (2001-2019 гг.);
- 4) оценка эффективности применения агрохимических приемов для сохранения и повышения плодородия чернозёма выщелоченного в условиях лесостепной зоны Зауралья (2021-2023 гг.).

Для определения влияния антропогенных факторов на свойства чернозёмов агроценозов Зауралья и разработки приёмов повышения их продуктивности были проведены полевые и лабораторные исследования.

На **первом этапе** проведена оценка факторов почвообразования в условиях лесостепного Зауралья: климат, естественная и культурная растительность, рельеф, гидрологические условия и свойства почвообразующих пород.

По мере накопления фактического материала о генезисе почв, их разнообразии и путей их формирования в учении о факторах почвообразования проведена оценка их роли, сделано заключение, что в настоящее время на формирование почвенного покрова и его свойств оказывает наибольшее влияние антропогенный фактор.

В целях мониторинга агрономических свойств чернозёмов и их динамики на **втором этапе** исследований были использованы исходные данные стационарных опытов Курганского НИИСХ (1967-1979 гг.), и собственные наблюдения, в которых автор принимал непосредственное участие (с 2007 года). В объекты исследований включены типичные для лесостепного Зауралья два подтипа чернозёмов: выщелоченный и обыкновенный, которые занимают соответственно 14,9 и 15,4 % от общей площади Курганской области.

На полях Курганского НИИСХ (с 2018 года филиал - ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН) выяснены особенности биогеоценозов чернозёмов. Исследования охватывали все агроклиматические зоны региона (таблица 2.1).

Для раскрытия вопросов изменения показателей плодородия почвы различных агротехнологий в период с 1969 по 1973 год на Курганской областной опытной станции была подготовлена и внедрена единая программа исследований, заложены

многофакторные стационарные полевые опыты для изучения взаимодействия приемов использования пашни с уровнями насыщения минеральными удобрениями, обработки почвы, влияния этих факторов на продуктивность культур и эффективность систем земледелия в целом (Повышение эффективности..., 2016).

Таблица 2.1 – Объекты исследования

Агроклиматическая зона (название муниципального округа (МО))	Местонахождение опытных полей (разрезы)	Годы проведения исследований	Подтипы чернозёма
Центральная (Кетовский МО)	ОП Курганской ГСХА, с. Лесниково (Р. 1–4)	1979, 2007, 2022	Чернозём выщелоченный легкосуглинистый
	Центральное ОП, с. Садовое (Р. 9–12)	1971, 2007, 2022	
Восточная (Макушинский МО)	Макушинское ОП, с. Рекорд (Р. 5, 6 и 7, 8)	1969, 2007, 2022	Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый
			Чернозём обыкновенный солонцеватый карбонатный тяжелосуглинистый
Северо-западная (Шадринский МО)	Шадринская ОС, с. Мальцево (Р. 13–16)	1968, 2008, 2022	Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый
	Шадринское ОП, с. Чистопрудное (Р. 17–19)	1967, 2008, 2022	
Южная (Целинный МО)	ОПХ «Южное», с. Костыгин Лог (Р. 20–22)	1975, 2009, 2022	Чернозём выщелоченный среднесуглинистый

В 1969 году заложено Макушинское опытное поле Курганской области (восточная часть) (эксперимент Г.П. Попова), с чередованием культур в четырехпольном зернопаровом севообороте с отвальной обработкой.

На опытной станции в с. Мальцево (1968 г.) исследования проводились в пятипольном севообороте с применением азотно-фосфорных удобрений ($N_{38}P_{36}$). Схема способов обработки почвы севооборота (пар- пшеница - пшеница - кукуруза (овес)-пшеница) представлена на двух вариантах: безотвальная на 30-40 см и отвальная на 22-25 см (руководители: Т.С. Мальцев, 1968-1994 гг.; В.Б. Собянин, 1995-2009 гг.) (Гилев, 2010). С 2010 года схема опыта претерпела изменения. Вместо глубокого безотвального рыхления в паровом поле применялись механические поверхностные обработки (Гилев, 2015; Ионина и др. 2015).

В.И. Овсянниковым проводились исследования на Шадринском опытном поле с 1967 года в севообороте с отвальной обработкой: пар-пшеница-пшеница-пшеница. Действие удобрений на урожайность и качество зерна пшеницы изучали в разные по погодным условиям годы – 1972–2011 гг. Овсянников В.И., Овсянникова С.М., Новосёлов В.П.

Первые почвенные обследования в южной агроклиматической зоне в ОПХ «Южное» Целинного района проводились в 1975 году почвоведом Курганского филиала института Уралгипрозем Козюковой Т.С., Тягельской Г.А., Пироговой Т.Д. и Мишуринским В.А. Исследования под руководством Глухих М.А. проводились в севообороте: пар-пшеница-пшеница-овес-пшеница.

Обследование опытного поля Курганской ГСХА было проведено доцентом Кривонос Л.А. в 1979 году.

Для определения влияния сельскохозяйственного производства на формирование параметров плодородия чернозёмов проводились сопряженные исследования пахотных, залежных и целинных почв. Разрезы чернозёмов закладывали до горизонта материнской породы С.

Разрезы закладывались с учетом имеющихся почвенных контуров, характерных форм рельефа и мелиоративной сети с применением коррелятивного метода картирования. Привязка разрезов к местности произведена с использованием GPS. Описание морфолого-генетических признаков почв проводилось по общепринятой методике (Розанов, 2004). В разрезах наиболее характерных для изучаемой территории были отобраны образцы почвы по слоям и генетическим горизонтам, в которых проводилось определение показателей плодородия чернозёмов. Название почв в тексте приведено согласно «Классификации и диагностики почв СССР» (1977).

Сравнительная оценка исходного и современного состояния плодородия чернозёмов в агроландшафтах лесостепного Зауралья позволила установить направленность процессов почвообразования при длительном их использовании (за 43-55 лет).

Третий этап исследований в вопросах агропочвоведения и агрохимии заключался в изучении формирования параметров плодородия чернозёмов при совершенствовании технологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур. Изменения, происходящие в производственных условиях, соответственно корректировали и схемы опытов, проводились новые дополнительные полевые эксперименты. Для увеличения эффективности агроценозов разрабатывались соответствующие схемы полевых опытов, по которым можно найти ответ на основные проблемы, складывающиеся в сельскохозяйственном производстве. В настоящее время требуется уточнение элементов системы земледелия в новых агроэкологических условиях.

Для решения задач, обеспечивающих сохранение плодородия чернозёма, выщелоченного на современном этапе в 2001-2004 и 2010-2019 годах в центральной агроклиматической зоне на базе опытного поля Курганской ГСХА проводились исследования в зернопаровых севооборотах (черный пар - первая пшеница - вторая пшеница - ячмень (овес)). В основу объекта исследований положен один из подтипов чернозёма – выщелоченный, который является также и зональным типом почв лесостепного Зауралья.

Изучение процессов формирования почвенного плодородия при органоминеральной системе удобрений с химическими мелиорантами проводилось в опыте 1 (2001-2003 гг.) и в опыте 2 (2002-2004 гг.) по схеме: 1. Без удобрений (контроль); 2. NP; 3. Навоз; 4 Навоз + NP. Дополнительно этот набор вариантов изучался и на трех фонах – гипса (3 т/га), извести (3 т/га), фосфоритной муки (1 т/га). Применялись: гипс сыро-молотый ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSO_4 – 73%), известняковая мука (CaCO_3 – 85%), фосфоритная мука ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, P_2O_5 – 25%). Минеральные удобрения применяли в дозах $\text{N}_{35}\text{P}_{50}$, $\text{N}_{70}\text{P}_{50}$, $\text{N}_{70}\text{P}_{40}$ (удобрения – $\text{P}_{\text{сд}}$ (46%) и $\text{N}_{\text{аа}}$ (34,6%)), навоз КРС полуперепревший в дозе 40 т/га (N – 0,50 %, P_2O_5 – 0,25 %, K_2O – 0,60 %). В схеме опыта 2 кроме навоза КРС, использовалась солома (5 т/га, N – 0,64 %, P_2O_5 – 0,26 %, K_2O – 1,10 %) и зеленое удобрение (N – 2,19 %, P_2O_5 – 0,69 %, K_2O – 2,62 %).

В опыте 3 (2010-2012 гг.) проведены исследования повышения продуктивности севооборота под влиянием удобрений и сильнонабухающего полимерного гидрогеля (СПГ). Схема опыта включала три фона (0, гидрогель 20 и 40 кг/га). Фоны включали по девять вариантов с различными дозами и сочетаниями азотных и фосфорных удобрений. Использовались $\text{N}_{\text{аа}}$ (34,6% д.в.) в дозах N_{30} и N_{60} , и $\text{P}_{\text{сг}}$ (26% д.в.) в запас на 3 года в дозах P_{60} и P_{120} , полимерный гидрогель (ТУ 2216-016-55373366-2007, серия АК-639, марка В 415К, с дисперсностью 0,2-4 мм) предприятия ООО «Акрипол» (г. Саратов).

Полимерный гидрогель, исследуемый в опыте, представляет собой водопоглощающий полимер акриламида с нейтральным рН и содержанием солей калия, в пересчете на K_2O , не менее 21 %.

Опыт 4 (2012-2014 гг.) был проведен для определения эффективности использования фосфогипса (как источника серы и кальция) и минеральных удобрений. Схема опыта включала три фона (0; 0,5; 1,0 т/га) по шесть вариантов с различными дозами и

сочетаниями N_{aa} (34,6 % д.в.) в дозах N_{40} и N_{80} и $P_{сд}$ (46 % д.в.) внесенного в запас на три года (всего P_{120}). Фосфогипс (ТУ 113-08-418-94) предприятия АО «Мелеузовские минеральные удобрения» (г. Мелеуз). Массовая доля основного вещества ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) в пересчете на сухой дигидрат составляет 77 %.

В связи с ростом дефицита применения полуперепревшего навоза КРС для дополнительного поступления органического вещества в агроландшафты была поставлена задача о возможности использования в полевых севооборотах альтернативных органических удобрений, в частности озерного сапропеля и птичьего помета, а также найти оптимальные пути увеличения продуктивности агроценозов в сочетании их с известью и минеральными удобрениями (опыты 5-7).

Схема опыта 5 (2014-2016 гг.) включала три фактора: А – известняковая мука ($CaCO_3$ – 85 %) в дозе 2,0 т/га (0,5 г.к.); В – минеральные удобрения (0 и $N_{30}P_{30}$); С – сапропель (0 и 20 т/га). В опыте использовались озерные сапропели Курганской (№ 1) и Свердловской (№ 2) областей. Сапропели характеризовались следующими показателями: сапропель № 1 – рН – 7,76; зольность – 29,8 %; N – 7,05 %; P_2O_5 – 0,53 %; K_2O – 0,23 %; CaO – 47,8 %, сапропель № 2 – рН – 4,40; зольность – 55,6 %; N – 4,11 %; P_2O_5 – 0,41 %; K_2O – 0,40%; CaO – 23,2 %. Сапропель вносили при 50% влажности, азотно-фосфорное смешанное удобрение из аммиачной селитры (N_{aa} – 34,6 % д.в.), суперфосфата простого ($P_{ср}$ – 26 % д.в.).

В опыте 6 (2014-2016 гг.) с минеральными удобрениями изучали два фактора: фактор А – азотно-калийные удобрения ($N_{40}K_{40}$ и без удобрений), фактор В – фосфорные удобрения (контроль (P_0), P_{40} , P_{80}). Применяли ежегодно перед посевом N_{aa} (34,6 % д.в.), $P_{ср}$ (26 % д.в.) и K_x (60,0 % д.в.).

Схема опыта 7 (2017-2019 гг.) включала 9 вариантов, использовали гусиный помет (ГП): 1. Без удобрений (контроль); 2. $N_{20}P_{20}$; 3. $N_{40}P_{40}$; 4. ГП, 5 т/га; 5. ГП, 5 т/га + $N_{20}P_{20}$; 6. ГП, 5 т/га + $N_{40}P_{40}$; 7. ГП, 10 т/га; 8. ГП, 10 т/га + $N_{20}P_{20}$; 9. ГП, 10 т/га + $N_{40}P_{40}$. Применяли полуперепревший гусиный помет (N – 3,8 %, P_2O_5 – 1,8 %, K_2O – 1,3 %) компании ООО «Племенной завод «Махалов» (г. Курган). Минеральные удобрения вносили ежегодно N_{aa} (34,6 % д.в.) и $P_{ср}$ (26 % д.в.).

Органические удобрения, химические мелиоранты и СПГ вносили однократно под первую пшеницу севооборота. Внесение проводилось разбросным способом с заделкой предпосевной культивацией на глубину 10-12 см.

В исследованиях проводили следующие наблюдения и анализы:

– почвы: влажность почвы весовым методом (Аринушкина, 1970); агрегатный состав почв по методу Саввинова, сухое и мокрое просеивание; гранулометрический состав почв методом пипетки по Н.А. Качинскому; плотность сложения почвы в естественных условиях и твердой фазы пикнометрическим методом, пористость почвы и расчет запасов воды в почве; рамочным приемом Станкова Н.З. (1964) учет растительных (корневых) остатков (Ганжара и др., 2002); максимальная гигроскопическая влага (ГОСТ 28268-89); почвенную влажность завядания растений (B_3) – расчетным методом с применением коэффициента 1,5 от МГ; подготовка почвенных образцов к проведению анализов (ГОСТ 29269–91); сульфатная (подвижная) сера (ГОСТ 26490-85); водорастворимый фосфор (ГОСТ 27753.5–88); нитратный азот в почве дисульфифеноловым методом; обменные катионы кальция и магния из 1 н вытяжки NaCl титрованием (Ягодин Б.А., 1987); кислотность потенциометрическим методом (ГОСТ Р 58594-2019); гидролитическая кислотность по Каппену (ГОСТ 26212-2021); общий гумус методом И.В. Тюрина (ГОСТ 26213-91); общий азот в почве (ГОСТ Р 58596-2019); валовые формы фосфора и калия (ГОСТ 26261-84); подвижные фосфор и калий (ГОСТ 26204-91);

– в растениях: содержание азота, фосфора и калия в одной навеске методом мокрого озоления; сера, кальций и магний в растениях после сухого озоления (Ягодин,

1987); содержание сырой клейковины в зерне пшеницы отмыванием (ГОСТ Р 54478-2011); натура зерна (ГОСТ 10840-2017); масса 1000 зерен (ГОСТ 10842-89);

– в органических удобрениях: влага и сухой остаток (ГОСТ 26713-85); зола в органических удобрениях (ГОСТ 26714-85); общий азот (ГОСТ 26715-85); общий фосфор (ГОСТ 26717-85); общий калий (ГОСТ 26718-85).

Закладку опытов проводили в 4-кратной повторности, размещение вариантов в повторениях рендомизированное. Расположение повторений четырехярусное. Учет урожая основной и побочной продукции проводили с каждой делянки методом пробного снопа, комбайном «TERRION SR2010» и после взвешивания пересчитывали в тонны на 1 га при стандартной влажности.

Вынос урожая с 1 га элементов питания, их баланс в севообороте, вынос элементов питания 1 т продукции, экономическую эффективность применяемых средств химизации определяли расчетным методом, коэффициенты использования элементов питания из удобрений (КИУ) разностным способом.

В опытах 1 и 2 высевали яровую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) сорта Терция, в опытах 3-6 – сорта Жигулевская и ячмень (*Hordeum sativa* L.) сорта Прерия, в опыте 7 высевали пшеницу сорта Омская 36 и овес (*Avena sativa* L.) сорт Скакун. Сорта культур районированные.

В опытах технология возделывания зерновых культур и используемые дозы удобрений соответствовали рекомендованным научными и опытными учреждениями нашей зоны (Система земледелия Курганской области, 1988; Система адаптивно-ландшафтного земледелия..., 2012; Волынкина и др., 2017).

В проведенных исследованиях рассмотрены приёмы, способствующие формированию оптимальных агрофизических и агрохимических свойств чернозёма, росту продуктивности культур в зернопаровых севооборотах в условиях лесостепного Зауралья.

На **четвертом этапе** результаты исследований, полученные в полевых и лабораторных опытах, были подвергнуты статистической обработке методами дисперсионного анализа данных многофакторного опыта и корреляционно-регрессионного анализа по Б.А. Доспехову (1985).

Построение регрессионных моделей зависимости между двумя показателями заключалось в построении линии тренда по собранным данным в программе Microsoft Excel 2016. Наиболее релевантная линия тренда подбиралась по коэффициенту детерминации R^2 (величине достоверности аппроксимации), в зависимости от которого делался выбор между линейной или полиномиальной линией. В большинстве случаев регрессионная модель парной зависимости описывалась уравнением параболы.

Поиск зависимостей результирующего показателя от двух и более влияющих факторов проводился посредством множественной нелинейной регрессии в программе Statistica 12. Построение нелинейных регрессионных моделей множественной зависимости было возможным только для тех экспериментов, в которых влияющие факторы включали минимум три градации, что подразумевало использование для описания зависимости нелинейных функций.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ ЧЕРНОЗЁМОВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАУРАЛЬЯ

Рассмотрены условия почвообразования – климат, геологическое строение и почвообразующие породы, рельеф, гидрологические условия, растительность, почвенный покров.

Расположение региона в глубине огромного континента определяет его климат как континентальный. Характерная особенность климата Зауралья – продолжительная малоснежная суровая зима с частыми метелями и короткое, но жаркое лето с

периодически повторяющейся засухой. Максимум атмосферных осадков выпадает во вторую половину лета (от 50 до 70% их годовой суммы) и минимум за зимние месяцы. Количество осадков уменьшается с северо-запада на юго-восток. Почвообразовательный процесс лесостепной зоны Зауралья протекает в условиях климата со среднегодовым количеством осадков 339-441 мм, суммой положительных температур 2100-2450 °С, ГТК – 0,8-1,2.

Выщелоченные чернозёмы залегают на плоских водораздельных равнинах и пологих приречных склонах и приуроченных к хорошо дренированным участкам гривных и увалистых повышений, высоких надпойменных террас. В качестве почвообразующих пород выступают желто-бурые карбонатные суглинки и глины четвертичного возраста. Из черноземов обыкновенных в Зауралье доминируют солонцеватые почвы на пониженных участках мезо- и микрорельефа, в восточной зоне обыкновенные солонцеватые чернозёмы приурочены к плоским водораздельным равнинам озерного, или озерно-аллювиального генезиса (Бахарева, Терпугов, 1969; Егоров, Кривонос, 1995).

Рельеф равнинный, со слабым наклоном на северо-восток. Абсолютные отметки равнинной территории Зауралья имеют значительные отличия. На пойме Тобола они колеблются в пределах 120-150 м, на водораздельных пространствах в пределах области возрастают до 180-200 м.

Продукционный процесс культурных растений зависит, как от поступления элементов питания, количества доступной влаги, так и от равномерного прогревания и освещенности территории. Северо-западная часть характеризуется уменьшением равнинных пространств и увеличением бугристо-лощинного микрорельефа, восточная равнинная часть – увеличением низинных пространств, озер и как следствие появлением здесь гидроморфных и полугидроморфных почв.

Почвенный покров лесостепного Зауралья отличается пестротой, где смена почв приурочена к изменениям микро- и мезорельефа. Выделяются следующие типы почв: серые лесные, чернозёмы, лугово-чернозёмные, луговые, солоды, солонцы, солончаки, болотные и аллювиальные почвы.

