МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Курганский государственный университет»

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

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание учёной степени
доктора сельскохозяйственных наук

Научный консультант:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Н.В. Абрамов

Курган – 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..... 4
ГЛАВА 1. Плодородие почв при длительном использовании для продуцирования агроэкосистем..... 11
1.1 Антропогенное воздействие на чернозёмные почвы в современных агроландшафтах..... 11
1.2 Органоминеральные системы удобрения, химические мелиоранты – факторы формирования почвенного плодородия и их влияние на продуктивность агроценозов..... 20
1.3 Сильнонабухающие полимерные гидрогели, как средство регуляции водоудерживающей способности почвы и влияния на урожайность сельскохозяйственных культур..... 28
ГЛАВА 2. Методика исследований..... 31
ГЛАВА 3. Оценка условий почвообразования чернозёмов лесостепной зоны Зауралья..... 39
3.1 Общая характеристика климатических условий..... 39
3.2 Геологическое строение и почвообразующие породы..... 42
3.3 Рельеф..... 43
3.4 Гидрологические условия..... 44
3.5 Естественная и культурная растительность..... 46
3.6 Почвенный покров..... 48
ГЛАВА 4. Агрогенный процесс трансформации чернозёма в агроландшафтах лесостепного Зауралья..... 52
4.1 Исходное состояние почв участков под опытами..... 52
4.2 Изменение морфологических признаков профиля чернозема под воздействием антропогенной нагрузки..... 54
4.3 Физико-химические свойства чернозёмов 63
4.4 Валовое содержание элементов питания..... 71
4.5 Водорастворимые и подвижные формы элементов питания..... 76
4.6 Физические свойства черноземов..... 83
4.6.1 Структурно-агрегатный состав чернозёмов..... 84
4.6.2 Плотность сложения, пористость чернозёмов..... 89
4.6.3 Гранулометрический состав чернозёмов..... 93
4.7 Гумусное состояние чернозёмов..... 98
ГЛАВА 5. Технологические приемы возделывания сельскохозяйственных культур, обеспечивающие оптимальные параметры плодородия чернозёма выщелоченного в условиях лесостепного Зауралья.... 105
5.1 Удобрения, как агрохимические факторы в формировании почвенного плодородия..... 105
5.1.1 Динамика содержания нитратного азота под зерновыми культурами в севообороте..... 105
5.1.2 Влияние удобрений и мелиорантов на накопление подвижного фосфора в чернозёме выщелоченном 109

5.1.3 Изменение содержания подвижного калия в почве при различных системах удобрения..…….. 117
5.1.4 Содержание подвижной серы в почве при использовании в зернопаровом севообороте фосфогипса...……. 120
5.1.5 Накопление в почве водорастворимого фтора при внесении фосфогипса.……..... 123
5.2 Обеспеченность агроценозов элементами питания и их продуктивность……..…… 124
5.3 Изменение состава почвенного поглощающего комплекса чернозёма при различных системах удобрения в зернопаровых севооборотах…….... 126
5.4 Агрохимические приемы снижения кислотности чернозёма..… 128
5.5 Роль обработки почвы и посева многолетних трав в регулировании агрономических свойств чернозёма……..……. 133
5.6 Органические удобрения, как фактор оптимизации агрофизических свойств и баланса гумуса чернозёма выщелоченного…..….. 140
5.7 Баланс элементов питания в зернопаровых севооборотах……... 146
5.8 Вынос макроэлементов зерновыми культурами в зависимости от применяемых удобрений……... 160
ГЛАВА 6. Моделирование действия агрохимических факторов на продуктивность агроценозов……... 165
6.1 Методы математического моделирования продуктивности агроценозов ……. 165
6.2 Урожайность, валовой сбор зерна в зернопаровых севооборотах и регрессионные уравнения зависимости…….. 169
6.3 Фактор погодных условий в эффективности удобрений и мелиорантов при возделывании зерновых культур…… 194
6.4 Качество продукции зерновых культур при различных уровнях почвенного плодородия…….…… 199
ГЛАВА 7. Ориентировочные оптимальные показатели свойств чернозёма выщелоченного в интенсивной системе земледелия…..…….. 219
ГЛАВА 8. Экономическая эффективность технологических приемов улучшения параметров почвенного плодородия…….. 223
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…….. 230
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ……... 235
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ…….. 236
ПРИЛОЖЕНИЯ…….. 292

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Черноземы – 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 черноземов, 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 оп-

тимальные 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 катастрофиче-

ского 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/см^3, 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/см^3, 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 кальцийсодер-

жащих 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 (P_2O_5) 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/см^3; 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 длитель-

ном 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).

ГЛАВА 1. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДЛЯ ПРОДУЦИРОВАНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ

1.1 Антропогенное воздействие на чернозёмные почвы в современных агроландшафтах

Почвенный покров – составная часть биосферы, а почва – сложная «биокосная» система. Почва, по мнению Докучаева В.В. (1949), относится к открытым системам, существующим в условиях притока вещества и энергии извне. Устойчивость такой системы в значительной степени зависит от внешних условий несмотря на то, что почвы обладают буферностью. Почвенные системы характеризуются способностью продуцировать биопродукцию и специфическое органическое вещество (гумус), которое определяет уровень её плодородие.

Процессы разрушения и создания органического вещества составляют сущность почвообразования (Орлов, 1996). Соотношение между минерализацией и гумификацией характеризует равновесие и устойчивость почвенного покрова (Галеева, 2012). Определение количественных параметров, соответствующих агроэкологическому состоянию в почве, раскрытие ее природы и на этой основе разработка приемов сохранения и воспроизводства почвенного плодородия – важная научно-практическая, требующая комплексных решений проблема (Александрова, 1980; Фокин, 1986; Шеуджен, 2011, 2015; Ерёмин, 2014; Юмашев, Захарова, 2024).

Растительный и почвенный покров, составляя единство и находясь во взаимодействии и взаимозависимости, создают свой «малый биологический круговорот веществ». Раскрытие связи между растением и почвой в травянистых ценозах изучали Блэк К.А. (1973), Базилевич Н.И. (1984), Петербургский А.В. (1981), Ковда В.А. (1985), Абрамов Н.В. и др. (2019).

Интенсификация земледелия и повышение плодородия почв немыслимы без изучения круговорота веществ. Особенно в условиях применения удобрений, что является главным фактором накопления элементов питания для растений в корнеобитаемом слое почвы. Вместе с этим возрастает поступление раз-

личных биогенных элементов и химических соединений из атмосферы, которое также приводит к увеличению содержания подвижных форм элементов питания в почве (Шильников и др., 2012, Шеуджен, 2018).

Для выяснения взаимодействия между почвой и растительностью необходимо знание биологических особенностей отдельных видов растений и, в частности, потребления и накопления ими в процессе своей жизнедеятельности различных элементов и возвращения их в почву с ежегодным опадом при отмирании организма (Cadisch G., Giller K., 2001; Вальков, 2013; Почвообразовательные процессы…, 2006; Вальков, 2013).

Специфика малого биологического круговорота минеральных элементов в различных растительных формациях определяется рядом показателей: общим накоплением биологической массы (надземной и корневой), её соотношением, видом культуры и избирательной способностью поглощения химических элементов (Новиков, 2012; Арефьев, 2017; Азаренко и др., 2020).

Биологический круговорот в степных биогеоценозах состоит из следующих звеньев: травянистая растительность (главным образом, корневые системы) → ежегодные растительные остатки → почвенный гумус → минеральные элементы питания из минерализующихся растительных остатков и почвенного гумуса → живое вещество. Итог круговорота – создание запаса органического вещества, почвенного гумуса (Милащенко, 1998; Синявский, 2007; Зинченко, 2008; Богатырев, 2015; Турусов, 2020).

Адаптационно-регуляторные возможности биоты позволяют рассматривать почву как саморегулирующуюся подсистему биогеоценоза, обладающую способностью не только воспринимать внешние воздействия, но и, в определенной мере, трансформировать их в направлении, сглаживающем проявление неблагоприятных факторов (Добровольский, Никитин, 1990; Kleber M., Johnson M.G., 2010; Троц, 2021).

Карманов И.И. (1980), Кирюшин В.И. (2010) Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. (2012) считают, что плодородие – это сложное интегральное свойство почвы, характеризующееся в конечном счете масштабом и характером

обмена веществ и энергии между почвой и культурными растениями. Взаимодействие почвы и культурных растений - важнейшее условие почвообразования и развития плодородия пахотных почв.

Эффективное плодородие почвы отражает продуктивность произрастающих на ней растений, в урожае, в синтезируемой фитомассе и в обеспеченности элементами питания, гумусом, физические свойства, реакция среды (Шеуджен, 2015, 2017).

Ценность органического вещества в установлении уровня плодородия почв объясняется глобальным воздействием его на широкий спектр свойств почвы (Орлов и др., 1996; Апарин и др., 2018, Шевцова и др., 2019; Холодов, 2021, Грехова и др., 2023).

Еще в шестидесятых годах двадцатого века Кононова М.М. (1963) и Тюрин И.В. (1965) доказали факт снижения содержания гумуса в пахотных почвах страны, выявили его основные причины, показали вклад удобрений в восстановлении запасов гумуса и азота (Хазиев, 1998; Абакумов Е.В. и др., 2009; Кирюшин, Кирюшин, 2015).

Почвенный гумус, как и поступающее органическое вещество растительных остатков и удобрений, разлагается и минерализуется гетеротрофными микроорганизмами, использующими его в качестве источника энергии и углерода (Орлов, 1992, 1996; Холодов, 2023). Промежуточные продукты этого распада – детрит и вещества индивидуальной природы (протеин, углеводы, липиды и др.), а также прижизненные корневые выделения растений (экссудаты) служат источником и ближайшим резервом минерального питания растений (Возбуцкая, 1968; Ковда, 1989; Von Lützow M., 2006, 2008; Kögel-Knabner I., 2008; Shiwei Zhou, 2021).

Тюрин И.В. (1965) указывал, что образование гуматов кальция в почве способствует консервации части органических веществ, а кальций оказывает непосредственное влияние, как на процессы разложения, так и на накопление гумуса.

Гумусное состояние почв оценивается запасами углерода и азота, степенью гумификации, типом гумуса, содержанием свободных, связанных с кальцием гуминовых кислот (Орлов, 1990, 2005; Милащенко, 1998; Wershaw, 2004). Предлагаются новые критерии агроэкологической оценки гумусного состояния почв (Савич и др., 2020).

Обобщив обширные литературные данные В.А. Ковда (1981) отмечал, что за период 50-75 лет при возделывании сельскохозяйственных культур на полях без применения удобрений происходило развитие таких негативных процессов как эрозия и дефляция, в результате почвы способны утратить до 20-50 % запасов гумуса и до 10-30 см гумусового горизонта (Мязин, Парахневич, 2000). Применение удобрений существенно изменяет интенсивность и направленность природных углеродно-азотных циклов (Сычёв и др., 2018, 2020).

Кирюшиным В.И. (1993, 1996) и другими учеными в конце XX столетия также было установлено, что обработка почвы, вследствие распахивания целинных почв, оказывает воздействие на верхний, наиболее биологически активный её слой (Пономарева, Плотникова, 1980; Добровольский, 2012). По этой причине Красницкий В.М. (2000), Кирюшин В.И. и др. (2005) склонны считать, что наибольшие потери органического вещества происходят в паровом поле. За 54 года наблюдений в чернозёме Курской области снижение его составило 48 % (Мамонтов и др., 2020). Такие негативные процессы являются очень важной проблемой агроландшафтов, поскольку 20-25 % пашни в структуре севооборотов лесостепного Зауралья занимает чистый пар.

По данным Дьяконова К.В. и др. (1990) минерализация гумуса в почвах Центрально-Черноземного региона составляет ежегодно под зерновыми культурами 0,7 т/га, в черном пару – 2,2 т/га.

Усенко В.И. и др. (2020) установили, что изменения содержания гумуса в чернозёме выщелоченном, после трех ротаций севооборота, определяются влиянием севооборотов на 42,7 %, обработкой почвы на 38,0 %. Щевцовой Л.К.и др. (2019) указывается, что при применении различных систем удобрения почвы обогащаются гидрофильными органическими веществами.

Изучением динамики и трансформации гумуса в Зауралье занимались многие исследователи, в том числе сотрудники Курганской ГСХА (Бахарева, 1959; Егоров, Петуховский, 1980; Егоров и др., 1990, 1995; Иванюшин и др., 2006, 2010, Глухих и др., 2010; Ерёмин, Дёмин, 2023). По данным Абрамова Н.В. (2003), в зернопаропропашном севообороте на чернозёме за шесть лет наблюдалось снижение содержания гумуса – с 8,12 до 7,64%. Современное состояние чернозёмных почв Южного Зауралья также отражено в работе Захаровой И.А. и Юмашева Х.С. (2023).

С ухудшением гумусного состояния почв изменяется их пищевой режим и физико-химические свойства. С гумусовым состоянием почвы тесно связано и ее азотное состояние (Кудеяров, 1989; Орлов, 1992; Галеева, 2020). В большинстве почв этот элемент составляет 1/12-1/20 гумуса (5 %). На долю минеральных форм приходится 1-5 % общего содержания азота. (Авдонин, 1979; Ottman, Pope, 2000; Шарков и др., 2017, 2021).

Оценка баланса азота в земледелии показала, что за 25 лет после распада СССР земледелие в России приобрело устойчивый истощительный характер, т.е. производство сельскохозяйственной продукции основывалось практически на естественном плодородии почв. Снижается и содержание общего и подвижного фосфора (Кудеяров, 2018, 2019).

Снижение содержания в почве гумуса и длительное применение минеральных удобрений ухудшало структурное состояние пахотного чернозема – коэффициент структурности за 14 лет снизился в 2–3 раза относительно первоначального уровня (6,1–8,3 ед.) (Рзаева, Ерёмин, 2010).

Важнейшая экологическая функция почвенного покрова – формирование в верхнем слое наиболее благоприятной среды обитания для живых организмов. Хорошо агрегированная почва увеличивает водопроницаемость пахотного слоя, создает благоприятный режим физических свойств (Шеин, Гончаров, 2006).

Установлено, что для оптимального развития растений неблагоприятна как излишне рыхлая, так и переуплотненная почва. Плотность сложения почвы более 1,50 г/см^3 усложняет проникновение корневых систем в

нижележащие более увлажненные горизонты, а корнеобитаемый слой почвы с плотностью < 0,90 г/см^3 в результате повышенного диффузного испарения имеет также неблагоприятный водный режим (Шеин, 2006, Смагин, 2020).

В опытах по изучению различных систем обработки почвы изменения плотности сложения черноземов в интервале 1,19–1,31 г/см^3, не оказывали значительного влияния на продуктивность возделываемых культур (Гилёв, 2015). Для сохранения агрономически ценной структуры почвы предлагаются применять такие приемы, как посев многолетних трав, использование органических удобрений, известкование почв, а также уменьшение нагрузки на почву тяжелой техникой (Алиев, 2007).

Для Зауралья разработка технологических приемов в решении вопросов увеличения продуктивности агроценозов имеет особое значение, так как черноземы в силу своих региональных особенностей имеют малую мощность гумусовых горизонтов, низкие запасы гумуса и питательных веществ (Коротаев, 1957; Егоров, 1968; Егоров, Кривонос, 1995; Абрамов, Ерёмин, 2008, 2012; Ерёмин, 2014; Ерёмин и др., 2014).

Для решения задач по оптимизации питания культурных растений особое значение приобретают и агрохимические приемы (Кореньков, 1985; Агеев, 1996; Аристархов, 2000; Ладонин, 2005; Абрамов, Еремин, 2009, 2010; Арефьев, 2017).

Основным источником питания растений, даже при внесении повышенных доз удобрений, являются элементы минерального питания самой почвы (до 60-70 %), в связи с этим необходимо уделять особое внимание управлению режимами подвижных соединений элементов питания (Ладонин, 1991; Гамзиков, 1981, 2013; Ивойлов, 2002; Волынкина и др., 2017; Сычёв, 2022).

Плодородие почв в значительной степени зависит от оптимального содержания в них кальция, который, в отличие от других катионов, способствует созданию в почве наиболее оптимальных параметров агрохимических свойств (Кирюшин, 2010). Катионы кальция играют основополагающую роль в процессах образования комплексов с гумусовыми веществами (Coleman, 1958;

Прянишников, 1963; Тюрин, 1965; Агапкина, 1988; Haynes, 2001; Муха, 2002, 2004; Кокотов и др., 2016).

При возделывании сельскохозяйственных культур в почве происходит обеднение пахотного горизонта подвижными формами кальция, что приводит к увеличению всех форм кислотности почвы. Это происходит в результате его вымывания, выноса с основной, побочной продукцией и расхода на нейтрализацию физиологически кислых удобрений (Дж. У. Кук, 1970; Александрова и др., 1983; Gasser, 1973; Reuss and Johnson, 1986; Haynes Dick, 2001; Королев, 2004).

Увеличение кислотности чернозёмов связано, прежде всего, с отрицательным балансом кальция – этого «стража плодородия почв» (по Соколовскому А.Н.). Вынос CaO из почвы с урожаем зерновых культур составляет 18-20 кг/га (Gasser, 1973; Хазиев, 1998; Ивойлов, 2002). Балансовые расчеты поступления и выноса кальция в земледелии Челябинской области, проведённые Кушниренко Ю.Д. (1999), в лесостепной зоне за 1988-1997 гг. показали, что интенсивность баланса кальция составила 69-72%, магния – 34-36%, которые, подтверждают этот вывод.

Реакции адсорбции и десорбции протонов на поверхности определенных компонентов твердой фазы почвы тесно связаны с кислотно-основным состоянием почвы, которое обусловливает многие особенности поведения элементов в почве, с ним связаны режимы органического вещества и элементов минерального питания (Соколова, Трофимов, 2009). Избыточная кислотность отрицательно влияет на растения и проявляется через увеличение концентрации ионов H^+, Al^{3+}, Mn^{2+}. Максимальная усвояемость фосфора растениями отмечается при значении pH - 6,5, в более кислой или щелочной среде она снижается (Зайдальман, 2003; Воробьева, Авдонькин, 2006; Шеуджен, 2018).

В работах Шильникова И.А. (2012, 2013), Еремина Д.И. (2012), Акановой Н.И. (2018) подчеркивается, что сельскохозяйственное использование чернозёмов заметно усиливает темпы его подкисления, что увеличивает потребности в применении химических мелиорантов.

В лесостепном Зауралье по результатам многолетних исследований на полях Курганского НИИСХ кислотность у черноземов возросла с 6,2 до 5,4 ед. (Волынкина и др., 2017, 2019). Увеличение кислотности в почвах влияет на повышение подвижности гумуса вследствие возрастания его водорастворимой части (Орлов и др. 2005; Терпелец, 2008; Шильников и др., 2013; Шеуджен, 2017; Сычёв, 2019).

Истощение запасов свободных солей кальция (карбонатов) из почвенного поглощающего комплекса потреблением растениями без его компенсации приводит к замене катионов Ca^{2+} на H^{+} и является причиной негативной трансформации параметров чернозёмов (Naylor, 1969; Adcock, 2001; Окорков, 2004).

На наличие связи между содержанием кальция и гумуса в почве указано в работах Тюрина И.В. (1965), Гришиной Л.А. (1986), Орлова Д.С. и др. (2005).

Интегральным показателем состояния почв можно использовать кислотно-основную буферность (Роуэлл, 1998; Соколова, Трофимов, 2009). Буферные свойства почвы, определяются её гумусным состоянием и составом поглощающего комплекса. Все физико- химические процессы обмена катионов в почве (в том числе H^{+}) происходят в её коллоидной части, которая входит в состав илистой фракции (Гедройц, 1955, Горбунов, 1978; Reuss, 1986, Агрохимические методы,….1975; Духанин и др., 2005).

Основное количество фосфора в почве находится в форме минеральных и органических соединений, недоступных для растений (Соколов, 1976). Минеральные соединения фосфора находится в виде ионов и солей в почвенном растворе, а органические содержатся в гумусе от 1 до 3% от его массы и в пожнивно-корневых остатках. Органические фосфаты почвы минерализуются фосфобактериями до минерального. Фосфор, входящий в состав органического вещества, почти недоступен для растений и участвует в питании растений, после гидролиза и отщепления фосфата (Чумаченко, 2001, 2002). Потребление растениями фосфора из почвы на 1 т зерна составляет около 10-15 кг фосфора (Минеев, 2017).

В современных условиях для увеличения продуктивности яровой пшеницы предложена теория и алгоритм программного управления состоянием посевов культуры, апробированная по экспериментальным данным. Разработанный на основе предложенной теории программно-технический комплекс может стать эффективным цифровым инструментарием для решения поставленных задач (Михайленко, Тимошин, 2020).

Одним из основных направлений сохранения плодородия чернозёма и устойчивого землепользования в целом, является создание научно-обоснованной системы удобрения в конкретных почвенно-климатических условиях (Егоров, 1985; Еремин, 2005, 2014, 2017; Синявский, 2017; Иванюшин, 2006; Котченко и др., 2017; Абрамов и др., 2019).

В исследованиях Абрамова Н.В. (2020) для разработки цифровых технологий точного земледелия в длительных стационарных опытах (1977-2019 гг.) установлены оптимальные параметры почвенного плодородия для роста и развития культурных растений. Наибольшая продуктивность яровой пшеницы 5,96 т/га получена при плотности сложения чернозёма выщелоченного 1,18-1,22 г/см^3 в слое 0-30 см, содержании агрономически ценных агрегатов – 65-71%, их водопрочности 60-65%, содержании $N\text{-}NO_3$ – 15-20 мг/кг почвы, P_2O_5, K_2O – 250-260 мг/кг, гумуса - 8-10%, при содержании продуктивной влаги в период вегетации в метровом слое 120-150 мм, или 76% от НВ, при pH пахотного слоя 6,2-6,8 ед.

Таким образом, почва, как живая биогенная сложная система постоянно подвергается антропогенному действию с реакцией на формирование её плодородия. Прослеживается закономерность ухудшения агрофизических и агрохимических показателей плодородия не только в агроценозах Зауралья, России, но и в мировом масштабе. В условиях длительного использования при таких отрицательных тенденциях необходимо провести переоценку процессов формирования параметров плодородия и разработать пути его сохранения и воспроизводства в современных условиях.

1.2 Органоминеральные системы удобрения, химические мелиоранты – факторы формирования почвенного плодородия и их влияние на продуктивность агроценозов

Современные достижения науки позволяют применять приёмы регулирования режимов минерального питания на основе почвенной и растительной диагностики обеспеченности растений (Панников, Минеев, 1987; Булгаков, 2002; Байбеков, 2003; Агроэкологическая оценка земель, 2005; Кузин др., 2023).

Для повышения продуктивности агроценозов система земледелия предполагает сохранение плодородия почв агроландшафтов путём совершенствования систем удобрения и химической мелиорации почв (Абрамов, 2003; Агроэкологическая оценка земель…, 2005; Минеев, 2008; Гилев, 2009; Волынкин, 2011; Кирюшин, 2016; Ерёмин, 2017; Ravier, 2021). Удобрения при длительном применении, вступая во взаимодействие с почвой и растениями, вызывают изменения в целом ряде ее агрономических свойств (Ванюшин, 2002; Храмцов, 2005; Ермохин, Бобренко, 2005; Абрамов, 2009; Ерёмин, 2013; Волынкина и др., 2014; Волынкин и др. 2019).

Удобрения органического происхождения компенсируют деструкционные процессы продукционными (Кононова, 1963). В зависимости от используемой системы удобрения в почве происходит накопление общего органического вещества, гуминовых кислот, углерода и азота (Гришина, 1986; Мерзлая, 1998; Дедов и др., 2003; Храмцов и др., 2021). Действие минеральных удобрений на содержание гумуса косвенное. Оно проявляется опосредованно через биомассу растительных остатков и существенно зависит от величины урожаев, биологических особенностей возделываемых культур, а также от условий трансформации поступающей в почву биомассы (Фокин, 1994).

Для поддержания бездефицитного баланса гумуса среди большого количества органических удобрений (более 50 видов) выделяют: навоз КРС, птичий помет, зеленые удобрения, солому, сапропели и др. (Кривонос, Фомина, 1985; Кидин, 2008, 2012).

Из перечисленных удобрений, наиболее ценное – навоз крупного рогатого скота на соломенной подстилке (согласно ФЗ от 14.07.2022 № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», вещества, образуемые при содержании сельскохозяйственных животных, включая навоз, помет относятся к побочным продуктам животноводства). Он содержит широкий спектр основных элементов питания, включая кальций, магний, микроэлементы, большое количество микроорганизмов: аммонификаторов, нитрификаторов (Усенко, Каличкин, 2003; Мерзлая, 2020). Удобрение, внесённое в паровое поле или под зерновую культуру в дозах 20-30 т/га действует несколько лет (Кидин, 2012).

По данным Милащенко Н.З. (1998) в условиях Западной Сибири необходимо вносить 7-8 т/га органических удобрений в год, где около 20-25% массы сухого органического вещества идет непосредственно на образование гумуса, и 75-80% - минерализуется. Длительное применение навоза отражается на агрохимических свойствах чернозёма, снижая кислотность, увеличивая сумму оснований (Ивойлов, Малова, 1993).

Учеными Курганского НИИСХ установлено, что на чернозёме выщелоченном тяжелосуглинистом Шадринского опытного поля, 30 т/га навоза, вносимого под первую культуру севооборота, показало эффективность слабее, чем ежегодное внесение азотного удобрения в дозе N_{67}. Сбор кормовых единиц на варианте с 30 т/га навоза составил 144 ц/га к.е., с N_{67} – 173 ц/га к.е. (Волынкин, Волынкина, 2014).

В последние годы возрастает роль еще одного органического удобрения, наиболее дешевого и доступного источника углерода – соломы (Юмашев, Захарова, 2024). Она компенсирует часть выноса растениями элементов питания из почвы и вместе с пожнивно-корневыми остатками является источником органического вещества. По данным Корчагина и др. (2013) в агроценозах поступление остатков соломы в почву изменяется пределах 3-12 т/га.

Дополнительным источником органических удобрений является сидерация. Вклад зеленого удобрения в баланс органического вещества пахотных почв

зависит от количества поступающего углерода и соотношения его к азоту (Лобков, 2016; Лошаков 2018). Сидерация имеет широкое применение во многих зонах страны и за рубежом, особенно на легких почвах с неудовлетворительными агрохимическими и агрофизическими свойствами (Тейт, 1991; Дедов и др., 2003) В условиях Южного Урала, отмечалось, что сидерация повышает плодородие почвы, урожайность пшеницы и продуктивность севооборотов в целом (Максютов и др., 2022).

Полевыми экспериментами подтверждена целесообразность использования еще одного вида органического удобрения – сапропеля (Гамзиков др., 2012), в Челябинской (Вражнов и др., 2008), Тюменской (Абрамов, 2006), Курганской областях (Созинов, 2013), в условиях Северного Казахстана (Дмитриев и др., 2014). Эти донные отложения имеют широкое распространение в мире. Мощность таких отложений в озерах лесной полосы составляет 3-10 м (Максимов, 2000; Штин, 2005). В нашем регионе территориальным балансом учтено более 110 озёрных месторождений сапропеля с геологическими запасами 133 млн. тонн (Доклад о состоянии и об охране…, 2022). Сапропель применяется для увеличения содержания в почве гумуса, азота и микроэлементов, улучшения водно-физических свойств почвы, нейтрализации кислотности (Патент №2667159, приложение 86). Рекомендуемые дозы внесения сапропеля при 50 % влажности под зерновые культуры составляют 20–40 т/га (Кирейчива, 2000; Васильев, 2014).

По количеству питательных веществ птичий помет не уступает навозу крупного рогатого скота (Кидин, 2012; Минеев, 2017). Птичий помет, используемый для обогащения почвы элементами питания и азотом, должен обязательно подвергаться предварительному обезвреживанию (термической сушке и др.) (СП 1.2.1170-02). Исследования Бобренко И.А. и др. (2022) в условиях лесостепи Западной Сибири показали высокую отзывчивость сельскохозяйственных культур на применение органических удобрений на основе куриного подстилочного помета. Наибольшая отдача в год действия при возделывании яровой пшеницы и ячменя наблюдалась привнесении дозы 16 т/га. Также Арефьевым А.Н. и др.

(2023) установлено положительное влияние различных норм мергеля, доломитовой муки и их сочетаний с птичьем пометом на эффективное плодородие чернозёма выщелоченного, урожайность и качество зерна яровой пшеницы.

Использование разных доз помета (2-10 т/га) в прямом действии привело к повышению содержания в чернозёме выщелоченном подвижных форм элементов питания, получению суммарной прибавки урожайности зерна 0,46-2,76 т/га, снижению актуальной кислотности на 0,06-0,16 ед. (Чекаев, Галиулин, 2022)

При внесении в почву известкого материала повышается содержание обменного кальция, снижается кислотность почвы и улучшаются ее свойства, усиливается биологическая активность, мобилизуется фосфор (Шильников и др., 2012; Шеуджен, 2003; Castillo, 2003; Гришин, 2005; Яковлев и др., 2015; Аканова, Шильников, 2018; Аканова, 2023).

Отрицательный баланс элементов питания, при неправильном применении минеральных удобрений, привел к значительному увеличению выноса их из почвы (Еремин, 2003, 2018; Добровольский, Никитин, 2012; Каргин и др., 2013; Синещеков, 2018). Поэтому рациональное внесение минеральных удобрений с учетом природных условий местности – важная часть земледелия (Томсон, 1982; Чумаченко 2002; Сычёв, 2009, 2012; Сычёв, Шафран, 2013; Еремин, Кибук, 2017).

Получение наибольшего эффекта увеличения продуктивности агроценозов в лесостепном Зауралье дает только совместное применение азотных и фосфорных удобрений (Система земледелия…, 1988; Научные основы системы., 2001; Система адаптивно-ландшафтного земледелия..., 2012; Волынкина и др., 2017). Существенным фактором в усилении почвенной функции как источника элементов питания, является хорошая обеспеченность подвижными формами питательных веществ, влажность почвы, соблюдение оптимальных доз внесения удобрений (Волынкин, 2012; Афанасьев, Мерзлая, 2013; Кирюшин, Кирюшин, 2015).

Применение в агроценозах различных удобрений позволяет вводить в круговорот веществ новое количество элементов питания растений, а отходов

растениеводства и побочных продуктов животноводства – повторно использовать часть питательных веществ (Синягин 1980; Синявский, 2001; Рымарь, Новичихин, 2006). Для реализации соответствующих приемов постоянно требуется оценка их эффективности в конкретных почвенно-климатических условиях, а также определенная корректировка норм внесения удобрений, так как рекомендуемые нормы NPK основаны на слишком обобщенных данных (Ладонин и др., 2005; Шеуджен, 2009, 2013, 2016).

Исследования Шаркова И.Н., Колбина С.А., Самохваловой Л.М. (2021) в условиях лесостепи Западной Сибири по оценке ситуации с минеральным азотом в системе почва–растение при получении с помощью интенсивной технологии максимальной урожайности зерновых культур в многолетнем (12 лет) полевом опыте, заложенном на черноземе выщелоченном показали, что наибольшая среднегодовая урожайность зерна получена в варианте N_{90} – 3,27 т/га, причем в умеренно увлажненные она повышалась до 3,99 т/га. В варианте N_{90} среднегодовой баланс азота в почве был близким к бездефицитному.

Черноземы Зауралья положительно отзываются на внесение удобрений, особенно в малогумусных и слабогумусированных видах. Эффективны все виды удобрений – азотные, фосфорные, калийные, но насыщенность ими должна быть сопряжена с видами и урожайностью сельскохозяйственных культур. Главным условием высокой эффективности минеральных удобрений является высокий общий уровень культуры земледелия, строгая технологическая дисциплина (Егоров, Кривонос, 1995; Ермолаев, 2007; Еремин 2013; Емельянов, 2014; Плотников, 2018).

По мнению Волынкиной О.В. и др. (2014) в выщелоченном черноземе Зауралья содержание P_2O_5 является оптимальным на уровне 70–80 мг/кг почвы.

Е.В. Кириллова и А.Н. Копылов (2015) указывают, что наибольшая отзывчивость азотного удобрения проявлялась в дозах N_{40} и N_{60} на 2-й и 3-й пшенице по пару соответственно. Результаты исследований позволяют рекомендовать дозы азотного и фосфорного удобрения для получения стабильных урожаев яровой пшеницы с хорошим качеством зерна.

В работе Волынкина В.И. и Волынкиной О.В. (2012) показано постепенное увеличение содержания подвижного P_2O_5 в почве неудобренного контроля (с 39–56 до 60–65 мг/кг), что объясняется, разложением органического вещества в паровом поле и пополнением почвенных запасов фосфора естественным путем. Научно-обоснованное применение удобрений способно обеспечить воспроизводство плодородия почв. Так на 38-й год исследований в условиях Зауралья, при ежегодном внесении P_{20} содержание фосфора увеличилось к 2008 г. до 84, при внесении $N_{33}P_{20}$ – до 73 мг P_2O_5 /кг. Однако в реальных производственных условиях по данным станции химизации динамика фосфатов в почве отрицательная.

Результаты учетов и наблюдений в двух стационарных опытах Курганского НИИСХ показали изменчивость содержания подвижного фосфора выщелоченного чернозема под влиянием времени и удобрений. Повышенные дозы фосфора быстрее увеличивали содержание P_2O_5, доводя его до более высоких показателей по сравнению с применением P_{20}. Срок проявления последействия зависел от суммарной дозы примененного удобрения. В зернопропашном севообороте суммарная доза P_{1000} оказывала последействие в течение 24-х лет. В зернопаровом севообороте суммарное запасное внесение $P_{240–360–720}$ проявляло последействие на следующем числе посевов – 15–20–28 (Волынкина, Кириллова, 2021).

В работе Прошкина В.А. и др. (2011) разработанная стохастическая малокомпонентная модель прогноза позволяет выбрать оптимальную дозу удобрений для получения максимальной прибавки урожайности от внесения удобрений при различной обеспеченности почвы подвижным фосфором.

Ухудшение параметров плодородия почвы при низком уровне химизации земледелия активизируют процессы мобилизации токсикантов почвы, и их поступление в растения, что в итоге снижает и качество продукции (Ефимов др., 2003). Достичь высоких устойчивых урожаев требуемого качества невозможно без применения удобрений, без того, чтобы элементы питания - основной фактор роста и развития растений, были гармонично представлены в

строго определенных сочетаниях в течение всей вегетации (Егоров, Кривонос, 1980; Зинченко и др., 2008; Ульянова, Кураченко, 2019; Seidel, 2021).

Для нормального развития корневой системы растений важное значение имеет соотношение солей в растворе, его физиологическая уравновешенность, где отдельные питательные вещества находятся в таких соотношениях, при которых происходит наиболее эффективное использование их растениями (Окорков, 2004). Интенсивнее развитие корневой системы происходит в многосолевом растворе (Русин, 1990; Соколова, Трофимов, 2009).

В вопросах агрохимического окультуривания почв возможно применение различных кальцийсодержащих соединений. Гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), как нейтральную соль кальция можно использовать в качестве кальциевых удобрений (Томсон, Троу, 1982; Окорков, 2013). По данным В.Д. Муха, В.И. Лазарева (2003) совместное применение органических удобрений и гипса повышало урожайность зерновых культур на 17-23% в год действия и на 31-34% в последействии.

Рост продуктивности культур на чернозёме отмечался при совместном применении удобрений и извести по 1,0 и 1,5 гидролитической кислотности (5,2 и 7,8 т/га $CaCO_3$) (Ломако, Алиев, 2004). Фосфоритная мука в норме 3 т/га на чернозёме выщелоченном частично снижала кислотность и улучшала фосфатный фонд почвы, вследствие чего рост урожайности овса увеличился в два раза (Синявский, 1996).

В условиях Западной Сибири использование навоза дозе 40 т/га обеспечивало дополнительный сбор зерновых в севообороте до 2,0 т/га з.е. (Милащенко, 1998). Внесение органических удобрений в лесостепной зоне ЦЧР в нормах от 6,5 до 14,6 т/га увеличивало содержание подвижных форм фосфора с 101 до 167 мг/кг почвы, также возросло средневзвешанное значение pHсол на 0,24 ед. (Суринов, 2021, 2022). Сидерация улучшила синхронизацию минерализации N в удобрении и потреблении азота пшеницей, что позволяло уменьшить нормы азота под эту культуру до $N_{30\text{-}60}$ вместо, обычно рекомендуемой N_{90} (Suray, 2000; N'Dayegamiye, 2001).

Применение азотно-фосфорных удобрений в сочетании с внесением измельченной соломы, инокуляцией семян ячменя биопрепаратами Ризоагрин способствовало увеличению содержания азота нитратов в пахотном слое в 2,3-2,7 раза, а урожайности по сравнению с контролем на 0,78 т/га (Шулико, Хамова, 2023).

Гришин Г.Е. (2002) указывал, что различные системы удобрения и известкование чернозема выщелоченного привело суммарно за пять лет к сбору 18,3 т з.е. На чернозёме, исследованиями Курносовой Е.В. (2005) установлено, что увеличение нормы дефеката с 1,5 до 2,5 г.к. (14,58 – 29,16 т/га) дополнительно приводило к росту урожайности культур на 8,0 %.

Известкование чернозёма в интервале от 0 до 2,0 г.к. в условиях Мордовии увеличивало продуктивность севооборота на 1,2-2,5 ц к.е./га в год. На долю известкования за две ротации (14 лет) приходилось 7-18% (Ивойлов, 2002).

В рамках многолетних исследований фосфогипса, в качестве источника питательных веществ для растений, оценки его агрономической и экономической эффективности применения, были выявлены наиболее рациональные дозы и сроки его внесения, а также доказана равнозначность его действия в сравнении с обычными удобрениями (Кихаев, Терещенко, 2009, Данюкова, Терещенко, 2009; Терещенко, Новопольцева, 2010; Цховребов и др., 2019).

На второй год после внесения фосфогипса (4 т/га) чернозем выщелоченный характеризовался повышенным содержанием доступного фосфора и увеличением урожайности зерна кукурузы на 12 ц/га (Шеуджен, 2015).

Внесение серосодержащих удобрений и фосфогипса повышало обеспеченность почвы нитратным азотом на 4-13 мг/кг почвы, фосфором – на 13-17 мг/кг, подвижной серой на 2,8 мг/кг, сбор зерна озимой пшеницы – на 23-45 % (Цховребов и др., 2019).

Таким образом, на чернозёмных почвах, по мнению большинства исследователей применение научно-обоснованных систем удобрения, способствует не только улучшению показателей плодородия, но и обеспечению устойчивой продуктивности зерновых культур в агроценозах.

Рассмотренные вопросы негативных процессов свойств чернозёмов при сельскохозяйственном использовании и приемов их оптимизации, для получения стабильных урожаев зерновых культур изучались в наших исследованиях, основные результаты, которых, представлены в данной работе.

1.3 Сильнонабухающие полимерные гидрогели, как средство регуляции водоудерживающей способности почвы и влияния на урожайность сельскохозяйственных культур

Сельское хозяйство на большей части территории России ведется в сложных природно-климатических условиях: около 80 % земель сельскохозяйственного назначения расположены в зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения (Проблемы деградации и восстановления…, 2008; Доклад о состоянии и использовании земель…, 2022). Поэтому управление водным режимом почв – является всегда один из важных приёмов повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий.

Влага нужна растениям, как источник вещества для органического синтеза, и обеспечивает возможность различного рода биохимических реакций (Роде, 1969; Якушкина, 1980). Аристархов, 2000; Глухих, 2015).

С проблемой водопотребления сельскохозяйственных культур напрямую связан еще один эдафический фактор их роста и развития – минеральное питание (Посыпанов, 2007). Основная часть биофильных элементов, необходимых для биосинтеза, растения получают в растворенном виде из почвы с током влаги, поступающей в корни (Смагин, 2012; Ренев, Ерёмин, 2017).

Потери продуктивной влаги природного чернозёма при вовлечении его в сельскохозяйственное использование составляют 150-200 мм (Глухих, 2015). В условиях Зауралья накопление и сохранение влаги – фактор жизни растений, лимитирующий величину продуктивности агроценозов, поэтому создание благоприятных водно-физических условий – одна из главных задач земледелия (Система адаптивно-ландшафтного земледелия…, 2012).

Одним из приёмов регулирования водоудерживающей способности почв служат разнообразные почвенные кондиционеры, из которых наибольший интерес представляют сильнонабухающие полимерные гидрогели (СПГ), получаемые на основе синтетических (полиакриламида, акриловой кислоты, гидролизованного полиакрилонитрила) и природных (крахмала, декстрина, целлюлозы) биополимеров (Смагин, Садовникова, 2009).

Внесенные в почву СПГ, способны обратимо впитывать и запасать большие количества воды и питательных веществ. Эта свойство определяет перспективность их использования, где оптимизация водоудерживающей способности для чернозёмных почв легкого гранулометрического состава является первоочередной задачей (Казанский и др.,1986; Кузнецов, Егоров, 2001; Смагин, 2012).

Внесение СПГ в почву проводится обычно вместе с семенами, совмещая с посевом. Гидрогели повышают влагообеспеченность и питание сельскохозяйственных культур (Kullman, Benkenstein, 1987; Пронина и др., 1991; Смагин, Садовникова, 2009; Смагин, 2012). Количество поступления влаги зависит от гранулометрического состава, плотности сложения почвы, количества содержания гумуса.

Различные растения требуют для своего роста неодинаковой оптимальной влажности почвы. Нижний предел оптимальной влажности для яровой пшеницы, картофеля на тяжелых почвах составляет около 75%, средних – около 70% и легких около 65% от наименьшей влагоемкости.

Как показывают работы физиологов, полимерные гидрогели имеют непосредственное положительное действие на сами растения – всхожесть семян, урожайность, развитие корневых систем, содержание хлорофилла (Azzam, 1985; Пронина и др., 1991).

Обеспеченность растений продуктивной влагой оценивается ее количеством в ту или иную фазу развития растений (Баздырев, 2008). В фазе всходов состояние посевов определяется запасами влаги в пахотном слое как: менее 5 мм всходы не появляются, при 20 мм и выше – хорошее. В фазе кущения при

запасах влаги менее 10 мм состояние посевов резко ухудшается, при более 20-30 мм – хорошее.

Наибольшая потребность во влаге у зерновых – это конец фазы кущения – цветение (Посыпанов и др., 2007). В период всходы-кущение яровая пшеница потребляет в сутки около 0,4 мм, а в фазу колошение-цветение – 5,3 мм (Роде, 1969; Сдобникова, 1985).

В исследованиях Кузнецова П.И. и Егорова В.П. (2001) установлено, из четырех месяцев вегетационного периода (май, июнь, июль, август) меньше всего снижался урожай, если недостаток осадков наблюдался в мае.

При определении продуктивности агроценозов на полях Курганского НИИСХ отмечена прямая связь с влагообеспеченностью пшеницы. Так в центральной зоне, где влагообеспеченность составляет 60-70% (по Глухих, 2008, 2015), среднее общее количество массы пшеницы составила 9,25 т/га, а в восточной при обеспеченности в 40-55% – 6,95 т/га.

Для лесостепного Зауралья – как зоны рискованного земледелия, применение таких полимерных гидрогелей является одним из дополнительных приемов повышения водоудерживающей способности почвы и рационального использования удобрений.

Таким образом, в главе рассмотрены изменения свойств чернозёмов при длительном антропогенном воздействии. В современных агроландшафтах снижение содержания органического вещества, ухудшение круговорота питательных элементов, разрушение структуры и подкисление почвы приводит к негативным последствиям, что отражается на продуктивности агроценозов. В результате чего, появляется необходимость не только в стабилизации, но и улучшении параметров плодородия чернозёмных старопахотных почв. Для этого необходимо провести всестороннюю оценку отрицательных изменений, протекающих на этих почвах и разработать технологические приемы, обеспечивающие сохранение плодородия чернозёмов и повышение продуктивности агроценозов в лесостепном Зауралье.

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 стацио-

нарных 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 обследований	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 почвоведами Курганского филиала института Уралгипрозем Козюковой Т.С., Тягельской Г.А., Пироговой Т.Д. и Мищуринским 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 использо-

ванием 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 сыромолотый ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$, $CaSO_4$ – 73%), известняковая мука ($CaCO_3$ – 85%), фосфоритная мука ($Ca_3(PO_4)_2$, P_2O_5 – 25%). Минеральные удобрения применяли в дозах $N_{35}P_{50}$, $N_{70}P_{50}$, $N_{70}P_{40}$ (удобрения – $P_{сд}$ (46%) и $N_{аа}$ (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 $N_{аа}$ (34,6% д.в.) в дозах N_{30} и N_{60}, и $P_{сг}$ (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 pH 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 $N_{аа}$ (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 – pH – 7,76; зольность – 29,8 %; N – 7,05 %; P_2O_5 – 0,53 %; K_2O – 0,23 %; CaO – 47,8 %, сапропель № 2 – pH – 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 ($N_{аа}$ – 34,6 % д.в.), суперфосфата простого ($P_{сг}$– 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 $N_{аа}$ (34,6 % д.в.), $P_{сг}$ (26 % д.в.) и $K_х$ (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 $N_{аа}$ (34,6 % д.в.) и $P_{сг}$ (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; грану-

лометрический 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 (ВЗ) – 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 дисульфофеноловым 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-хкратной повторности, размещение вариантов в повторениях рендомизированное. Расположение повторений четырехъярусное. 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 урожаем с 1 га элементов питания, их баланс в севообороте, вынос элементов питания 1 т продукции, экономическую эффективность применяе-

мых 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 условии 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 (первый этап)

В процессе почвообразования каждый тип почвы проходит ряд последовательных стадий, продолжительность и интенсивность которых определяются конкретным комплексом факторов почвообразования. Почва формируется в самой верхней зоне коры выветривания (Фокин, 1986). Эволюция почвы может идти в разных направлениях и определяется конкретными природными условиями (Докучаев, 1949).

На генезис почв значительное влияние оказывают условия почвообразования, при участии которых формируется почвенный покров поверхности Земли. Основатель генетического почвоведения В.В. Докучаев первым установил, что формирование почвенного покрова связано непосредственно с физико-географической средой и историей ее развития. Функциональную взаимосвязь между почвенным покровом и факторами почвообразования он выразил формулой (1):

$$П = f(К, О, Г, Р)\times Т \qquad (1),$$

где, П – почвенный покров; К – климатические факторы; О – организмы; Г – горные породы; Р – рельеф; Т – время.

Элементами внешней среды В.В. Докучаевым рассматривались климатически условия, материнские горные породы, живые и отмершие организмы и рельеф. Возраст же территории отражает развитие почв во времени. Перечисленные факторы создают великое множество типов почв, и неповторимую структуру почвенного покрова территорий (Костычев, 1949, 1951).

3.1 Общая характеристика климатических условий

Климатические условия являются одним из главных факторов процессов почвообразования, так как с ними тесно связаны водно-воздушный, температурный режимы почв и биологические процессы.

Территория лесостепного Зауралья расположена на стыке Урала и Сибири, в юго-западной части Западно-Сибирской равнины, в бассейне рек Тобола и

Исети (Несговорова и др., 2023). Климат региона характеризуется как континентальный. На территорию легко проникают как арктические сухие холодные массы Северного ледовитого океана, так и теплые сухие – из Центральной Азии (Никитин, 1933). Для климата характерна продолжительная малоснежная суровая зима с частыми метелями и короткое, но жаркое лето с периодически повторяющейся засухой (Система адаптивно-ландшафтного земледелия…, 2012).

Лето сухое, июль – самый теплый и влажный (60-70 мм осадков) месяц.

Осень ранняя, чаще всего пасмурная и дождливая, что затрудняет уборку сельскохозяйственных культур. В первой декаде ноября устанавливается устойчивый снежный покров. Для весны характерны частые возвраты холодов. Последние заморозки заканчиваются в конце мая.

В различных зонах средняя многолетняя сумма эффективных температур колеблется от 1700 до 2400°С. Количество осадков уменьшается с северо-запада на юго-восток. Самая высокая относительная влажность характерна для декабря (свыше 80%). Преобладают западные и юго-западные ветры (Несговорова и др., 2023). По климатическим условиям территория области делится на четыре зоны (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Агроклиматические зоны: I – северо-западная; II – центральная; III – восточная (А - южная подзона, Б – северо-восточная подзона); IV – южная (А – южная подзон, Б – юго-восточная подзона). Границы зоны ———; границы подзоны-------.

По обеспеченности вегетационных периодов теплом территория делится на три района: умеренно теплый (1900-2000 °С); теплый (2000-2100 °С); наиболее теплый (2100-2200 °С). По гидротермическому коэффициенту делится на незначительно засушливый (ГТК – 1,0) и засушливый (ГТК < 1,0) (Кузнецов, Егоров, 2001).

Условия агроклиматических зон обусловливают и зональную смену растительного покрова. На характер почвенного покрова существенно влияют широтные различия климатических условий, способствуя развитию его провинциальных особенностей (Егоров, Кривонос, 1995). Агроклиматические условия по зонам приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Агроклиматические показатели по зонам и подзонам

Показатели	Северо-западная	Центральная	Северо-восточная подзона	Восточная	Южная	Юго-восточная подзона
Среднегодовая t воздуха, °С	1,8-2,3	1,9-2,3	1,5-1,6	1,5-1,6	1,9	1,5-1,9
Годовое количество осадков, мм	378-441	366-425	368-403	340-372	346-390	339-350
Сумма положительных температур, °С	2100-2400	2350-2380	2160-2250	2300-2350	2400-2450	2290-2300
Период с t > 10°С: начало конец	 10-13.5 13-17.9	 7-8.5 18-19.9	 12-13.5 15-16.9	 10.5 17-18.9	 5-7.5 20.9	 10.5 16.9
Продолжительность, дни	122-130	130-134	124-126	129-130	134-137	129-130
ГТК	1,0-1,2	0,9-1,1	1,0	1,0-1,1	0,8	0,8-0,9
Продуктивная влага (0-100 см) на начало периода > 10°С, мм	135-145	130-140	135	120-150	100-110	120-150
Влагообеспеченность яровой пшеницы, %	70-75	60-70	65-70	40-55	40-45	45-55
Число засух средних и слабых, %	25	35	35-40	40	45	40

Таким образом, процесс почвообразования лесостепной зоны Зауралья протекает в условиях резкоконтинентального климата со среднегодовым количеством осадков 339-441 мм, суммой положительных температур 2100-2450 °С, ГТК – 0,8-1,2.