Тип черноземов представлен двумя подтипами, занимающими 2149,7 тыс. га, или 30,3% общей площади: чернозёмы выщелоченные ($Ч^B$); чернозёмы обыкновенные ($Ч^O$). Выщелоченные чернозёмы занимают 1052,0 тыс. га (32,1% к площади пашни и 14,9% общей площади области). (Бахарева, Терпугов, 1969; Егоров, Кривонос, 1995; Иванюшин и др., 2006). Солонцеватые чернозёмы занимают 697,1 тыс. га, или 9,8 % общей площади области.

ГЛАВА 4. АГРОГЕННЫЙ ПРОЦЕСС ТРАНСФОРМАЦИИ ЧЕРНОЗЁМА В АГРОЛАНДШАФТАХ ЛЕСОСТЕПНОГО ЗАУРАЛЬЯ

Исходное состояние почв участков под опытами

Почва на которой проводились экспериментальные исследования – чернозем выщелоченный слабогумусированный маломощный легкосуглинистый. Чернозём характеризовался средней обеспеченностью (по Чирикову) подвижным фосфором и высокой калием. В пахотном слое содержание гумуса составляло $3,47 \pm 0,14$ %, ёмкость катионного обмена – 25,1 мг-экв. / 100 г почвы. В верхнем горизонте присутствовало небольшое количество обменного водорода, обуславливающее кислотность ($pH_{\text{сол}} -5,39$). Степень насыщенности основаниями составляла 83,7 %. Мощность гумусовых горизонтов ($A_{\text{пах}} + A_B$) – 36 ± 3 см.

Количество фракции менее 0,01 мм в пахотном горизонте 28,9 %. При этом характерна сильная опесчаненность всего профиля (фракция песка размером 1-0,05 мм составляет более 60%), сравнительно небольшое содержание средней пыли.

Плотность сложения чернозёма в пахотном горизонте 1,17 г/см³, в нижележащих слоях возрастает до 1,49 г/см³. Плотность твердой фазы в слое 0-20 – 2,61 г/см³, в средней части профиля и ниже возрастает до 2,82 г/см³, что связано с уменьшением содержания гумуса. Общая пористость хорошая – 55,2 %, с глубиной постепенно снижается, что характерно для иллювиальных горизонтов. Максимальная гигроскопическая влага в слое 0-10 см – 4,42 %, к слою 40-50 см увеличивается до 5,33 %. При оценке структурно-агрегатного состава чернозёма содержание агрономически ценных агрегатов составило в пахотном горизонте 60,5% и 53,1 - в подпахотном.

Изменение морфологических признаков профиля чернозема под воздействием антропогенной нагрузки

В чернозёмах лесостепного Зауралья ведущим процессом формирования профиля является гумусово-аккумулятивный. Накопление в целинных участках надземной и подземной биомассы формирует гумусовый горизонт комковато-зернистой структуры. При многолетней антропогенной нагрузке почвы приобретают морфологические признаки, свойственные только пахотным разновидностям. Установлено, что при замене естественной растительности культурной в зернопаровых севооборотах в профиле черноземов Зауралья происходит уменьшение мощности гумусового слоя (А+АВ). У чернозёмов легкосуглинистой разновидности уменьшение мощности гумусовых горизонтов за период 28-36 лет составило 4-6 см, средне- и тяжелосуглинистых за период 34-40 лет – 2-4 см. Опускание линии вскипания карбонатов составило 3-6 см, что является причиной постепенного подкисления пахотного горизонта и ухудшения физико-химических свойств чернозема.

Перевод черноземов в залежное состояние способствовал формированию с поверхности дернины (А₀) с хорошо выраженным войлоком, т.е. за период, когда почва длительно не обрабатывалась (10-11 лет) происходило её постепенное восстановление.

Физико-химические свойства чернозёмов

Исследования физико-химических свойств зональных почв в динамике за 13-15 лет показали, что из-за отрицательного баланса кальция в агроценозах Зауралья происходит уменьшение его количества в почвенном поглощающем комплексе (ППК), возрастает доля обменного водорода, повышается кислотность почвы в чернозёме выщелоченном, а в обыкновенном увеличивается доля обменного натрия.

С начала наблюдений в разных агроклиматических зонах исследования показывают, что наибольшее снижение суммы обменных оснований имеют чернозёмы с легким гранулометрическим составом. За 51 год наблюдений снижение составило 9,5 мг-экв. /100 г почвы или в относительном выражении 33,9 %. В южной зоне региона, в более сухих погодно-климатических условиях, снижение показателя составило 8,2 мг-экв. /100 г почвы (31,1 %) (таблица 2).

Таблица 2 – Динамика суммы обменных оснований чернозёма выщелоченного в зернопаровых севооборотах Зауралья (1967-2022 гг.).

Почва	Сумма обменных оснований, мг-экв. / 100 г почвы		Изменение суммы обменных оснований за период наблюдений /ежегодно
	1971 г.	2022 г.	
Чернозём легкосуглинистый (центральная зона)	28,0	18,5±0,9	51 год
			-9,5 (33,9 %)/ -0,19
Чернозем среднесуглинистый (южная зона)	26,4	18,2±1,1	47 лет
			-8,2 (31,1 %)/ -0,17
Чернозём тяжелосуглинистый (северо-западная зона)	26,9	18,3±0,8	55 лет
			-8,6 (32,0 %)/ -0,16

При распашке целинного участка чернозёма обыкновенного происходило увеличение содержания обменного натрия в ППК за счет снижения доли обменного кальция. При этом в гумусовом горизонте (исследования 2022 года), увеличивается количество обменного натрия до 2,8 мг-экв. /100 г почвы, степень солонцеватости до 10 %, снижается емкость катионного обмена с 29,1 до 28,3 мг-экв. /100 г почвы.

На целинных участках центральной и северо-западной зон гидролитическая кислотность в гумусово-аккумулятивных горизонтах составила 2,91-3,39 мг- экв. / 100 г почвы. На пахотных участках происходило увеличение показателя гидролитической кислотности до 4,42-5,07 мг-экв. / 100 г почвы. Обследование через 15 лет показало усиление процессов подкисления чернозёмов до значений 4,76-5,26 мг-экв. / 100 г почвы.

Исследования в южной зоне, как и в других зонах подтвердили наличие процессов подкисления при вовлечении земель в сельскохозяйственное производство. В агроценозах возрастает доля обменного водорода, повышается кислотность почвы в чернозёме выщелоченном. На целинном участке гидролитическая кислотность составила в верхнем горизонте 3,5 мг-экв. / 100 г почвы, тогда как на пашне происходило увеличение этого показателя до 4,2 мг-экв. / 100 г почвы. При повторном обследовании (2022 г.) гидролитическая кислотность увеличилась до 4,4 мг-экв. / 100 г почвы (рисунок 1).

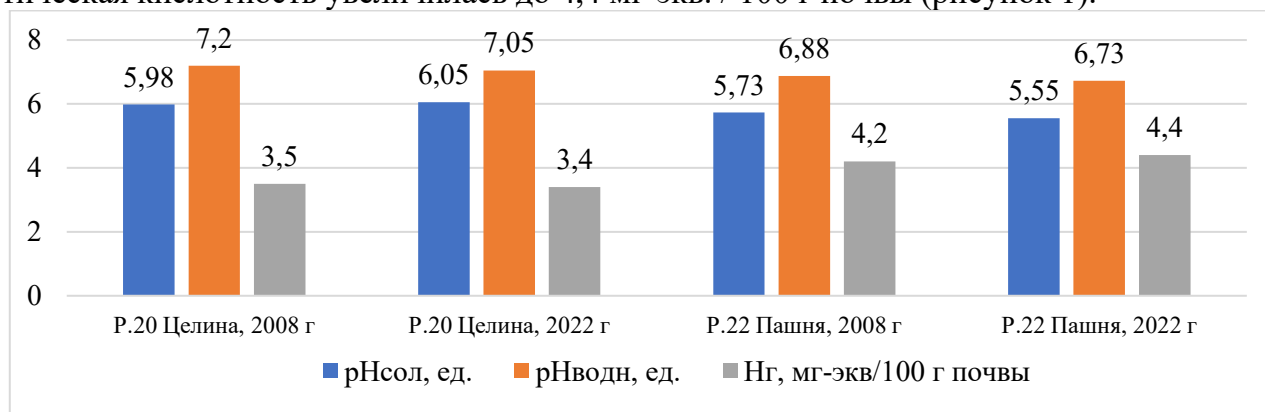


Рисунок 1 – Формы кислотности чернозёма выщелоченного в южной зоне (2009, 2022 гг.).

За период 43-55 лет по зонам использования чернозёма выщелоченного происходило увеличение гидролитической кислотности в среднем на 72 % (в интервале 52-100 %), при этом наибольшее увеличение показателя отмечается в легкосуглинистых разновидностях чернозёма (на 82%) (таблица 3).

Таблица 3 – Изменение гидролитической кислотности чернозёма выщелоченного при сельскохозяйственном использовании (1971-2022 гг.).

Объект	Гидролитическая кислотность, мг-экв. / 100 г почвы		Изменение за период наблюдений	
	1971 г.	2022 г.	51 год	ежегодно
Чернозём легкосуглинистый (Центральное ОП)	2,46	4,93±0,12	+2,47	+0,048
	1979 г.	2022 г.	43 года	ежегодно
Чернозем легкосуглинистый (ОП КГСХА)	2,90	4,76±0,24	+1,86	+0,043
	1967 г.	2022 г.	55 лет	ежегодно
Чернозём тяжелосуглинистый (Шадринское ОП)	3,46	5,26±0,17	+1,80	+0,033

Изучение обменной кислотности показывает, что на участках с сельскохозяйственным использованием происходит ее увеличение на 0,88-1,35 ед., где в относительных единицах составляет 18,8 % (15,2-20,2 %). Увеличение обменной кислотности с разным гранулометрическим составом не имеет закономерностей (таблица 4).

В условиях лесостепного Зауралья установленная закономерность подкисления чернозёма выщелоченного объясняется как природными, так и антропогенными факторами: это корневые выделения, выщелачивание, ежегодный вынос с урожаем

катионов кальция, нерациональное внесение физиологически кислых минеральных удобрений, обработка почвы и отсутствие разработанных мероприятий по снижению избыточной кислотности в виде использования кальций содержащих соединений (известь, известковые удобрения, доломитовая мука и др. с высокой тониной помола) – в результате которых происходит замена ионов водорода на ионы кальция.

Таблица 4 – Изменение обменной кислотности чернозёма выщелоченного в различных агроклиматических зонах Зауралья

Местонахождение исследуемых участков (зона)		pНсол		Изменение показателя за период наблюдений	
Чернозём легкосуглинистый (центральная)	Центральное ОП	1971 г.	2022 г.	51 год	ежегодно
		6,30	5,03±0,14	-1,27 (20,2 %)	-0,025
	ОП КГСХА	1979 г.	2022 г.	43 года	ежегодно
		5,80	4,92±0,13	- 0,88 (15,2 %)	-0,020
Чернозём тяжело- суглинистый (северо-западная)	Шадринское ОП	1967	2022 г.	55 лет	ежегодно
		6,50	5,25±0,11	-1,25 (19,2 %)	-0,023
	Шадринская ОС	1967 г.	2022 г.	55 лет	ежегодно
		6,15	4,92±0,17	-1,23 (20,0 %)	-0,022
Чернозем среднесу- глинистый (южная)	ОПХ «Южное»	1975 г.	2022 г.	47лет	ежегодно
		6,90	5,55±0,16	-1,35 (19,6 %)	-0,029

Проведенные исследования в целом показали, что в результате сельскохозяйственного производства на чернозёмах Зауралья происходят негативные процессы в виде ухудшения физико-химических свойств, снижения степени насыщенности основаниями почвенного поглощающего комплекса. Только за последние 13-15 лет снижение составило 0,3-4,3 %. В ходе наблюдений с 1967-1971 годов по 2022 год отмечалось снижение суммы обменных оснований в среднем на 8,8 мг-экв. / 100 г почвы или 32,3 %, усиление процессов подкисления почв – увеличение гидролитической кислотности на 2,0 мг-экв. / 100 г почвы или 72 %, обменной кислотности на 1,20 ед. или 18,8 %.

Валовое содержание элементов питания

Валовое содержание азота в гумусово-аккумулятивном горизонте (А) колебалось от 0,350 до 0,513 %, в гумусовом горизонте АВ снижалось до 0,256-0,466 %.

Содержание азота в почве находилось в прямой зависимости от содержания в ней гумуса. Нами установлена прямая связь этих показателей в различных агроклиматических зонах в независимости от уровня антропогенной нагрузки. Коэффициент корреляции составил в среднем по региону 0,849 (таблица 5).

Таблица 5 – Зависимость содержания гумуса и валового азота в почве

Агроклиматическая зона	Участки	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Центральная	ОП Курганской ГСХА	$Y = 0,058445X + 0,03$	$r = 0,998$
	Центральное ОП	$Y = 0,058436X + 0,19$	$r = 0,999$
Восточная	Макушинское ОП	$Y = 0,130335X - 0,24$	$r = 0,998$
Северо-западная	Шадринская ОС	$Y = 0,044197X + 0,19$	$r = 0,990$
	Шадринское ОП	$Y = 0,059149X + 0,12$	$r = 0,998$
Южная	ОПХ «Южное»	$Y = 0,062526X + 0,04$	$r = 0,994$
По региону в независимости от уровня использования		$Y = 0,059160X + 0,10$	$r = 0,849$
Участки целины первого и второго обследования		$Y = 0,042933X + 0,21$	$r = 0,703$
Участки пашни первого и второго обследования		$Y = 0,080695X + 0,01$	$r = 0,792$

Валовое содержание фосфора в чернозёмах Зауралья колебалось незначительно. На легкосуглинистых почвах оно составляло 0,05-0,11%, а на тяжелосуглинистом солонцеватом чернозёме содержание было в пределах 0,10-0,11%.

Водорастворимые и подвижные формы элементов питания

В чернозёмах при антропогенной нагрузке происходило увеличение содержания водорастворимой формы фосфора. На легкосуглинистых разновидностях в верхних горизонтах содержание элемента возросло на 0,003-0,022 мг.-экв. / 100 г почвы, на тяжелосуглинистых – на 0,011 мг.-экв. / 100 г почвы. Такое увеличение связано с подвижностью фосфатов, усвоением, их прочностью связи с твердой фазой почвы, скоростью перехода из твердой фазы в раствор. Содержание калия на целине в центральной зоне составило в верхнем горизонте 0,044 мг.-экв. / 100 г почвы, а при сельскохозяйственном использовании снижалось до 0,020 мг.-экв. / 100 г почвы. Это свидетельствует о том, что при использовании растениями более доступных (водорастворимого и подвижного) происходит их пополнение за счет менее доступных (необменные формы).

Сельскохозяйственное использование привело к снижению содержания подвижного фосфора. Это связано с интенсификацией земледелия с усиленным процессом минерализации органического вещества, снижением поступления органических удобрений, введением новых высокоурожайных сортов. Ежегодные нормы удобрений, в которых доля фосфора составляла около 20%, привели к отрицательному балансу элемента и как следствие, снижению его запасов (таблица 6).

Таблица 6 – Изменение содержания подвижных форм элементов при антропогенной нагрузке в разных агроклиматических зонах (1967-2022 гг.)

Местонахождение исследуемых участков		Элемент	Подвижные формы элементов, мг/кг		Изменение показателя за период наблюдений
Чернозём легко-суглинистый (центральная зона)	Центральное ОП	<i>год</i>	<i>1971 г.</i>	<i>2022 г.</i>	<i>51 год</i>
		P ₂ O ₅	132	117±11	-15 (12,8 %)
		K ₂ O	197	139±10	-58 (29,4 %)
	ОП КГСХА	<i>год</i>	<i>1979 г.</i>	<i>2022 г.</i>	<i>43 года</i>
		P ₂ O ₅	82	59±8	-23 (28,0 %)
		K ₂ O	153	128±11	-25 (16,3 %)
Чернозём тяжело-суглинистый (северо-западная зона)	Шадринская ОС	<i>год</i>	<i>1967</i>	<i>2022 г.</i>	<i>55 лет</i>
		P ₂ O ₅	84	74±7	-13 (11,9 %)
		K ₂ O	190	139±19	-51 (26,8 %)
	Шадринское ОП	<i>год</i>	<i>1968</i>	<i>2022 г.</i>	<i>54 года</i>
		P ₂ O ₅	77	62±8	-16 (19,5 %)
		K ₂ O	205	148±9	-57 (27,8 %)

За длительный период (43-55 лет) наблюдений отмечалось снижение показателей содержания фосфора и калия в почве. Снижение содержания подвижного фосфора в относительном выражении составило на чернозёме легкосуглинистом 12,8-28,0 %, на тяжелосуглинистом – 11,9-19,6%, в среднем в независимости от разновидности чернозёма – 18,1 %. Снижение содержания калия в чернозёме в среднем по Зауралью составило 25,1 %.

Структурно-агрегатный состав чернозёмов

Почва в целинном состоянии в гумусово-аккумулятивном горизонте А (северо-западная, центральная, восточная зона) содержала агрегатов размером 0,25-10 мм в диапазоне 66,1-72,4 %. Распашка целинных участков и их дальнейшее сельскохозяйственное использование ведет к разрушению почвенной структуры. На пашне в изучаемых природно-климатических зонах количество мезоагрегатов снижалось до 46,8-57,3 %, что соответствовало удовлетворительному структурному состоянию. Наибольший разрыв содержания агрономически ценных агрегатов между целиной и пашней наблюдался в северо-западной части лесостепной зоны – 26,3 % (рисунок 2).

В центральной зоне региона в агрономически ценных агрегатах преобладали фракции от 5 до 1 мм, в обыкновенных тяжелосуглинистых чернозёмах фракция – 2-1 мм. На целине в верхнем гумусовом горизонте А чернозёмов количество глыбистых агрегатов составляло в пределах 20,1–31,1%, тогда как на пахотных участках оно увеличилось до 28,8–51,8%. Наиболее значительное содержание глыбистых фракций отмечено на чернозёме тяжелосуглинистом в северо-западной зоне (Шадринская ОС) при использовании отвальной обработки.

Процесс деградации структуры четко прослеживается и по величине коэффициента структурности. В целине в горизонте А он составляет 1,95–3,03. В исследованиях 2022 года коэффициент структурности составил по лесостепной зоне 2,12-3,07. На пахотных участках под влиянием механических обработок происходило разрушение почвенной структуры, что выразилось в снижении коэффициента структурности. В центральной зоне коэффициент составил 1,06-1,11, в восточной зоне на чернозёме солонцеватом – 1,26.