3.2 Геологическое строение и почвообразующие породы

Состав и свойства почвообразующих пород отражаются на водном, воздушном, тепловом, окислительно-восстановительном и геохимическом режимах почв. Смена почвообразующей породы, как правило, обусловливает смену почв на видовом и родовом уровне (Геология СССР, 1969; Закожурников, 1987; Несговорова и др., 2023).

По современным представлениям, регион является частью Евразиатской континентальной плиты и расположен в Тургайском прогибе Ураломонгольского складчатого пояса, представленного молодой эпипалеозойской платформой, слившей Восточно-Европейскую, Сибирскую и обе Китайские древние платформы в единый материк - Лавразию. Скальный фундамент Зауральской платформы сложён осадочными вулканическими, магматическими интрузивными и метаморфическими породами. Отложения неогенового периода представлены серыми и серо-бурыми гидрослюдисто-монтмориллонитовыми глинами с включениями карбонатных глин (Наливкин, 1962).

В более позднее время произошло формирование желто-бурых лёссовидных суглинков, широко распространенных на водораздельных склонах левобережья реки Тобола (Егоров, Кривонос, 1995).

Четвертичные (антропогеновые) отложения отличаются небольшой мощностью. На водораздельных пространствах мощность их колеблется в пределах от 1 до 6 м (Геология СССР, 1969; Закожурников, 1987).

Хорошо выражена на территории Зауралья вторая надпойменная терраса. Она сложена верхнечетвертичными породами: глины, суглинки, алевриты, песчаники), занимающими наибольшие площади, имеет явный аккумулятивный характер и тяжелосуглинистый гранулометрический состав (Конаныхин, 2013).

Окончательное формирование современного рельефа в четвертичный период проходило на фоне значительного похолодания. Межледниковый климат в Зауралье способствовал широкому накоплению лёссовидных пород (Никитин, 1933; Маландин; 1936; Горшенин, 1955; Бахарева, 1959).

В почвообразовательных процессах на водораздельных пространствах области наибольшее значение имеет группа пород антропогенового возраста, получившая название «покровных суглинков» (Несговорова, Савельев, 2020).

Данные доказывают отсутствие сколько-либо существенного первичного засоления подстилающих пород. Засоление же профилей связано с современными геохимическими процессами, о чем свидетельствует «висячий» характер солевых и карбонатных горизонтов (Егоров, Кривонос, 1995; Дюрягин, 1996).

В целом территория региона представлена серыми и серо-бурыми гидрослюдисто-монтмориллонитовыми глинами с включениями карбонатных глин, на водораздельных пространствах широко распространены желто-бурые лёссовидные суглинки (Несговорова, Савельев, 2020). Появление засоленных почв связано с химизмом неогеновых и палеогеновых глин и песков.

Таким образом чернозёмы выщелоченные Зауралья залегают на хорошо дренированных участках, почвообразующими породами выступают желто-бурые карбонатные суглинки и глины четвертичного возраста. Чернозем обыкновенные солонцеватые расположены на пониженных участках мезо- и микрорельефа, в восточной зоне они приурочены к плоским водораздельным равнинам озерного, или озерно-аллювиального генезиса (Бахарева, Терпугов, 1969; Егоров, Кривонос, 1995).

3.3 Рельеф

Рельеф местности во взаимодействии с другими факторами играет важную роль в формировании тех или иных свойств почвы. Развитие различных типов почв в Зауралье приурочено к определенным формам рельефа.

Курганская область охватывает почти всю географическую зону лесостепного Зауралья. Рельеф равнинный, со слабым наклоном на северо-восток. Местность изобилует множеством котловин и западин. Понижения бывают самой различной формы и величины – от нескольких квадратных метров до десятков гектаров, глубиной от 20-30 см до 10 м и более. Эти низины большей частью заняты водой, образуя озера, которых в области насчитывается около трех тысяч.

Западная территория Зауралья от предгорий Урала до реки Тобол расположена на слабо размытых плосковолнистых равнинах. Здесь сформирован бугристо-лощинный микрорельеф, который занимает до 50% равнинных пространств, обусловливая почвенные структуры (Синявский, 2001). В южной части широко развиты западины и котловины незначительных глубин.

Остальная часть лесостепного Зауралья представляет собой слегка возвышенную слабоволнистую и слаборасчлененную равнину с уклоном на северо-восток (Егоров, Кривонос, 1995).

Известно, что рельеф местности играет существенную роль в функционировании биогеоценозов. Описание выше рельефа дает возможность полагать, что на большей части территории Зауралья в виду его равнинности, условия рельефа приводят к уравниванию с почвенными. 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.

3.4 Гидрологические условия

Почти вся территория области расположена в бассейне реки Тобол, и лишь восточные районы относятся к Тобол-Ишимскому междуречью и являются бессточной зоной. При достаточно глубоком врезании, гидрологическая сеть дренирует лишь прилегающие к ней территории эрозионно-денудационного происхождения (поверхности врезания). Основная же площадь водоразделов отличается слабой дренированностью. На междуречных пространствах выделяются аккумулятивные и денудационные поверхности выравнивания и поверхности врезания смешанного типа (Закожурников, 1987; Несговорова и др., 2023).

Основные водоносные горизонты залегают достаточно глубоко и не участвуют в процессах почвообразования.

В Зауралье на водораздельных пространствах геохимия ландшафтов определяется временными почвенными водами (верховодкой), часто носящий линзообразный характер. Их формирование обусловливается маломощностью и слоистостью покровных пород, и хорошо развитым микрорельефом. На северо-западе области на территориях с гривно-лощинным рельефом благодаря малой водоудерживающей способности грунта, наличию опесчаненных горизонтов и водоупора на некоторой глубине, накопление верховодки имеет площадный характер, а точнее потускулярно-площадный. Такое накопление верховодки обнаружено в Шадринском, Шумихинском, Кетовском районе на глубине 2,5-6 м (Егоров, 1985).

На междуречье Тобол-Ишим формирование верховодки приурочено к плоским водоразделам, перекрытым почвенно-грунтовой толщей тяжелого гранулометрического состава. Глубина залегания верховодки 3–6 м. В разных частях области грунтовые воды поверхностных горизонтов различаются по степени и характеру засоления. На левобережной части Тобола они преимущественно пресные, степень минерализации не превышает 1 г/л, сухой остаток имеет хлоридно-гидрокарбонатный состав. А на междуречье Тобол-Ишим верховодка более засолена, чем в западной части области, для нее характерна слабая или средняя минерализация, чаще всего хлоридно-сульфатного характера. В лесостепной зоне верховодка имеет незначительную минерализацию на положительных формах рельефа и более существенную в депрессиях.

Болота занимают 5,8 % территории, где преобладают низинные (Егоров, Кривонос, 1995).

Незначительная минерализация и глубина залегания грунтовых вод левобережья Тобола (практически вся северо-западная, центральная и половина южной агроклиматические зоны) не оказывает влияния на процессы осолонцевания чернозёмных почв, в то время как восточная часть ввиду пониженных пространств и более близкого залегания грунтовых вод, их уровня минерализации приводит к формированию в структуре почвенного покрова чернозёмов солонцеватых.

3.5 Естественная и культурная растительность

Естественная и культурная растительность является основным фактором почвообразования. В определенных климатических условиях, типа почвы, рельефа местности определяется темп развития травянистой растительности, скорость и направление её разложения (Докучаев, 1949; Синявский, 2007).

Основные сведения, по динамике накопления биомассы и биологическому круговороту азота и зольных элементов обобщены в работах Ковды В.А. (1985), Родина Л.Е., Базилевич Н.И. (1965). В работах приводится большой фактический материал, который доказывает ведущую роль растительности как фактора почвообразования, раскрывает сущность влияния динамики биологической массы и ее химического состава на формирование основных почвенных типов земного шара.

На территории Зауралья выделяют три природные зоны: подтаежная, лесостепная и степная. Основная территория области находится в пределах лесостепной зоны (Завьялова, 2008).

Преобладающей по площади ландшафт лесостепной части представляет собой чередование более или менее крупных лесных массивов со свободными от леса пространствами, распаханными или занятыми естественными травянистыми ассоциациями, использующимися в основном в качестве кормовых угодий (Доклад о состоянии и охране …., 2020).

В травяном покрове березовых колков преобладают лугово-лесные и болотные виды: пырей ползучий *(Elytrígia répens*), тимофеевка луговая (*Phleum pratense*), горошек тонколистый (*Vícia tenuifólia*), много мятлика лугового (*Poa pratensis*), люцерны серповидной (*Medicago falcata*), овсяницы луговой (*Festuca pratensis*), клевера ползучего (*Trifolium repens*), клевера люпиновидного (*Trifolium lupinaster*). На полях и опушках березовых лесов на почвах легкосуглинистого гранулометрического состава в травяном покрове преобладает тимофеевка степная (*Phleum phleoides*), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*), астрагал эспарцетовидный (*Astragalus onobrychis*), гвоздика пышная (*Dianthus superbus*) (Науменко, 2008).

В северо-западной части области преобладают мелколиственные леса колочного характера, различные по генезису.

Зональные сообщества степей и остепнённых лугов связаны с обыкновенными и выщелоченными черноземами различного гранулометрического состава (Науменко, 2007).

Современная мозаика растительных группировок зауральской лесостепи определяется характером микро- и мезорельефа слабо дренированной водораздельной равнины. Видовой состав степей Западной Сибири несколько обеднен по сравнению с их восточноевропейскими аналогами (Науменко, 2008).

Обширные безлесные пространства Зауралья почти полностью освоены под поля, сенокосы и пастбища. Практически не нарушена галофитная растительность солончаков, приуроченных к понижениям рельефа по берегам соленых озер и в безводных западинах водоразделов. На месте залежей в результате деградации черноземов формируются устойчивые вторичные солончаковые сообщества (Науменко, 2016).

Сводный конспект флоры территории включает 1210 дикорастущих видов из 447 родов и 112 семейств. С целинной, не тронутой человеком степью, можно познакомиться лишь на небольших полосках вдоль опушек березовых колков, да на неудобных для использования землях. В пределах области выделяются разнообразные типы лугов: настоящие, остепненные, болотистые, галофильные, кустарниковые. Настоящие луга сформировались в поймах рек и представлены злаковыми, кострецовыми, пырейными другими ассоциациями.

На пониженных засоленных участках поймы преобладают полевица белая (*Agrostis alba*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*), мятлик болотный (*Poa palustris*), лисохвост вздутый (*Alopecurus ventricosus*). На более засоленных территориях широко распространены различные виды бескильниц. В редко заливаемых частях поймы доминируют разнотравные ассоциации: лабазник обыкновенный (*Filipenida vulgaris*), подмаренник настоящий (*Galium verum*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*) и др.

Остепнённые луга на водоразделах представлены мятликовыми и мятликово-типчаковыми ассоциациями. В северной лесостепи в составе луговых степей много бобовых, по мере продвижения к югу в лугово-степных ассоциациях уменьшается доля разнотравья и появляются типчаково-полынные ассоциации. Низменные водораздельные равнины озерного и озерно-аллювиального генезиса, особенно характерные для восточной части лесостепи, изобилуют тростниковыми и вейниково-осоковыми болотами.

Низменные водораздельные равнины озерного и озерно-аллювиального генезиса, особенно характерные для восточной части лесостепи, изобилуют тростниковыми и вейниково-осоковыми болотами (*Phragmites australis, Carex acuta L., Calamagrostis neglecta*) в сочетании с галофитозлаковыми лугами: ячменевыми, лисохвостовыми, бескильцевыми, пырейными. На самом юге Зауралья выделяются настоящие степи с дерновыми злаками (*Festuca sulcata, Stipa stenophylla, S. capillata, Agropyrum pectiniforme*) и ксерофитным разнотравьем: полынь сизая (*Artemisia glauca*), полынь австрийская (*Artemisia austriaca*), люцерна серповидная (*Medicago falcata*), астрагал длинноногий (*Astragalus macropus*) (Науменко, 2016). Необходимо отметить, что растительный покров области в целом носит черты антропогенной нагрузки.

3.6 Почвенный покров

Почвенный покров лесостепного Зауралья отличается пестротой, где смена почв приурочена к изменениям микро- и мезорельефа. Также пестрота зависит от колебаний уровня и химизма грунтовых вод, свойств почвообразующих пород. Пахотные земли почти полностью находятся в лесостепной природной зоне (Горшенин, 1955; Маландин, 1936; Бахарева, 1959; Лебедев, 1964; Каретин, 1990; Егоров, Кривонос, 1995).

Главной задачей сельскохозяйственного производства на черноземах является правильное использование их высокого естественного потенциального плодородия, осуществление комплекса мероприятий, предохраняющих от деградации и более того – обеспечивающих сохранение его плодородия (Шишов

и др., 2001; Карманов и др., 2002; Назарюк, 2004; 2007; Карпачевский, 2005; Кирюшин, 2010, 2016).

В соответствии с Классификацией и диагностикой почв (1977) на территории Зауралья в структуре почвенного покрова типы почв представлены в таблице 3.2. Такое разнообразие почв связано с различными протекающими мезопроцессами: подзолистым, аккумулятивным, солончаковым, солонцовым и др. (Егоров, Кривонос, 1995).

В структуре почвенного покрова тип черноземов представлен двумя подтипами, занимающими 2149,7 тыс. га, или 30,3% общей площади: черноземы выщелоченные ($Ч^{В}$); черноземы обыкновенные ($Ч^{О}$).

Таблица 3.2 – Почвенный покров Курганской области (Егоров, Кривонос, 1995)

Почва	Общая площадь	
	тыс. га	% от площади
Серые лесные (Л) в т.ч.	648,4	9,1
серые лесные оподзоленные ($Л^{ОП}$)	242,0	3,4
серые лесные осолоделые ($Л^{ОС}$)	406,4	5,7
Черноземы (Ч) в т.ч.	2149,7	30,3
выщелоченные ($Ч^{В}$)	1052,0	14,9
обыкновенные ($Ч^{О}$) в т.ч.	1097,7	15,4
обычные ($Ч^{О}$)	151,6	2,1
солонцеватые ($Ч^{ОСН}$)	697,1	9,8
карбонатные ($Ч^{ОК}$)	89,9	1,3
осолоделые ($Ч^{ОСД}$)	159,1	2,2
Лугово-черноземные (Чл)	125,2	1,8
Луговые ($Л_{Г}$)	229,4	3,2
Солоди ($С_{Д}$)	890,5	12,5
Солонцы ($С_{Н}$)	1073,6	15,1
Солончаки ($С_{К}$)	74,1	1,0
Болотные (Б)	397,6	5,6
Аллювиальные ($А_{Л}$)	129,0	1,8
Комплекс черноземов с солонцами	362,2	5,1
Пески боровые (ПБ)	493,7	7,0
Итого	6573,4	92,5
Всего, площадь области	7148,8	100

Выщелоченные черноземы занимают 1052,0 тыс. га. Участие это подтипа чернозёма в структуре почвенного покрова отдельных зон различно. Наибольшее распространение они имеют в северо-западной части лесостепи Зауралья, в восточной – площади снижаются за счет широкого распространения здесь черноземов обыкновенных (Лысухин, 2005).

В подтипе обыкновенных черноземов на территории региона наибольшее распространение имеют солонцеватые, которые занимают 697,1 тыс. га. Они распространены, как отдельными крупными массивами, так и в комплексе с интразональными почвами (солонцами тяжелосуглинистого гранулометрического состава). По сравнению с солонцеватыми черноземами значительно меньшие площади занимают обычные черноземы повышенных участков водоразделов (Егоров, Кривонос, 1995).

По данным Егорова В.П., Кривонос Л.А. (1995) основные параметры плодородия выщелоченных черноземов естественных ландшафтов характеризовались следующими показателями в верхнем гумусовом горизонте: содержание гумуса – 5,5-8,6 % коэффициент структурности – 2-10, содержание агрономически малоценной фракции < 0,25 мм составляло 2-5 %, плотность сложения – 1,0-1,2 г/см^3, плотность твердой фазы 2,4-2,5 г/см^3, общая пористость 50-60 %, наименьшая влагоемкость – 30-40 %, pHсол – 5,5-5,7, сумма обменных оснований – 29-31 мг.-экв./ 100 г почвы, гидролитическая кислотность – 2,9-4,0 мг.-экв./ 100 г почвы, степень насыщенности основаниями 90-93 %. В обыкновенных солонцеватых черноземах содержание азота составляло 0,3-0,4%, фосфора – 0,08-0,11 %, гумуса –5,7-9,0 %, плотность сложения – 1,1-1,26 г/см^3, плотность твердой фазы 2,4-2,6 г/см^3; сумма обменных оснований – 32-36 мг.-экв. / 100 г почвы; pHводн – 7,0-7,2, общая пористость – 50-55 %.

Площадь земель сельскохозяйственного назначения (на 01.01.2021 г.) составляла почти 4,529 млн. га, в том числе пашни – 2,32, пастбища – 0,75, сенокосов – 0,51, многолетних насаждений – 0,01, залежных земель – 0,45 млн. га. Основную часть пахотных земель составляют черноземы – 65% (по России в среднем 52%) (Доклад о состоянии и использовании земель…, 2022).

Основными сельскохозяйственными культурами, возделываемыми в большинстве хозяйств, являются зерновые и технические культуры. Источником зелёных кормов для животноводческой отрасли являются сенокосы и пастбища. Удобрения вносятся примерно на 50-60% площади посевов и многолетних насаждений. Современная потребность сельского хозяйства в минеральных удобрениях удовлетворяется примерно на 40-50%. Органические удобрения применяются в основном в виде соломы зерновых культур.

Рельеф и благоприятные климатические условия зоны способствуют активному формированию дернового горизонта чернозёмов. Основным фактором почвообразования черноземов в естественных условиях лесостепного Зауралья мы рассматриваем биологический, а ведущий процесс в формировании его свойств – гумусово-аккумулятивный.

Усиление интенсификации земледелия привело к тому, что чернозёмы, по сравнению с целинными аналогами подверглись значительному изменению морфологических признаков, широкому спектру свойств почвы, и это говорит о необходимости рассматривать производственную деятельность человека, как значимый фактор в почвообразовательных процессах. Продуктивность агроценозов зависит от степени развития деградационных процессов и уровня оптимальных параметров плодородия чернозёма. В результате чего оценка его современного состояния и разработка приемов сохранения плодородия приобретают актуальность, а чернозём является основным объектом наших исследований.

ГЛАВА 4. АГРОГЕННЫЙ ПРОЦЕСС ТРАНСФОРМАЦИИ ЧЕРНОЗЁМА В АГРОЛАНДШАФТАХ ЛЕСОСТЕПНОГО ЗАУРАЛЬЯ

(второй этап)

4.1 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±0,14 %, ёмкость катионного обмена – 25,1 мг-экв. / 100 г почвы. В верхнем горизонте присутствовало небольшое количество обменного водорода, обусловливающее кислотность (pHсол -5,39). Степень насыщенности основаниями составляла 83,7 %. Мощность гумусовых горизонтов (Апах+АВ) – 36±3 см (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Исходные параметры почвенного плодородия при закладке полевых исследований (Опытное поле Курганской ГСХА, 2001-2017 гг.)

Опыт, №	Годы закладки	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^{+}	ЕКО	V, %	pH		Мг/кг почвы	
		мг-экв. / 100 г почвы					сол.	водн.	P_2O_5	K_2O
1	2001	19,8	5,2	3,86	28,9	86,5	5,36	6,15	68-78	122-133
2	2002									
3	2010	15,1	4,1	5,52	24,7	78,0	5,10	6,15	85-105	136
4	2012	13,4	6,2	3,75	23,4	83,8	5,70	6,20	39-41	135
5	2014	11,5	4,8	3,81	20,5	81,1	5,24	6,38	56-62	148
6	2014	14,8	5,8	3,92	24,5	84,0	5,30	6,05	75	131
7	2017	19,0	6,2	3,20	28,4	88,7	5,62	6,42	48	155

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 (0,01-0,005 мм) (таблица 4.2). Наблюдается небольшое обеднение илом в верхней части профиля и некоторое накопление в средней со слабовыраженным максимумом в горизонтах АВ и В. По классификации Н.А. Качинского эту почву следует отнести к легкосуглинистой пылевато-песчаной разновидности.

Таблица 4.2 – Гранулометрический состав чернозёма выщелоченного (Опытное поле Курганской ГСХА, 2001 г.)

Генетич. горизонт	Содержание фракций (%) при размерах частиц, мм						
	песок		пыль			ил (<0,001)	физич. глина (<0,01)
	крупный (1-0,25)	мелкий (0,25-0,05)	крупная (0,05-0,01)	средняя (0,01-0,005)	мелкая (0,005-0,001)		
Апах	7,3	54,9	8,9	6,1	11,5	11,3	28,9
АВ	3,2	57,0	12,2	4,5	8,3	14,8	27,6
В	5,3	54,2	11,5	7,6	6,3	15,1	29,0
ВС	5,7	64,3	9,4	11,6	1,4	7,6	20,6
С	7,0	72,2	2,1	0,7	9,0	9,0	18,7

Плотность сложения чернозёма (таблица 4.3) в слое 0-20 – 1,17 г/см^3, в нижележащих слоях возрастает до 1,49 г/см^3. Плотность твердой фазы в верхних слоях – 2,61 г/см^3, в средней части профиля и ниже увеличивается т до 2,82 г/см^3. Общая пористость хорошая –55,2 %. Максимальная гигроскопическая влага в слое 0-10 см – 4,42 %, к слою 40-50 см увеличивается до 5,33 %.

Таблица 4.3 – Водно-физические свойства чернозёма выщелоченного (Опытное поле Курганской ГСХА, 2001 г.)

Слой почвы, см	Плотность, г/см^3			Общая пористость	МГ
	сложения		твердой фазы	%	
0-10	1,08	1,17±0,06	2,56	57,8	4,42
10-20	1,26		2,65	52,5	4,97
20-30	1,32	1,31±0,08	2,62	49,6	4,75
30-40	1,30		2,58	49,6	4,29
40-50	1,34		2,62	48,9	5,33
50-60	1,33		2,82	52,8	4,32
60-70	1,44		2,70	46,7	3,89
70-80	1,44		2,72	47,1	3,72
80-90	1,45		2,80	48,2	3,94
90-100	1,49		2,78	46,4	4,14

Оценка структурно-агрегатного состава чернозёма показала, что содержание агрономически ценных агрегатов составило в пахотном горизонте 60,5%, а $К_{СТР}$ – 1,53 (таблица 4.4).

Для характеристики условий питания растений проводилось определение валового содержания элементов в почве, как ближайший для растений резерв

доступных элементов и количество непосредственно усвояемых элементов из почвы (таблицы 4.11, 4.15).

Таблица 4.4 – Агрегатный состав чернозёма выщелоченного, % (Опытное поле Курганская ГСХА, 2001 г.)

Генетич. горизонт	Размер фракции, мм									$К_{СТР}$*
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	
Апах	29,4	10,5	8,2	11,3	7,4	13,8	3,3	6,0	10,1	1,53
АВ	34,9	9,4	6,9	8,2	5,5	10,6	4,3	8,2	12,0	1,13

*$К_{СТР}$ – коэффициент структурности.

В целом, исследуемый нами чернозём является региональным представителем как наиболее распространенный тип почв в Зауралье.

4.2 Изменение морфологических признаков профиля чернозема под воздействием антропогенной нагрузки

Изменению морфологических признаков черноземов при длительной антропогенной нагрузке посвящено большое количество работ (Щербаков, Васнев, 2000; Абрукова, 1996; Абрамов, 2008; 2012; Семендяева, 2015 и др.). По характерным морфологическим признакам можно судить о направлении и степени выраженности почвообразовательного процесса (Розанов, 2004).

Многочисленные данные ученых показали, что в чернозёмах, вследствие длительной антропогенной нагрузки, существенно изменяются его морфологические признаки (Дюшефур, 1970; Хазиев, 1998; Эволюция почв и почвенного покрова…, 2015, Яковлев и др., 2016).

Существенными изменениями в морфологии целинных чернозёмов после распашки являются потеря дернины и гомогенизация гумусового горизонта на глубину основной обработки. В тоже время ряд ученых считают, что профиль пахотных Восточно-Европейских чернозёмов изменяется незначительно (Муха и др., 2003; Кузнецов, Глазунов, 2004; Розанов, 2004). Вследствие своих провинциальных особенностей Западно-Сибирские чернозёмы при распашке изменяются в значительно большей степени (Егоров, Кривонос,

1968, 1995; Каретин, 1990; Синявский, 1996; Егоров и др., 2002; Красницкий, Ермохин, 2010; Ерёмин, 2019).

Выщелоченные черноземы территории юга Западной Сибири на агрофонах целины и залежи имеют хорошо выраженную комковатую и комковато-зернистую структуру, которая при распашке почвы быстро разрушается (Семендяева, 2011).

Напряженность гидротермических факторов, вследствие чего корневая система оказывается локализованной в самой верхней части почвенного профиля, является причиной развития маломощного гумусового профиля Западно-Сибирских черноземов и других почв (Лебедева, Семина, 1974).

Отдельные группы культурных растений в различной степени отзываются на гумусное состояние почвы, агрофизические свойства, гранулометрический состав, влагу, мощность корнеобитаемого слоя, реакцию среды, грунтовые воды и т.д. (Карпачевский, 1987, 2005; Козаченко, 1999; Семендяева, 2014; Национальный атлас почв РФ, 2011; Трубилин и др., 2013; Абрамов и др., 2019).

Как показано в работах Р.А. Лотова (1975, 1988), Г.Н. Масютенко и др., (2008) использование единичных разрезов на определенной территории отражает истинное состояние почв всего угодья, и в пределах почвенного контура данные являются вполне сопоставимыми. Это положение отражается в построении линейных моделей гумусного профиля черноземов, которые позволяют соединить для группы разрезов морфологические показатели, содержание гумуса в информационную систему, фиксирующую результаты разового обследования в сопоставимой форме.

По данным В.П. Егорова и Л.А. Кривонос (1995) в профиле выщелоченных черноземов наблюдается незначительное количество оксидов железа и алюминия, обогащение кремнеземом его верхней части профиля.

Нами установлено, что при освоении целинных земель в зернопаровых севооборотах в профиле черноземов Зауралья происходит уменьшение мощности гумусового слоя (А+АВ) и опускание линии вскипания карбонатов. Известно, что в зависимости от климатического фактора, типа почвы и исходной агро-

экосистемы стадии сукцессии могут меняться и иметь разную продолжительность. Перевод черноземов в залежное состояние позволял формированию с поверхности дернины (A_0) хорошо выраженного войлока (стадия рыхлокустовых злаков), за период, когда почва длительно не обрабатывалась (10-11 лет).

В европейской части страны Азаренко М.А. (2020) также установлено, что с увеличением продолжительности залежного режима чернозёма возрастает видовое разнообразие растительного покрова за 17-27 лет происходило уменьшение плотности с 1,20 до 1,10 г/см^3, значений pH – с 8,1 до 7,4.

В период **второго этапа** исследований (2001-2022 гг.) работы по изучению морфологических признаков чернозёмов проводились в разных агроклиматических зонах. Так, в центральной агроклиматической зоне чернозем выщелоченный легкосуглинистый (ОП КГСХА) в системе координат – разрез 1 (Р.1) Целина – 55°16'42.05"с.ш., 65°25'17.66"в.д.; Р.2 Залежь 11 лет – 55°16'58.38"с.ш., 65°25'0.93"в.д.; Р.3 Залежь 4 года – 55°17'1.12"с.ш., 65°25'19.77"в.д.; Р.4 Пашня (пшеница) – 55°16'43.42"с.ш., 65°25'4.74"в.д. характеризовался такими морфологическими признаками:

A_0 (0-4/4 см) – дернина;

А (4-27/23 см) – гумусово-аккумулятивный, влажный, темно-серый, легкосуглинистый, опесчаненый, структура кубовидная непрочнокомковатая, переход постепенный, не вскипает от 10% HCl, с корнями растений;

АВ (27-40/13 см) – нижняя часть гумусового горизонта, неоднородный по окраске, в целом светлее гор. А, легкосуглинистый, менее опесчаненный, непрочнокомковатый, не вскипает от 10% HCl, переход постепенный;

В (40-62/22 см) – неоднородный по окраске на желтовато-буром фоне серые гумусные затеки, влажный, легкосуглинистый, не вскипает от 10% HCl, переход постепенный, нижняя граница языковатая;

ВС (62-89/27 см) – желтовато-бурой окраски, сильноопесчаненный, бесструктурный, вскипает с 87 см по карбонатным выделениям, переход постепенный;

С (> 89 см) – желто-бурый песчаный, вскипает по карбонатным пятнам.

Следует отметить, что труднорастворимые карбонаты $CaCO_3$ появляются на расстоянии 25 см от нижней границы горизонта гумусовых затеков В. Мощность гумусовых горизонтов (А+АВ) составляет 36 см. На залежном участке (11 лет) дернина имеет мощность 2 см. При ежегодном использовании почвы мощность ее верхних горизонтов уменьшилась до 33 см.

В связи с интенсивной минерализацией органического вещества, и как следствие, снижением содержания гумуса у чернозёме происходят изменения в ряде морфологических признаков – в первую очередь это связано с окраской гумусовых горизонтов и их сложением.

Координаты заложенных разрезов на Центральном ОП (чернозем выщелоченный легкосуглинистый): Р.9 Целина – 55°16'18.02"с.ш., 65° 6'5.41"в.д.; Р.10 Залежь 10 лет – 55°16'4.98"с.ш., 65° 6'12.32"в.д.; Р.11 Залежь 4 года – 55°16'7.25"с.ш., 65° 6'15.04"в.д.; Р.12 Пашня (пшеница) – 55°16'13.71"с.ш., 65°6'0.23"в.д.

Морфологическое описание разреза целинного участка:

A_0 (0-3/3 см) – дернина;

А (3-26/23 см) – гумусово-аккумулятивный, влажный, темно-серый, легкосуглинистый, комковато-зернистой структуры, переход постепенный, не вскипает от 10% HCl, с корнями растений;

АВ (26-41/15 см) – гумусовый, увлажненный, неоднородный по окраске, легкосуглинистый, комковато-зернистый, с корнями, не вскипает от 10% HCl, переход постепенный;

В (41-68/27 см) – на желтовато-буром фоне гумусные затеки, влажный, легкосуглинистый, непрочнокомковатый, не вскипает от 10 % HCl, переход в гор. ВС постепенный, нижняя граница языковатая;

ВС (68-102/34 см) – желтовато-бурой окраски, бесструктурный вскипает с 75 см по карбонатным выделениям, переход постепенный, наблюдаются скопления карбонатов в виде расплывчатых пятен;

С (> 102 см) – желто-бурый, глинистый, влажный, вскипает по карбонатным пятнам.

На залежном участке дернина имела мощность 2 см. Также в связи со снижением содержания гумуса происходило изменение окраски. Наблюдались изменения в верхних горизонтах профиля: горизонт $А_{ПАХ}$ имела мощность 24 см, нижняя граница горизонта АВ – на глубине 37 см. На пашне отмесалось уменьшение глубины гумусовых горизонтов: горизонт А имел мощность 22 см, а горизонт АВ – 38 см.

В восточной зоне (Макушинское ОП) чернозем обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (в системе координат – Р.5 Целина – 55°11'45.18"с.ш., 67°25'4.45"в.д.; Р.6 Пашня (у целины, пшеница) – 55°11'45.69"с.ш., 67°25'10.82"в.д.) (рисунок 4.1) характеризовался на целинном участке следующими морфологическими признаками:



Рисунок 4.1– Профиль чернозёма обыкновенного

$А_0$ (0-5/5 см) – дернина;

А (5-28/23 см) – гумусово-аккумулятивный, темно-серый, тяжелосуглинистый, непрочно-комковатый, плотного сложения, переход постепенный, вскипает от 10% HCl по всему профилю с 26 см, с корнями;

АВ (28-46/18 см) – гумусовый, неоднородный по окраске, в основном бурый и светло-бурой окраски. В нижней части фона заклинки породы, тяжелосуглинистый, ореховатой структуры, переход в гор. В постепенный, с корнями;

В (46-68/22 см) – горизонт гумусовых затеков, неоднородный по окраске на желтовато-буром фоне серые гумусные затеки, тяжелосуглинистый, сложение плотное, сплошное вскипание от 10% HCl;

ВС (68-80/ 12 см) – желтовато-бурый окраски, тяжелосуглинистый, бесструктурный вскипает, переход постепенный;

С (> 80 см) – желтой окраски, тяжелосуглинистый, вскипает по карбонатным пятнам.

Также в этой зоне были заложены два разреза чернозема обыкновенного солонцеватого карбонатного тяжелосуглинистого (в системе координат – Р.7 Залежь 5 лет – 55°11'8.50"с.ш., 67°26'29.92"в.д.; Р.8 Пашня (у залежи, пшеница) – 55°11'10.95"с.ш., 67°26'32.26"в.д.).

Для обыкновенных солонцеватых черноземов морфологической особенностью является наличие ореховатой структуры в горизонте АВ. На участке пашни мощность горизонтов Апах+АВ – 42 см.

В условиях северо-западной агроклиматической зоны (Шадринская ОС), у чернозёма выщелоченного тяжелосуглинистого (в системе координат – Р.13 Целина – 56°16'24.02"с.ш., 63°32'51.30"в.д.; Р.14 Залежь 10 лет – 56° 0'0.70"с.ш., 63°55'59.48"в.д.; Р.15 Пашня. Отвальная обработка (пшеница) – 56°16'22.97"с.ш., 63°31'59.79"в.д.; Р.16 Пашня, безотвальная обработка (пшеница) – 56°16'21.36"с.ш., 63°32'5.88"в.д.) на целине сформировались следующие морфологические признаки:

A_0 (0-5/5 см) – дернина;

А (5-27/22 см) – гумусовый, влажный, черный, тяжелосуглинистый, рыхлого сложения, комковато-ореховатый, переход постепенный, с корнями растений;

АВ (27-42/15 см) –нижняя часть гумусового профиля, неоднородный по окраске, темно-серой окраски, тяжелосуглинистый, рыхлого строения, комковато-призматической структуры, переход постепенный;

В (42-70/28 см) – горизонт гумусовых затеков, неоднородный по окраске на темно-желтом фоне серые гумусные затеки, тяжелосуглинистый, плотный, переход постепенный, нижняя граница языковатая;

ВС (70-96/26 см) – желтовато-бурый, тяжелосуглинистый, очень плотного сложения, бесструктурный, вскипает от 10% HCl с 78 см по карбонатным выделениям, переход постепенный;

С (> 96 см) – темно-желтый, тяжелосуглинистый, вскипает по карбонатным пятнам.

В морфологическом строении профиля представлена небольшая мощность гумусового горизонта А. Эта особенность объясняется свойством этих

почв – языковатость, то есть неравномерность в окраске горизонта АВ вследствие просыпания верхних слоев по трещинам.

При анализе генетических горизонтов стояла задача сравнить их мощности при различных видах обработки (отвальной до 22 см, и безотвальной до 34 см). На участке с применением отвальной обработки мощность горизонтов $А_{ПАХ}$+АВ составляет 38 см, тогда как с применением безотвальной обработки мощность горизонтов 40 см.

В то же время чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (Шадринском ОП в системе координат – Р.17 Целина – 55°59'46.65"с.ш., 63°54'40.38"в.д.; Р.18 Залежь 8 лет – 56° 0'0.70"с.ш., 63°55'59.48"в.д.; Р.19 Пашня (пшеница) – 55°59'51.84"с.ш., 63°54'30.16"в.д. В целинном участке отмечается увеличение мощности гумусовых горизонтов до 43 см:

$А_0$ (0-3/3 см) – дернина;

А (3-28/25 см) – гумусовый, влажный, темно-серый, тяжелосуглинистый, рыхлого сложения, комковатый, переход постепенный, не вскипает от 10% HCl, с корнями растений;

АВ (28-43/15 см) – гумусовый, темно-серый, тяжелосуглинистый, с корнями, рыхлого строения, комковато-призматической структуры, не вскипает от 10% HCl, переход постепенный;

В (43-68/25 см) – горизонт гумусовых затеков, неоднородный по окраске на темно-желтом фоне серые гумусовые затеки, тяжелосуглинистый, плотный, не вскипает от 10% HCl, переход постепенный, нижняя граница языковатая;

ВС (68-90/22 см) – желтовато-бурой окраски, тяжелосуглинистый, плотного сложения, бесструктурный, от 10% HCl вскипает с 88 см по карбонатным выделениям, переход постепенный;

С (>90 см) – темно-желтый, тяжелый суглинок, вскипает по карбонатным пятнам.

При сельскохозяйственном использовании также наблюдается уменьшение глубины границы гумусовых горизонтов: горизонт А имеет мощность 24 см, а горизонт АВ – 40 см.

Материнскими и подстилающими породами в северо-западной зоне являются флювио-гляциальные и аллювиальные отложения (Глухих и др., 2005).

На целинном участке в южной агроклиматической зоне, на примере чернозёма выщелоченного среднесуглинистого проведено описание морфологических признаков (рисунок 4.2).

Как и в других зонах проведено сравнение с участками пашни. Заложены 3 разреза с разной антропогенной нагрузкой (в системе координат: Р.20 Целина – 54°26'33.75"с.ш., 63°55'38.92"в.д.; Р.21 Многолетние травы (15 лет) – 54°26'27.37"с.ш., 63°54'34.38"в.д.; Р.22 Пашня (одн. травы) – 54°26'30.95"с.ш., 63°55'7.07"в.д.). Описание:



Рисунок 4.2– Профиль чернозёма выщелоченного

A_0 (0-3/3 см) – дернина;

А (3-24/21 см) – гумусово-аккумулятивный, влажный, черный, тяжелосуглинистый, комковатый, плотного сложения, переход постепенный, не вскипает от 10% HCl, наличие корней;

АВ (24-37/13 см) – гумусовый, влажный, темно-серой окраски, тяжелосуглинистый, строение рыхлое, структура комковато-призматическая, не вскипает от 10% HCl, переход постепенный;

В (37-61/24 см) – горизонт гумусовых затеков, неоднородный по окраске на темно-желтом фоне серые гумусные затеки, тяжелосуглинистый, плотный, не вскипает от 10% HCl, нижняя граница горизонта языковатая;

ВС (61-105/44 см) – бурой окраски, с пятнами карбонатов, тяжелый суглинок, бесструктурный;

С (> 80 см) – светло-бурой окраски, уплотненный, тяжелосуглинистый вскипает по карбонатным пятнам

В полевом севообороте на обрабатываемом участке наблюдалось уменьшение глубины гумусовых горизонтов: горизонт Апах имеет мощность 22 см, а граница горизонта АВ – 34 см.

В рамках первого и второго этапов проведения исследований по разработке агротехнологических приемов на ОП КГСХА дополнительно были заложены почвенные разрезы. Так опыты 1, 2 (55°17'4.37"с.ш., 65°24'25.78"в.д.); опыты 3, 5, 6 (55°16'49.41"с.ш., 65°22'5.83"в.д.), опыт 4 (55°16'49.42"с.ш., 65°22'27.74"в.д.), опыт 7 (55°17'2.78"с.ш., 65°21'7.75"в.д.) проводились на чернозёме выщелоченном легкосуглинистом маломощном (рисунок 4.3). Описание чернозема приведено на примере разреза опыта 4, заложенного нами на опытном поле Курганской ГСХА.



Рисунок 4.3 – Профиль чернозёма выщелоченного легкосуглинистого

Апах (0-24/ 24 см) пахотный, черный, сложение рыхлое, легкосуглинистый, комковато-пылеватой структуры, переход постепенный;

АВ (24- 34/10 см) гумусовый, темно-серый с буроватым оттенком, легкосуглинистый, сложение плотное, опесчаненный, непрочнокомковатый, не вскипает от 10% HCl, переход в гор. В постепенный;

В (34-60/26 см) неоднородный по окраске, на желтовато-буром фоне серые гумусные затеки, влажный, легкосуглинистый, на гумусовых затеках, влажный, непрочнокомковатый, переход в гор. ВС постепенный, нижняя граница языковатая;

ВС (60-94/34 см) переходный, желтоватой окраски, сильно-опесчаненный, бесструктурный, переход в гор. С постепенный;

С (>94 см) желто-бурый песчаный, бесструктурный, вскипает по карбонатным пятнам с 92 см.

В результате наших исследований, установлено, что в чернозёмах лесостепного Зауралья ведущим процессом формирования профиля является гумусово-аккумулятивный. Накопление в целинных участках надземной и подземной биомассы формирует хорошо оструктуренный гумусовый горизонт. При многолетней антропогенной нагрузке почвы приобретают определенные мор-

фологические признаки, свойственные только пахотным разновидностям. При замене естественной растительности на культурную в профиле черноземов Зауралья происходит, ухудшение структуры, уменьшение мощности гумусовых горизонтов (А+АВ), опускание линии вскипания карбонатов, что является причиной постепенного подкисления пахотного горизонта и ухудшения физико-химических свойств чернозема.

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.

Оценка морфологических признаков чернозёмов под влиянием природного и антропогенного факторов в условиях лесостепного Зауралья дает возможность более точно прогнозировать эволюцию гумусовых горизонтов и является актуальной задачей для решения проблемы стабилизации плодородия чернозёмов.

4.3 Физико-химические свойства чернозёмов

Значение почвенного поглощающего комплекса (ППК) в процессах почвообразования и питании растений было всесторонне изучено К.К. Гедройцем (1955) и его последователями. Важнейшей характеристикой ППК является ёмкость катионного обмена (ЕКО) или ёмкость поглощения. К.К. Гедройц рассматривал эту характеристику, как общую сумму обменных катионов, которые можно вытеснить из данной почвы, и считал, что каждый почвенный образец характеризуется постоянной величиной ЕКО. В последующие годы было показано, что ЕКО в общем случае не является постоянной величиной, она зависит от pH, ионной силы раствора и вытесняющего катиона (Воробьева, 1998).

Состав обменных катионов в поглощающем комплексе оказывает значительное влияние на многие свойства почвы, основными из которых являются: структурное состояние, физические и физико-механические свойства, поглотительная способность, ёмкость катионного обмена, реакция почвенного раствора и буферность (Муха, 2004; Шеуджен и др., 2013). От типа почвы зависит общее

содержание ионов в почвенном растворе. Для питания растений особенно важно достаточное количество в растворе K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH^{4+}, NO^{3-}, H_2PO^{4-}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, и постоянное пополнение этих катионов и анионов. Это влияет на режим питания и определяет потенциальную урожайность культур (Семендяева и др., 2015; Глухих и др., 2016).

Наблюдения в чернозёме физико-химических свойств в динамике за 13-15 лет показали, что происходит снижение количества обменного кальция в ППК, рост обменного водорода, а в обыкновенном увеличивается доля обменного натрия (таблица 4.5).

Сумма обменных оснований в центральной зоне на целине в 2007 г. в горизонте А составила 29,0 мг-экв./100 г почвы, степень насыщенности основаниями 89,5 % (разрез 1). Как результат интенсификации земледелия, снижение содержания кальция на пашне составило с 24,1 до 19,1 мг-экв. /100 г почвы, а степени насыщенности до 84,7 % (Плотников, Еликбаева, 2019). При повторном обследовании участков (2022 г.) установлено, что ёмкость поглощения снизилась до 28,2 мг-экв. /100 г почвы, отмечается проявление тенденция разрушения ППК.

Подобные изменения наблюдаются и в других зонах региона – устойчивое состояние емкости катионного обмена и степени насыщенности основаниями в целинных участках, и снижение этих показателей на почвах с антропогенной нагрузкой. Снижение степени насыщенности основаниями у чернозёмов в лесостепи Зауралья за последние 13-15 лет использования составило от 0,3 до 4,3 % (приложения 1, 2).

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 4.6).

Таблица 4.5 – Изменение ёмкости поглощения и состава поглощенных оснований выщелоченных чернозёмов (2007-2022 гг.)

Генетич. горизонт	мг-экв. / 100 г почвы				V, %	мг-экв. / 100 г почвы				V, %
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^{+}	ЕКО		Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^{+}	ЕКО	
Чернозём легкосуглинистый (центральная зона)										
2007 г	Р.1 Целина					Р.4 Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	24,1	4,9	3,39	32,4	89,5	19,1	5,2	4,42	28,7	84,7
АВ	20,7	4,8	2,40	27,6	91,0	17,0	4,7	2,63	24,3	89,3
2022 г.	Р.1 Целина					Р.4 Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	23,9	5,2	3,42	32,5	89,5	18,3	5,1	4,76	28,2	83,0
АВ	19,9	5,1	3,16	28,2	88,7	16,6	4,9	3,23	24,7	87,0
Чернозём легкосуглинистый (центральная зона)										
2007 г.	Р.9 Целина					Р.12 Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	22,5	6,7	2,94	32,1	91,0	16,3	2,6	4,88	23,8	79,4
АВ	19,3	6,0	1,60	26,9	94,0	16,7	2,8	3,13	21,8	85,8
2022 г.	Р.9 Целина					Р.12 Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	23,2	6,5	3,10	32,8	90,5	16,0	2,5	4,93	23,4	79,1
АВ	19,1	6,2	1,54	26,8	94,4	16,2	3,0	2,96	22,2	86,5
Чернозём тяжелосуглинистый (северо-западная зона)										
2008 г.	Р.17 Целина					Р. 19 Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	18,4	3,0	2,91	24,3	88,0	14,2	3,1	5,07	22,4	77,2
АВ	16,2	3,1	2,37	21,7	88,9	13,1	2,1	4,28	19,6	78,1
2022 г.	Р.17 Целина					Р. 19 Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	18,3	3,4	2,85	24,6	88,2	13,5	3,0	5,26	21,8	75,7
АВ	16,6	3,2	2,42	22,2	89,2	13,3	2,6	4,07	20,0	79,5
Чернозем среднесуглинистый (южная зона)										
2009 г.	Р.20 Целина					Р.22 Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	16,0	5,6	3,50	25,1	86,1	12,4	6,1	4,20	22,7	81,4
АВ	14,4	6,2	2,8	23,4	88,0	10,6	6,9	2,40	19,9	87,9
2022 г.	Р.20 Целина					Р.22 Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	16,2	5,5	3,42	25,1	86,5	12,2	6,0	4,40	22,6	80,5
АВ	14,8	6,1	3,25	24,2	86,4	10,5	7,0	3,29	20,8	84,1

Таблица 4.6 – 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
Чернозём легкосуглинистый (центральная зона)	*1971 г.*	*2007 г.*	*2022 г.*	*51 год*
	28,0	18,9±1,1	18,5±0,9	-9,5 (33,9 %)/ -0,19
Чернозем среднесуглинистый (южная зона)	*1975 г.*	*2009 г.*	*2022 г.*	*47 лет*
	26,4	18,5±1,2	18,2±1,1	-8,2 (31,1 %)/ -0,17
Чернозём тяжелосуглинистый (северо-западная зона)	*1967 г.*	*2008 г.*	*2022 г.*	*55 лет*
	26,9	18,4±0,7	18,3±0,8	-8,6 (32,0 %)/ -0,16

При распашке целинного участка чернозёма обыкновенного (таблица 4.7) происходило увеличение содержания обменного натрия в ППК до 2,8 мг-экв. /100 г почвы (исследования 2022 г.), степени солонцеватости до 10 % (приложение 3). Такие неблагоприятные процессы, еще связаны с близким уровнем залегания грунтовых вод и приводят к увеличению солонцеватости почвы. Это приводит почвенные коллоиды в пептизированное состояние, которое отражается на физико-механических свойствах почвы, таких как низкая водопроницаемость, повышенная липкость и вязкость почвы и др.

Таблица 4.7 – Изменение содержания обменных оснований чернозёма обыкновенного солонцеватого тяжелосуглинистого (2007, 2022 гг.)

Генетич. горизонт	Мг-экв. / 100 г почвы									
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	H^{+}	ЕКО	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	H^{+}	ЕКО
2007 г.	Р.5 Целина					Р.6 Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	19,9	6,6	1,6	1,32	29,4	18,4	7,1	2,2	0,72	28,4
АВ	19,4	6,4	2,4	0,54	28,7	16,3	7,0	3,7	0,52	27,5
2022 г.	Р.5 Целина					Р.6 Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	19,7	6,8	1,4	1,16	29,1	18,0	7,0	2,8	0,53	28,3
АВ	19,1	6,4	2,6	0,45	28,6	16,5	6,7	3,9	0,46	27,6

Актуальная кислотность дает представление об активности ионов водорода (протонов) в жидких фазах почвы (Кирюшин, 2010).

Потенциальная кислотность связана с твердой фазой почв, и дает представление о количестве кислотных компонентов, которые способны переходить из твердой фазы почвы в жидкую или нейтрализоваться при взаимодействии почв с растворами солей (Кокотов и др., 2016). Обменная кислотность связана с наиболее сильными кислотными компонентами, их вытесняют из поглощающего комплекса небуферными растворами нейтральных солей при значениях pH, обусловленных свойствами каждого из исследуемых горизонтов почвы (Аканова, 2023).

Гидролитическую кислотность дает представление об условном общем количестве кислотных компонентов, которые обнаруживаются при взаимодействии почвы с растворами солей. При характеристике форм (фракций) почвенной кислотности логично отметить то, что до сих пор отсутствует иллюстративное оформление их распределения и соотношения, позволяющее наглядно показать природу сложности, неоднородности и динамичности фракций кислотности в почве (Воробьева, Авдонькин, 2006).

На целинных участках центральной и северо-западной зон значения гидролитической кислотности в гумусово-аккумулятивных горизонтах показали 2,91-3,39 мг- экв. / 100 г почвы (таблица 4.8, приложения 4, 5).

Исследования показали, что вследствие активного землепользования пахотных участков, происходило увеличение показателей гидролитической кислотности до 4,42-5,07 мг-экв. / 100 г почвы. При повторном обследовании участков в 2022 году отмечалось усиление процессов подкисления чернозёма выщелоченного. Значения гидролитической кислотности чернозёма легкосуглинистого достигали 4,76-4,93 мг-экв. / 100 г почвы, у тяжелосуглинистой разновидности – 5,26 мг.-экв. / 100 г почвы. В подпахотных горизонтах также отмечалось увеличение показателей гидролитической кислотности.