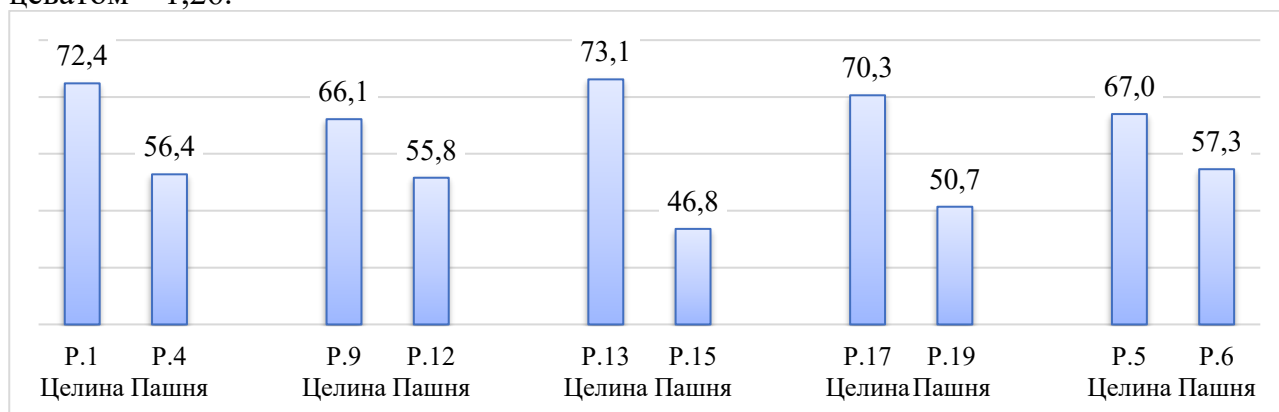


Рисунок 2 – Количество агрономически ценных агрегатов, % (0,25-10 мм) в центральной зоне (P.1, P.2, P.9, P.12); северо-западной (P.13., P.15, P.17, P.19), восточной (P.5, P.6); (2007-2009 гг.).

На легкосуглинистом чернозёме лесостепной зоны Зауралья (Центральной ОП) в горизонте А количество водопрочных агрегатов достигало 51,1 %, в горизонте АВ – 34,6 %, что говорит об удовлетворительном и неудовлетворительном агрегатном состоянии почвы. Исходное состояние водопрочных агрегатов в 1971 году соответствовало удовлетворительному агрегатному состоянию – 56,2 %.

Агрономически ценная структура, свойственная черноземам в естественном состоянии, претерпевает существенные изменения в сторону ухудшения при сельскохозяйственном использовании: увеличивается глыбистость пахотных горизонтов и заметно уменьшается степень водопрочности агрегатов. На пахотных участках всех объектов количество водопрочных агрегатов снижалось, где у легкосуглинистых чернозёмов оно составило 35,2 %, у тяжелосуглинистых – 47,6 %, В среднем этот показатель составил 44,3 %, или в относительном выражении, уменьшение количества агрегатов при сельскохозяйственном использовании составило более 30 %.

Плотность сложения, пористость чернозёмов

Плотность сложения почвы выщелоченных чернозёмов в гумусовом горизонте на целинных участках находилась в пределах 1,01-1,13 г/см³, в горизонте АВ она возрастала до 1,04-1,21 г/см³. Использование механических обработок с применением тяжелой сельскохозяйственной техники отрицательно влияло на оптимальные физические показатели почвы. Плотность чернозёма (ОП КГСХА) в верхнем гумусовом горизонте возрастала с 1,05 (целина) до 1,23 г/см³ (пашня), на других участках также наблюдалась тенденция к уплотнению почвы при ее использовании до 1,36 г/см³, в подпахотном – до 1,39 г/см³. У

чернозёма обыкновенного плотность составляла на целинном участке $1,09 \text{ г/см}^3$, а на пашне возрастала до $1,18 \text{ г/см}^3$, что связано с влиянием пептизации коллоидов.

Плотность сложения чернозёма среднесуглинистого (южная зона) в гумусово-аккумулятивном горизонте на целинном аналоге составила $1,19 \text{ г/см}^3$. На других агрофонах плотность сложения достоверно увеличивалась. В горизонте АВ плотность сложения на целине возрастала до $1,24 \text{ г/см}^3$, на других агрофонах также наблюдалось уплотнение почвы. При переводе участка под многолетние травы происходило разуплотнение слоев А и АВ на $0,08$ и $0,04 \text{ г/см}^3$ или на $6,1 \%$ и $3,0 \%$ соответственно относительно пашни

Общая пористость гумусовых горизонтов на целине хорошая ($55,5 \%$), на пашне, без дополнительных мероприятий, происходило ее ухудшение. Так, этот показатель в центральной зоне снизился в сравнении с целиной с $58,5-54,8$ до $52,5-50,8\%$. В северо-западной зоне на чернозёме тяжелосуглинистом также происходило снижение пористости на $6,4-11,8 \%$.

Усиление антропогенной нагрузки на чернозем приводило к ухудшению агрофизических показателей плодородия почвы. Разрушение агрономически ценной структуры почвы с $66,1-73,1\%$ до $46,8-57,3\%$, уплотнение пахотных горизонтов на $8,5-33,3 \%$.

Гранулометрический состав чернозёмов

Антропогенная нагрузка оказывает влияние на соотношение гранулометрических фракций в пахотном слое за счет уменьшения доли фракции тонкой и средней пыли, усиливала процесс разрушения частиц и вынос их в нижележащие слои, а в ряде случаев обогащала илом пахотный слой. У выщелоченных чернозёмов разница в содержании ила пашня-целина составляла $0,3-5,3 \%$, у солонцеватого – $1,7 \%$. Увеличение доли физической глины составило для чернозёмов легкосуглинистых – $5,3-9,1 \%$, средне- и тяжелосуглинистых – $0,7-3,6 \%$. Содержание фракции ила в пределах гумусово-аккумулятивных горизонтов почв при росте антропогенной нагрузке, имело тенденцию к ее увеличению

Гумусное состояние чернозёмов

За 43-летний период наблюдений (с 1979 года) на пахотном участке происходит резкое снижение содержания гумуса – на $1,73\%$ или при относительном определении на $33,6\%$, также в центральной зоне (на Центральной ОП) с 1971 года отмечалось снижение содержания гумуса на $1,31 \%$ – с $4,92$ до $3,61 \%$ ($26,6 \%$). При исследовании 11-летнего залежного участка наблюдалось некоторое восстановление содержания гумуса, за счет ежегодного нарастания корневой массы растений увеличивается интенсивность гумификации, содержание гумуса увеличивалось до $4,20 \%$. Легкие почвы хорошо аэрированы и прогреваемы, поэтому разложение органических остатков ускоряется, значительная часть минерализуется полностью, гумусовые вещества плохо закрепляются.

В чернозёме обыкновенном солонцеватом при сравнении параллельных участков по содержанию гумуса в слое $0-20 \text{ см}$, так же отмечалось его разница. На целине содержание гумуса составляло – $5,78\%$, тогда как на пашне произошло снижение на $1,19 \%$ (или в относительном выражении на $20,5\%$). В периоде с 1969 по 2022 годы снижение содержания гумуса составило – $0,81$ или относительно $15,0 \%$ (с $5,40$ до $4,59 \%$ в абсолютных значениях).

В северо-западной зоне (Шадринское ОП) за 55-летний период наблюдений содержание гумуса на пашне в слое $0-20 \text{ см}$ снизилось с $6,35$ до $5,18 \%$ или в относительном выражении на $18,4 \%$. На целинном участке в слое $0-10 \text{ см}$ содержание гумуса составляло $8,25 \%$, при этом коэффициент вариации составлял $2,2 \%$. С увеличением глубины до 40 см содержание гумуса закономерно снижалось и в слое $30-40 \text{ см}$ составляло $3,25 \%$.

На целине (южная зона) содержание гумуса составило 6,00%, а на участке с многолетними травами (15 лет) наблюдается снижение этого показателя в горизонте А до 3,83%. На пашне в результате усиления дегумификационных процессов содержание гумуса снизилось до 3,52%, при обследовании участка в 2022 году содержание гумуса составило 3,46 %. Начиная с 1975 года снижение составило 1,99 % или в относительном выражении 36,5 %.

Установленная закономерность снижения содержания гумуса почв во всех природно-климатических зонах Зауралья объясняется нарушением закона возврата. В 60-70 годы прошлого века на поля вносилось органических удобрений лишь 3-5 т/га севооборотной площади, а в настоящее время в 10 раз меньше. При низких энергозатратах и уровня химизации, для борьбы с засоренностью посевов проводилась регулярная обработка почвы (культивация почвы), в чернозёмах активно шли процессы минерализации гумуса. Низкая компенсация органического вещества привела к тому, что его ежегодные потери в зернопаровых севооборотах составляли 0,5-1,6 т/га гумуса.

Прослеживается зависимость формирования гумусового состояния почв от их гранулометрического состава. В легкосуглинистых чернозёмах относительное снижение содержания гумуса в результате длительного антропогенного фактора составило 30,1 %, тогда как в тяжелых разновидностях только 16,7 % (при соотношении физического песка и глины соответственно 1:2,51-3,42 и 1:1,12-1,28). Ежегодные темпы снижения содержания гумуса при этом составили 0,022 и 0,033 %.

ГЛАВА 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОГО ЗАУРАЛЬЯ

Динамика содержания нитратного азота под зерновыми культурами в севообороте

Для оптимизации азотного режима внесение минеральных удобрений способствовало накоплению его нитратной формы. Исходное содержание азота перед закладкой опыта в среднем по опыту (2010 г.) в слое -0-20 – 36,3±4,3; в слое 20-40 – 22,1±3,2 мг/кг. Максимальное содержание нитратного азота в слое 0-20 см при внесении удобрений отмечалось в период кушения. За этот период удобрения за счет весенних запасов влаги переходят в доступную форму. При внесении N₆₀, содержание в слое 0-20 см было 46,5 мг/кг, в слое 20-40 см – 17,8 мг/кг почвы. В период от кушения до цветения зерновых культур содержание нитратов в почве уменьшалось более чем на 40 %, так как у зерновых культур за этот период идет максимальное поступление азота в растения. За период вегетации зерновых культур коэффициент корреляции между урожайностью и обеспеченностью нитратным азотом снижался. Весной корреляционная зависимость была сильной – 0,68, в фазу кушения средней – 0,64. К моменту цветения связь ослабевала до 0,41.

Влияние удобрений и мелиорантов на накопление подвижного фосфора в чернозёме выщелоченном

Агроценозы достаточно хорошо обеспечены нитратным азотом благодаря внесению минеральных удобрений. В условиях недостаточного увлажнения более значительным в получении планируемой урожайности становится фосфор. Для стабилизации фосфатного режима из всего разнообразия изученных вариантов предлагается использование фосфоритной муки (1 т/га), навоза (40 т/га) и минеральных удобрений. Это способствовало повышению содержания фосфора с 76 до 165 мг/кг (рисунок 3).

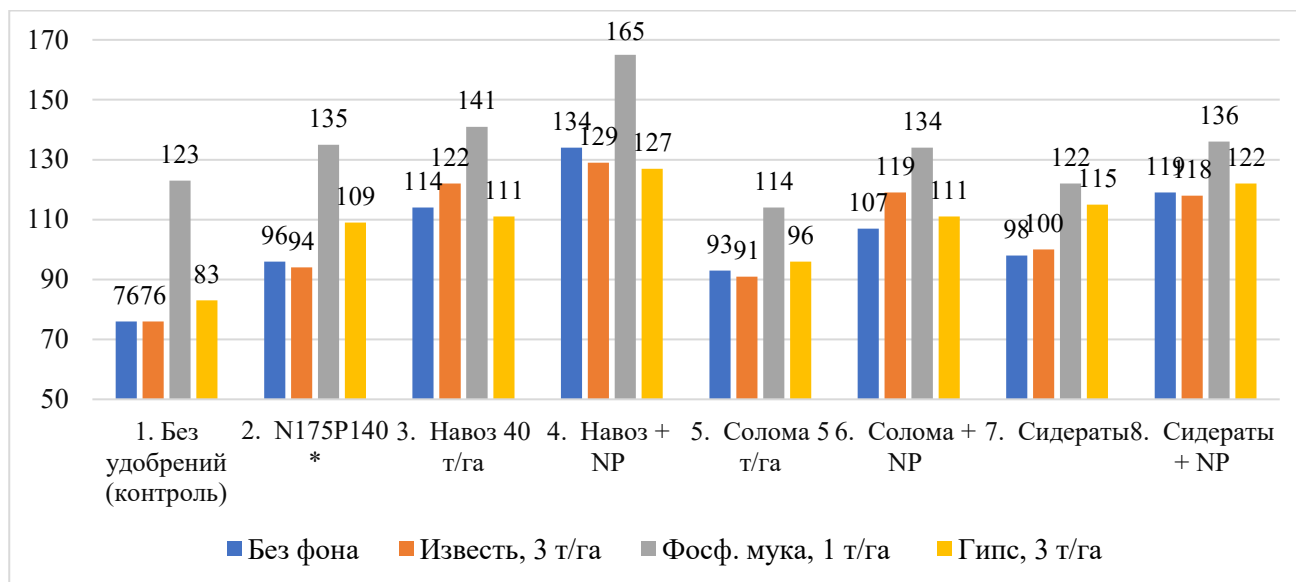


Рисунок 3 – Влияние органических, минеральных удобрений и мелиорантов на содержание подвижного P_2O_5 в черноземе выщелоченном (0-25 см), мг/кг (*внесено за всю ротацию севооборота)

Определение зависимости урожайности зерновых культур от обеспеченности подвижного фосфора дало возможность оценить тесноту связи с продуктивностью культур. Наиболее устойчиво выглядели варианты на фоне извести. В последующие годы, в связи со снижением всех форм кислотности, увеличения подвижности фосфатов и создания благоприятных условий для растений, коэффициент корреляции возрастал (таблица 7).

Таблица 7 – Зависимость урожайности зерновых культур от содержания P_2O_5 в черноземе выщелоченном при внесении органических, минеральных удобрений и мелиорантов.

Блок вариантов	Коэффициент корреляции		
	пшеница по пару	вторая пшеница	ячмень
Орг. и мин. удобрения	0,70	0,78	0,65
Орг. и мин. удобрения на фоне извести	0,68	0,79	0,83
Орг. и мин. удобрения на фоне фосфоритной муки	0,96	0,54	0,76
Орг. и мин. удобрения на фоне гипса	0,44	0,75	0,72
В целом по опыту	0,57	0,62	0,62

Использование гидрогеля (20 кг/га), для повышения влагоемкости почвы (опыт 3) с расширением соотношения между почвой и количеством воды, где извлекается больше фосфатов, способствовало повышению фосфора в почве на 10 мг/кг, а по фону содержание колебалось в пределах 109-133 мг/кг (таблица 8).

Гидрогель, созданный на основе гидрофильных макромолекул, способных к равновесному и обратимому набуханию в воде и водных растворах также способствовал увеличению количества водорастворимого фосфора в посевах зерновых культур, даже в условиях дефицита атмосферных осадков (ГТК -0,29-0,30). Так, содержание водорастворимого фосфора увеличилось до 1,4 мг/кг, на варианте P_{40} оно было более 2,3 мг/кг. Увеличение содержания подвижного фосфора положительно сказывалось на урожайности пшеницы ($r=0,56$).

Таблица 8 – Влияние минеральных удобрений и полимерного гидрогеля на содержание в почве фосфора в слое 0-20 см, мг/кг

Вариант	Подвижный фосфор			Водорастворимый фосфор		
	полимерный гидрогель, кг/га					
	0	20	40	0	20	40
1. Без удобр. (контроль)	99	109	124	1,1	1,4	1,7
2. N ₃₀	97	119	122	1,1	1,7	2,0
3. N ₆₀	98	128	118	1,3	1,7	1,8
4. P ₂₀	117	138	133	1,6	2,0	2,3
5. P ₄₀	134	134	136	2,1	2,3	2,3
6. N ₃₀ P ₂₀	120	125	117	1,8	1,7	2,2
7. N ₃₀ P ₄₀	135	125	123	2,3	1,9	2,0
8. N ₆₀ P ₂₀	126	126	134	1,5	1,7	2,2
9. N ₆₀ P ₄₀	130	133	123	1,8	2,1	2,4
Уравнение регрессии	r=0,56, y=0,02x +3,90			r=0,69, y=0,76x +4,92		
Уравнение регрессии	r=0,80, y=0,03x -1,32					

Изучение действия фосфогипса (опыт 4) показало, перед посевом пшеницы после парового предшественника почва характеризовалась средним содержанием подвижного фосфора — 39 мг/кг. В засушливых условиях первых двух лет севооборота (ГТК – 0,30-0,66) изменения в содержании элемента были несущественными, за счет весенних запасов влаги происходило частичное растворение фосфогипса.

В решении оптимизации фосфатного режима удобрениями при ежегодном внесении фосфорно-калийных удобрений (опыт 6) содержание подвижного фосфора увеличилось до 82-92 мг/кг почвы. Между содержанием подвижного фосфора и урожайностью зерновых культур существует сильная связь. Коэффициент корреляции за годы исследований составил 0,76-0,91.

Фосфатный режим удобренной почвы за годы наблюдений в опыте с птичьим пометом был относительно стабильным в интервале низкого содержания P₂O₅ – 46-48 кг/га. Внесение птичьего помета оказало влияние на накопление фосфора, разница с контролем составила 12-20 мг/кг почвы.

Изменение содержания подвижного калия в почве при различных системах удобрения

Увеличение содержания в почве калия отмечалось на вариантах с различными видами органических удобрений: с применением соломы на 10 мг/кг, зеленого удобрения – 23 мг/кг почвы. В среднем до закладки опыта в слое 0-25 содержание калия составляло 129±6 мг/кг, (рисунок 4).

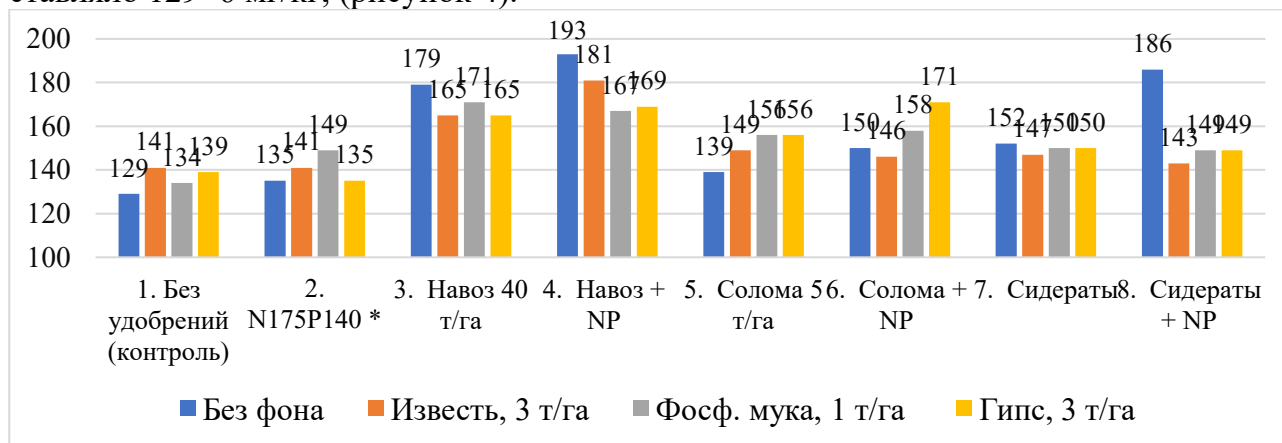


Рисунок 4 – Влияние органических, минеральных удобрений и мелиорантов на содержание K₂O в черноземе выщелоченном (0-25 см), мг/кг (*- внесено за ротацию севооборота)

Содержание калия (таблица 9) до закладки опыта в среднем составляло 131 мг/кг. В целом по севообороту содержание его практически не изменилось (127-135 мг/кг), при этом существовала средняя и сильная связь между обеспеченностью калием и урожайностью культур ($r=0,44-0,81$).