Таблица 4.8 – Формы кислотности чернозёма (2007-2022 гг.)

Горизонт	pH вытяжки		Hг, мг- экв. / 100 г почвы	pH вытяжки		Hг, мг- экв. / 100 г почвы
	сол.	водн.		сол.	водн.	
Объект	Чернозём легкосуглинистый (центральная зона)					
	Р.1 Целина			Р.4 Пашня		
2007 г.						
А, $А_{ПАХ}$	5,48	6,65	3,39	5,05	6,42	4,42
АВ	5,59	6,97	2,40	5,45	7,12	2,63
2022 г.						
А, $А_{ПАХ}$	5,58	6,57	3,42	4,92	6,13	4,76
АВ	5,55	6,73	3,16	5,23	6,75	3,23
Объект	Чернозём легкосуглинистый (центральная зона)					
	Р.9 Целина			Р.12 Пашня		
2007 г.						
А, $А_{ПАХ}$	5,54	6,60	2,94	5,20	6,24	4,88
АВ	5,78	6,90	1,60	5,49	7,34	3,13
2022 г.						
А, $А_{ПАХ}$	5,60	6,73	3,10	5,03	6,12	4,93
АВ	5,66	6,80	1,54	5,25	7,16	2,96
Объект	Чернозём тяжелосуглинистый (северо-западная зона)					
	Р.17 Целина			Р.19 Пашня		
2008 г.						
А, $А_{ПАХ}$	5,88	6,88	2,91	5,42	6,75	5,07
АВ	5,98	7,04	2,37	5,45	7,00	4,28
2022 г.						
А, $А_{ПАХ}$	5,95	6,76	2,85	5,25	6,59	5,26
АВ	5,92	6,88	2,42	5,32	6,86	4,07

Исследования гидролитической кислотности в южной зоне, как и в других зонах подтвердили наличие процессов подкисления чернозёма при вовлечении земель в сельскохозяйственное производство. На целинном участке гидролитическая кислотность в верхнем горизонте была 3,5 мг-экв. / 100 г почвы, на пашне происходило увеличение этого показателя до 4,2 мг-экв. / 100 г почвы. В 2022 году значение гидролитической кислотности показало дальнейшее увеличение до 4,4 мг-экв. / 100 г почвы (рисунок 4.4, приложение 6).

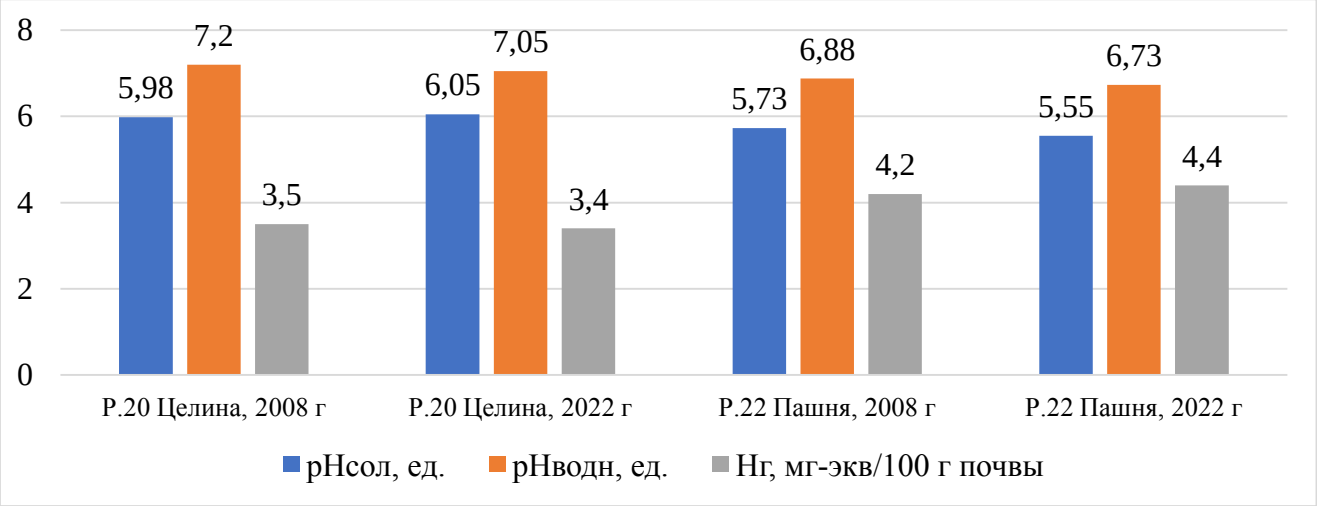


Рисунок 4.4 – Формы кислотности чернозёма выщелоченного в южной зоне (2009, 2022 гг.).

За период 43-55 лет по зонам использования чернозёма выщелоченного происходило увеличение гидролитической кислотности в относительном выражении на 72 % (в интервале 52-100 %), при этом наибольшее увеличение показателя отмечается в легкосуглинистых разновидностях чернозёма (на 82%) (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Изменение гидролитической кислотности чернозёма выщелоченного при сельскохозяйственном использовании (1971-2022 гг.).

Объект	Гидролитическая кислотность, мг-экв. / 100 г почвы			Изменение за период наблюдений	
Чернозём легкосуглинистый (Центральное ОП)	*1971 г.*	*2007 г.*	*2022 г.*	*51 год*	*ежегодно*
	2,46	4,88±0,16	4,93±0,12	+2,47	+0,048
Чернозем легкосуглинистый (ОП КГСХА)	*1979 г.*	*2007 г.*	*2022 г.*	*43 года*	*ежегодно*
	2,90	4,42±0,13	4,76±0,24	+1,86	+0,043
Чернозём тяжелосуглинистый (Шадринское ОП)	*1967 г.*	*2008 г.*	*2022 г.*	*55 лет*	*ежегодно*
	3,46	5,07±0,21	5,26±0,17	+1,80	+0,033

По мнению Т.А. Соколовой, С.Я. Трофимова (2009) при общем восприятии проблемы почвенной кислотности важно иметь в виду, что все характеристики почвы влияют на кислотность, одни прямо (содержание водорода и алюминия в солевых вытяжках), а другие противоположно (содержание кальция и

магния в солевых вытяжках). Водород, вызывающий кислотность и натрий, вызывающий щелочность – катионы. Обменный водород является ацидогеном лишь в паре с сильными анионами (хлором); натрий с хлором образует нейтральную соль, а щелочность генерирует лишь в паре со слабыми анионами в почве (карбонатом и бикарбонатом) (Зайдельман, 2003).

Состояние кислотности или щелочности устанавливается распределением активностей анионов и катионов в гетерогенной системе между твердой и жидкой фазами почвы (Возбуцкая, 1968).

Изучение обменной кислотности показывает, что на участках с сельскохозяйственным использованием происходит увеличение её значений 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 выраженных закономерностей (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Изменение обменной кислотности чернозёма выщелоченного в различных агроклиматических зонах Зауралья

Местонахождение исследуемых участков		pHсол.			Изменение показателя за период наблюдений	
Чернозём легкосуглинистый (центральная зона)	Центральное ОП	*1971 г.*	*2007 г.*	*2022 г.*	*51 год*	*ежегодно*
		6,30	5,20±0,10	5,03±0,14	-1,27 (20,2 %)	-0,025
	ОП КГСХА	*1979 г.*	*2007 г.*	*2022 г.*	*43 года*	*ежегодно*
		5,80	5,05±0,15	4,92±0,13	- 0,88 (15,2 %)	-0,020
Чернозём тяжелосуглинистый (северо-западная зона)	Шадринское ОП	*1967*	*2008 г.*	*2022 г.*	*55 лет*	*ежегодно*
		6,50	5,42±0,07	5,25±0,11	-1,25 (19,2 %)	-0,023
	Шадринская ОС	*1967 г.*	*2008 г.*	*2022 г.*	*55 лет*	*ежегодно*
		6,15	5,00±0,14	4,92±0,17	-1,23 (20,0 %)	-0,022
Чернозем среднесуглинистый (южная зона)	ОПХ «Южное»	*1975 г.*	*2009 г.*	*2022 г.*	*47лет*	*ежегодно*
		6,90	5,73±0,22	5,55±0,16	-1,35 (19,6 %)	-0,029

В условиях лесостепного Зауралья установленная закономерность подкисления чернозёма выщелоченного объясняется как природными, так и антро-

погенными факторами: это выщелачивание, ежегодный вынос с урожаем и побочной продукцией катионов кальция, противоречивое внесение физиологически кислых удобрений, способы обработки почвы и отсутствие разработанных мероприятий по снижению избыточной кислотности в виде использования кальцийсодержащих соединений (например известь, известковые удобрения, доломитовая мука и др. с высокой тониной помола) – в результате которых происходит замена ионов водорода на ионы кальция.

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. За последние 13-15 лет снижение показателя 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 на 1,20 ед. или 18,8 %, при этом подкисление сильнее выражалось на чернозёмах легкосуглинистых. Негативные процессы усугубляют условия питания растений и снижают продуктивность агроценозов в целом. В таких неблагоприятных условиях для постепенного связывания избыточной кислотности в чернозёме необходимо дополнительно использовать технологические приёмы химической мелиорации.

4.4 Валовое содержание элементов питания

Валовым содержанием химического элемента называют его суммарное содержание, входящего в состав всех его химических соединений, имеющихся в почве (Горбунов, 1978; Шеуджен, 2018).

Валовые формы характеризуют почвообразовательные процессы, которые отражаются в перераспределении химических элементов между почвенными горизонтами и почвами сопряженных ландшафтов (Ковда, 1985; Асылбаев и др., 2013).

Долю же подвижных элементов, которая может быть использована растениями, определить невозможно, так как биофильные элементы находятся в почвах, как в усвояемых, так и в неусвояемых растениями формах (Кук, 1970; Муравин, 2004). Элементы зольной и азотной пищи для растений находятся в почве в виде различных солей, а другая часть – в виде нерастворенных в воде органических и минеральных соединений. Легкорастворимые соли в отличие от нерастворимых соединений называются усвояемыми соединениями (Шеуджен, 2015).

Как отмечает В.И. Кирюшин (2010) в пахотном слое разных почв количество азота колеблется в широких пределах. В почвах песчаных и супесчаных разновидностей – 0,04–0,08 %, суглинистых и глинистых – 0,10–0,15 %. Более богаты общим азотом серые лесные и черноземные почвы, где его содержание составляет 0,3–0,5 %.

По мнению Г.П. Гамзикова (1981), В.М. Назарюк (2002) азот в почвах находится преимущественно в недоступной растениям органической форме, минерального азота в них всего около 1 % от общего. Под влиянием биологических процессов органический азот частично переходит в легкоусвояемые растениями минеральные формы. Аэробными и анаэробными микроорганизмами осуществляется разложение азотсодержащих органических веществ почвы до аммиака (аммонификация) (Завалин, 2019).

По нашим данным 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 %. На пашне в центральной зоне (ОП Курганской ГСХА) содержание валового азота снижалось до 0,233%. На Центральном ОП снижение содержания валовой формы составило в гумусовом горизонте 0,076%, в горизонте АВ – 0,027%. Снижение содержания этого элемента наблюдалось и в восточной зоне (таблица 4.11, приложение 7).

В процессе почвообразования материнская порода единственный источник накопления почвенного фосфора. Содержание в почвах валового фосфора связано со степенью обогащения им первичных материалов. В процессе разрушения таких минералов, как апатиты и фосфориты, элемент вовлекается в

биогеохимический круговорот (Гинзбург, 1981). 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%.

Таблица 4.11 – Валовое содержание азота, фосфора и калия в чернозёме, % к абсолютно сухой почве (2007 г.)

Объект	Горизонт	N	P_2O_5	K_2O
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (Опытное поле КГСХА)				
Р.1 Целина	А	0,350	0,10	0,55
	АВ	0,256	0,06	0,54
Р.4 Пашня	$А_{ПАХ}$	0,233	0,05	0,52
	АВ	0,241	0,05	0,54
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (Центральное ОП)				
Р.9 Целина	А	0,489	0,11	0,90
	АВ	0,373	0,09	0,98
Р.12 Пашня	$А_{ПАХ}$	0,413	0,09	0,90
	АВ	0,346	0,09	0,76
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (Макушинское ОП)				
Р.5 Целина	А	0,513	0,10	1,05
	АВ	0,466	0,10	0,98
Р.6 Пашня	А	0,373	0,11	1,07
	АВ	0,256	0,09	1,02

В материнских породах фосфор содержится в основном в форме фторапатита $CaF(PO_4)_3$ и гидроксилапатита $Ca_5OH(HPO_4)_3$ (Чириков, 1959). Фосфор присутствует в форме минеральных и органических соединений, недоступных для растений (Сущеница, 2007). Фосфор является «дефицитным» элементом, так как в мире запасы фосфатного сырья (апатитов и фосфоритов) невелики. Общие запасы фосфора (валовой) в почвах невысокие и составляют 0,05-0,25 % (от 1 до 5 т/га в пахотном слое 0-20 см). Большая часть (примерно 90 %) его находится в неусвояемой или трудноусвояемой для растений форме, а фосфор удобрений сильнее, чем азот и калий, закрепляется почвами в неподвижные формы. Есте-

ственных путей возобновления запасов фосфора в отличие от азота в почвах нет (Гинзбург, 1975, 1981; Соколов, 1950, 1976; Чумаченко, 2001, 2002).

В почвах содержание калия зависит от минералогического и гранулометрического составов, гидролиза и степени биохимического выветривания минералов (Ониани, 1981). На тяжелых почвах валовое содержание K_2O может составлять 2 % и более (Прокошев, 2005). В лесостепном Зауралье наибольшее содержание валового калия (1,05-1,07 %) отмечалось в солонцеватых тяжелосуглинистых чернозёмах восточной зоны. Такое содержание калия по сравнению с легкосуглинистыми разновидностями показывает зависимость от количества илистой фракции в почве. В наших исследованиях его содержание достигало в горизонте А целины 1,05 %, в горизонте АВ – 0,98 %, а на пашне соответственно 1,07 и 1,02 %.

Значительно меньше калия в почвах легкого гранулометрического состава. Основная часть калия находится в почве в составе кристаллической решетки первичных и вторичных минералов в малодоступной для растений форме (Якименко, 2019). Некоторые из этих минералов, такие как биотит и мусковит, отдают калий довольно легко и могут служить источником мобилизации доступного калия (Афанасьев, Мерзлая, 2013).

Калий выполняет важные агрохимические и экологические функции в агроэкосистемах. Запасы калия в чернозёмах значительны: в пахотном слое они превышают запасы азота в 2-4 раза, фосфора в 13-16 раз. В слое 0-20 см запасы составляют 42-60 т/га (Гамзиков, 1985; Прокошев, 2000).

В почвах различают три формы соединений калия – водорастворимый, обменный и необменный, входящий в состав силикатов (Прокошев, 1988).

За длительный период на старопахотных участках происходило снижение содержания валовых форм элементов. В период 43-55 лет снижение валовых форм азота составило 9,1-17,5 %, фосфора – 18,1-28,6 %, калия – 4,2-12,7 % (таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Изменение содержания валовых форм элементов в черноземе выщелоченном (1967-2022 гг.)

Местонахождение исследуемых участков		Элемент	Валовые формы, %			Изменение за период наблюдений
Чернозём легкосуглинистый (центральная зона)	Центральное ОП	–	*1971 г.*	*2007 г.*	*2022 г.*	*51 год*
		N	0,491	0,413	0,395	-0,086 (17,5 %)
		P_2O_5	0,11	0,09	0,09	-0,02 (18,1 %)
		K_2O	0,95	0,90	0,91	-0,04 (4,2 %)
	ОП КГСХА	–	*1979 г.*	*2007 г.*	*2022 г.*	*43 года*
		N	0,270	0,233	0,229	-0,041 (15,2 %)
		P_2O_5	0,07	0,05	0,05	-0,02 (28,6 %)
		K_2O	0,55	0,49	0,48	-0,07 (12,7 %)
Чернозём тяжелосуглинистый (северо-западная зона)	Шадринское ОП	–	*1967*	*2008 г.*	*2022 г.*	*55 лет*
		N	0,460	0,432	0,418	-0,042 (9,1 %)
		P_2O_5	0,13	0,10	0,10	-0,03 (23,1 %)

Содержание валового 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 (таблица 4.13). Коэффициент корреляции составил в среднем по региону 0,849. Согласно коэффициенту детерминации колебания содержания валового азота на 49,4 % определяются уровнем содержания гумуса в почве.

Таблица 4.13 – Зависимость содержания гумуса и валового азота в почве (2007-2009, 2022 гг.)

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

Проведенный нами анализ на валовой состав элементов минеральной части почвы, как одного из важнейших факторов почвенного плодородия дает представление о генезисе почвы, процессах, формирующих ее профиль, а также, о ее потенциальном плодородии.

4.5 Водорастворимые и подвижные формы элементов питания

Концентрированным выражением плодородия любой почвы служит продуктивность возделываемых культур, которая напрямую зависит от оптимального питательного режима почв (Головин и др., 1991; Пискунов 2004).

Каждый элемент выполняет определенные физиологические функции в растении (Петербургский, 1981; Посыпанов, 2007). Элементы питания представлены в разных по растворимости и подвижности соединениях, от которых зависит участие в окислительно-восстановительных процессах и т.п. (Аристархов, 2000) (таблица 4.14, приложение 8).

Таблица 4.14 – Водорастворимые формы элементов питания (2007, 2008 гг.)

Объект	Генетический горизонт	Мг.-экв./ 100 г почвы				
		P_2O_5	K_2O	Na	Ca	Mg
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)						
Р.1 Целина	А	0,011	0,044	0,120	0,3	0,2
	АВ	0,007	0,020	0,120	0,4	0,2
Р.4 Пашня	$А_{ПАХ}$	0,014	0,020	0,120	0,2	0,1
	АВ	0,011	0,014	0,144	0,2	0,1
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)						
Р.9 Целина	А	0,028	0,041	0,044	0,3	0,2
	АВ	0,028	0,026	0,070	0,3	0,2
Р.12 Пашня	$А_{ПАХ}$	0,050	0,106	0,024	0,2	0,1
	АВ	0,018	0,044	0,024	0,1	0,1
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона)						
Р.5 Целина	А	0,014	0,060	0,228	0,8	0,3
	АВ	0,014	0,020	0,186	0,4	0,3
Р.6 Пашня	$А_{ПАХ}$	0,025	0,038	0,052	0,8	0,2
	АВ	0,021	0,026	0,044	0,6	0,3

Обеспеченность фосфором зависит от наличия органического вещества, и доз, применявшихся при возделывании различных сельскохозяйственных культур, фосфорных удобрений (Ермолаев, 2007). Наши исследования показали, что 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. На наш взгляд увеличение связано с подвижностью фосфатов, усвоением, их прочностью связи с твердой фазой почвы, скоростью перехода из твердой фазы в раствор, буферной емкостью по отношению к фосфатам и особенностями климата.

По мнению А.Е. Кочергина (1984), основная причина потребности зерновых культур в усиленном фосфорном питании – неблагоприятное соотношение между доступными растениям соединениями азота в почве.

Свободной фосфорной кислоты в почве обычно нет вследствие высокой ее активности (Калинин, 1981; Касицкий, 1983). При избыточном увлажнении водорастворимые фосфаты могут вымываться за пределы корнеобитаемого слоя, однако это не характерно для лесостепной зоны Зауралья при гидротермическом коэффициенте 0,8-1,2 и количестве осадков 350-380 мм.

Как было указано выше, в наших исследованиях (таблица 15) содержание валового калия мало меняется во времени в процессе сельскохозяйственного использования чернозёма. При характеристике плодородия почвы, как правило принимают во внимание содержание в ней водорастворимого, обменного (интенсивно и экстенсивно обменного) и необменного калия, включающего в себя природный необменный калий и необменно фиксированный калий удобрений (Ониани, 1981, Прокошев, 2000). Принято считать, что между этими формами существует динамическое равновесие (Якименко, 2019).

В центральной зоне на опытном поле содержание калия на целине составило в верхнем горизонте 0,044 мг.-экв. / 100 г почвы, при сельскохозяйственном использовании отмечается снижение до 0,020 мг.-экв./ 100 г почвы. Это свидетельствует о том, что растениям доступны все формы калия, так как при

использовании более доступных (водорастворимый и подвижный) происходит их пополнение за счет менее доступных (необменные формы). Прокошев В.В. (1988, 2000) отмечает, на почвах, истощенных в отношении калия, способность к его восстановлению из менее доступных форм нарушается.

При ежегодном внесении минеральных удобрений в дозах $N_{45-60}P_{45-60}K_{45-60}$ на участке Центрального ОП содержание водорастворимых форм превысило их содержание на целинном участке практически в два раза: фосфора с 0,028 до 0,050 мг.-экв./ 100 г почвы, калия с 0,041 до 0,106 мг.-экв./ 100 г почвы.

Таким элементам питания, как фосфор и калий занимающим лидирующие позиции среди других элементов по выносу с урожаями культур уделяется наименьшее внимание, а использование удобрений с этими элементами находится на минимальном уровне (Шеуджен, 2009, 2015; Иванов др. 2012; Афанасьев, Мёрзлая, 2013; Моисеев, Ерёмин, 2013; Шулико, 2019). Это объясняется, тем, что, что черноземы содержат довольно высокие запасы валового калия и среднее фосфора.

В России внушительная часть пахотных земель, имеет низкую обеспеченность подвижным фосфором (Сычёв, Кирпичников, 2009; Афанасьев, Мерзлая, 2012,). В черноземах Зауралья фосфор, как и азот, является элементом питания, ограничивающем продуктивность агроценозов (Абрамов, 2021). В состоянии экстенсивного земледелия при отрицательном балансе фосфора образуется разомкнутый цикл фосфора, что приводит к ухудшению фосфатного режима почвы. В таких условиях при возрастающей антропогенной нагрузке, только усовершенствование системы земледелия в агроландшафтах способствует сохранению оптимальных параметров плодородия черноземов с характерным для них фосфатным режимом, отличающим его от природных аналогов (Шильников и др., 2012; Сычёв и др., 2020).

Оптимизация питательного режима возможна лишь при благоприятных для роста и развития растений агрофизических свойствах: содержание агрономически ценных почвенных агрегатов (от 10 до 0,25 мм) – 70-80%, водоустойчивость агрегатов (более 0,25 мм) – 45-55% общей массы почвы, плотность

сложения 1,1-1,2 г/см^3 (Гилев, 2015). Эта совокупность свойств устойчивости почв создается комплексом агроприемов и, в первую очередь, системой севооборотов, системой удобрения, обработкой почв.

Фосфор, в отличие от азота и калия, в наименьшей степени используется растениями из почвы и удобрений. Коэффициент использования его растениями различен, но варьирует в очень узком диапазоне – 5-21%. В верхних слоях почвы фосфорной кислоты обычно несколько больше, чем в более глубоких, что связано с обогащением их вследствие извлечения корневой системой растений фосфора из нижних горизонтов (Соколов, 1950; Гинзбург, 1975). В почвах глинистых и суглинистых фосфора больше, чем в почвах песчаных и супесчаных. Почвы, хорошо обеспеченные фосфорной кислотой, чаще всего отличаются хорошим структурным состоянием, высокой биологической активностью, так как фосфорная кислота одновременно оказывает положительное действие и на жизнь бактерий в почве (Чириков, 1959; Чумаченко, 2002).

При определении подвижного фосфора и калия в черноземах установлены определенные изменения (таблица 4.15).

Таблица 4.15 – Содержание подвижных форм фосфора и калия в слое 0-20 см, мг/кг (2007, 2008, 2022 гг.)

Объекты исследований	P_2O_5		K_2O	
	2007 г.	2022 г.	2007 г.	2022 г.
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)				
Р.1 Целина	47±5	50±4	166±17	157±16
Р.4 Пашня	80±7	59±8	132±15	128±11
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)				
Р.9 Целина	127±14	121±12	219±22	228±18
Р.12Пашня	141±9	117±11	142±17	139±10
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона)				
Р.5 Целина	112±7	107±8	310±29	296±21
Р.6 Пашня	63±4	69±6	232±16	221±12
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)				
Р.13 Целина	47±4	53±5	173±13	179±15
Р.15 Пашня (отвал. обработка)	88±4	71±7	134±17	139±19
Р.16 Пашня (безотвал. обработка)	113±4	101±10	159±12	151±14

В центральной зоне содержание подвижного фосфора в участке целины составило 47 мг/кг и оценивалось как низкое. В составе гумуса фосфор главным образом находится в органической форме. В процессе дегумификации происходит высвобождение органических соединений и фосфор становился более доступным. Мы полагаем, что по это причине на пашне его количество увеличилось до 80 мг/кг. В результате длительной распашки наблюдается снижение содержания органических фосфатов и вместе с тем увеличение фракции минерального фосфора (Адерихин, 1957; Синягин, Кузнецов, 1979; Синещеков, Крупская, 2020).

Динамика по увеличению доступного фосфора на старопахотном участке наблюдалась на Центральном ОП и Шадринской ОС (Плотников, 2019) (приложение 9). При повторном обследовании в 2022 году содержание на пашне подвижного фосфора было ниже, это объясняется снижением внесенных доз фосфорных удобрений ввиду увеличения их стоимости, и потреблением элементов питания культурами и усилением процессов минерализации. Такое повышение содержания длительное время не поддерживается, так как внесенные фосфаты постепенно переходят в более устойчивую неподвижную форму.

Процессы превращения недоступных для растений минеральных и органических соединений фосфора в усвояемую форму протекают очень медленно (Соколов, 1976). Несмотря на прекращение применения фосфорных удобрений, в пахотном слое содержание фосфора сохраняется на определенном уровне. Устанавливается, так называемое, гетерогенное равновесие (Ковда, 1981, 1985; Синявский, 1996).

Такое состояние в почве обусловлено вялотекущими процессами связывания P_2O_5 и слабым выносом фосфора урожаем. Большие общие запасы фосфора в почве, с малым количеством его доступных соединений, снижают потенциал получать высокие и устойчивые урожаи (Стекольников и др., 2015). При повышении влажности почвы до оптимальных размеров ускоряется скорость химических реакций, активизируется микробиологические процессы (гумифика-

ция, нитрификация и др.), и в почвенном растворе увеличивается содержание подвижных фосфатов.

В черноземных почвах Западной Сибири содержание калия обычно невелико, что недостаточно для получения устойчивых урожаев. Однако растения с успехом используют калий других форм, в первую очередь обменный (Минеев, 1999; Афанасьев, Мёрзлая, 2013).

Практически на всех объектах исследований проявилась определенная закономерность: снижение содержания калия с целинного участка до пахотного. Связано это в первую очередь с ёмкостью катионного обмена. Максимальные запасы элемента отмечены в солонцеватом чернозёме (676 кг/га). Интенсивное использование пахотных чернозёмов с целью увеличения продуктивности агроценозов (обработка почвы и др.) привело к ускорению процессов мобилизации резервных форм калия, а, следовательно, и деградации поглощающего комплекса.

По данным Волынкиной О.В. (2017) за период 1971-2007 гг. на легкосуглинистых чернозёмах происходило накопление подвижного фосфора до 82 мг/кг почвы и стабилизация фосфатного фонда, уже как остаточного эффекта фосфоритования.

По данным Департамента агропромышленного комплекса области в период 2002-2006 гг. норма внесения минеральных удобрений на 1 га пашни составляла всего 7-10 кг в д.в., в период 2010-2014 годы –14-18 кг/га, в последние годы норма внесения выросла до 28-44 кг/га, при этом также росла площадь удобренная минеральными удобрениями в % к общей посевной площади с 19,4 % 2002 года до 74,0 % в 2022 году. Такие нормы внесенных удобрений и предопределили резкое снижение запасов элементов в пахотных почвах.

Повторное обследование показало снижение содержания подвижного фосфора, с этим связано несколько факторов: интенсификация 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. На легкосуглинистых чернозёмах снижение составило 21-24 мг/кг, тяжелосуглинистых – 1-14 мг/га (таблица 4.16). В относительном выражении снижение составило на чернозёме легкосуглинистом 12,8-28,0 %, на тяжелосуглинистом – 11,9-19,56%, в среднем в независимости от разновидности чернозёма – 18,1 %.

Повышенное содержание фосфора может быть связано не только предшествующей удобренностью, а определяться природными факторами почвообразования, главным образом, карбонатностью подстилающей породы, где отмечается повышенное содержание фосфатов кальция.

Таблица 4.16 – Изменение содержания подвижных форм фосфора и калия в разных агроклиматических зонах (1967-2022 гг.)

Местонахождение исследуемых участков		Элемент	Подвижные формы, мг/кг			Изменение показателя за период наблюдений
Чернозём легкосуглинистый (центральная зона)	Центральное ОП	*год*	*1971 г.*	*2007 г.*	*2022 г.*	*51 год*
		P_2O_5	132	141±9	117±11	-15 (12,8 %)
		K_2O	197	142±17	139±10	-58 (29,4 %)
	ОП КГСХА	*год*	*1979 г.*	*2007 г.*	*2022 г.*	*43 года*
		P_2O_5	82	80±7	59±8	-23 (28,0 %)
		K_2O	153	132±15	128±11	-25 (16,3 %)
Чернозём тяжелосуглинистый (северо-западная зона)	Шадринская ОС	*год*	*1967*	*2008 г.*	*2022 г.*	*55 лет*
		P_2O_5	84	88±4	74±7	-13 (11,9 %)
		K_2O	190	134±17	139±19	-51 (26,8 %)
	Шадринское ОП	*год*	*1968*	*2008 г.*	*2022 г.*	*54 года*
		P_2O_5	77	63±7	62±8	-16 (19,5 %)
		K_2O	205	156±11	148±9	-57 (27,8 %)

Также отмечается снижение содержания калия в чернозёме, в среднем по Зауралью оно составило 25,1 %. Снижение содержания элементов в почве связано с их отрицательным балансом, недостаточным количеством внесения компенсирующих доз удобрений. А также на такое содержание калия возможно повлияло и количество в почве минералов с расширяющейся кристаллической решеткой, степень их выветривания и преобразования, которая во многом

определяет не только потенциальные возможности почв снабжать выращиваемые растения калием, но и способность с различной интенсивностью фиксировать калий вносимых удобрений.

Определение фосфора и калия в растениях, показало, что их содержание в наземной массе выше, чем в корнях и имеет по фосфору незначительные изменения (приложение 10). Высокая обеспеченность чернозема выщелоченного калием не исключает применение калийных удобрений, так как для создания оптимальных условий калийного питания на фоне высоких доз азотно-фосфорных удобрений необходимо вносить калийные удобрения. Для увеличения продуктивности агроценоза необходимо вводить в круговорот веществ новые количества элементов питания растений (Синягин, Кузнецов, 1979).

Исследования валовых и подвижных форм элементов питания в почве констатируют снижение их содержания. Результатом длительного сельскохозяйственного использования чернозёма стало снижение валовых форм азота на 9,1-17,5%, фосфора 18,1-28,6 %, калия 4,2-12,7 %, вследствие чего происходило и снижение подвижных доступных форм фосфора на 18,1 %, калия – 25,1%.

4.6 Физические свойства черноземов

Изучение физических свойств почв, динамики их изменения при антропогенных воздействиях является ведущим условием рационального использования почв и управления плодородием. Физически почва представляет собой дисперсно-связное пористое природное тело, способное накапливать и расходовать запасы воды, воздуха и питательных веществ, необходимых для обеспечения жизнедеятельности почвенной биоты и растений, в том числе, главным критерием оценки физического состояния является соответствие комплекса почвенных свойств характеру природохозяйственных функций, выполняемых почвой в данном агроландшафте (Шеин, 2007).

Сущностью физической деградации является ухудшение физических свойств, затрудняющее выполнение почвой ее функций. Почвы прекращают выполнение роли естественного физико-химического фильтрационного буфера.

Длительное сельскохозяйственное использование черноземов приводит к ухудшению их структурно-агрегатного состава, обусловливающей неблагоприятные изменения водно-воздушного, теплового и питательного режимов. Кроме того, ухудшение структуры почв влечет за собой уменьшение их водопроницаемости (Егоров, 1989; Егоров, Кривонос, 1983; Иванюшин и др. 2006, Ерёмин, 2009). На горизонтном уровне физическая деградация сводится к разрушению почвенной структуры: деформации порового пространства, уплотнению, дезагрегации, изменениям гранулометрического состава (Шеин, 2006). Поэтому рациональное сельскохозяйственное использование черноземных почв немыслимо без создания и сохранения водопрочной агрономически ценной структуры.

4.6.1 Структурно-агрегатный состав чернозёмов

Почвенный агрегат можно рассматривать как объект, аккумулирующий результат многих почвообразовательных процессов. Совокупность агрегатов различных размеров и форм образует агрегатный состав. Агрегатный состав незначительно меняется в течение сезона и колеблется в многолетних циклах. Механическая прочность агрегатов тесно связана с гранулометрическим составом почвы. Разнообразие почвенных агрегатов обеспечивает устойчивость структуры горизонта, так как при изменяющихся условиях внешней среды одни формы агрегатов могут сменяться другими (Шеин, 2006, Мнатсаканян и др., 2022).

Агрономически ценной является комковато-зернистая и водопрочная структура с размерами агрегатов от 0,25 до 10 мм (Муха, 2010). Агрегатный состав почвы обычно разделяют на два иерархических уровня: макроагрегатный и микроагрегатный (Холодов, 2019). Разделение на макроагрегаты диаметром (> 0,25 мм) и микроагрегаты (< 0,25 мм) подкрепляется определенным физическим смыслом, в частности, их различной устойчивостью к разрушению. Силы сцепления между элементарными почвенными частицами в микроагрегатах на порядок выше, чем в макроагрегатах, в которых соединены между собой, главным образом, микроагрегаты (Ушкова, 2023).

Оценка, контроль и поддержание оптимального агрегатного состава почвы, безусловно, должны стать непременными условиями любой земледельческой деятельности человека (Егоров, Кривонос, 1995; Ерёмин, Шахова, 2021).

При анализе структурно–агрегатного состава чернозёмов (метод Н.И. Савинова) выявлена тенденция увеличения глыбистых агрегатов характеризующихся, как известно, низкой водопрочностью и увеличения пылеватых фракций с целинных участков через залежи до старопахотных участков.

В наших исследованиях установлена закономерность снижения у чернозёмов количества агрономически ценных агрегатов. 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 4.5, приложение 11).

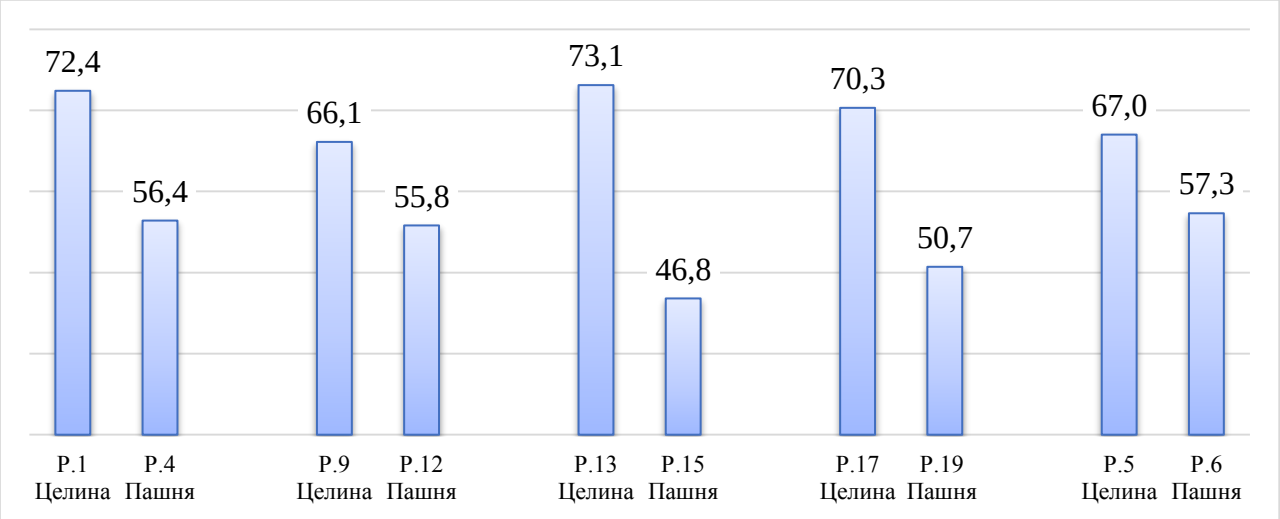


Рисунок 4.5 – Количество агрономически ценных агрегатов, % (0,25-10 мм) в центральной зоне (Р.1, Р.2, Р.9, Р.12); северо-западной (Р.13., Р.15, Р.17, Р.19), восточной (Р.5, Р.6); (2007-2009 гг.).

При этом в центральной зоне региона в агрономически ценных агрегатах преобладали фракции от 5 до 1 мм, в обыкновенных тяжелосуглинистых черноземах фракция – 2-1 мм. Обследование участков 2-5-тилетней залежи показало также незначительную разницу в содержании агрономически ценных агрегатов, но уже с пахотными участками.

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.

Как известно, наиболее значимую роль в физической устойчивости играют активные адсорбционные центры на поверхности минеральной части почв (Шеин, 2007). Степень закрепления гумуса зависит от силы этих центров, и устойчивостью к разрушению, толщины адсорбционного слоя, устойчивостью сформированных из таких фрагментов более крупных структур агрегатного уровня. Минеральная матрица почвы создает потенциальный фон закрепленного гумуса, определяет его устойчивость в зависимости от силы связывания. Именно такие структуры определяют характер формирования, устойчивость структурных отдельностей на более высоких уровнях организации (Ушкова, 2023).

В исследованиях Дубовик Е.В. (2021) установлено, что вспашка на глубину 20–22 см способствовала уменьшению средневзвешенного диаметра агрегатов и частиц, на которые распадаются эти агрегаты, разрушающихся при более жестком воздействии.

Это подтверждает ранее полученные результаты зауральских ученых, интенсивность снижения агрономически ценных агрегатов структуры почвы значительно выше, что обусловлено существенным снижением содержания в почве гумуса.

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 (таблица 4.17).

На пахотных участках под влиянием механических обработок происходило разрушение почвенной структуры, что выразилось в снижении коэффициента структурности. На пашне в центральной зоне коэффициент структурности составил 1,06-1,11, в восточной зоне на чернозёме солонцеватом – 1,26.

Таблица 4.17 – Структурно-агрегатный состав чернозёмов лесостепного Зауралья (2007-2009, 2022 гг.)

Агроклиматическая зона	Агрофон	Год отбора образцов	Содержание агрегатов мм, % к массе воздушно-сухой почвы			$К_{СТР}$
			>10	10-0,25	< 0,25	
Центральная зона. Чернозём выщелоченный легкосуглинистый	Р.1 Целина	2007	24,6	72,4	3,0	2,62
		2022	23,6	73,1	3,3	2,72
	Р.4 Пашня	2007	39,1	56,4	4,5	1,29
		2022	42,1	52,6	5,3	1,11
	Р.9 Целина	2007	28,7	66,1	5,2	1,95
		2022	27,1	67,9	5,0	2,12
	Р.12 Пашня	2007	35,4	55,8	8,8	1,26
		2022	38,7	51,1	10,2	1,06
Восточная зона. Чернозём обыкновенный тяжелосуглинистый	Р.5 Целина	2007	31,1	67,0	1,9	2,03
		2022	27,5	70,5	2,0	2,39
	Р.6 Пашня	2007	40,0	57,3	2,7	1,34
		2022	41,1	55,8	3,1	1,26
Северо-западная зона. Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый	Р.13 Целина	2008	25,9	73,1	1,0	2,72
		2022	25,0	73,6	1,4	2,79
	Р.15 Пашня	2008	51,8	46,8	1,4	0,88
		2022	50,2	47,9	1,9	0,92
	Р.17 Целина	2008	28,0	70,3	1,7	2,37
		2022	27,2	71,2	1,6	2,47
	Р.19 Пашня	2008	47,8	50,7	1,5	1,03
		2022	49,8	47,4	2,8	0,90
Южная зона. Чернозём выщелоченный среднесуглинистый.	Р.20 Целина	2009	20,4	74,8	4,8	3,03
		2022	19,9	75,4	4,7	3,07
	Р.22 Пашня	2009	30,8	64,4	4,8	1,81
		2022	31,9	63,6	4,5	1,75

Оструктуренность (по С.И. Долгову, П.У. Бахтину) оценивалась на участках целины, 10-11-тилетней залежи и безотвальной обработки на Шадринской ОС в верхнем горизонте как хорошая, а на пахотном при отвальной обработке – как удовлетворительная. На целинных почвах верхние гумусовые горизонты оструктурены практически одинаково, как и нижние гумусовые, тогда как на пашне у нижележащего горизонта оструктуренность выше и коэффициент находился в интервале 1,34-3,63, только с применением безотвальной обработки он был ниже чем, у верхнего слоя – 0,79 (приложение 12).

При земледельческой оценке почвы важнейшая характеристика ее макроагрегатного уровня – устойчивость макроагрегатов к разрушению. Причем истинный агрегат должен быть прежде всего водопрочным, что прямо зависит от содержания гумусовых соединений.

Одним из важнейших показателей структуры является ее водоустойчивость – способность не разрушаться под действием воды. Помимо термина «водоустойчивость» в литературе используют устаревшее понятие «водопрочность» (Шеин, 2003, 2005).

Водопрочность структуры, по А.Ф. Вадюниной и З.А. Корчагиной (1986), имеет двоякую природу. С одной стороны, водопрочность может быть обусловлена устойчивым химическим и физико-химическим закреплением коллоидов (необратимая коагуляция коллоидов). С другой стороны, водопрочность агрегатов обусловлена вследствие их неводопроницаемости при резком снижении порозности.

Проведенные анализы показали, что изменение количества водопрочных агрегатов связаны с более высоким обогащением почвы органическим веществом и накоплением надземной и корневой биомассы, что характерно для целинных почв (приложение 13).

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 агре-

гатов в 1971 году соответствовало удовлетворительному агрегатному состоянию – 56,2 %.

На целине чернозёма обыкновенного структурное состояние оценивалось как отличное, количество водопрочных агрегатов составляло 72,2 %. В горизонтах АВ количество водопрочных агрегатов снижалось. Среднее значение водопрочных агрегатов у выщелоченных чернозёмов в независимости от гранулометрического состава на целинных участках в горизонте А составило 63,8 %, в горизонте АВ – 56,3 %.

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 %. При мокром просеивании соотношение между отдельными структурными фракциями резко менялось. Уменьшается доля комковатых и зернистых фракций и увеличивается доля пылеватых фракций. В горизонте А доля пылеватых фракций почвы (Центральное ОП) увеличилась с 48,9 до 69,4 %,

4.6.2 Плотность сложения, пористость чернозёмов

Одним из динамических показателей физического состояния почвы является её плотность сложения. Диапазон показателя плотности во многом определяется гранулометрическим составом почвы. Для тяжелых почв она колеблется в интервале 1,0-1,3 г/см^3; легкосуглинистого – 1,1-1,4; супесчаного – 1,2-1,4 и песчаного – 1,3-1,6 г/см^3 (Муха и др., 2003; Иванюшин, 2006; Ерёмин, 2009, 2012). При переводе чернозёма в условиях Зауралья в залежное состояние, за 10-летний период происходит его разуплотнение на 7 % (Сахаров и др., 2020).

В наших исследованиях на целинных участках плотность сложения выщелоченных чернозёмов составила в гумусовом горизонте – 1,01-1,13 г/см^3, в горизонте АВ плотность возрастала до 1,04-1,21 г/см^3. При распашке почвы происходило разрушение её структурного состояния. Использование механических обработок с применением тяжелой сельскохозяйственной техники отрицательно влияло на оптимальные физические показатели почвы. Плотность сложения чернозёма (ОП КГСХА) в верхнем гумусовом горизонте возрастала с 1,05 (целина) до 1,23 г/см^3 (пашня), на других участках также наблюдалась тенденция к уплотнению почвы при ее использовании до 1,36 г/см^3, в подпахотном – до 1,39 г/см^3. У чернозёма обыкновенного плотность составляла на целинном участке 1,09 г/см^3, а на пашне возрастала до 1,18 г/см^3, что вероятно связано с влиянием пептизации коллоидов (приложение 14).

По мнению Сахарова А.В. и др. (2020) восстановление почвенной структуры не всегда возможно и связано с длительными, дорогостоящими мероприятиями по активизации почвенной биоты, применением восстановительных агротехнологий, а в отдельных случаях – вывода из эксплуатации и оставления в залежь в силу невозможности или экономической нецелесообразности использования.

В южной зоне плотность сложения чернозёма выщелоченного среднесуглинистого на целинном участке составляла 1,19 г/см^3. На других агрофонах плотность достоверно увеличивалась. В горизонте АВ плотность сложения возрастала до 1,24 г/см^3. При переводе участка под многолетние травы происходило разуплотнение почвы на 0,08 и 0,04 г/см^3 или на 6,1 % и 3,0 % соответственно относительно пашни (таблица 4.18).

Утяжеление гранулометрического состава вниз по профилю приводит к уменьшению общей пористости и плохой водопроницаемости нижних горизонтов, что ведет к их малой влагозарядке и частому возникновению дефицита почвенной влаги. В верхних гумусовых горизонтах чернозёма наименьшая плотность твердой фазы наблюдалась на целинной почве, так как этот показатель в первую очередь находится в прямой зависимости от количества органического

вещества. В наших исследованиях наблюдались существенные различия ($НСР_{05}$ = 0,07 г/см^3) между участками различного использования (Плотников, 2012).

Таблица 4.18 – Плотность и пористость чернозёма выщелоченного среднесуглинистого (2009 г.)

Агрофон	Генетич. горизонт	Плотность, г/см^3		Общая пористость, %
		сложения	твердой фазы	
Целина	А	1,19	2,45	51,4
	АВ	1,24	2,56	51,5
Многолетние травы, 15 лет	А	1,24	2,54	51,2
	АВ	1,31	2,59	49,4
Пашня	$А_{ПАХ}$	1,32	2,61	49,4
	АВ	1,35	2,60	48,1
$НСР_{05}$ (для горизонта А)		0,05	0,07	–
$НСР_{05}$ (для горизонта АВ)		0,07	0,09	–

Также на увеличение плотности почвы оказывали технологические процессы применения энергонасыщенной тяжеловесной техники, механической поверхностной обработка почвы, при которой зачастую, в целях экономии энергозатрат глубина культивации составляла не более 10-12 см. Появление в конце 20-го в начале 21 века, таких мощных тракторов как К-744 массой 13,5-15 тонн, Ростсельмаш – 18-20 тонн, зерноуборочных комбайнов Джон Дир, Дон, ACROS, VECTOR массой 10-13 тонн привело к резкому увеличению плотности сложения чернозёмов.

В динамике лет, с начала наблюдений плотность сложения имела тенденцию к увеличению. В центральной зоне с 1971 года увеличение плотности пахотного слоя составило 0,09 г/см^3 за 36 лет, в северо-западной зоне с 1968 по 2008 гг. на 0,33 г/см^3. Определение в 2022 году показало, что процесс уплотнения чернозёмов продолжился. Так, уплотнение верхнего горизонта у легкосуглинистого и среднесуглинистого чернозёмов составило 0,09-0,11 г/см^3 (или в среднем на 8,5 %), а у тяжелосуглинистых разновидностей увеличение плотности сложения было более сильное: у обыкновенного солонцеватого – 0,16 (15,2 %), у выщелоченного – 0,35 г/см^3 (33,3 %) (таблица 4.19).

Таблица 4.19 –Динамика плотности сложения чернозёмов в зернопаровых севооборотах лесостепного Зауралья, г/см^3 (1968-2022 гг.)

Агроклиматическая зона	Плотность сложения, г/см^3			Период наблюдений / отклонение от исходного значения
Р.4 Центральная	*1979 г.*	*2007г.*	*2022 г.*	43 года / 0,10
	1,18	1,23±0,02	1,28±0,04	
Р.12 Центральная	*1971 г.*	*2007 г.*	*2022 г.*	51 год / 0,11
	1,15	1,24±0,03	1,26±0,04	
Р.6 Восточная	*1995 г.*	*2007 г.*	*2022 г.*	27 лет / 0,16
	1,05	1,18±0,02	1,21±0,02	
Р.15 Северо-западная	*1968 г.*	*2008 г.*	*2022 г.*	54 года / 0,35
	1,03	1,36±0,03	1,38±0,05	
Р.22 Южная	*1975 г.*	*2009 г.*	*2022 г.*	47 лет / 0,09
	1,22	1,30±0,04	1,31±0,03	

Ежегодная обработка почвы меняла этот динамический показатель почвы, но при оценке равновесной плотности у чернозёма он становился неоптимальным для развития растений. Если плотность почвы в центральной и восточной зоне уже приблизилась к верхней границе оптимальности (1,21-1,28 г/см^3), то в северо-западной зоне, в связи с резким падением содержания гумуса в почве плотность сложения почвы не оптимальна (1,38 г/см^3), что сказывается на ряде параметров продуктивности агроценоза.

При распашке почвы без дополнительных мероприятий происходит ухудшение общей пористости гумусовых горизонтов. 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 % (рисунок 4.6). В южной зоне прослеживалась хорошая пористость при значении показателя 51,4 %, а на старопахотном участке этот показатель снизился на 2,0 %.

Снижение пористости почвы приводит к неблагоприятные технологическим свойствам черноземов (слитизации), глыбистой фрагментации при иссушении с образованием крупных трещин, затрудняющей механическую обработку таких почв и земледелие в целом (Смагин, 2020).