Таблица 9 – Динамика калия при внесении минеральных удобрений, в слое 0-20 см, мг/кг

Вариант	Пшеница по пару	Вторая пшеница	Ячмень	Среднее по севообороту
1. Без удобрений (контроль)	131* / 127	133* / 130	130* / 126	131*/128
2. P ₄₀	128	129	125	127
3. P ₈₀	124	124	121	123
4. N ₄₀ K ₄₀	130	138	136	135
5. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	132	137	136	135
6. N ₄₀ P ₈₀ K ₄₀	130	135	135	133
НСП ₀₅	6	7	9	—
Коэффициент корреляции	0,51	0,44	0,81	—
Уравнение регрессии	$y=0,02x-0,24$	$y=0,01x+0,53$	$y=0,02x+0,26$	—

Примечание: * - содержание элемента перед посевом

Применение птичьего помета повысило содержание калия в среднем за три года со 155 до 164 мг/кг почвы. Так как органическое удобрение имеет последствие (вне-сено с удобрением 20,6-41,2 кг/га), то наибольшее увеличение калия отмечено на всех вариантах опыта с применением птичьего помета.

Результаты опытов, проведенных на чернозёме выщелоченном, показали, что динамика содержания калия во времени выражена слабо. На её ход оказывали влияние погодные условия вегетационных периодов и применение удобрений. Ежегодное применение калия хлористого увеличило K₂O содержание на 7 мг/кг, а органические удобрения на 9-50 мг/кг почвы.

Содержание подвижной серы в почве при использовании в зернопаровом севообороте фосфогипса

Применение фосфогипса в севообороте увеличивало содержание в почве подвижной серы с 4,2 на контроле до 12,4-21,4 мг/кг. В засушливый период сульфатная сера была малоподвижна и концентрировалась в верхнем пахотном горизонте, где в первый год содержание ее составляло 46,5-79 мг/кг. Последующее обильное количество осадков резко повышало ее миграцию в легкосуглинистом чернозёме, что привело к снижению ее содержания в 4,4-7,0 раз.

Обеспеченность агроценозов элементами питания и их продуктивность

Наблюдения показали незначительное накопление нитратного азота в почве после парового предшественника и его дефицит под зерновыми культурами. При весенних запасах азота в слое 0-40 см 57,6 кг/га и влаги урожайность пшеницы составила 1,61-1,68 т/га. В условия хорошего увлажнения чернозёма (ГТК – 1,32), а весенние запасы азота были низкими, урожайность второй пшеницы была на уровне 1,43-1,44 т/га. На формирование урожайности ячменя, с его более коротким периодом потребления элементов питания, нитратный азот оказал менее «дефицитный» эффект. При ГТК – 1,07, урожайность составляла 2,10-2,13 т/га. На участках со средней обеспеченностью фосфором для создания бездефицитных условий фосфорного и калийного питания зерновых культур достаточно их вносить в количестве близком к выносу с урожаем. При этом общие запасы фосфора будут сохраняться, доля доступного для питания растений фосфора будет возрастать.

Изменение состава почвенного поглощающего комплекса чернозёма при различных системах удобрения в зернопаровых севооборотах

С внесением органических удобрений в первый год действия ЕКО увеличилась до 31,4 мг.-экв./100 г почвы. К концу севооборота действие навоза ослабевало, что отразилось на ёмкости катионного обмена – 28,9 мг.-экв./100 г почвы. Из-за слабой растворимости извести только на третий год исследований происходило активное насыщение ППК обменным кальцием. При внесении мелиоранта содержание катионов кальция за севооборот увеличилось на 5,7 мг.-экв./100 г почвы, на фоне навоза – на 7,0 мг.-экв./100 г почвы. Степень насыщенности основаниями на этих вариантах составила в конце ротации соответственно 93,6 % и 95,0 %.

При внесении фосфоритной муки, по сравнению с контролем, отмечено постепенное увеличение степени насыщенности основаниями (на 2,2 %). Внесение гипса повысило содержание кальция на фоне навоза до 24,6 мг.-экв./100 г почвы, а с течением времени постепенно количество его снижалось. Применение минеральных удобрений способствовало вытеснению кальция из ППК в раствор, увеличивая тем самым его подвижность. На этих вариантах содержание Ca^{2+} было ниже на 0,8 мг.-экв./100 г почвы.

В опыте с использованием сапропеля к концу ротации севооборота на варианте без воздействия удобрений сумма обменных катионов кальция и магния на контроле составила 16,3 мг.-экв. /100 г почвы, ёмкость катионного обмена составила 20,1 мг.-экв./100 г почвы, степень насыщенности основаниями – 81,1 %, а при внесении минеральных удобрений произошло снижение на 2,6 %.

При внесении органических удобрений ЕКО увеличилась до 21,2 мг.-экв. /100 г почвы. К концу ротации севооборота на известкованных вариантах происходило активное насыщение ППК обменным кальцием. При внесении мелиоранта содержание катионов кальция в почве к концу ротации увеличилось на 1,9 мг.-экв. /100 г почвы, на фоне сапропелей – на 2,2-2,9 мг.-экв./100 г почвы. Степень насыщенности основаниями на этих вариантах составила соответственно 84,9 % и 88,2 %.

Исследования физико-химических свойств чернозёма в зернопаровых севооборотах показали, что применение минеральных удобрений приводит к снижению ёмкости поглощения на 0,1-0,8 мг.-экв. /100 г почвы и степени насыщенности основаниями – на 0,8-2,6%. Внесение совместно органических удобрений и мелиорантов способствовало стабилизации состава поглотительной способности чернозёма. Насыщение ППК кальцием увеличивало ёмкость поглощения на 2,2-7,3 мг.-экв. /100 г почвы, при этом степень насыщенности основаниями также увеличивалась на 2,9-8,9 %.

Агрохимические приемы снижения кислотности чернозёма

Направленное длительное воздействие агрохимическими средствами на почвенный покров приводит к комплексному положительному изменению его агрохимических свойств. Исследования показали, что наибольший эффект по снижению избыточной кислотности достигается за ротацию севооборота при совместном применении извести 2-3 т/га и органических удобрений. Показатели гидролитической кислотности снижались на 0,45-1,20 мг.-экв. /100 г почвы, актуальной и обменной увеличивались на 0,60-0,95 и 0,79-0,81 соответственно. В независимости от применяемых сочетаний органических и минеральных удобрений дополнительное известкование чернозёма (1 т извести) за трехлетний период снижало актуальную кислотность на 0,21-0,25, обменную на – 0,17-0,24 ед.

Роль обработки почвы и посева многолетних трав в регулировании агрономических свойств чернозёма

Наблюдения в течение 55 лет исследований показывают, что в составе ППК на участках с отвальной и безотвальной обработками почвы происходит, снижение суммы обменных катионов кальция и магния. Более интенсивное ухудшение физико-химических свойств чернозёма наблюдается с применением отвальной обработки. Снижение суммы обменных оснований с 1967 года с применением отвальной обработки составило 32,7 %, тогда, как на участках с без отвальной обработкой 25,3 %.

На чернозёме выщелоченном тяжелосуглинистом Шадринской ОС в исследованиях 2022 года содержание гумуса в чернозёмах снижалось. Отвальная обработка создает в обрабатываемом слое избыточную аэрацию, что усиливает минерализацию гумуса и приводит к деградации чернозёма. На этом участке содержание гумуса в слое 0-20 см снизилось с 5,58 до 4,65%. При безотвальной обработке, происходило снижение содержания гумуса до 5,21 %.

При ежегодной вспашке почвы содержание гумуса за 54 года снизилось на 3,43 % или в относительном выражении на 42,5 %, тогда как обработка по системе Т.С. Мальцева определила уровень потерь в 2,87 % (относительно 35,5 %). При этом ежегодные потери содержания гумуса составляли соответственно 0,053–0,064 %. Дальнейшая интенсификация земледелия без изменения факторов, определяющих баланс гумуса, усугубляет проблему плодородия почв и, соответственно, продуктивности земель.

Коэффициент структурности чернозёма (Шадринская ОС) составил 0,92. С целинным участком наблюдалась 3-кратная разница. При использовании безотвальной обработки, и как следствие снижения интенсивности на пахотный слой разрушающего действия сельскохозяйственной техники, наблюдалось накопление агрономически ценных агрегатов, где коэффициент структурности составил 1,78 ед (таблица 10).

Таблица 10 – Структурно-агрегатный состав чернозёма выщелоченного лесостепного Зауралья (2022 г.)

Агроклиматическая зона	Агрофон	Содержание агрегатов, % к массе воздушно-сухой почвы			Кстр
		>10 мм	10-0,25 мм	< 0,25 мм	
Северо-западная зона. Чернозём тяжелосуглинистый	Р.13 Целина	25,0	73,6	1,4	2,79
	Р.15 Пашня (отвал.)	50,2	47,9	1,9	0,92
	Р.16 Пашня (безотвал.)	33,2	64,0	2,8	1,78
Южная зона. Чернозём среднесуглинистый	Р.20 Целина	19,9	75,4	4,7	3,07
	Р.21 Мн. травы, 28 лет	22,5	73,7	3,8	2,80
	Р.22 Пашня	31,9	63,6	4,5	1,75

Восстановление и сохранение структуры почв в условиях сельскохозяйственного использования осуществляется и агротехническими методами. В исследованиях отражено, что из приемов снижения кислотности (с 4,92 до 5,4 ед) и восстановления структуры почв (Кстр – 2,8), улучшения пористости (на 4,2 %) необходимо применение в севооборотах безотвальной обработки почвы и посев многолетних культур.

Органические удобрения, как фактор оптимизации агрофизических свойств и баланса гумуса чернозёма выщелоченного

Использование навоза полуперепревшего дало наибольший эффект по улучшению агрофизических свойств. Плотность сложения снизилась с 1,17 до 1,07 г/см³, общая пористость почвы увеличилась соответственно на 3,4 % до 59,0 %. На вариантах с применением других видов органических удобрений также происходило снижение плотности сложения на 0,01-0,07 г/см³, при этом общая пористость увеличивалась по сравнению с контрольным вариантом на 0,3-2,3 %.

При оценке структурно-агрегатного состава чернозёма содержание агрономически ценных агрегатов составило в пахотном горизонте 60,5%. На фоне навоза происходило наибольшее увеличение агрономически ценных агрегатов до 71,6 %, при этом фракции 3-2 и 2-1 мм увеличилась соответственно на 3,3 и 3,8 %. В тоже время происходило снижение глыбистой и пылевой фракций. Коэффициент структурности составил 2,52. Применение других видов органических удобрений также приводило к улучшению структурно-агрегатного состава чернозёма выщелоченного. Так количество агрономически ценных агрегатов составляло 63,4-66,8 %, а коэффициент 1,73-2,01 (рисунок 5).

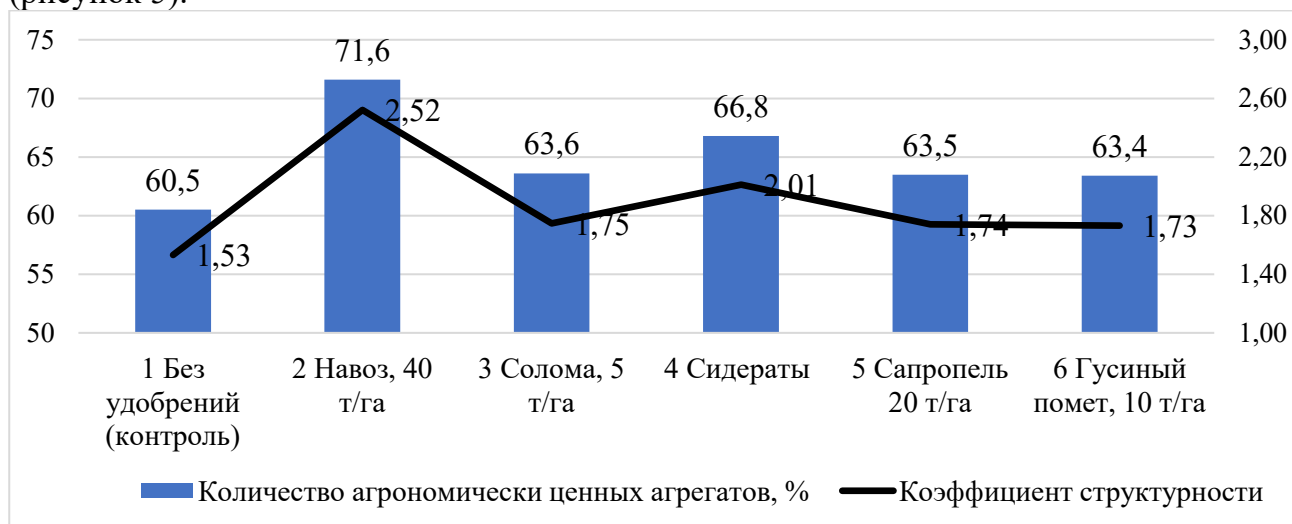


Рисунок 5 – Изменение структурно-агрегатного состава чернозёма выщелоченного при использовании органических удобрений.

Расчеты показали, что в зернопаровых севооборотах минерализованный гумус составил в паровом участке 2,144 т/га, под зерновыми культурами – 2,339 т/га (0,780 т/га ежегодно). Количество гумуса, синтезированного с учетом урожайности зерновых культур за севооборот, составило на варианте без удобрений 0,885 т/га, на вариантах с удобрениями, где урожайность была выше (0,04-0,54 т/га) – 0,880-0,970 т/га.

В результатах исследований отражено комплексное положительное влияние органических удобрений на агрофизические свойства и баланс гумуса чернозёма в севооборотах Зауралья. Органические удобрения снижали плотность сложение почвы, увеличивали общую пористость на 0,3-2,3 %, коэффициент структурности до 2,52. Произведённые расчеты баланса гумуса показали, что доза в 40 т/га компенсировала минерализацию гумуса в севообороте на 113,6 %, а сапропель в дозе 20 т/га на 81,6 %.

Баланс элементов питания в зернопаровых севооборотах

Расчет баланса азота показал, что без дополнительного внесения элемента в почву отрицательные значения могут достигать -201 кг/га. Положительный баланс создавался на четырех вариантах опыта – совместного использования мелиорантов, навоза и минеральных удобрений 44-51 кг/га. Наиболее благоприятные условия складывались на варианте совместного применения навоза и азотно-фосфорных удобрений (90 кг/га). Применение фосфоритной муки обеспечило положительный баланс фосфора на всех вариантах фона (170-366 кг/га). Баланс калия на вариантах без навоза складывался отрицательно, и в среднем составлял 177-274 кг/га. Применение навоза, позволило осуществить поступление калия в 240 кг/га, и довести баланс практически до бездефицитного (в среднем – 8 кг/га).

Положительный баланс NPK обеспечивала органоминеральная система удобрений, включающая навоз (40 т/га) с N₃₅₋₇₀P₄₀₋₅₀. Использование мелиорантов

увеличивало вынос элементов питания, что приводило к их отрицательному балансу. Коэффициент использования азота из минерального удобрения, составляет 44 %, на фоне известкования и гипсования он повысился до 57 %. Использование фосфора растениями также увеличивалось на фоне дополнительного применения кальцийсодержащих соединений. Коэффициент использования повысился с 21 % до 26-27%.

На фоне внесения полимерного гидрогеля увеличивался вынос фосфора на 10-20 % по сравнению с контролем. Увеличение выноса фосфора связано с увеличением площади соприкосновения гидрогеля и минеральной части почвы, и как следствие повышением его подвижности в почвенном растворе. Максимальный вынос был с внесением простого суперфосфата в дозе P_{20} и 40 кг гидрогеля, где он составил 97,2 кг/га. Положительный баланс не был получен при внесении повышенных доз аммиачной селитры (N_{60}), при этом значения по опыту колебались в пределах от -42,8 до -83,3 кг. Баланс фосфора оказался близок к бездефицитному на вариантах с внесением простого суперфосфата в дозе P_{20} , тогда как внесение P_{40} привело к положительному балансу на уровне 60,9–66,6 кг/га, при этом варианты на фоне полимерного гидрогеля показали более активное использование растениями минеральных удобрений.

Расчет КИУ показал, что из аммиачной селитры использовано в среднем 26,5 % внесенного азота, а на фоне применения гидрогеля в дозе 20 кг/га уже 44,9 %. На коэффициенты использования могут также влиять такие факторы, как уровень потребления внесенного азота растениями, адаптированность зерновых культур к подкислению почвы, в замедлении процессов роста и фотосинтеза и нарушением сбалансированности метаболических систем (таблица 11).

Таблица 11 – Коэффициенты использования элементов питания из минеральных удобрений, % (опыт 3)

Минеральное удобрение	Без гидрогеля	Гидрогель, 20 кг/га	Гидрогель, 40 кг/га
	среднее по фону		
N	26,5	44,9	48,0
P	10,4	22,7	44,2
N+P	N (40,1-53,3) P (10,5-26,3)	N (47,8-74,8) P (14,2-30,8)	N (42,6-78,1) P (16,5-38,7)

Увеличение КИУ наблюдается и с применением суперфосфата простого на фоне гидрогеля с 10,4 до 22,7 %. При совместном применении азотных и фосфорных удобрений значительно активнее используются азотные удобрения 40,1–53,3%, тогда как фосфорные использовались на 10,5-26,3 %. На фоне гидрогеля при норме внесения 20 кг/га коэффициенты использования элементов питания из минеральных удобрений увеличились до 47,8-74,8 (N) и 14,2-30,8 (P). Это объясняется тем, что макромолекулы гидрогеля способствовали повышению влагоемкости почвы, в результате чего лучше происходило растворение гранул удобрений их подвижность в почве и доступность растениям.

Расчет выноса элементов урожая пшеницы показал увеличение выноса азота на фоне фосфогипса с дозой 0,5 т/га при совместном использовании азотно-фосфорных удобрений. Еще большее увеличение выноса отмечается на фоне фосфогипса с дозой 1 т/га (таблица 12).

Оптимизация минерального питания при совместном использовании азотно-фосфорных удобрений ($N_{40}P_{40}$) позволяла увеличить коэффициент азота из минеральных удобрений до 51,6 %, что превышало на 7,1-8,3 % по сравнению с нормами N_{40} и N_{80} . Фосфогипс способствовал увеличению коэффициента использования элементов из удобрений при сочетании азотно-фосфорных удобрений.

Таблица 12 – Баланс азота в севообороте и коэффициент использования из удобрений при внесении минеральных удобрений и фосфогипса (опыт 4)

Вариант	Баланс, кг/га			КИУ, %		
	без фос- фогипса	фосфо- гипс 0,5 т/га	фосфо- гипс 1,0 т/га	без фос- фогипса	фосфо- гипс 0,5 т/га	фосфо- гипс 1,0 т/га
1. Без удобрений (контроль)	-160,5	-171,4	-183,1	—	—	—
2. N ₄₀	-92,5	-93,9	-93,2	43,3	44,5	43,9
3. N ₈₀	23,6	18,9	19,1	23,3	25,3	25,2
4. P ₄₀ (в запас на 3 года всего P ₁₂₀)	-189,1	-177,5	-198,2	—	—	—
5. N ₄₀ P ₄₀	-102,4	-97,9	-115,4	51,6	47,8	62,4
6. N ₈₀ P ₄₀	23,7	5,2	13,8	23,2	31,0	27,4

Расчет баланса фосфора и интенсивности баланса за ротацию севооборота показал, что внесение суперфосфата компенсировало его вынос. Применение минеральных удобрений и фосфогипса приводило к значительному изменению структуры баланса фосфора в севообороте (таблица 13).