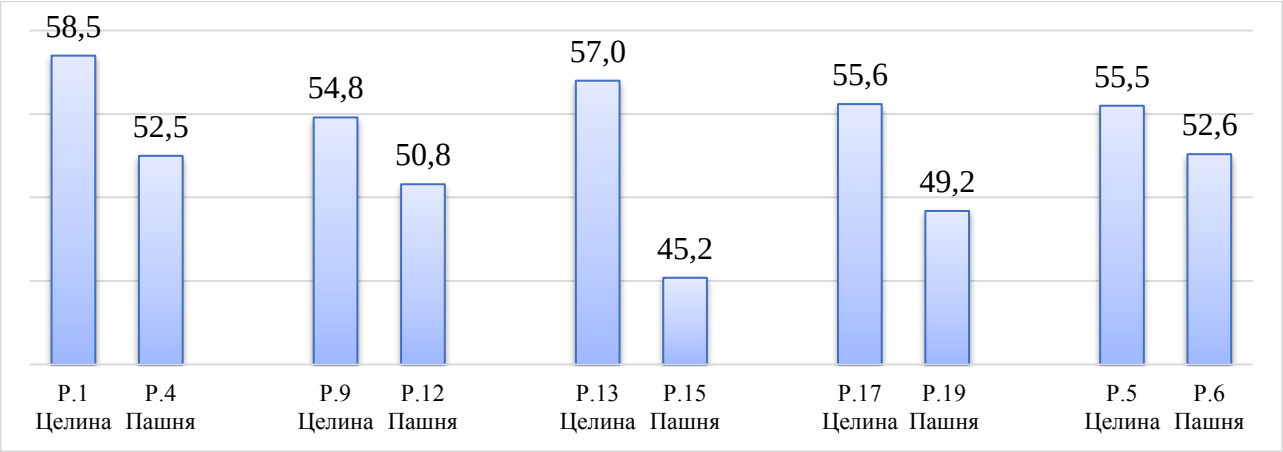


Рисунок 4.6 – Общая пористость черноземов на опытных полях, %: центральной (Р.1, Р.2, Р.9, Р.12); северо-западной (Р.13., Р.15, Р.17, Р.19), восточной зоне (Р.5, Р.6) (2007-2009 гг.)

Таким образом, усиление антропогенной нагрузки на чернозем приводит к ухудшению его агрофизических показателей. Происходит разрушение агрономически ценной структуры почвы с 66,1-73,1% до 46,8-57,3%, снижение коэффициента структурности 2,12-3,07 до 1,06-1,26, уплотнение пахотных горизонтов на 8,5-33,3 %.

4.6.3 Гранулометрический состав чернозёмов

Гранулометрический состав почв отражает генезис почвообразующих пород, определяет поглотительные (сорбционные) свойства почвы и указывает на направленность их трансформаций при различных условиях использования. Являясь одним из основных структурных уровней организации твердой фазы почвы и непосредственно участвуя в формировании микро- и макроструктуры, он в значительной степени определяет её структурно-функциональные свойства. Количественное соотношение в распределении элементарных почвенных частиц по фракциям существенно влияет на агрегатный уровень и на характер динамики порового пространства (Качинский, 1970; Татаринцев, 2008; Семендяева и др., 2013). Тонкодисперсные частицы в силу большой абсолютной и удельной поверхности обладают высокой емкостью поглощения. С измельчением частиц возрастают их гигроскопичность, влагоёмкость, технологические свойства (Качинский, 1970).

Почвы, развитые на лёссовидных породах, которые распространены в лесостепном Зауралье, имеют типично повышенное содержание крупнопылеватой и илистой фракций. Количество средней пыли определяет пластичность и связность почвы (0,01-0,005 мм). Данная фракция лучше удерживает влагу, обладая при этом слабой водопроницаемостью, она не способна к коагуляции (Растворова, 1983).

Илистая фракция имеет большое значение в формировании почвенного плодородия, играет особую роль в физико-химических процессах, протекающих в почве (Качинский 1965, 1970).

Считается, что основная часть органического углерода ($C_{орг}$) закрепляется в илистой фракции. Характер превращения органического вещества определяется в первую очередь соотношением физической глины и физического песка. От содержания основных гранулометрических фракций сильно зависит не только глубина гумификации, но и фракционный состав гумуса. Физический песок обусловливает образование подвижных форм гумуса, а физическая глина способствует образованию стабильных малоподвижных форм гумуса (Абруков, 1996).

Региональной особенностью почв лесостепной зоны Зауралья является склонность к формированию плотной почвенной корки, ухудшающей агрофизические свойства. Это обусловлено своеобразным гранулометрическим составом (Ерёмин, 2014).

На большей части территории Зауралья черноземы представлены средне- и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом (Егоров, Кривонос, 1995). Легкие по гранулометрическому составу выщелоченные черноземы менее распространены (Иванюшин и др. 2006).

Анализ результатов, показал, что у выщелоченных черноземов в результате сельскохозяйственного использования происходило увеличение доли илистой фракции. Так в южной зоне в верхнем гумусовом горизонте на целине содержание физической глины составило 30,5 %. Механическая обработка привела к увеличению доли илистой фракции (менее 0,001 мм) с 14,3 до 15,2 %, а содержание физической глины до 31,2 % (рисунок 4.7, приложение 15).

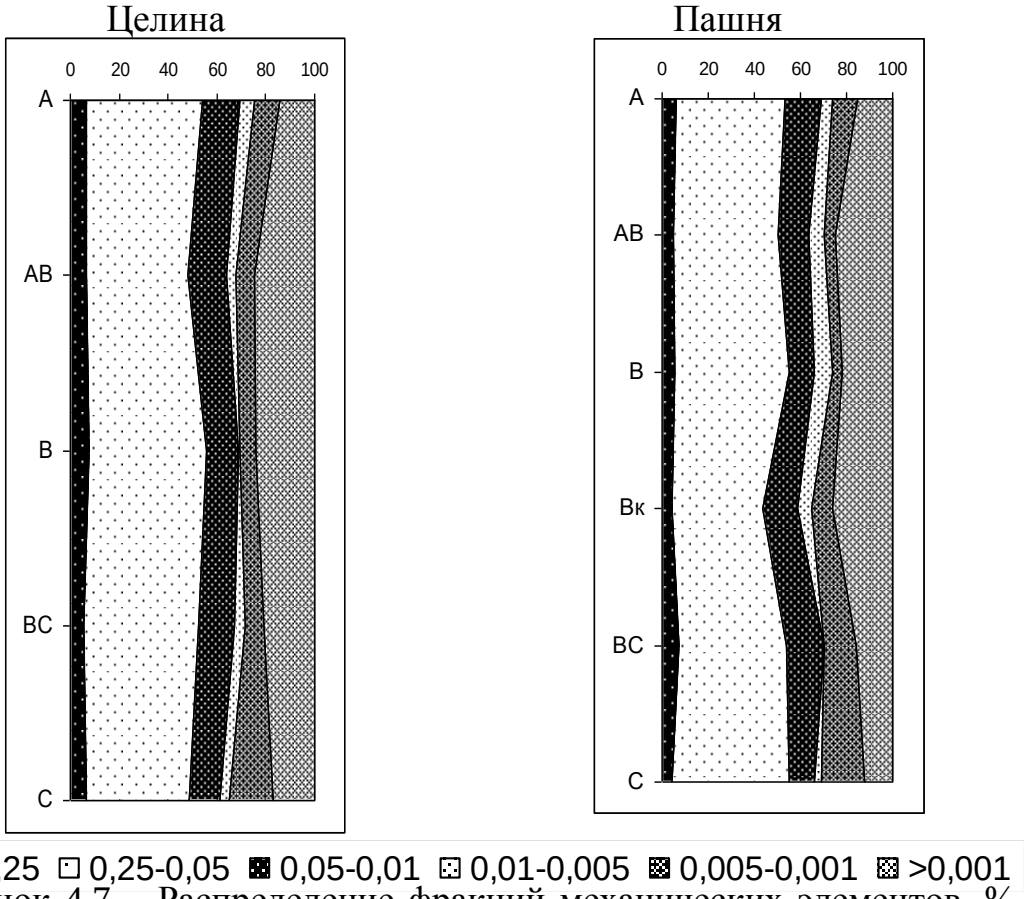
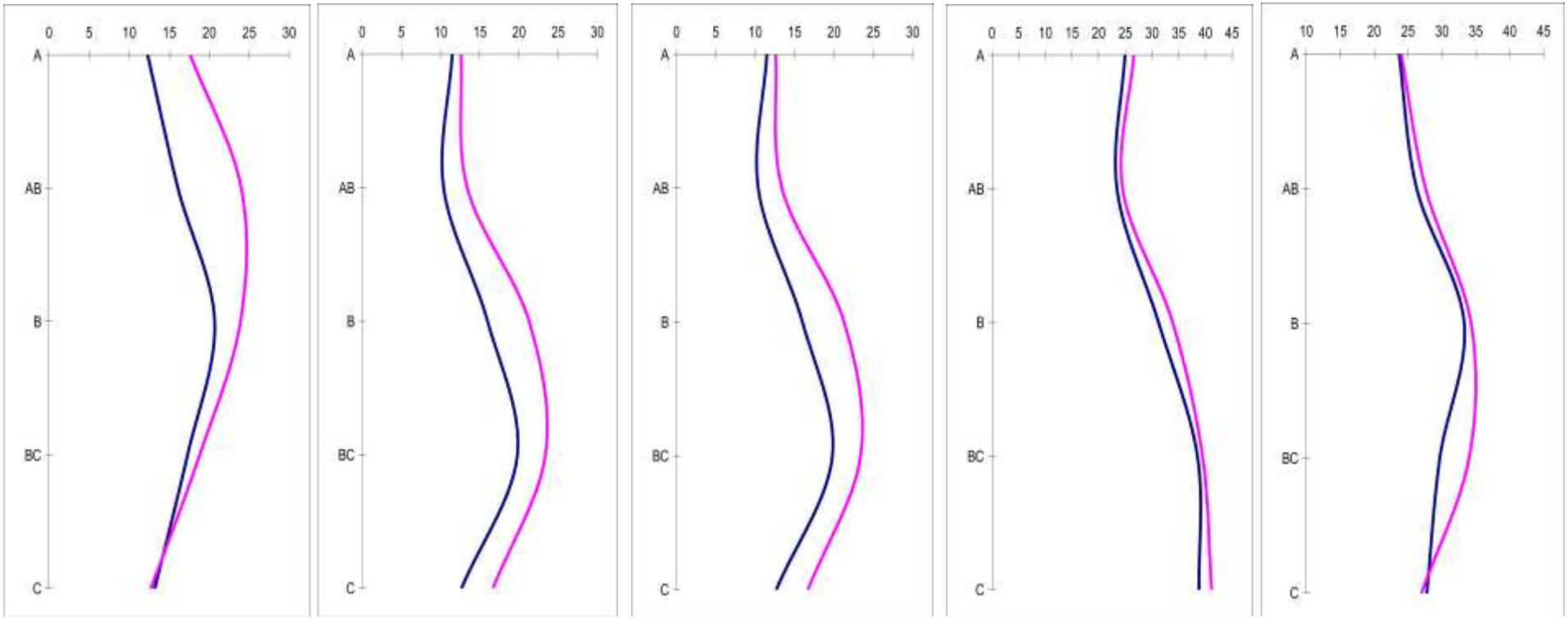


Рисунок 4.7 – Распределение фракций механических элементов, % (южная зона, 2009 г.)

В центральной зоне на ОП Курганской ГСХА в верхнем гумусовом горизонте на целине содержание физической глины составило 28,5% (легкосуглинистая иловато-песчаная почва), на пашне её содержание увеличилось до 31,0%. В составе механических фракций преобладают мелкий песок (0,25-0,05 мм) – 49,9 % и фракция ила– 12,3 (рисунок 4.8, приложение 16). В центральной зоне (Центральное ОП) за счет увеличения фракции мелкой пыли произошло утяжеление гранулометрического состава (Plotnikov, Sozinov, 2019).

Лучшими физическими свойствами обладает среднесуглинистая почва, так как ил вместе с органическим веществом способствует накоплению воды и питательных веществ для растений. Наличие мелких частиц способствует соединению почвенных частиц друг с другом и образованию структурных агрегатов. Для различных сельскохозяйственных культур оптимальный гранулометрический состав неодинаков. Легкосуглинистые почвы обладают слабой водоудерживающей способностью, хуже противостоят засухе, водной эрозии и дефляции.



А) Б) В) Г) Д)

Рисунок 4.8 – Распределение фракции ила в профиле чернозёмов (<0,001 мм), % (Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона, А) – Р.1 и Р.4, Б) – Р.9 и Р.12); Чернозем выщелоченный среднесуглинистый (южная зона В) Р.20 и Р.23); Чернозём обыкновенный тяжелосуглинистый (восточная зона, Г) – Р.5 и Р.6); Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона, Д) – Р.17 и Р.19)

Гранулометрический состав обыкновенного солонцеватого чернозёма на Макушинском ОП представлен тяжелой разновидностью. В составе механических фракций преобладала крупнопылеватая (0,05–0,01 мм) и фракция ила (менее 0,001 мм), тяжелая разновидность на целине представлена как иловато-крупнопылеватая. На пашне наблюдалось увеличение фракции мелкого песка. На обрабатываемом участке в горизонте А также как и у выщелоченных чернозёмов наблюдалась аналогичная закономерность: увеличение фракции ила и физической глины в горизонте А (с 44,7 до 48,3 %).

В целом профиль выщелоченных чернозёмов по гранулометрическому составу слабодифференцирован. Небольшое обеднение илом в верхней части и некоторое «утяжеление» в средней части профиля в горизонтах гумусовых затеков, являлось характерной особенностью исследуемых почв.

В почвенном профиле чернозёма северо-западной зоны (Шадринская ОС) наблюдалось некоторое увеличение количества илистой фракции к середине почвенного профиля. Содержание мелкой пыли в почвах участка 15,2 %, в горизонте АВ увеличивалось до 17,6 % распределение по профилю неравномерное. Количество же частиц размером 0,25-0,05 мм с глубиной увеличивалось с 21,2 до 36,3 %. Неравномерно распределены по профилю и частицы размером 0,005-0,001 мм (мелкая пыль). В целом все участки этой зоны являются затруднительными для проведения своевременных обработок почвы.

Таким образом, механическое воздействие на почву оказывает негативное влияние на содержание гранулометрических фракций в пахотном горизонте чернозёма. Усиливался процесс разрушения песчаных частиц и происходит утяжеление гранулометрического состава. У выщелоченных чернозёмов разница в содержании ила 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 увеличению.

4.7 Гумусное состояние чернозёмов

Гумусное состояние почв характеризует их потенциальное плодородие. Количество и качество органического вещества в почве являются наиболее емкими показателями почвенного плодородия (Орлов, Безуглова, 2000; Холодов, 2021, 2023).

Наземные растения в результате жизнедеятельности постоянно ассимилируют и концентрируют питательные элементы, рассеянные в окружающей атмосфере и в горных породах земной коры, а многообразный мир микроорганизмов закрепляет их в виде различных органических веществ, и прежде всего в форме сложного органоминерального комплекса – гумуса (Русанов, 1998; Шпедт, Мукина, 2008).

В интенсивном земледелии применяя удобрения, пестициды, ростовые вещества, на первый план выходит лабильная легкоразлагаемая фракция органического вещества почвы и органических остатков (Ганжара, 1988). Значительная же часть гумуса, закрепленного интрамицеллярно, связанного в глино-гумусовые комплексы, является инертной. Благоприятное влияние лабильного органического вещества на плодородие почв и урожай обусловлено не только его разлагаемостью и освобождением при этом элементов питания, так и оптимальным сочетанием элементов питания, формой их соединений в растительных остатках (Савич и др., 2010).

Содержание и запасы гумуса в пахотных почвах тесно связаны с гидротермическими и базовыми почвенными параметрами – гранулометрическим составом, кислотно –основным состоянием. Изменения в содержании и запасах гумуса в пахотных почвах обусловлено совокупностью абиотических факторов, которые во многом предопределяют интенсивность поступления органических веществ, интенсивность гумификации и минерализации, и емкость гумусонакопления почв (Безуглова, 2001; Иванова и др., 2015; Чернова и др., 2020). По данным агрохимических служб, преимущественно почвы Зауралья относятся к малогумусным (4,4-5,6%), и слабогумусированным (3,2-3,7 %) (рисунок 4.9). По мнению ряда авторов в значительной степени, такое содержание гумуса, связано с

совместным проявлением водной и ветровой эрозии (Повышение эффективности …, 2013; Волынкина и др., 2017).



Рисунок 4.9 – Средневзвешенное содержание гумуса (%) в почвах пашни (данные ФГБУ ГСАС «Курганская» и ФГБУ САС «Шадринская», 2017 г.)

Важнейшее значение имеет накопление надземной и корневой массы, как основного материала для гумусообразования и средства формирования водопрочных агрегатов почвы (Милащенко и др., 2000). С почвой связана наибольшая часть растений, в которой проходит ранний цикл их развития, а во взрослом состоянии с почвой непосредственно взаимодействуют их подземные органы (Новиков, Кисаров, 2012). Также растительные остатки оказывают многостороннее прямое и косвенное действие на химические, физические и биологические свойства почвы, её воздушный, температурный и пищевой режимы (Турусов и др., 2020).

При минерализации, где вовлекается большая часть органических остатков (80-90%), сложные органические соединения при участии различных групп микроорганизмов превращаются в простые химические вещества – воду, углекислый газ, соли различных катионов и анионов. Продукты минерализации попадают в почвенные растворы и вновь включаются в биологический круговорот веществ (Орлов, 1992).

Сравнительный анализ наших данных показал, что на целине в разных зонах масса корней в слое 0-40 см колебалась от 10,38 до 36,10 т/га. На 8-11-летних

залежных участках растительная масса постепенно снижалась в центральной зоне до 8,94-10,05 т/га, в северо-западной – до 8,49-13,10 т/га, а на пашне под зерновыми культурами составила минимальное количество – в центральной зоне до 1,96-3,90 т/га, в северо-западной – до 2,68-3,14 т/га. В южной зоне уменьшение массы корней с целинного участка (36,1 т/га) до пахотного (5,00 т/га), в восточной зоне на солонцеватом чернозёме – с 15,25 до 4,00 т/га.

С учетом надземной массы растительности на объектах исследований также снижалось общее ее количество с целинного участка до пахотного, в среднем в центральной зоне с 21,19 до 7,92 т/га (снижение в 2,68 раза), в северо-западной – с 38,85 до 8,03 т/га (снижение более чем в 4,8 раза), восточной – с 19,74 до 7,94 т/га (снижение в 2,49 раза), в южной – с 41,70 до 10,70 т/га (снижение в 3,9 раза). В целом по лесостепному Зауралью наблюдалось снижение накопления растительной массы на пахотных участках более чем в 3,5 раза (с 29,5 до 8,42 т/га) (приложение 16).

Органическая часть почвы, обладая мощной водоудерживающей способностью. На каждый процент гумуса в почве влагоемкость ее повышается на 8 - 10 весовых процентов, что особенно важно для почв легкого гранулометрического состава. Мероприятия по повышению содержания гумуса почв на легких почвах являются важнейшим условием улучшения водного режима этих почв. В то же время для тяжелых почв положительная роль гумуса определяется его влиянием на рыхлость, аэрацию, устранение избыточной влажности, точнее, установление благоприятных условий для развития растений (Милащенко, 1998, 2000).

Основные запасы корней (65-90%) на всех точках по отношению к общей фитомассе сосредоточены в слое 0-20 см, что обусловлено лучшей прогреваемостью и большей влагообеспеченностью верхних слоев почвы. Корневая масса целинных участков резко (в 2-5,7 раза) преобладала над наземной. Следует отметить, сопоставляя данные по накоплению биомассы, что в центральной агроклиматической зоне выпадает несколько больше осадков за год (366–425 мм), чем в восточной (340-372 мм). Гидротермический коэффициент в обеих зонах колеблется около единицы (0,9-1,1).

Содержание гумуса в чернозёме на целинном участке в 2007 году (центральная зона) в слое 0-10 см составляло 5,71%, в слое 0-20 см – 5,49 %. С увеличением глубины до 40 см содержание гумуса закономерно снижалось и в слое 30-40 см отмечались минимальное значение - 3,37% (таблица 4.20, приложения 17, 18).

Таблица 4.20 – Содержание гумуса в различных агрофонах в слое 0-20 см, % (n=6)

Местонахождение (разрезы)	Годы	Угодье				
		целина	пашня			
			снижение содержания гумуса			
			по годам исследований	по периодам (относительно)	ежегодно	за весь период (относительно), ежегодно
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона (Р.1, Р.4)	1979	–	5,15	–	–	-1,73 (-33,6%), -0,040
	2007	5,49±0,07	3,61±0,05	-1,54 (-29,9%)	-0,055	
	2022	5,53±0,12	3,42±0,10	-0,19 (-5,3 %)	-0,013	
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона (Р.5, Р.6)	1969	–	5,40	–	–	-0,81 (-15,0%), -0,015
	2007	5,70±0,10	4,68±0,14	-0,72 (-13,3%)	-0,019	
	2022	5,78±0,18	4,59±0,16	-0,09 (-1,9%)	-0,006	
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона (Р.9, Р.12)	1971	–	4,92	–	–	-1,31 (-26,6 %), -0,026
	1982	–	4,35	-0,57 (-11,6 %)	-0,052	
	2007	5,17±0,10	3,82±0,13	-0,53 (-12, %)	-0,021	
	2022	5,20±0,19	3,61±0,08	-0,21 (-5,5%)	-0,014	
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона (Р.13, Р.15)	1992	–	5,58	–	–	-0,93 (-16,6 %) - 0,031
	2008	8,98±0,28	4,76±0,14	-0,82 (-14,7 %)	-0,051	
	2022	8,95±0,36	4,65±0,09	-0,11 (-2,3 %)	-0,008	
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона (Р.17, Р.19)	1967	–	6,35	–	–	-1,17 (-18,4 %) -0,021
	2008	7,44±0,21	5,32±0,08	-1,03 (-16,2 %)	-0,025	
	2022	7,46±0,27	5,18±0,11	-0,14 (-2,6%)	-0,010	
Чернозём выщелоченный среднесуглинистый (южная зона (Р.20, Р.22)	1975	–	5,45	–	–	-1,99 (-36,5 %), -0,042
	2009	6,00±0,25	3,52±0,07	-1,93 (-35,4 %)	-0,057	
	2022	6,10±0,23	3,46±0,07	-0,06 (-1,7 %)	-0,005	

За 43-летний период наблюдений (с 1979 года) на пахотном участке произошло 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-летней залежи наблюдалось некоторое восстановление содержания гумуса, за счет ежегодного нарастания корневой массы растений увеличивалась интенсивность гумификации, содержание гумуса до 4,20 % (Иванюшин, Плотников, 2010). Для лёгких почв характерна повышенная аэрация и хорошая прогреваемость, происходит ускорение разложения органических остатков, значительная часть минерализуется полностью, а гумусовые вещества плохо закрепляются.

В чернозёме обыкновенном солонцеватом при сравнении параллельных участков в слое 0-20 см, так же отмечалась разница по содержанию гумуса. 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 см снизилось с 6,35 до 5,18 % (в относительном выражении на 18,4 %).

В 2009 году определены запасы гумуса чернозёма среднесуглинистого (южная зона) и дана оценка гумусового состояния. Так, на целине содержание гумуса составило 6,00%, а на участке с многолетними травами (15 лет) наблюдается снижение этого показателя до 3,83%. На пашне в результате усиления дегумификационных процессов содержание гумуса снизилось до 3,52%, при обследовании участков в 2022 году содержание гумуса – 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. 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.

Четко прослеживается зависимость формирования гумусового состояния почв от их гранулометрического состава в независимости от местоположения чернозёма в лесостепной зоне. 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 %.

В тяжелосуглинистых почвах процесс разложения при прочих равных условиях замедляется, гумусовых веществ образуется больше, они хорошо закрепляются на поверхности минеральных частиц и постепенно накапливаются в почве, что обуславливает разницу в снижении содержания гумуса по отношению к легким почвам (Орлов, 1996, 2005).

Особое внимание необходимо обратить на южную зону, где снижение содержания гумуса было наибольшим (ежегодные потери составили 0,042 %). Это объясняется только тем, как было указано выше, что в южной зоне наименьшая облесенность территории, большие открытые пространства (встречаются участки пашни 500 и более гектар) и как следствие развитие дефляционных процессов.

Оценивая гумусное состояние чернозёма на различных уровнях сельскохозяйственного использования, наибольшие запасы в северо-западной зоне в слое 0-20 см отмечены на целине – 177,5 т/га и характеризуются как высокие, а наиболее низкие запасы – на участке с использованием отвальной обработки. Здесь запасы составляют 129,1 т/га (средние). В южной зоне наибольшие запасы гумуса были на целине – 142,8 т/га, а на пахотном участке с использованием отвальной обработки – 91,5 т/га (средние) (приложение 19).

Отношение запасов гумуса к запасам корней характеризует интенсивность гумификации растительных остатков (Пономарева, 1964). Это отношение после-

довательно увеличивалось, если сравнивать участки целины, залежи и пашни. Если на целине это отношение составляло 8,5-14,7, то на пашне – 36,6-121,1.

Показатели гумусного состояния на 8-11 –летней залежи в наших исследованиях занимали промежуточное положение. Происходило накопление запасов гумуса на залежи к уровню целины, за счет формирования более мощной корневой системы. В сравнении с пахотными участками ее масса увеличивалась с 1,96-3,90 т/га до 8,49-13,10 т/га (приложение 20).

Результаты показали, что отсутствие научно-обоснованной разработанной системы удобрения и других агротехнологических приемов с целью снижения минерализации гумуса и элементов питания приводит к снижению эффективного плодородия, которое отражается на агрофизических и агрохимических свойствах чернозёмов лесостепного Зауралья.