Таблица 13 – Баланс фосфора в зернопаровом севообороте (опыт 4)

Вариант	Баланс, кг/га			Интенсивность баланса, %		
	без фос- фогипса	фосфо- гипс 0,5 т/га	фосфо- гипс 1,0 т/га	без фос- фогипса	фосфо- гипс 0,5 т/га	фосфо- гипс 1,0 т/га
1. Без удобрений (контроль)	-46,3	-40,7	-33,1	—	20	38
2. N ₄₀	-53,6	-50,2	-39,2	—	17	34
3. N ₈₀	-53,8	-49,0	-36,1	—	17	36
4. P ₄₀ (в запас на 3 года всего P ₁₂₀)	66,0	76,9	80,5	222	245	235
5. N ₄₀ P ₄₀	61,2	70,8	79,4	204	220	231
6. N ₈₀ P ₄₀	61,9	69,3	80,4	207	214	235

Вынос элементов питания за ротацию севооборота в опыте с применением сапропеля, как и в других опытах определялся урожаем культур и химическим составом растений. Его величина составила в контрольном варианте: 138,1 кг/га азота; 48,9 кг фосфора; 106,1 кг калия. При ежегодном внесении минеральных удобрений в дозе 30 кг д.в./га вынос элементов увеличивался соответственно на 31,6 кг азота, 23,8 фосфора и 32,7 калия с 1 га.

Коэффициенты использования элементов питания из минеральных удобрений составили – N – 35,1 %, P₂O₅ – 26,4%, на фоне применения известкового материала, за счет снижения потенциальной кислотности произошло увеличение коэффициентов использования: N до 49,4 %, P₂O₅ до 31,1% (таблица 14).

Таблица 14 – Коэффициенты использования элементов питания из удобрений (опыт 5)

Вариант	Без извести		Известь, 0,5 г.к.	
	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
1. Сапропель 20 т/га (1)	2,2	10,8	3,7	28,1
2. Сапропель 20 т/га (2)	0,4	11,2	6,7	35,4
3. N ₃₀ P ₃₀	35,1	26,4	49,4	31,1
4. Сапропель 20 т/га (1)+N ₃₀ P ₃₀	5,9	19,2	5,5	19,3
5. Сапропель 20 т/га (2)+N ₃₀ P ₃₀	7,9	19,8	6,4	17,9

Снижение кислотности почвы под действием извести способствовало увеличению доступности азота растениям. Азот сапропеля 1 был использован за севооборот на 2,2 %, при внесении извести коэффициент вырос до 3,7 %, а азот сапропеля 2 с 0,4 до 6,7 %. При дополнительном ежегодном применении минеральных удобрений

коэффициенты использования азота были выше на 1,8–7,5 %. Такая же закономерность прослеживалась и для коэффициентов использования фосфора удобрений: в вариантах с известью он увеличивался с 10,8-11,2 до 28,1-35,4 %.

Для решения вопросов оптимизации калийного питания в чернозёме был поставлен опыт с применением калийного удобрения. Вынос элементов питания без внесения минеральных удобрений за ротацию севооборота составил: азота - 113,6 кг/га; 52,2 кг фосфора; 88,5 кг калия. При ежегодном внесении азотных и калийных удобрений в дозе 40 кг д.в./га увеличивалась урожайность зерновых культур соответственно и вынос также увеличивался азота на 23,8 кг/га и калия на 13,1 кг/га. Коэффициенты использования элементов питания удобрений при совместном внесении азотных и калийных удобрений составили 19,8 % (N) и 10,9 % (K). Применение полного удобрения увеличивало КИУ азота до 40,3 %, калия до 19,0 % (таблица 15).

Таблица 15 – Хозяйственный баланс и коэффициенты использования из минеральных удобрений (опыт 6)

Вариант	Баланс $\pm$, кг/га			КИУ, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль (без удобрений)	-113,6	-52,2	-88,5	-	-	-
2. P ₄₀	-128,4	60,5	-94,5	-	6,1	-
3. P ₈₀	-128,8	179,0	-95,9	-	3,7	-
4. N ₄₀ K ₄₀	-17,4	-57,2	18,4	19,8	-	10,9
5. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	-33,9	56,2	9,9	33,6	9,7	18,0
6. N ₄₀ P ₈₀ K ₄₀	-41,9	172,7	8,7	40,3	6,3	19,0

Вынос элементов питания в опыте с использованием гусиного помета при низком уровне обеспеченности P₂O₅ в пахотном слое (48 мг/кг) норма фосфорного минерального удобрения 40 кг/га обеспечивала бездефицитный баланс фосфора. Внесение суперфосфата в той же дозе привело к положительному балансу фосфора в севообороте – компенсация выноса составила 176,4 %. Коэффициенты использования элементов питания из удобрений при совместном внесении минеральных удобрений (N₂₀P₂₀) и помета (5 т/га) составили 38,1 % (N), 21,8 % (P). Наиболее полное использование азота отмечалось при применении помета в дозе 5 т/га – 43,5 % (таблица 16).

Таблица 16 – Хозяйственный баланс и КИУ при внесении гусиного помета и минеральных удобрений (опыт 7)

Вариант	Баланс $\pm$, кг/га		КИУ, %	
	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
1. Контроль (без удобрений)	-104,4	-52,0	-	-
2. N ₂₀ P ₂₀	-64,0	-2,7	32,7	17,8
3. N ₄₀ P ₄₀	-11,2	52,0	22,3	13,3
4. Гусиный помет, 5 т/га	-70,4	-34,0	43,5	26,3
5. Гусиный помет, 5 т/га+ N ₂₀ P ₂₀	-30,0	17,2	38,1	21,8
6. Гусиный помет, 5 т/га+ N ₄₀ P ₄₀	14,2	69,9	34,2	17,9
7. Гусиный помет, 10 т/га	-33,4	-12,3	41,0	30,4
8. Гусиный помет, 10 т/га+ N ₂₀ P ₂₀	6,2	34,6	38,7	26,0
9. Гусиный помет, 10 т/га+ N ₄₀ P ₄₀	74,7	98,7	25,5	14,9

Коэффициент использования фосфора суперфосфата был на варианте опыта с применением N₂₀P₂₀ – 17,8 %, на фоне помета в дозе 10 т/га – 26,0 %. Внесение суперфосфата в дозе P₄₀ обеспечивало положительный баланс фосфора, при этом коэффициент использования питательных элементов за ротацию севооборота составил 13,3 %. Такой коэффициент получен в результате усвоения фосфатов растениями при относительно благоприятных погодных условиях (ГТК – 0,88-1,03).

Вынос макроэлементов зерновыми культурами в зависимости от применяемых удобрений

Содержание минеральных веществ в растениях определяется в основном их биологическими особенностями, почвенно-климатическими условиями произрастания и уровнем минерального питания. Применение удобрений в опыте 3 с гидрогелем оказало влияние на вынос элементов питания растениями зерновых культур. На контроле вынос 1 т основной продукции с учетом побочной у пшеницы составил N-31,9 кг, P₂O₅ – 10,3, K₂O – 24,4 кг, у ячменя: N-36,6 кг, P₂O₅ – 16,0, K₂O – 30,1 кг. Внесение минеральных удобрений увеличило вынос элементов питания пшеницы азота по вариантам опыта до 39,9 кг, фосфора до 11,4, калия – 26,7 кг.

На контроле в опыте 6 вынос у пшеницы составил N-24,9 кг. При использовании полного минерального удобрения он повысился до 30,9 кг, P₂O₅ увеличился с 12,9 до 14,0, K₂O с 17,1 до 19,0 кг. Применение минеральных удобрений на ячмене также к увеличивало вынос элементов питания. (таблица 17).

Таблица 17 – Вынос макроэлементов 1 т основной продукции с учетом побочной в зависимости от применяемых удобрений (в среднем по опыту 6), кг

Вариант	Пшеница			Ячмень		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль (без удобрений)	24,9	12,9	17,1	18,1	6,2	17,4
2. P ₄₀	26,2	13,5	17,3	19,0	6,7	17,0
3. P ₈₀	26,0	14,0	18,0	19,5	6,8	16,6
4. N ₄₀ K ₄₀	27,7	12,6	18,1	19,7	6,8	17,9
5. N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	29,5	13,5	19,0	22,1	7,2	18,9
6. N ₄₀ P ₈₀ K ₄₀	30,9	14,0	18,6	21,8	7,4	18,8

Применение удобрений в опытах с сапропелями оказало влияние на вынос элементов питания растениями зерновых культур. На контроле вынос 1 т основной продукции с учетом побочной у пшеницы составил N-29,0 кг, P₂O₅ – 9,9, K₂O – 21,0 кг, у ячменя N-22,4 кг, P₂O₅ – 8,4, K₂O – 19,1 кг (таблица 18).

Максимальный вынос макроэлементов 1 т основной продукции с учетом побочной составил у пшеницы с применением органических и минеральных удобрений, извести: азота – 32,2 кг, фосфора – 12,5 кг, калия – 24,5 кг; у ячменя азота – 29,7 кг, фосфора – 12,2 кг, калия – 23,9 кг. На фоне извести увеличение выноса азота составило 2,8 кг, фосфора 1,6 кг, калия 1,8 кг.

Таблица 18 – Вынос макроэлементов 1 т основной продукции с учетом побочной в зависимости от применяемых удобрений (в среднем по опыту 5), кг

Вариант	Пшеница			Ячмень		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений (контроль)	29,0	9,9	21,0	22,4	8,4	19,1
2. Сапропель 20 т/га (1)	30,6	9,9	21,7	22,7	9,5	21,3
3. Сапропель 20 т/га (2)	27,9	10,5	22,2	23,1	9,1	21,0
4. N ₃₀ P ₃₀	29,3	11,7	22,6	25,4	12,0	22,7
5. Сапропель 20 т/га (1)+N ₃₀ P ₃₀	32,0	12,4	22,9	26,4	11,9	23,3
6. Сапропель 20 т/га (2)+N ₃₀ P ₃₀	31,5	11,9	22,3	25,1	12,5	22,8
7. Известь, 0,5 г.к.- фон	31,8	11,5	22,8	23,7	9,3	19,6
8. Фон + сапропель 20 т/га (1)	30,5	10,9	24,5	23,9	10,6	22,1
9. Фон + сапропель 20 т/га (2)	32,2	11,6	23,6	24,4	10,4	22,4
10. Фон +N ₃₀ P ₃₀	29,2	12,5	22,1	29,7	12,2	23,9
11. Фон + сапропель 20 т/га (1)+N ₃₀ P ₃₀	30,0	12,0	20,3	26,0	11,9	22,7
12. Фон + сапропель 20 т/га (2)+N ₃₀ P ₃₀	28,5	11,5	20,2	25,8	11,8	22,7

Решение вопроса повышения продуктивности зерновых культур рассматривалось и в опыте с птичьим пометом. На варианте без удобрений вынос 1 т основной продукции у пшеницы с учетом побочной составил N-22,6 кг, P₂O₅ – 11,4, K₂O – 23,6 кг, у овса N – 20,3 кг, P₂O₅ – 9,9, K₂O – 26,7 кг. Применение удобрений привело к увеличению выноса макроэлементов. Вынос пшеницей количество азота по вариантам опыта увеличился до 28,7 кг, фосфора до 13,1, калия – 25,7 кг.

Наши исследования в зернопаровых севооборотах показали, вынос элементов 1 т продукции составил на естественном фоне без удобрений N – 22,6-31,9 кг, на фоне извести – 31,8 кг/га; P₂O₅ – 10,3-11,4, K₂O – 23,6-24,4 кг, у ячменя N-36,6 кг, P₂O₅ – 16,0, K₂O – 30,1 кг, у овса – N – 20,3 кг, P₂O₅ – 9,9, K₂O – 26,7 кг.

ГЛАВА 6. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОЦЕНОЗОВ

Урожайность, валовой сбор зерна в зернопаровых севооборотах и регрессионные уравнения зависимости

За ротацию зернопарового севооборота установлено, что кальцийсодержащие материалы и удобрения в неодинаковой степени влияли на общую продуктивность культур (таблицы 19).

Таблица 19 – Продуктивность зернопарового севооборота, з.е. т/га (опыт 1)

Удобрение		С – химические мелиоранты и фосфоритная мука			
А – органическое	В – минеральное	без удобрений	известь	фосф. мука	гипс
0	0	6,32	7,31	7,20	7,12
	NP	8,42	9,77	9,69	9,54
	Ср. без учета минер. Удоб.	7,37	8,54	8,45	8,33
Навоз полуперевший	0	7,42	8,18	8,36	8,75
	NP	10,13	11,75	11,39	11,20
	Ср. без учета минер. Удоб.	8,77	9,97	9,88	9,98
НСР ₀₅ : для частных различий - 0,54; для фактора А - 0,19; для фактора В - 0,19; для фактора С - 0,27; для взаимодействия АВ - 0,27					

На варианте без применения удобрений суммарно было собрано 6,32 т з.е., от ежегодного применения минеральных удобрений она увеличилась на 2,10 т з.е., от навоза на 1,10 т з.е. Ограничивающим фактором продуктивности являлись элементы питания, при оптимальных ГТК – 1,01-1,93 за этот период. Совместное применение органических и минеральных удобрений позволило повысить суммарную продуктивность с гектара до 10,13 т з.е. На фоне 3 т/га извести сбор с 1 га за три года составил 7,31 т з.е., от дополнительного применения N175P140 – 9,77 т з.е. Системный подход решения оптимизации агрохимических факторов почвенного плодородия обеспечивал создание более благоприятных условий для развития растений. Сбор зерновых при использовании всех факторов в опыте был максимальный – 11,75 т.

За ротацию зернопарового севооборота с применением полимерного гидрогеля общая продуктивность его составила – 5,38 т з.ед. (рисунок 6).

Ежегодное внесение азотных удобрений в дозе N60 позволило дополнительно получить прибавку 0,64 т з.е. При совместном использовании азотных и фосфорных удобрений наблюдалась прибавка от 0,76 до 0,86 т з.е./ га. в зависимости от различных соотношений внесенных элементов. Полимерный гидрогель, решая вопросы аккумуляции влаги в корнеобитаемом слое и тем самым увеличивая подвижность элементов обеспечивал рост продуктивности севооборота на 0,26- 0,35 т з.е./ га, тогда как внесенные азотные удобрения способствовали прибавке продуктивности 0,64 т/га.

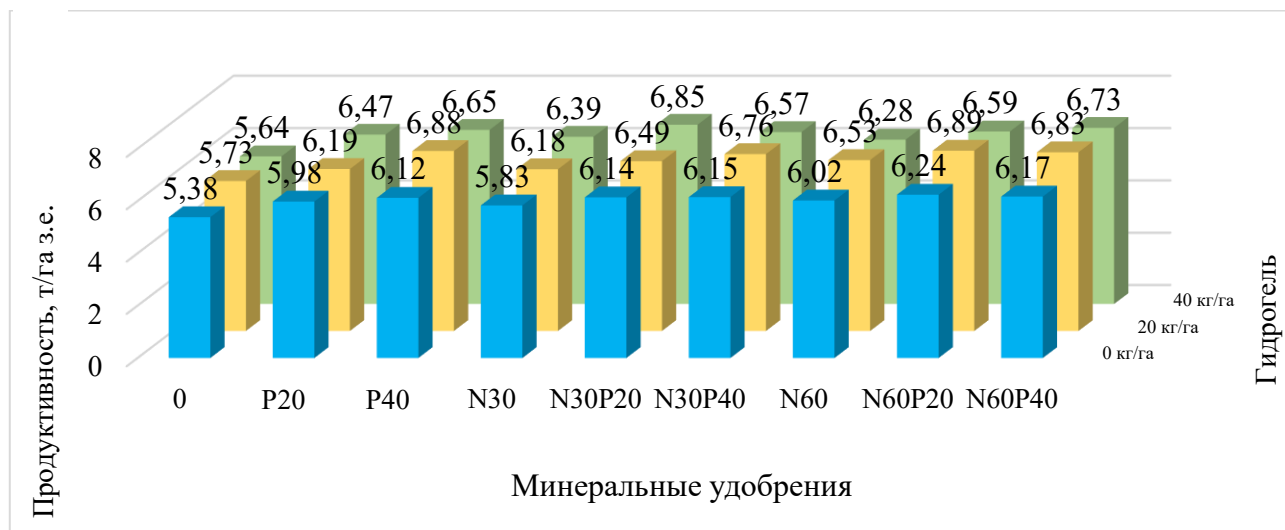


Рисунок 6 – Продуктивность зернопарового севооборота при внесении минеральных удобрений на трех фоновых дозах полимерного гидрогеля, т з.ед./га

За ротацию зернопарового севооборота действие и последствие гидрогеля и суперфосфата оказали наибольшее влияние на сельскохозяйственные культуры. Эффективность применяемых удобрений объясняется в первую очередь режимом увлажнения и весенними запасами влаги в почве. Анализ математических моделей, описывающих зависимость продуктивности севооборота от трех изучаемых удобрений, показал, что несмотря на наличие средней парной связи между факторами и продуктивностью, наибольший коэффициент корреляции вновь отмечен в уравнениях нелинейной множественной регрессии ($r=0,89-0,96$) (таблица 20).

Таблица 20 – Регрессионная зависимость суммарной продуктивности севооборота (Y) в т/га от доз гидрогеля (Г) в кг/га, азотных (N) и фосфорных (P) удобрений в кг д.в./га

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической урожайностью Y	Оценка достоверности модели	
			F ₀₅	F _T
Линейная парная	$Y = 0,0115Г + 6,09$	0,48	7,34*	0,01
	$Y = 0,0060N + 6,14$	0,37	4,04*	0,06
	$Y = 0,013556P + 6,05$	0,56	11,52*	0,002
Нелинейная парная	$Y = 6,003 + 0,0379Г - 0,000661Г^2$	0,57	5,83*	2,24
	$Y = 6,116 + 0,0112N - 0,000086N^2$	0,38	2,08	2,24
	$Y = 5,998 + 0,0293P - 0,000394P^2$	0,59	6,49*	2,24
Линейная множественная	$Y = 5,64037 + 0,013556P + 0,0115Г + 0,006N$	0,83	16,41*	3,23
Нелинейная множественная	$Y = 5,513945 + 0,087611P^{0.5} + 0,079719Г^{0.5} + 0,046584N^{0.5}$	0,89	27,88*	3,23
	$Y = 5,332882 - 0,020421Г + 0,181478Г^{0.5} - 0,000259N + 0,094158N^{0.5} - 0,005490P + 0,163182P^{0.5} + 0,000816(ГN)^{0.5} + 0,004671(ГP)^{0.5} - 0,013508(NP)^{0.5}$	0,96	21,93*	9,17
	$Y = 5,333704 + 0,036611Г - 0,000661Г^2 + 0,017046N - 0,000086N^2 + 0,035875P - 0,000394P^2 - 0,000015ГN + 0,00009ГP - 0,000278NP$	0,95	18,93*	9,17

* - модель достоверна на уровне значимости $p = 0,05$

Суммарная продуктивность севооборота в опыте с фосфогипсом без применения удобрений составила 5,36 т/га. Первостепенную роль в росте урожая играли азотные удобрения, превышение над контролем составило 1,10 и 1,12 т/га. Действие и последствие суперфосфата способствовали росту продуктивности севооборота до 5,97 т/га, что на 11,4 % выше контрольного варианта. Внесенная в запас доза P_{120} обеспечивала положительный баланс элемента под культурами севооборота, а интенсивность баланса составляла 222 %. Наибольшая продуктивность (7,19 т/га) отмечена на варианте с внесением $N_{40}P_{40}$ по фону 1 т/га фосфогипса. В целом использование фосфогипса и минеральных удобрений в зернопаровом севообороте привело к увеличению его общей продуктивности от 6,5 % до 34,1 % по вариантам опыта. Уравнения регрессии, наиболее точно описывающие зависимость суммарной продуктивности севооборота, от трех изучаемых удобрений показали, наличие средней линейной связи между суперфосфатом и продуктивностью и сильной – между дозами аммиачной селитры и продуктивностью (таблица 21).

Более высокие коэффициенты корреляции были получены при расчете нелинейной зависимости между дозами фосфогипса, азота и продуктивностью севооборота. Наибольший коэффициент корреляции вновь отмечен в уравнениях нелинейной множественной регрессии ($r=0,95-0,99$). Из приведенных уравнений регрессии видно, что рассматриваемые факторы в севообороте вызвали положительную реакцию возделываемых культур, которая отразилась в увеличении продуктивности зернопарового севооборота.

Таблица 21 – Регрессионная зависимость суммарной продуктивности севооборота (Y) в т/га от доз фосфогипса (Ф) в т/га, азотных (N) и фосфорных (P) удобрений в кг д.в./га

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической урожайностью Y	Оценка достоверности модели	
			F ₀₅	F _T
Линейная парная	$Y = 0,133333\Phi + 2,11$	0,30	1,59*	0,23
	$Y = 0,003528P + 2,11$	0,39	2,87*	0,11
	$Y = 0,004063N + 2,02$	0,73	18,63*	0,001
Нелинейная парная	$Y = 2,103 + 0,26\Phi - 0,127\Phi^2$	0,31	0,81	2,15
	$Y = 1,963 + 0,0123N - 0,000103N^2$	0,85	19,37*	2,15
Линейная множественная	$Y = 1,880833 + 0,133333\Phi + 0,003528P + 0,004063N$	0,88	16,60*	3,14
Нелинейная множественная	$Y = 1,834193 + 0,134392\Phi^{0,5} + 0,003528P + 0,039165N^{0,5}$	0,95	47,18*	3,14
	$Y = 1,792738 - 0,019567\Phi + 0,147112\Phi^{0,5} - 0,000582P + 0,032843P^{0,5} - 0,005411N + 0,091898N^{0,5} + 0,002474(\Phi P)^{0,5} - 0,000400(\Phi N)^{0,5} - 0,001833(PN)^{0,5}$	0,99	46,48*	9,80

* - модель достоверна на уровне значимости $p = 0,05$

Продуктивность севооборота с сапропелем на варианте без удобрений составила 5,25 т/га з.е. (ежегодно 1,75 т/га), а при внесении $N_{30}P_{30}$ – 6,13 т/га з.е. Наибольшую продуктивность обеспечил вариант на фоне известкования с применением сапропеля 1 и минеральных удобрений, где продуктивность возросла до 6,41 т/га з.е., что на 1,16 т/га (или на 22,1 %) больше, чем на контроле. Такой эффект достигнут, в результате снижения кислотности, так как сапропель (1) с pH – 7,76, способствовал нейтрализации почвенного раствора чернозёма со слабокислой реакцией (pH_{сол} – 5,65-6,00), увеличением степени насыщенности почвы основаниями до 88,2 %.

Корреляционно-регрессионный анализ свидетельствует, что рассматриваемые факторы в севообороте вызвали положительную реакцию возделываемых культур. Наиболее значительным и устойчивым было взаимодействие азотно-фосфорного удобрения. Слабым было влияние сапропеля (С2) и известкового мелиоранта (таблица 22).

Таблица 22 – Регрессионная зависимость средней урожайности зерновых (Y) от доз извести (И) в т/га, азотно-фосфорного (NP) удобрения в кг д.в./га и сапропеля (С) в т/га

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической урожайностью Y	Оценка достоверности модели	
			F ₀₅	F _T
Линейная парная	$Y = 0,0325И + 1,93$	0,26	0,70*	0,42
	$Y = 0,003806NP + 1,85$	0,90	42,03*	0,001
	$Y = 0,004625C(1) + 1,92$	0,35	0,84*	0,39
	$Y = 0,00175C(2) + 1,92$	0,14	0,11	0,75
Линейная множественная	$Y = 1,77 + 0,03375И + 0,003875NP + 0,004625C(1)$	0,98	40,25*	3,40
	$Y = 1,77 + 0,0275И + 0,004083NP + 0,00175C(2)$	0,98	40,81*	3,40

* - модель достоверна на уровне значимости $p = 0,05$

Доля тесноты связи $N_{30}P_{30}$ с урожайностью объясняется в первую очередь их степенью растворимости и доступностью для растений за счет режима увлажнения в мае-июне. Наибольший коэффициент корреляции отмечен в уравнениях линейной множественной регрессии ($r=0,98$).

Для поиска альтернативных источников полуперепревшему навозу был заложен опыт с птичьим пометом, где рассматривалось действие и последствие удобрения на продуктивность зерновых культур в севообороте (таблица 23).

Продуктивность севооборота в опыте с птичьим пометом, без внесения удобрений за три года составила 5,14 т з.е. с 1 га. Ежегодное применение P_{40-80} дало прибавку 0,35–0,36 т/га з.е. за 3 года (или 0,12 т/га ежегодно). На фоне $N_{40}K_{40}$ сбор зерна в севообороте составил 5,64 т/га з.е. Внесение суперфосфата, позволило повысить суммарную продуктивность гектара до 5,95 т/га з.е. или на 15,8 %.

Таблица 23 – Регрессионная зависимость урожайности зерновых (Y) от доз гусиного помета (П) в т/га и азотно-фосфорного (NP) удобрения в кг д.в./га (2017–2019 гг.)

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической урожайностью Y	Оценка достоверности модели	
			F ₀₅	F _T
Линейная парная	$Y = 0,036333П + 1,67$	0,66	5,53*	0,05
	$Y = 0,00475NP + 1,66$	0,70	6,53*	0,04
Нелинейная парная	$Y = 1,657 + 0,049П - 0,00127П^2$	0,67	2,41	2,60
	$Y = 1,63 + 0,00908NP - 0,000054NP^2$	0,72	3,20*	2,60
Линейная множественная	$Y = 1,477222 + 0,036333П + 0,00475NP$	0,96	35,51*	2,60
Нелинейная множественная	$Y = 1,449805 + 0,036333П + 0,042718NP^{0,5}$	0,98	67,22*	2,60
Квадратичная множественная	$Y = 1,482472 + 0,021043П + 0,023513П^{0,5} - 0,000481NP + 0,038004NP^{0,5} + 0,00488(П*NP)^{0,5}$	0,99	22,37*	5,30
Параболическая множественная	$Y = 1,467778 + 0,043П - 0,001267П^2 + 0,008333NP - 0,000054NP^2 + 0,00015П*NP$	0,99	19,42*	5,30

* - модель достоверна на уровне значимости $p = 0,05$

Ежегодное внесение минерального удобрения также оказало наибольшее влияние на урожайность культур. Коэффициент корреляции между дозой азотно-фосфорного удобрения и урожайностью зерновых культур составил 0,70, птичьего помета и урожайностью – 0,66. Зависимость урожайности от органического удобрения, азота и фосфора описывалась уравнениями множественной регрессии. Теснота связи между факторными и результативными показателями в этом случае была наивысшей за три года ($r = 0,99$).

Полученные в работе регрессионные уравнения зависимостей служат основой программного обеспечения для своевременного решения производственных вопросов использования агрохимикатов.

Фактор погодных условий в эффективности удобрений и мелиорантов при возделывании зерновых культур

В рамках исследования с 2001 по 2022 гг. велись наблюдения за количеством осадков, выпадающих в течение вегетационного периода (май-август). На основании данных Курганской метеостанции о среднесуточных температурах были вычислены суммы температур и значение гидротермического коэффициента (ГТК) за вегетационный период. За 2001-2022 гг. сумма осадков колебалась от 85 до 315 мм, сумма температур $> 10^{\circ}\text{C}$ – от 1632 до 2900 $^{\circ}\text{C}$, ГТК – от 0,30 до 1,93 (рисунок 7).

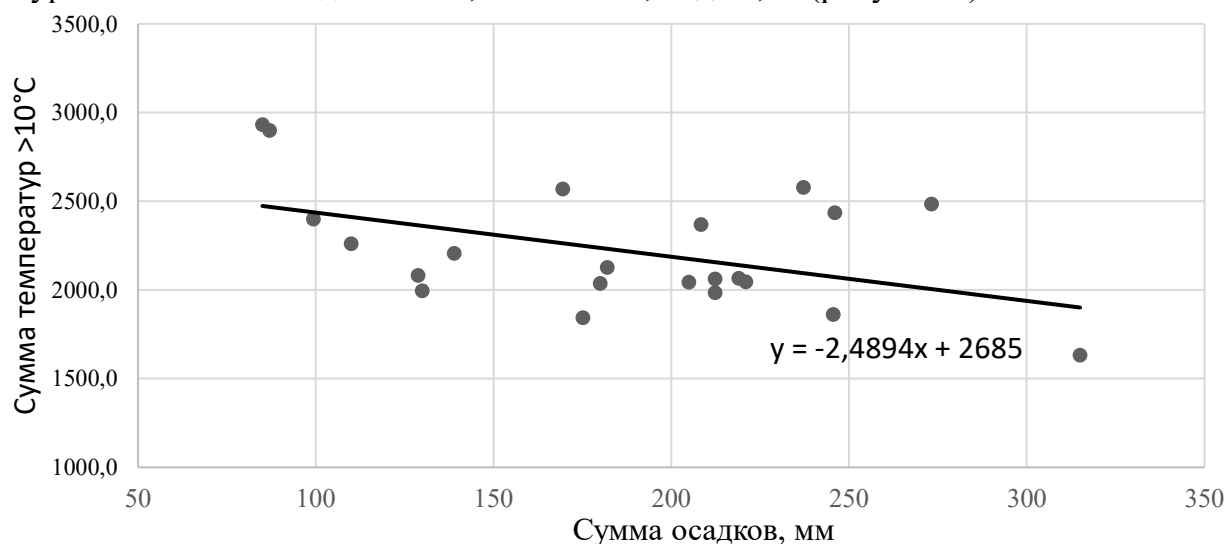


Рисунок 7 – Сумма температур $> 10^{\circ}\text{C}$ и сумма осадков за период май-август (Курганская ГСХА, 2001-2022 гг.)

Связь суммы осадков и суммы активных температур можно выразить линейным уравнением регрессии $Y = -2,4894X + 2685$ при значении коэффициента корреляции $r_{0,05}$ минус 0,47, что предсказуемо указывает на наличие отрицательной средней силы связи между этими показателями.

Средняя урожайность на вариантах без применения удобрений в годы исследований составила 1,79 т/га з. ед. (рисунок 8). Внесение минеральных удобрений повышало урожайность зерновых культур до 2,15 т/га (или на 20,1%). Совместное применение гидрорегля и минеральных удобрений увеличивало урожайность до 2,19 т/га. Наибольшая урожайность отмечалась при совместном использовании минеральных, органических удобрений и кальцийсодержащих соединений – 2,86 т/га (или на 59,8 %).

В условиях центральной части Курганской области влияние погодных условий вегетационного периода на урожайность зерновых культур, в основном, определяется суммой выпавших осадков – на 32,5 % (коэффициент детерминации $r^2 = 0,325$) вне зависимости от минерального питания.

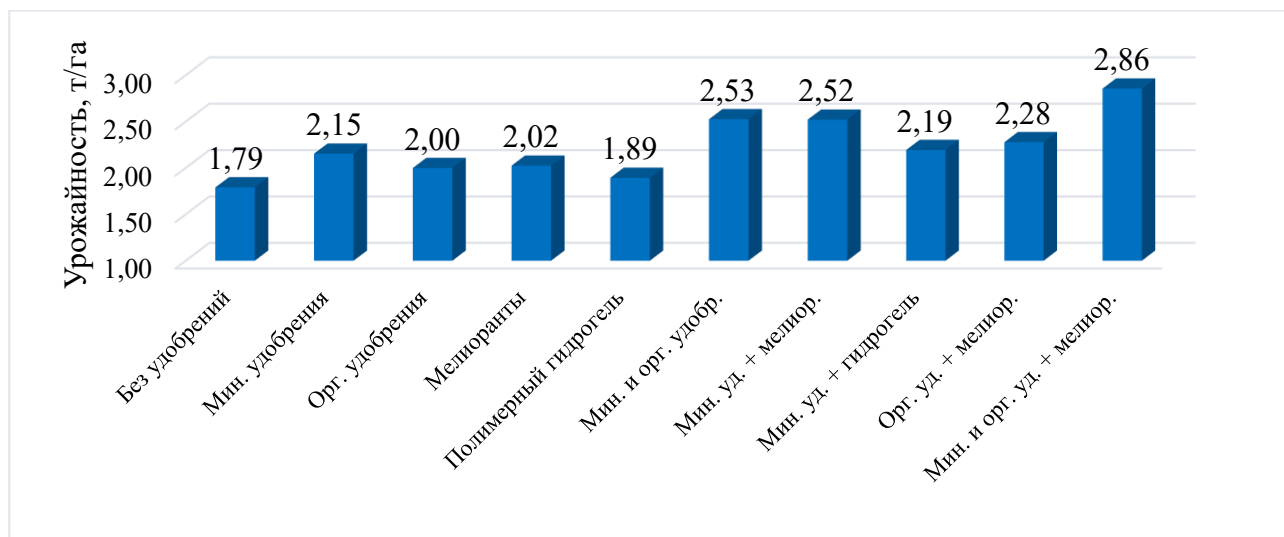


Рисунок 8 – Урожайность зерновых культур при использовании агрохимикатов (опытное поле Курганской ГСХА, 2001-2019 гг.)

В меньшей степени суммой активных температур – на 7,6 %, к тому же эта связь является несущественной на 95%-ном уровне вероятности ($t_{\phi} < t_{05}$). Показатель ГТК, основанный на этих двух показателях, определяет изменения урожайности зерновых культур на 22,8 %.

Качество продукции зерновых культур при различных уровнях почвенного плодородия

Удобрения влияли на качество зерновых культур, независимо от погодных условий вегетационных периодов, предшественников. Содержание азота в урожае культуры зависело от обеспеченности доступными формами элемента. Содержание азота в зерне первой пшеницы после пара в опыте 1 на варианте без применения удобрений составило 1,69%. При внесении $N_{35}P_{50}$ содержание его повысилось до 1,91%. На второй пшенице с внесением $N_{70}P_{50}$ разница составила 0,18 %, в зерне ячменя на варианте с $N_{70}P_{40}$ увеличение содержания азота было 0,06 (1,79 %).

Содержание азота в зерне на контроле в исследованиях с полимерным гидрогелем в острозасушливых условиях (ГТК - 0,29) составило 2,16 %, в соломе – 0,46 %. При внесении удобрений в количестве N_{60} содержание азота в зерне повысилось на 0,52%. Содержание фосфора в зерне незначительно варьировалось по опыту. Применение гидрогеля в дозе 20 кг/га увеличивало содержание азота в зерне до – 2,81%. В среднем за два года исследований содержание сырой клейковины на варианте без удобрений составило 27,6%, на вариантах с применением минеральных удобрений 27,9–34,9%. На фоне использования гидрогеля в дозе 20 кг/га содержание клейковины увеличилось до 32,7 %, на вариантах с азотным удобрением этот показатель возрос до 34,0%.

Ведущую роль в повышении качества продукции в большинстве опытов обычно играют азотные удобрения, действие которых наиболее полно проявляется на фоне достаточной обеспеченности растений другими элементами. Связь доз применяемых азотных удобрений и содержания клейковины в зерне средняя ($r = 0,62$) (таблица 24).

Определение нелинейной множественной зависимости качества от доз гидрогеля, азотных и фосфорных удобрений, показало, что коэффициент корреляции составляет 0,79. После чего путем подбора параметров уравнения было установлено, что в большей степени качество пшеницы по пару зависела от доз гидрогеля в $\frac{1}{2}$ степени, доз фосфора в $\frac{1}{2}$ степени и от доз азота в квадрате.

Таблица 24 – Регрессионная зависимость содержания сырой клейковины в зерне пшеницы (Y) в % от доз гидрогеля (Г) в кг/га, азотных (N) и фосфорных (P) удобрений в кг д.в./га (среднее в звене севооборота)

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической клейковиной Y
Линейная парная	$Y = 31,663 + 0,0158Г$	0,13
	$Y = 30,460 - 0,0506N$	0,62
	$Y = 31,510 + 0,0235P$	0,19
Нелинейная парная	$Y = 31,522 + 0,0581Г - 0,0011Г^2$	0,16
	$Y = 30,378 + 0,0671N - 0,0003N^2$	0,63
	$Y = 31,778 - 0,0568P + 0,0020P^2$	0,27
Линейная множественная	$Y = 29,67407 + 0,01583Г + 0,05065N + 0,02347P$	0,67
Нелинейная множественная	$Y = 29,59250 + 0,11216Г^{0,5} + 0,05065N + 0,00070P^2$	0,68
	$Y = 28,48003 - 0,03513Г + 0,73677Г^{0,5} + 0,03075N + 0,39930N^{0,5} + 0,12038P - 63934P^{0,5} - 0,08408(ГN)^{0,5} - 0,01218(ГP)^{0,5} + 0,01595(NP)^{0,5}$	0,79
	$Y = 28,91852 + 0,10181Г - 0,00106Г^2 + 0,09588N - 0,00027N^2 - 0,06368P + 0,00201P^2 - 0,00156ГN + 0,00016ГP + 0,00012NP$	0,77

Содержание сырой клейковины на контроле в опыте с фосфогипсом и минеральными удобрениями составило 32,6 %. Самое высокое содержание клейковины (37,0 %) отмечалось на пятом варианте опыта при совместном использовании азотных и фосфорных удобрений. В исследованиях с фосфогипсом и минеральными удобрениями, полученные данные по качеству продукции, показали, что в среднем содержание сырой клейковины зависело от доз применяемых азотных удобрений – коэффициент корреляции составил 0,533 (таблица 25).

Таблица 25 – Регрессионная зависимость содержания сырой клейковины в зерне пшеницы (Y) в % от доз фосфогипса (Ф) в т/га, азотных (N) и фосфорных (P) удобрений в кг д.в./га (среднее в звене севооборота)

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической клейковиной Y
Линейная парная	$Y = 34,889 - 1,1333Ф$	0,30
	$Y = 33,322 + 0,0250N$	0,53
	$Y = 33,922 + 0,0200P$	0,26
Нелинейная парная	$Y = 35,233 - 5,2667Ф + 4,1333Ф^2$	0,44
	$Y = 33,050 + 0,0658N - 0,0005N^2$	0,59
Линейная множественная	$Y = 33,48889 - 1,13333Ф + 0,02500N + 0,02000P$	0,67
Нелинейная множественная	$Y = 33,48794 - 1,34193Ф^{0,5} + 0,23536N^{0,5} + 0,02000P$	0,73
	$Y = 33,11850 + 2,60866Ф - 3,09214Ф^{0,5} - 0,01894N + 0,48578N^{0,5} + 0,02942P - 0,15742(ФN)^{0,5} + 0,06768(ФP)^{0,5} - 0,01171(NP)^{0,5}$	0,78
	$Y = 33,27778 - 4,73333Ф + 4,13333Ф^2 + 0,07625N - 0,00051N^2 + 0,01417P - 0,02000ФN + 0,01333ФP - 0,00002NP$	0,80

Линейная и нелинейная формы зависимости с довольно близкой точностью ($r=0,78$) описывают изменения данных показателей

Действие сапропеля в первый год после его внесения способствовало получить зерно с содержанием азота 2,66 %, с клейковиной 34,4 %, что было выше соответственно на 0,34 % и 4,9 % у пшеницы без использования удобрений. Нейтрализация чернозёма выщелоченного при внесении извести 2 т/га и применение сапропеля 20 т/га позволило получить зерно с наибольшим содержанием азота 2,77 %, клейковины – 34,6 %. Результаты исследований показали, что содержание сырой клейковины в зерне пшеницы в большей степени зависело от доз сапропеля, особенно С1 ($r = 0,44$) (таблица 26).

Таблица 26 – Регрессионная зависимость содержания клейковины в зерне пшеницы (Y) в % от доз сапропелей (С1 и С2) в т/га, доз извести (И) в т/га, азотно-фосфорных (NP) удобрений в кг д.в./га

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической клейковиной Y
Линейная парная	$Y = 642,17 + 0,0556И$	0,01
	$Y = 640,39 + 0,0611NP$	0,31
	$Y = 638,83 + 0,2708C(1)$	0,44
	$Y = 638,83 + 0,2375C(2)$	0,36
Линейная множественная	$Y = 635,5833 - 2,5833И + 0,1194NP + 0,3833C(1)$	0,70
	$Y = 633,2500 - 1,1667И + 0,1500NP + 0,3500C(2)$	0,68

В опыте с гусиным пометом за годы исследований содержание клейковины в большей мере зависело от доз гусиного помета, чем азотно-фосфорного удобрения. Причем более точно это влияние описывалось нелинейным уравнением, при этом коэффициент корреляции равнялся 0,94.

ГЛАВА 7. ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ОПТИМАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО В ИНТЕНСИВНОЙ СИСТЕМЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Приведенные параметры ориентировочные и их нужно периодически уточнять, учитывая различные почвенные условия, структуру посевных площадей, группы сельскохозяйственных культур в хозяйстве и типы севооборотов.

Обобщив и математически обработав результаты стационарных опытов, определены оптимальные показатели агрохимических свойств почв для чернозёма выщелоченного легкосуглинистого лесостепного Зауралья (таблица 27).

По результатам полевых и лабораторных исследований нами установлены параметры почвенного плодородия чернозёма выщелоченного в условиях лесостепного Зауралья: содержание подвижного фосфора – 95-165 мг/кг, калия – 135-190 мг/кг; емкость катионного обмена – 28-35 мг.-экв. / 100 г почвы; степени насыщенности основаниями – 88-93 %; кислотности актуальной – 6,3-7,0 ед., обменной – 5,4-6,0 ед.; количества агрономически ценных агрегатов – 63-72 %; коэффициента структурности – 1,7-2,5; плотности сложения – 1,07-1,15 г/см³; общей пористости – 56-59 %, которые обеспечивают наибольшую продуктивность зернопаровых севооборотов при содержании гумуса 3,8 % и выше.

Приемы, обеспечивающие достижение оптимальных свойств чернозёма: органические удобрения (навоз КРС) – 8-10 т/га, сидерация (один раз в 4 года), известкование в расчете на нейтрализацию 0,5-1,0 г.к. один раз за 4 года; минеральные азотные удобрения – 60-80 кг/га, фосфорные – 40-60 кг/га, калийные – 30-70 кг/га.

Таблица 27 – Интегральная модель оптимальных свойств чернозёма выщелоченного и приемы, обеспечивающие их достижение

Показатели, характеризующие состояние плодородия чернозёма выщелоченного			Оптимальные значения параметров	Приемы и нормативы затрат, обеспечивающие достижение оптимальных свойств почв
Агрохимические свойства	Содержание и запасы	Гумус	>3,8 %; запас для слоя 0-20 см – 90-100 т/га	Органические удобрения – 8-10 т/га севооборотной площади. 0,02-0,03% гумуса от 10 т навоза в зависимости от структуры посевных площадей
		Нитратный азот (N-NO ₃)	Доступные формы 12-25 мг/кг в слое 0-40 см; 55-110 кг/га; возможное потребление из почвенных ресурсов за вегетацию до 60 кг/га	На 1 га севооборотной площади; органические удобрения – 8-10 т/га; минеральные азотные удобрения – 60-80 кг/га; бобовые культуры
		Подвижный фосфор (P ₂ O ₅)	95-165 мг/кг в слое 0-20 см; 210-360 кг/га; возможное потребление из почвенных ресурсов за вегетацию до 25-30 кг/га	Органические, минеральные фосфорные удобрения с расчетом на создание положительного баланса. 40-60 кг P ₂ O ₅ в виде удобрений для смещения содержания на 10 мг/кг почвы
		Подвижный калий (K ₂ O)	135-190 мг/кг в слое 0-20 см; 310-430 мг/га; возможное потребление из почвенных ресурсов за вегетацию до 80-120 кг/га	Органические, минеральные, калийные удобрения с расчетом на создание положительного баланса. 30-70 кг/га K ₂ O в виде удобрений для смещения содержания на 10 мг/кг почвы
	Реакция почвенного раствора		pH _{H2O} – 6,3-7,0; pH _{KCl} – 5,4-6,0; гидролитическая кислотность 1,8-3,2 мг.-экв./100 г	Известкование в расчете на нейтрализацию 0,50-1,0 г.к. 1 раз в 4 года. От 1 т известковых материалов смещение pH _{KCl} на 0,17-0,24 ед, pH _{H2O} – 0,21-0,25 ед, гидролитическая кислотность – 0,26-0,58 мг.-экв./ 100 г
	Состояние почвенного поглощающего комплекса		Емкость катионного обмена 28-35 мг.-экв. / 100 г почвы; степень насыщенности 88-93%	
Агрофизические свойства	Плотность сложения		Плотность 1,07-1,15 г/см ³ , пористость общая 56-59%,	Органические удобрения; рациональная система обработки почв (своевременное сохранение и накопление влаги); снижение деформирующего воздействия сельскохозяйственных машин (переуплотнение почв)
	Структурно-агрегатный состав		Коэффициент структурности 1,7-2,5, количество агрономически ценных агрегатов 63-70 %	

ГЛАВА 8. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ УЛУЧШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ

В стационарном опыте изучения различных видов органических удобрений также проведены расчеты экономической эффективности применения химических мелиорантов с удобрениями (таблица 28). Экономическая оценка применяемых агротехнологических приемов в зернопаровых севооборотах, показала увеличение рентабельности. За 20 лет цена пшеницы росла и достигла 16500 руб./т. (ввиду диспаритета цен, за основу расчетов была взяты средние цены на зерновые за последние три года – 12700 руб./т.).

Таблица 28 – Экономическая эффективность применения удобрений в зернопаровом севообороте (опыт 1)

Вариант	Суммарная продуктивность, т з.е.	Производственные затраты на 1 га всего за ротацию, руб.	Стоимость продукции 1 га, руб.	Условный чистый доход, руб. на 1 га, всего за ротацию	Рентабельность, %
1. Контроль (без удобрений)	6,32	34950	80264	45314	130
2. N ₁₇₅ P ₁₄₀	8,42	51613	106934	55321	107
3. Навоз 40 т/га	7,42	39950	94234	54284	136
4. Навоз + NP	10,13	56613	128651	72038	127
5. Известь 3 т/га – фон ₁	7,31	37950	92837	54887	145
6. Фон ₁ + навоз + NP	11,75	59614	149225	89611	150
7. Фосфоритная мука 1 т/га-фон ₂	7,2	43950	91440	47490	108
8. Фон ₂ + навоз + NP	11,39	65614	144653	79039	120
9. Гипс 3 т/га - фон ₃	7,12	38650	90424	51774	134
10. Фон ₃ + навоз + NP	11,2	60314	142240	81926	136

N₁₇₅P₁₄₀*- внесено за всю ротацию севооборота

Наиболее экономически выгодной была органоминеральная система удобрения, которая как отмечено в соответствующих главах, обеспечивала воспроизводство плодородия почв и увеличивала урожайность зерновых культур. Так на варианте применения полуперепревшего навоза (40 т/га) рентабельность производства зерновых в зернопаровом севообороте достигала 136 %, а с использованием навоза, азотных и фосфорных удобрений, известкования, гипсования 136-150, что на 4-14 % выше контрольного варианта.

Применение N₁₇₅P₁₄₀ за ротацию севооборота, только извести, фосфоритной муки и гипса тоже позволило выращивать культуры рентабельно – 107-134 %, однако из-за высокой стоимости средств химизации эффективность снижалась на 3-23 % относительно контрольного варианта. Считаем, что в условиях высокого уровня деградационных процессов почвенного плодородия следует анализировать экономическую целесообразность агроприемов с иных позиций – выдвигая на первое место плодородие почвы. Это подтверждает моделирование агроэкосистем и суммарная продуктивность зернопарового севооборота, которая на всех изучаемых вариантах была выше на 0,8-5,43 т/га по сравнению с выращиванием культур без органических, минеральных удобрений и мелиорантов (извести, гипса). Естественно, производственные затраты возросли при использовании органоминеральной системы удобрений на 3000-30664 руб./га, но при реализации продукции увеличился и условно чистый доход на 2176-44297 руб./га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований были изучены процессы трансформации свойств чернозёмов Зауралья при разных уровнях сельскохозяйственного использования в течение 43-55 лет. Выявлена деградация агрофизических и агрохимических свойств пахотных почв, что сказывается на уровне продуктивности агроценоза. Изучены и предложены приёмы сохранения (восстановления) плодородия чернозёмов Зауралья. Выявленные зависимости между ключевыми факторами, урожайностью и качеством сельскохозяйственной продукции, представлены уравнениями регрессии.

1. Окультуренные (пахотные и залежные) почвы Зауралья широко распространены на желто-бурых лессовидных суглинках на равнинном рельефе при незначительной глубине залегания грунтовых вод, изменены под влиянием деятельности человека по сравнению с целинными почвами, что говорит о необходимости рассматривать производственную деятельность человека как значимый фактор почвообразования. Черноземы преобладают в почвенном покрове Зауралья (30,3 %) и от уровня их плодородия и степени развития деградационных процессов зависит продуктивность агроценозов.

2. Чернозёмы при длительном сельскохозяйственном использовании приобретают признаки деградации – снижение суммы обменных оснований на 31,1-33,9 %; увеличение обменной (на 19,2-20,2 %) и гидролитической кислотности; рост плотности сложения верхних гумусовых горизонтов на 8,5-33,3 % (до 1,21-1,38 г/см³); утяжеление гранулометрического состава, увеличение доли физической глины. В легкосуглинистых чернозёмах относительное снижение содержания гумуса составило 30,1 %, тогда как в тяжелых разновидностях – 16,6 %. Происходило разрушение агрономически ценной структуры почвы с 66,1-73,1 % до 46,8-57,3 %, снижение коэффициента структурности с 2,12-3,07 до 1,06-1,26.

3. Применение в опытах минеральных удобрений привело к подкислению почвы и ухудшению агрохимических показателей чернозёма, наблюдалось снижение содержания обменного кальция в пахотном горизонте на 0,1-0,8 мг.-экв. / 100 г почвы, степени насыщенности основаниями – на 0,8-2,6 %, что подтверждает необходимость применения кальцийсодержащих соединений, корректирующих кислотность.

4. Направленное воздействие агрохимическими средствами на почвенный покров приводило к комплексному положительному изменению свойств пахотного слоя. При использовании извести, фосфоритной муки и сапропеля отмечено снижение всех форм кислотности и насыщение ППК кальцием. Наибольший эффект по снижению избыточной кислотности за ротацию севооборота достигался при совместном применении извести в дозах 2-3 т/га и органических удобрений. Гидролитическая кислотность снижалась на 0,45-1,20 мг.-экв. / 100 г почвы, актуальная и обменная – на 0,60-0,95 и 0,79-0,81 ед. соответственно. Ежегодное применение минеральных удобрений повышало количество P₂O₅ в почве на 4-73 мг/кг, органических – на 6-48 мг/кг по сравнению с неудобренными вариантами. Использование полимерного гидрогеля и фосфорных удобрений способствовало увеличению количества фосфатов в почве на 26-37 мг/кг почвы. Выявлена средняя корреляция содержания подвижных фосфатов в почве с урожайностью ($r=0,56$). Динамика содержания подвижного калия в почве во времени выражена слабо.

5. Использование органических удобрений улучшало агрофизические свойства чернозёма. Выражалось в снижении плотности сложения почвы на 0,01-0,10 г/см³, увеличении общей пористости на 0,3-2,3 % и коэффициента структурности – с 1,53 до 2,52. Расчеты баланса гумуса показали, что доза полуперепревшего навоза 40 т/га компенсировала минерализацию гумуса за ротацию севооборота на 113,6 %, а сапропель в дозе 20 т/га – на 81,6 %.

6. Минеральное удобрение N_{80} при совместном использовании с фосфогипсом обеспечивало положительный баланс азота в севообороте – 18,9-23,6 кг/га. Применение 1 т/га фосфоритной муки обеспечивало положительный баланс фосфора (170 кг/га). Внесение суперфосфата (P_{40}) и калия хлористого (K_{40}) привело к положительному балансу фосфора (43-66 кг/га) и калия (8,7-18,4 кг/га) за ротацию севооборота, компенсация выноса фосфора составила 176-201 %, калия 108-118 %.

7. Совместное применение органических и минеральных удобрений способствовало более полному использованию элементов питания зерновыми культурами относительно вариантов с применением только минеральных форм. Коэффициент использования азота минерального удобрения составлял 19,8-53,5 %, на фоне известкования и гипсования он повышался до 57,0 %. Дополнительное применение кальцийсодержащих материалов увеличивало использование растениями фосфора удобрений с 10,5 до 26,0-27,0 %. На фоне 40 кг/га полимерного гидрогеля коэффициенты использования элементов минеральных удобрений достигали в среднем по дозам азота 42,6-78,1 % и фосфора 16,5-38,7%.

8. Применение минеральных удобрений приводило к увеличению урожайности культур, и как следствие выноса элементов питания. Вынос азота урожаем пшеницы увеличивался до 39,9 кг/т продукции, фосфора до 14,0 кг, калия до 26,7 кг, урожаем ячменя – азота на 7,0 кг, фосфора на 1,9 кг, калия на 10,7 кг/т.

9. Валовой сбор зерна в севооборотах при внесении извести (3 т/га) с навозом КРС (40 т/га) и минеральными удобрениями составил 11,75 т з.е./га, что на 86% больше, чем без их использования. Применение 20 кг/га полимерного гидрогеля совместно с $N_{60}P_{20}$ увеличивало продуктивность севооборота до 6,89 т з.е./га (на 28,1 % выше контроля), фосфогипс и минеральные удобрения – на 6,5-34,1 %. На фоне сапропеля (20 т/га) от ежегодного применения $N_{30}P_{30}$ продуктивность зерновых культур возросла на 19,0 %, с дополнительным известкованием (2 т/га) на 22,1 %, что на 1,16 т/га больше, чем на контроле. Применение полного минерального удобрения увеличивало продуктивность севооборота до 5,95 т з.е./га или на 15,8 %. Совместное применение птичьего помета (10 т/га) и $N_{40}P_{40}$ повышало продуктивность севооборота до 6,52 т з.е., что выше контрольного варианта на 46,6 %. Между применявшимися агрохимическими приемами и продуктивностью выявлено наличие средней парной связи, однако наибольший коэффициент корреляции (0,89-0,96) выявлен при вычислении нелинейной множественной регрессии. Уравнения нелинейной множественной регрессии при определении зависимости урожайности от фосфогипса, азота и фосфора, показали тесноту связи 0,95-0,97. При применении сапропелей коэффициент корреляции с урожайностью составил 0,98, в опыте с птичьим пометом – 0,66. Полученные в работе математические модели зависимостей служат основой оригинального программного обеспечения для своевременного решения производственных вопросов использования удобрений и химических мелиорантов.

10. В результате многолетних наблюдений было подтверждено, что погодные условия оказывают значительное влияние на эффективность применения удобрений. Коэффициент корреляции между урожайностью и ГТК составил 0,48, количеством осадков, выпавших за вегетационный период – 0,62, при этом применение минеральных удобрений оказывало среднее влияние на урожайность – 0,66. Доля влияния погодных условий вегетационного периода на урожайность зерновых культур, в основном (32,5 %), определяется суммой выпавших осадков вне зависимости от минерального питания.

11. Азотные удобрения в дозе 40-60 кг д.в./га повышали содержание сырой клейковины в зерне пшеницы на 1,7-7,3 %. Полимерный гидрогель (20 кг/га) и N_{60} увеличивали содержание клейковины до 33,3 %, фосфогипс – до 37,0 %. При использовании

полного минерального удобрения разница с контрольным вариантом составляла 5,0 %. Содержание клейковины увеличилось и в опыте с птичьим пометом (5 т/га) и минеральными удобрениями ($N_{40}P_{40}$) на 4,0 % по сравнению с контрольным вариантом. При хорошей обеспеченности азотом после пара минеральные удобрения оказывали слабое и среднее влияние на содержание сырой клейковины в зерне пшеницы – коэффициент корреляции с дозами азотного удобрения составлял 0,10-0,53, фосфорного – 0,08-0,49. На последующих культурах влияние минеральных удобрений на качество продукции возрастало – при внесении азотных удобрений коэффициент корреляции увеличился до 0,66-0,96.

12. Установлены оптимальные параметры почвенного плодородия чернозёма выщелоченного в условиях лесостепного Зауралья, которые обеспечивают наибольшую продуктивность зернопаровых севооборотов при содержании гумуса 3,8 % и выше: содержание подвижного фосфора – 95-165 мг/кг, калия – 135-190 мг/кг; емкость катионного обмена – 28-35 мг.-экв. / 100 г почвы; степень насыщенности основаниями – 88-93 %; кислотность актуальная – 6,3-7,0 ед., обменная – 5,4-6,0 ед.; количество агрономически ценных агрегатов – 63-72 %; коэффициент структурности – 1,7-2,5; плотность сложения – 1,07-1,15 г/см³; общая пористость – 56,0-59,0 %.

13. Органоминеральная система удобрения с использованием азотно-фосфорных удобрений, навоза полуперепревшего, извести, гипса и их сочетаний повышает уровень рентабельности производства зерновых культур до 134-150 %.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для обеспечения эффективного плодородия чернозёма выщелоченного лесостепного Зауралья и роста экономической эффективности возделывания зерновых культур предлагается органоминеральная система удобрений в зернопаровом севообороте с использованием навоза полуперепревшего (35-40 т/га), сидератов, сапропеля (20 т/га).

2. В условиях дефицита влаги предлагается использовать полимерный гидрогель в дозе 20 кг/га совместно с фосфорными удобрениями (P_{40}).

3. В зернопаровых севооборотах с учетом запасов продуктивной влаги после пара рекомендуется вносить не менее $N_{40}P_{40}$, в комплексе с органическими удобрениями, по непаровому предшественнику – не менее $N_{60}P_{40}$, на планируемую урожайность зерновых культур 2,5-3,0 т/га.

4. Для повышения эффективности органоминеральной системы удобрения и снижения кислотности чернозёма выщелоченного рекомендуется применение в зернопаровых севооборотах 2-3 т/га извести.

5. Разработанные уравнения более точно описывают зависимости свойств почвы и урожайности культур от применяемых удобрений и мелиорантов в лесостепных условиях региона в сравнении с общепринятыми, усредненными коэффициентами. Для перехода на цифровые технологии предлагается программный продукт на базе уравнений регрессии действия различных сочетаний погодных, почвенных и антропогенных факторов на урожайность.

Работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в перечень изданий рекомендованных ВАК

1. **Плотников А.М.** Влияние удобрений и химических мелиорантов на урожайность и качество зерна яровой пшеницы / А.М. Плотников, В.А. Яковлев // Аграрный вестник Урала. – 2003. – № 5(17). – С. 46-47. – EDN FIARXQ.
2. **Яковлев В.А.** Влияние химических мелиорантов и удобрений на продуктивность зернопарового севооборота и агрохимические свойства чернозёма

- выщелоченного / В.А. Яковлев, **А.М. Плотников** // Аграрный вестник Урала. – 2005. – №2(26). – С. 43-45. – EDN IZBPR.
3. Иванюшин Е.А. Запасы гумуса и азота в чернозёмах Зауралья / Е.А. Иванюшин, **А.М. Плотников** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – №9(71). – С. 37-40. – EDN MTGOZX.
4. **Плотников А.М.** Общие физические свойства чернозёма выщелоченного в южной агроклиматической зоне Курганской области / А.М. Плотников // Вестник Курганской ГСХА. – 2012. – № 1(1). – С. 35-38. – EDN PYJKOR.
5. Шилов А.Н. Продуктивность зернопарового севооборота под влиянием азотно-фосфорных удобрений / А.Н. Шилов, **А.М. Плотников** // Вестник Курганской ГСХА. – 2014. – № 1(9). – С. 28-30. – EDN TDUPEN.
6. Шилов А.Н. Баланс элементов питания в зернопаровом севообороте при совместном применении азотных, фосфорных удобрений и почвенного кондиционера / А.Н. Шилов, **А.М. Плотников** // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 11 (129). – С. 22-25. – EDN TAJRWR.
7. **Плотников А.М.** Урожайность и качество зерна пшеницы при использовании сапропеля в центральной части Курганской области / А.М. Плотников, А.В. Созинов, С.В. Дегтярёв // Вестник Курганской ГСХА. – 2014. – № 4 (12). – С. 27-29. – EDN TLIDKD.
8. **Плотников А.М.** Продуктивность зернопарового севооборота при использовании фосфогипса и минеральных удобрений / А.М. Плотников, В.П. Тарабаев // Вестник Курганской ГСХА. – 2016. – № 3(19). – С. 44-46. – EDN WVQSVV.
9. **Плотников А.М.** Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерновых культур в зернопаровом севообороте / А.М. Плотников, Г.С. Кабдунова // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2018. – №1(34). – С. 3-6. – EDN YTPUQR.
10. **Плотников А.М.** Баланс элементов питания и продуктивность зернопарового севооборота при применении минеральных удобрений / А.М. Плотников, Г.С. Кабдунова // Проблемы агрохимии и экологии. – 2018. – №1. – С. 38-41. – EDN YWIINO.
11. **Плотников А.М.** Баланс фосфора в зернопаровом севообороте / А.М. Плотников // Вестник Курганской ГСХА. – 2018. – № 3(27). – С. 45-47. – EDN YWPCOD.
12. Синявский И.В. Оценка зависимости урожайности зерновых культур в севообороте от применения сапропелей, извести, азотного и фосфорного удобрения / И.В. Синявский, **А.М. Плотников**, А.В. Созинов, Н.Д. Гуценская // Вестник Курганской ГСХА. – 2021. – № 3(39). – С. 13-20. –DOI: 10.52463/22274227_2021_39_13. – EDN NJVQKE.
13. Синявский И.В. Влияние перепревшего гусяного помета и минеральных удобрений на продуктивность зернопарового севооборота в условиях лесостепной зоны Зауралья / И.В. Синявский, **А.М. Плотников**, А.В. Созинов // Агрохимия. – 2021. – № 12. – С. 54-63. –DOI: 10.31857/S0002188121120140. – EDN IGTIRM.
14. Синявский И.В. Оценка зависимости урожайности зерновых культур от применения полимерного гидрогеля, азотного и фосфорного удобрения в севообороте / И.В. Синявский, **А.М. Плотников**, А.В. Созинов, Н.Д. Гуценская // Проблемы агрохимии и экологии. – 2021. – № 3-4. – С. 9-16. –DOI: 10.26178/AE.2021.61.47.001. – EDN AGTFWO.
15. Синявский И.В. Зависимость продуктивности севооборота от применения фосфогипса и удобрений / И.В. Синявский, **А.М. Плотников**, А.В. Созинов, Н.Д. Гуценская // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 1. – С. 37-42. – DOI: 10.28983/asj.y2022i1pp37-42. – EDN HVXOEА.
16. **Плотников А.М.** Баланс элементов питания в севообороте при использовании сапропеля, извести, азотно-фосфорного удобрения / А.М. Плотников, А.В. Созинов //

Проблемы агрохимии и экологии. 2022. – № 3-4. – С. 26-31. – DOI: 10.26178/AE.2022.71.83.003. – EDN BSAYPK.

17. Абрамов Н.В. Эффективность удобрений и мелиорантов в зависимости от погодных условий при возделывании зерновых культур в Курганской области/ Н.В. Абрамов, **А.М. Плотников**, А.В. Созинов // Плодородие. – 2023. – № 5. – С. 16-20. – DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.04. – EDN UMHRPL.

Патент на изобретение

18. Патент 2667159 С1 Российская Федерация, МПК С05F 11/08. Органоминеральное удобрение / Е.О. Башмакова, **А.М. Плотников**, А.А. Постовалов, А.В. Созинов; заявитель и патентообладатель: Е.О. Башмакова, **А.М. Плотников** № 2017131310, заявл. 05.09.2017. опубл. 17.09.2018, Бюл. № 26. 9 с. – EDN YXTJGE.

Монография

19. Иванюшин Е.А. Эволюция чернозёмов Зауралья и мероприятия по регулированию их плодородия и повышению продуктивности полевых культур. / Е.А. Иванюшин, **А.М. Плотников**, А.В. Созинов, В.А. Яковлев // Под общей редакцией В.А. Яковлева. – Куртамыш: ГУП Куртамышская типография, 2006. – 226 с. – EDN HDXSIF.

Публикации в других изданиях:

20. Яковлев В.А. Влияние химических мелиорантов на поглощательную способность почвы / В.А. Яковлев, **А.М. Плотников** // Научные результаты – агропромышленному производству: Материалы Международной научно-практической конференции (18-19 марта 2004 г.). – Курган: ГИПП «Зауралье». В 2-х т. – Т.1, 2004. – С. 423-425. – EDN IOZMCY.

21. **Плотников А.М.** Влияние химических мелиорантов и удобрений на продуктивность зернопарового севооборота и свойства чернозёма выщелоченного / А.М. Плотников // Применение средств химизации – основа повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранения плодородия почв: Материалы 38 Международной научной конференции (ВНИИА) (28-29 апреля 2004 г.). – М.: ВНИИА, 2004. – С. 164-167. – EDN BTZAFL.

22. **Плотников А.М.** Последствие органических удобрений и химических мелиорантов на урожайность и качество зерна ячменя / А.М. Плотников // 60 лет высшему аграрному образованию Северо-Востока Нечерноземья: Материалы I Всероссийской научно-практической конференции (01 января – 31 декабря 2004 г.): Межвузовский сборник научных трудов. – Киров: Вятская ГСХА, 2004. – С. 213-215. – EDN QJLJML.

23. **Плотников А.М.** Влияние удобрений и химических мелиорантов на свойства чернозёма выщелоченного / А.М. Плотников // Проблемы борьбы с засухой: Материалы Международной научно-практической конференции. Т.2. (08-09 сентября 2005 г.). – Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2005. – С. 173-175. – EDN CEANFU.

24. **Плотников А.М.** Влияние химических мелиорантов и удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность севооборота / А.М. Плотников // Агрохимические приемы повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: Материалы 40 Международной научной конференции (ВНИИА) (19-20 апреля 2006 г.). – М.: ВНИИА, 2006. – С. 183-186. – EDN WKNJUL.

25. **Плотников А.М.** Влияние запасов надземной и корневой фитомассы и количества гумуса на агрегатный состав почвы / А.М. Плотников // Проблемы аграрного сектора Южного Урала и пути их решения: Материалы XIV научно-методической конференции. Вып. 9. (05-06 февраля 2009 г.) – Челябинск: Изд-во ЧГАУ, 2009. – С. 221-226. – EDN CJQVMP.

26. **Плотников А.М.** Динамика содержания и запасов гумуса при различных системах обработки чернозёма выщелоченного / А.М. Плотников // Инновационные пути

решения проблемы АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию Курганской ГСХА (28-29 мая 2009 г.). – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2009. – В 2-х т. – Т.2. – С. 259-263. – EDN NNIVYR.

27. **Плотников А.М.** Агрегатный состав чернозёма выщелоченного Шадринской опытной станции / А.М. Плотников // Интеграция науки, образования и бизнеса для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: Материалы Международной научно-практической конференции (02-04 февраля 2010 г.). – Пос. Персиановский: Изд-во Донский ГАУ, 2010, в 4-томах. Том II. – С. 95-97. – EDN ZLUNZQ.

28. **Плотников А.М.** Общие физические свойства чернозёма выщелоченного на разных уровнях сельскохозяйственного использования / А.М. Плотников // Проблемы модернизации АПК: Материалы Международной научно-практической конференции (18-19 мая 2010 г.). – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2010. – в 2-х т. – Т.2. – С. 267-270. – EDN WZEKZY.

29. Головин Л.К. Баланс элементов питания и продуктивность зернопарового севооборота под влиянием удобрений и химических мелиорантов / Л.К. Головин, **А.М. Плотников** // Перспективы инновационного развития АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 420-летию земледелия Зауралья (11-13 августа 2010 г.). – Тюмень: Изд-во ТГСХА, 2010. – С. 223-229. – EDN CQVOWH.

30. **Плотников А.М.** Изменение физико-химических свойств чернозема выщелоченного при различных уровнях сельскохозяйственного использования / А.М. Плотников // Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи: Материалы Всероссийской научно-практической конференция молодых ученых, посвященной 115-летию Т.С. Мальцева (10 ноября 2010 г.). – Курган: Изд-во Курганская ГСХА, 2010. – С. 280-283. – EDN QNYJTU.

31. **Плотников А.М.** Содержание и запасы фосфора и калия в чернозёме выщелоченном на Шадринском опытном поле / А.М. Плотников // Научное наследие Т.С. Мальцева и современные проблемы земледелия России: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 115-й годовщине со дня рождения Т.С. Мальцева (11 августа 2010 г.). – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2011. – С. 192-195. – EDN DVNOMK.

32. **Плотников А.М.** Изменение структуры и физических свойств чернозема выщелоченного при сельскохозяйственном использовании / А.М. Плотников // Экологические аспекты развития АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения профессора В.Ф. Кормилицына (25 апреля 2011 г.). – Саратов: Изд-во «КУБиК», 2011. – С. 164-166. – EDN RHAXQF.

33. **Плотников А.М.** Изменение содержания и запасов гумуса в чернозёме выщелоченном при сельскохозяйственном использовании / А.М. Плотников // Аграрная наука - основа инновационного развития АПК: Материалы Международной научно-практической конференции (19-20 апреля 2011 г.). – Курган: Изд-во Курганская ГСХА, 2011. – в 2-х т. – Т.2. – С. 323-325. – EDN EDPAIX.

34. Шилов А.Н. Качество урожая яровой пшеницы при использовании почвенного кондиционера / А.Н. Шилов, **А.М. Плотников** // Стратегия развития кормопроизводства в условиях глобального изменения климатических условия и использования достижений отечественной селекции: Материалы Международной научно-практической конференция, посвященной 55-летию Уральского НИИСХ. – Т.1. Растениеводство (03-05 августа 2011 г.). – Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2011. – С. 442-445. – EDN TАНMFX.

35. Шилов А.Н. Качество зерна яровой пшеницы при использовании минеральных удобрений и почвенного кондиционера / А.Н. Шилов, **А.М. Плотников** // Аграрные регионы: тенденции и механизмы развития: Материалы Международной научно-

практической конференции (17-18 мая 2012 г.). – Курган: Изд-во Курганская ГСХА, 2012. – С. 352-354. – EDN ZNTVPU.

36. **Плотников А.М.** Трансформация агрофизических свойств чернозёмов при переводе в залежное состояние в условиях Зауралья / А.М. Плотников // Современные проблемы почвоведения и природопользования в Сибири: Материалы Всероссийской молодежной конференции (25-27 июля 2012 г.). – Томск: Изд-во «Копи-М», 2012. – С. 256-267. – EDN UVWNAU.

37. **Плотников А.М.** Влияние фосфогипса на урожайность и качество зерна яровой пшеницы / А.М. Плотников, В.П. Тарабаев // Стратегия инновационного развития агропромышленного комплекса: Материалы Международной научно-практической конференции (25-26 апреля 2013 г.). – Курган: Изд-во Курганская ГСХА, 2013. – С. 348-350. – EDN OWJUWB.

38. **Плотников А.М.** Последствие фосфогипса на урожайность и качество зерна яровой пшеницы / А.М. Плотников, В.П. Тарабаев // Вавиловские чтения - 2013: Сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 126-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова и 100-летию Саратовского ГАУ (25-27 ноября 2013 г.). – Саратов: Буква, 2013. – С. 241-243. – EDN UTFVIV.

39. Тарабаев В.П. Урожайность и качество зерна пшеницы в звене севооборота / В.П. Тарабаев, **А.М. Плотников** // Достижения науки – агропромышленному производству: Материалы LIII Международной научно-технической конференции (30 января - 01 февраля 2014 г.). – Челябинск: Изд-во ЧГАА, 2014. – Ч. V. – С. 205-210. – EDN SWTBJF.

40. **Плотников А.М.** Реакция яровой пшеницы на внесение сапропеля на выщелоченном черноземе центральной части Курганской области / А.М. Плотников, С.В. Дегтярёв // Актуальные проблемы сохранения и развития биологических ресурсов: Материалы Международной научно-практической конференции (26–27 февраля 2015 г.). – Екатеринбург: УрГАУ, 2015. – С. 341-342. – EDN SNGOLM.

41. **Плотников А.М.** Влияние сапропеля, извести и минеральных удобрений на кислотность чернозема выщелоченного / А.М. Плотников // Почва – национальное богатство. Пути повышения ее плодородия и улучшения экологического состояния: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (02-03 июля 2015 г.) / ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА; ФГБНУ Удмуртский НИИСХ. – Ижевск: ООО «Союз оригинал», 2015 – С. 123-127. – EDN JMDEIR.

42. **Плотников А.М.** Урожайность пшеницы в звене севооборота при использовании сапропеля, извести и минеральных удобрений в центральной части Курганской области / А.М. Плотников, Е.О. Башмакова, Е.Е. Канашова // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: Материалы Международной научно-практической конференции (27–28 апреля 2016 г.). – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2016. – С. 231-234. – EDN VYZXPB.

43. **Плотников А.М.** Качество зерновых культур при использовании фосфогипса и минеральных удобрений. / А.М. Плотников, В.П. Тарабаев // Разработка и внедрение почвозащитных энергосберегающих технологий – основной путь повышения рентабельности и экологической безопасности растениеводства на современном этапе: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (7-8 июля 2016 г.) / ФГБНУ Удмуртский НИИСХ. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2016. – С. 159-163. – EDN FJKVLT.

44. **Плотников А.М.** Влияние сапропелей на урожайность зерновых культур и кислотность выщелоченного чернозема. / А.М. Плотников, А.В. Созинов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – часть 6, № 4 (46). – С. 61-65. – EDN VVTNCD.

45. **Плотников А.М.** Влияние различных систем удобрения на кислотность чернозёма выщелоченного / А.М. Плотников // Научное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса регионов РФ: Материалы Международной научно-практической конференции (6 февраля 2018 г.). – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2018. – С. 608-612. – EDN YRONPN.
46. **Плотников А.М.** Баланс фосфора и продуктивность зернопарового севооборота под влиянием минеральных удобрений / А.М. Плотников, Г.С. Кабдунова // Пути реализации Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017 -2025 годы: Материалы Международной научно-практической конференции (19-20 апреля 2018 г.). – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2018. – С. 945-949. – EDN UOTYKB.
47. **Плотников А. М.** Эффективность применения аммиачной селитры в зернопаровом севообороте / А.М. Плотников // Известия высших учебных заведений Уральский регион. – 2018. – № 4. – С. 75-78. – EDN YUJDHF.
48. **Plotnikov A.M.** Agrochemical Properties of Leached Chernozem and Productivity of Grain Crops under the Influence of Fertilizers And Lime in Conditions of Trans-Urals / A.M. Plotnikov, I. V. Sinyavskiy, A.V. Sozinov // International scientific and practical conference "Agro-SMART - Smart solutions for agriculture" (Agro-SMART 2018), Tyumen, 16–20 июля 2018 года. Vol. 151. – Tyumen: Atlantis Press, 2018. – P. 663-668. – DOI <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.124>. – EDN CWFVGK.
49. **Plotnikov A.** A granulometric composition of the Zauralye black soils / A. Plotnikov, A. Sozinov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Conference on Sustainable Development of Cross-Border Regions 2019, SDCBR 2019, Barnaul, 19–20 апреля 2019 года. Vol. 395. – Barnaul: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012028. – DOI 10.1088/1755-1315/395/1/012028. – EDN VGOGFW.
50. **Plotnikov A.M.** Economic efficiency of mineral fertilizers use in grain and steam crop rotation / A.M. Plotnikov, A.V. Sozinov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 апреля 2019 года. Vol. 341. – Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. – P. 012210. – DOI 10.1088/1755-1315/341/1/012210. – EDN AQGLXS.
51. **Plotnikov A.M.** Economic efficiency of fertilizer system in field crop rotation of the Trans-Urals / A. M. Plotnikov, S. F. Sukhanova, S. V. Sazhina [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming, Voronezh, 17–18 октября 2019 года. Vol. 422. – Voronezh: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012030. – DOI 10.1088/1755-1315/422/1/012030. – EDN ETRFYX.
52. **Plotnikov A.** The use of bird droppings, mineral and organomineral fertilizers in solving the issue of increasing productivity of agricultural lands of the Trans-Urals / A. Plotnikov, I. Sinyavskiy // Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2020), Kazan, 28–30 мая 2020 года. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. – P. 00111. – DOI 10.1051/bioconf/20202700111. – EDN HRAZKS.
53. **Плотников А.М.** Применение птичьего помета и минеральных удобрений в повышении продуктивности агроценозов Зауралья / А.М. Плотников, И.В. Синявский, С.А. Еликбаева // Развитие и внедрение современных наукоемких технологий для модернизации агропромышленного комплекса: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию со дня рождения Т.С. Мальцева (5 ноября 2020 г.). – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2020. – С. 272-277. – EDN PYVXDM.
54. **Плотников А.М.** Коэффициенты использования питательных веществ удобрений в зернопаровом севообороте / А.М. Плотников // Достижения и перспективы научно-

инновационного развития АПК: Материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (24 февраля 2022 г.). – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2022. – С. 580-585. – EDN THUSUB.

55. **Плотников А.М.** Баланс элементов питания в зернопаровом севообороте / А.М. Плотников, А.В. Созинов // Достижения и перспективы научно-инновационного развития АПК: Материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (24 февраля 2022 г.). – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2022. – С. 585-589. – EDN URAZCY.

56. **Плотников А.М., Созинов А.В.** Действие средств химизации на урожайность зерновых культур в зависимости от условий увлажнения вегетационного периода / А.М. Плотников, А.В. Созинов // Аграрная наука в условиях модернизации и цифрового развития АПК России: Материалы Международной научно-практической конференции (14 апреля 2022 г.). – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2022. – С. 30-34. – EDN TLWQXM.