Таким образом, длительное сельскохозяйственное использование приводит к изменениям верхней части почвенного профиля чернозёма, приобретает очертания нового отдельного генетического горизонта со своими свойствами и уровнем почвенного плодородия. Количество надземной массы растительности снижалось с целинного участка до пахотного более чем в 3,5 раза (в среднем с 29,5 до 8,42 т/га). Низкая компенсация органического вещества привела к тому, что его ежегодные потери в зернопаровых севооборотах составляли 0,5-1,6 т/га гумуса. Наиболее сильное воздействие на процессы минерализации гумуса оказывал паровой предшественник.

Характеристика природных условий и современной производственной деятельности человека, как факторов почвообразования, позволила провести оценку состояния чернозёмов и наметить необходимые агротехнические мероприятия. В современных условиях оптимизация параметров плодородия достигается только внедрением и соблюдением обоснованных технологических приемов в системе земледелия, что и обеспечивает в значительной степени стабилизацию плодородия почв и охрану почвенного покрова.

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

Под плодородием понимается весь комплекс почвенных свойств и процессов, определяющих нормальное развитие растений (Фокин, 1986). Процессы, происходящие в почве, связаны между собой. Исключение или ослабление какого–либо составляющего ведет за собой изменение всего состава почвы и потерю ценных ее качеств (Шишов и др., 1991; Синявский, Синявский, 2001; Мотузова, Безуглова, 2007). При постоянном изменении свойств антропогенных почв во времени и в пространстве современная система земледелия должна ориентироваться в решении вопросов агропочвоведения и агрохимии для сохранения почвенного плодородия и охраны земельных ресурсов (Васенёв, 2003; Галеева, 2012; Единый государственный реестр…, 2014; Семендяева и др., 2014; Грехова и др., 2020; Гречишкина Ю.И. и др., 2020).

5.1 Удобрения, как агрохимические факторы формирования почвенного плодородия

При оценке внедряемых технологических приемов важным показателем является накопление подвижных элементов питания в почве (Кочергин, 1956; Державин, 1992).

5.1.1 Динамика содержания нитратного азота под зерновыми культурами в севообороте

Азот – один из главных элементов питания, без достаточного количества которого невозможно получить высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Именно поэтому наличие этого химического элемента наряду с органическим углеродом лежит в основе плодородия почв. Черноземные почвы хорошо обеспечены общими запасами азота, несмотря на широкую область распространения по

земному шару. Наиболее обеспечены им черноземы европейской части России, которые содержат до 0,5 % азота (Стекольников, 2020).

Ведущим фактором в формировании продуктивности агроценозов является азотное питание (Гамзиков 1981). Подвижность азотных соединений характеризует степень доступности их растениям. Наиболее доступен минеральный азот, несколько менее доступен – легкогидролизуемый. Условием устойчивого функционирования агроэкосистемы является создание оптимальных условий питания посевов азотом, находящимся в первом минимуме в почве большинства почвенно-климатических зон России (Синещеков, Ткаченко, 2019; Чикишев и др., 2021, Воронкова и др., 2024; Троц, 2024). Почвенный азот представлен органическими соединениями, входящими в состав гумуса, и только незначительная его часть, находится в виде неорганических соединений – нитратов и аммония (Возбуцкая, 1968).

В условиях Западной Сибири, по данным Г.П. Гамзикова (2013), содержание азота в черноземах может превышать европейские аналоги. Черноземные почвы Северного Зауралья (Ерёмин, 2017) характеризуются меньшим содержанием общего азота. Высокое же содержание общего азота не означает наличие в достаточном количестве доступных для растений форм данного элемента.

Галеевой Л.П. (2020) установлено, что в метровой толще чернозёма выщелоченного в чистом пару полевого севооборота «пар чистый - пшеница - пшеница - пшеница» накапливается до 70 кг/га нитратного азота, более половины запасов которого сосредоточено в слое 0-40 см, а обеспеченность им растений очень высокая. Минеральные удобрения, вносимые различными способами в виде азофоски в дозе 43 кг д.в./га, не компенсировали вынос азота яровой пшеницей, обеспеченность им растений в конце ротации севооборота оставалась низкой.

Дёмина О.Н. и Ерёмин Д.И. (2021) указывали, что черноземные почвы лесостепной зоны Зауралья характеризуются очень низкой обеспеченностью нитратным азотом, которого достаточно для формирования урожайности яровой пшеницы не более 2,0 т/га зерна. Внесение удобрений в дозах от $N_{40}P_{75}$ до $N_{185}P_{160}$, увеличивают содержание нитратов в первой половине вегетации до 8-16 мг/кг почвы.

Завалин А.А. (2022) используя методы изотопной индексации (15N) оценил потоки азота в агроценозах и определил пути оптимизации баланса азота в земледелии России. Рассчитал среднегодовую эмиссию N_2O при внесении азотных минеральных и органических удобрений.

Волынкина О.В. (2017) отмечает, что на фонах без удобрения азотный режим в центральной зоне лучше, чем в северо-западной. Накопление нитратного азота в паровом поле в метровом слое выщелоченного чернозёма составляет 85 кг/га на Шадринском ОП и 117 кг/га – на Центральном ОП. В восточной зоне азотный режим выражается ещё большим накоплением $N\text{-}NO_3$ в пару – до 194 кг/га (Система адаптивно-ландшафтного земледелия..., 2012). Запас нитратного азота по непаровым предшественникам, как правило составляет 30-40 кг/га для слоя 0-40 см.

Результаты исследований (таблица 5.1) по влиянию азотно-фосфорных удобрений на нитратный режим почвы показали, что исходное содержание перед закладкой опыта в среднем по опыту (2010 г.) в слое 0-20 см – 36,3±4,3; в слое 20-40 – 22,1±3,2 мг/кг почвы. Внесение минеральных удобрений оказало стимулирующее действие на нитратный режим в почве. Максимальное содержание $N\text{-}NO_3$ в слое 0-20 см при внесении удобрений отмечалось в период кущения. За этот период удобрения за счет весенних запасов влаги переходили в доступную форму. На варианте, где удобрения вносили из расчета N_{60}, содержание в слое 0-20 см было 46,5 мг/кг почвы. В период от кущения до цветения зерновых культур содержание нитратов в почве уменьшалось более чем на 40 %, так как у зерновых культур в этот период идет максимальное поступление азота в растения.

Закрепление азота зависит от формы удобрений, типа почвы, наличия органических остатков, а также от вида возделываемых культур. Из аммиачных форм удобрений азота закрепляется в 1,5-2 раза больше, чем из нитратных. На хорошо окультуренных почвах, а также почвах, богатых гумусом, при совместном внесении минеральных и органических удобрений закрепление азота возрастает (Гамзиков, 2013, Завалин, 2022).

Изменения содержания нитратного азота в почве в периоды вегетации зерновых культур зависели и от погодных условий весны. Так как азот не закрепля-

ется почвенным поглощающим комплексом, в результате выпадения обильного количества осадков, происходит его вымывание в нижележащие горизонты профиля почвы (Шеуджен, 2018).

Таблица 5.1 – Содержание нитратного азота под зерновыми культурами севооборота в среднем за 2010 – 2012 годы (мг/кг почвы)

Вариант	Глубина, см	Перед посевом	Фаза кущения	Фаза цветения	После уборки
1. Без удобрений	0-20	24,2	20,7	13,5	14,4
	20-40	13,8	12,6	9,2	10,3
2. N_{30}	0-20	29,1	32,9	16,7	16,5
	20-40	14,7	17,6	12,3	11,7
3. N_{60}	0-20	31,6	46,5	25,1	19,3
	20-40	16,5	17,8	13,5	12,0
4. P_{20}	0-20	26,9	26,2	13,7	14,2
	20-40	14,9	14,5	9,0	9,5
5. P_{40}	0-20	26,7	25,4	13,2	13,8
	20-40	13,2	14,6	9,4	9,6
6. $N_{30}P_{20}$	0-20	28,1	35,1	14,9	14,2
	20-40	12,6	19,1	18,5	18,3
7. $N_{30}P_{40}$	0-20	28,7	34,9	15,3	15,1
	20-40	11,9	20,1	19,1	18,9
8. $N_{60}P_{20}$	0-20	31,0	45,7	24,7	16,6
	20-40	15,7	18,2	12,7	10,0
9. $N_{60}P_{40}$	0-20	30,2	42,3	22,7	15,7
	20-40	15,9	17,0	12,2	11,3
$НСР_{05}$ для слоя 0-20		3,4	4,8	2,7	2,9
$НСР_{05}$ для слоя 20-40		2,6	2,9	2,2	2,3
Для слоя 0-20 см: коэффициент корреляции с урожайность зерновых культур и уравнение регрессии		0,68 Y=0,026X+1,26	0,64 Y=0,0063X+1,78	0,41 Y=0,0075X+1,87	0,13 Y=0,0069X+1,89

Таким образом, наблюдения показали, что в течение прохождения зерновыми культурами фаз развития снижалась зависимость урожайности от обеспеченности нитратным азотом. Запасы нитратного азота весной показали сильное влияние на продуктивность культур, корреляционное отношение было – 0,68, в фазу кущения среднее – 0,64. К моменту цветения оно ослабевало, r = 0,41, так как растения уже прошли пик максимального потребления элемента. К уборке культур коэффициент корреляции между содержанием нитратного азота и урожайностью составил 0,13.

5.1.2 Влияние удобрений и мелиорантов на накопление подвижного фосфора в чернозёме выщелоченном

Применение фосфорных удобрений повышает содержание не только доступных для растений соединений фосфора в почве, но высокоосновных фосфатов и органических фосфатсодержащих соединений, которые малодоступны растениям (Адерихин, 1970; Прокошев., 1988; Антипина, Черкасова, 1990; Синявский, 1997; Сушеница, 2007; Шафран, 2015; Минеев и др., 2017). Оптимальным уровнем подвижного фосфора для различных подтипов чернозема является 10-15 мг/100 г почвы (Петербургский, 1981).

Фосфатный фонд почв является важной составной частью общей проблемы повышения их плодородия (Куприченков, 2013; Минакова и др., 2013). Наличие подвижного фосфора в почве непосредственно связано с растворимостью фосфорсодержащих молекул (Кушниренко, Брагин, 2005). Наибольшую потребность в фосфоре они проявляют в первые стадии роста, когда их корневая система еще слабо развита (Егоров, Дюрягина, 1972; Абрамов, 2021).

Исследования показали, что фосфатный режим чернозёма за годы наблюдений был относительно стабильным (таблица 5.2). Содержание подвижного фосфора на контроле изменялось в интервале 68-78 мг/кг почвы. Незначительные изменения объясняются процессом увлажнения-высушивания почвы, которое приводило к «распаковке» глинистых минералов с трехслойным строением кристаллической решетки и высвобождением фосфора (Hu, 2021).

Систематическое внесение фосфорных удобрений приводит к накоплению в почве остаточных фосфатов в усвояемой форме в среднем 20-26 % от внесенного количества фосфорных удобрений (Адерихин, 1957, 1970; Джонстон, 2013; Бойко и др., 2021; Воронкова, 2023). Потребление фосфора растениями в несколько раз меньше, чем азота (Ермолаев, 2007; Ермохин, Бобренко, 2005; Красницкий, 2020, Троц, 2024). В нашем опыте удобрения в норме P_{140} увеличивали содержание P_2O_5 на 14 мг/кг почвы по сравнению с контрольным вариантом.

Внесение навоза в дозе 40 т/га оказало наибольшее влияние на накопление фосфатов, происходило его увеличение до 133 мг/кг почвы. Под ячменем отмечалась стабилизация P_2O_5, а разница с контролем достигала 43 мг/кг почвы.

Таблица 5.2 – Влияние удобрений и химических мелиорантов на содержание подвижного фосфора в черноземе выщелоченном, 0-25 см (2001-2003 гг.)

Вариант	Подвижный фосфор, мг/кг				Отклонение от контроля	
	пшеница по пару	вторая пшеница	ячмень	среднее	мг/кг	%
1. Без удобрений (контроль)	76	78	68	74	–	–
2. $N_{175}P_{140}$ *	92	88	84	88	+14	18,9
3. Навоз 40 т/га	103	133	116	117	+43	58,1
4. Навоз + NP	106	136	133	125	+51	68,9
5. Известь 3 т/га – фон 1	78	79	70	76	+2	2,7
6. Фон 1 + NP	89	98	89	92	+18	24,3
7. Фон 1 + навоз	106	112	92	103	+29	39,2
8. Фон 1 + навоз + NP	136	109	107	117	+43	58,1
9. Фосфоритная мука 1 т/га-фон 2	106	125	140	124	+50	67,6
10. Фон 2 + NP	113	132	200	148	+74	100,0
11. Фон 2 + навоз	120	200	214	178	+104	140,5
12. Фон 2 + навоз + NP	129	222	228	193	+119	160,8
13. Гипс 3 т/га – фон 3	77	90	70	79	+5	6,8
14. Фон 3 + NP	89	96	91	92	+18	24,3
15. Фон 3 + навоз	106	112	96	105	+31	41,9
16. Фон 3 + навоз + NP	106	123	117	115	+41	55,4
НСР $_{05}$	11	13	11	–	–	–
Коэффициент корреляции с урожайностью (r_{05})	0,50	0,35	0,41	–	–	–

$N_{175}P_{140}$*- внесено за всю ротацию севооборота

Применение фосфоритной муки в дозе 1 т/га (содержание P_2O_5 до 25%) с течением времени постепенно насыщала фосфатный фонд почвы с увеличением содержания P_2O_5 до 50 мг/кг. Наибольшее накопление фосфора в пахотном слое чернозёма отмечалось на варианте с дополнительным использованием навоза и азотно-фосфорного удобрения (193 мг/кг почвы).

Перед закладкой опыта с различными видами органических удобрений в 2002 г. содержание подвижных фосфатов в слое 0-20 см составляло 80±3 мг/кг (рисунок 5.1, приложение 21).

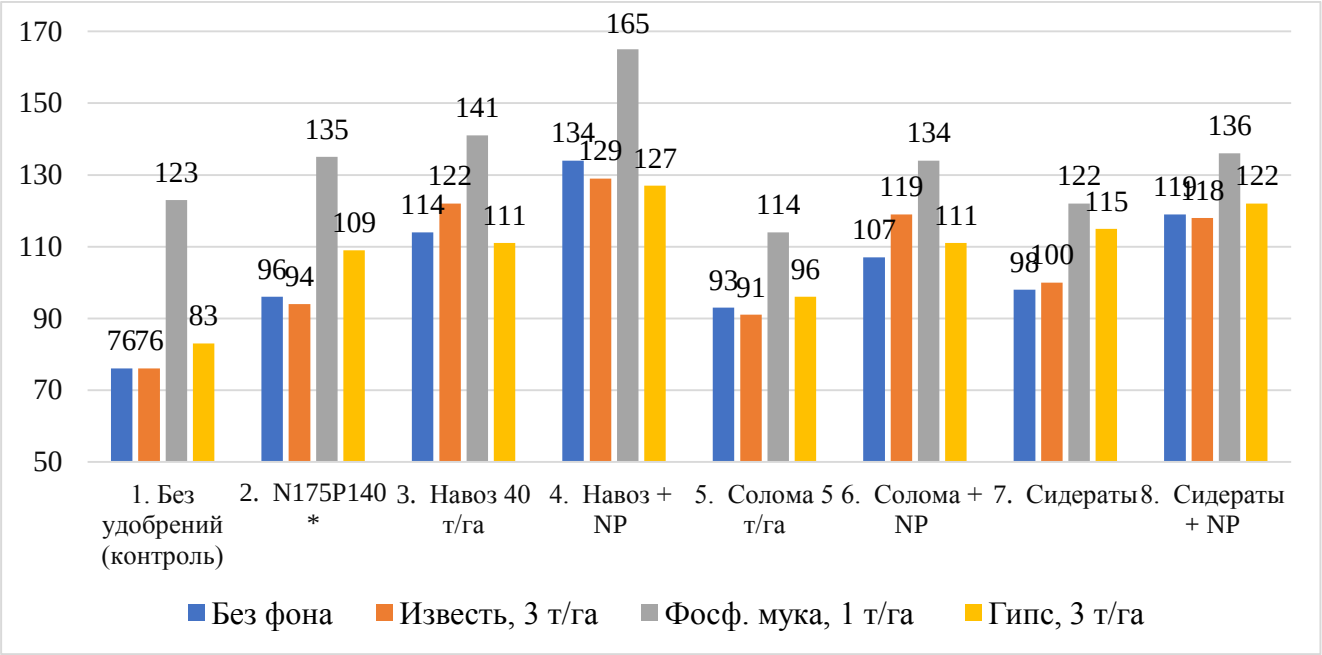


Рисунок 5.1– Влияние удобрений и мелиорантов на содержание подвижного P_2O_5 в черноземе выщелоченном (0-25 см), мг/кг ($N_{175}P_{140}$ *внесено за всю ротацию севооборота))

В связи со слабой растворимостью фосфоритной муки только на третий год наблюдений отмечен максимальный уровень содержания подвижного P_2O_5 в почве, в среднем его содержание составляло 165 мг/кг. Последействие органических удобрений прослеживалось до конца ротации севооборота, где содержание было выше контрольного варианта на 9-26 мг/кг почвы.

Учитывая влажный год в ротации севооборота (ГТК-1,93), наиболее тесная связь выглядела с вариантами на фоне извести. В последующие годы, в связи со снижением кислотности, увеличением подвижности фосфатов и создания благоприятных условий для растений, коэффициент корреляции только возрастал. За все три года наблюдений коэффициент корреляции составил 0,68-0,83 (таблица 5.3).

Фосфоритная мука совместно с удобрениями в первый год при обилии осадков показали наибольшую зависимость урожайности от обеспеченности подвижным фосфором (r = 0,96). На второй год отмечалось увеличение содержания подвижного фосфора на всех вариантах фона, однако количество осадков в критические фазы пшеницы колошения-выхода в трубку составляло соответственно 8 и 4 мм, что отразилось на урожайности культуры. Средняя урожайность с удобрениями по фону составила 1,95 т/га, против 3,28 т/га годом ранее и, как следствие,

корреляционное отношение составило 0,54. Наиболее тесная зависимость урожайности ячменя от обеспеченности почвы фосфатами наблюдалась в блоках с известью и фосфоритной мукой, где соответственно, корреляционное отношение составило 0,83 и 0,76.

Таблица 5.3 – Зависимость урожайности зерновых культур от содержания подвижного P_2O_5 в черноземе выщелоченном при внесении органических, минеральных удобрений и мелиорантов (2001-2003 гг.).

Блок вариантов	Коэффициент корреляции с урожайностью		
	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

Результаты наших исследований подтверждаются результатами, полученными Воронковой Н.А. (2010) на чернозёме выщелоченном, где при систематическом применении фосфорных удобрений увеличивались запасы подвижного фосфора в почве, что сопровождалось ростом урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности севооборота (r=0,92).

Наиболее доступными растениям являются водорастворимые фосфаты и удовлетворяют потребность растений в этом элементе не более, чем на 1 % (Назарюк, 2004). В почвах из-за малого их количества, водорастворимые соединения фосфора не могут служить критерием для суждения о степени обеспеченности культур этим элементом (Антипина, 1988, 1989). Между твердой фазой и почвенным раствором существует определенное равновесие, поглощенные корнями водорастворимые соли фосфорной кислоты постепенно восстанавливаются до прежнего невысокого уровня и растения снова могут их усваивать. Такой источник фосфора слишком мал, и без внесения фосфорных удобрений возделываемые культуры испытывают недостаток этого вещества для обеспечения хорошего урожая (Иванов, 2012).

В опыте (3) с использованием гидрогеля для увеличения влагоемкости почвы, происходило повышение подвижного фосфора на 8 мг/кг, а по фону содержание колебалось в пределах 120-151 мг/кг. Созданный на основе гидрофильных макромолекул, способных к равновесному и обратимому набуханию в воде и водных растворах гидрогель способствовал увеличению количества водорастворимого фосфора в посевах пшеницы, даже в условиях дефицита атмосферных осадков (ГТК -0,29). С 20 кг/га гидрогеля содержание водорастворимого фосфора увеличилось до 0,8 мг/кг, на варианте P_{40} оно было более 1,0 мг/кг. Содержания фосфора положительно сказывалось на урожайности пшеницы (r=0,66) (приложение 22).

Внесение фосфорных удобрений с улучшением гидротермических условий (ГТК-1,10) увеличивало содержание P_2O_5 до 152 мг/кг под второй пшеницей (Шилов, Плотников, 2012). Последействие гидрогеля (40 кг/га) приводило к повышению содержания в почве P_2O_5 на 28 мг/кг. Увеличение содержания подвижного фосфора способствовало увеличению его водорастворимой формы, связь была сильная (r=0,81). В засушливых условиях вегетационного периода (ГТК-0,30) связь между содержанием в почве подвижного и водорастворимого фосфора была сильная (r =0,68). За годы исследований в севообороте при использовании 40 кг/га гидрогеля содержание подвижных фосфатов в почве превышало показатель контрольного варианта на 34-37 мг/кг. (таблица 5.4, приложение 24).

Таблица 5.4 – Влияние минеральных удобрений и полимерного гидрогеля на содержание в почве фосфора в слое 0-20 см, мг/кг (2010-2012 гг.)

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
Коэффициент корреляции с продуктивностью культур и уравнение регрессии	r=0,56, y=0,02x +3,90			r=0,69, y=0,76x +4,92		
	r=0,80, y=0,03x -1,32					

Увеличение доступности элемента положительно сказалось на продуктивности севооборота (r=0,56), и содержании водорастворимого фосфора (r=0,80).

Опыт с изучением действия фосфогипса показал, что перед посевом пшеницы после парового предшественника почва характеризовалась средним содержанием подвижного фосфора — 39 мг/кг (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Содержание подвижного фосфора при использовании фосфогипса в слое 0–20 см, мг/кг (2012-2014 гг.)

Вариант	Пшеница по пару		Вторая пшеница		Ячмень		Среднее
	перед посевом	после уборки	перед посевом	после уборки	перед посевом	после уборки	
1. Без удобрений (контроль)	39	43	64	58	66	60	55
2. Фосфогипс, 0,5 т/га (Каратау)		56	64	61	69	61	58
3. Фосфогипс, 1,0 т/га (Каратау)		47	75	56	81	65	61
4. Фосфогипс, 1,0 т/га (Кольский п-в)		47	61	50	71	59	55
$НСР_{05}$		8	9	7	8	7	–

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. И только перед посевом ячменя отмечалось увеличение содержание подвижного фосфора с 66 до 81 мг/кг ($НСР_{05}$ – 8 мг/кг) при увеличении нормы фосфогипса до 1 т/га.

В опыте 6 чернозём был средне обеспечен подвижным фосфором (75 мг/кг). На усвоение фосфатов большое влияние оказывают аммиачные и аммиачно-нитратные удобрения. Ввиду того, что, аммиачные формы азотных удобрений обладают физиологической кислотностью, они могут оказывать растворяющее воздействие на фосфорит (таблица 5.6).

Расчет линейной корреляции показал сильную связь, между увеличением содержания подвижного фосфора и урожайности пшеницы после пара (r=0,91), а его водорастворимой формы (r=0,91). Такая теснота связи обусловлена влажными погодными условиями вегетационного периода, (ГТК -1,1) и водорастворимостью применяемого суперфосфата. Под второй пшеницей наибольшее содержание подвижного и водорастворимого фосфора (90 мг/кг и 2,3 мг/кг) наблюдалось на

фоне $N_{40}K_{40}$ при дозе удобрения P_{80}. Под ячменем суперфосфат в дозе P_{80} увеличил содержание подвижного P_2O_5 с 71 до 93 мг/кг. Между содержанием подвижного фосфора и урожайностью зерновых культур существовала сильная связь – r = 0,76-0,91.

Таблица 5.6 – Динамика фосфора в чернозёме при внесении минеральных удобрений в зернопаровом севообороте, мг/кг (опыт 6)

Вариант	Фосфор	
	подвижный	водорастворимый
пшеница после пара		
1. Без удобрений (контроль)	75 */ 72**	0,7 */ 0,6**
2. P_{40}	81	1,2
3. P_{80}	86	1,5
4. $N_{40}K_{40}$	85	1,4
5. $N_{40}P_{40}K_{40}$	88	1,4
6. $N_{40}P_{80}K_{40}$	89	2,1
$НСР_{05}$	7	0,3
Уравнение регрессии	r=0,91, y=0,01x+0,74	r=0,78, y=0,14x+1,54
Уравнение регрессии	r=0,91, y=0,07x-4,47	
вторая пшеница после пара		
1. Без удобрений (контроль)	71* / 74**	0,8* / 0,9**
2. P_{40}	83	1,4
3. P_{80}	89	1,6
4. $N_{40}K_{40}$	86	1,7
5. $N_{40}P_{40}K_{40}$	89	1,7
6. $N_{40}P_{80}K_{40}$	90	2,3
$НСР_{05}$	8	0,4
Уравнение регрессии	r=0,76, y=0,01x+0,54	r=0,89, y=0,18x+1,25
Уравнение регрессии	r=0,88, y=0,07x-4,04	
ячмень		
1. Без удобрений (контроль)	72* / 71**	0,7* / 0,7**
2. P_{40}	82	1,4
3. P_{80}	92	1,7
4. $N_{40}K_{40}$	86	1,7
5. $N_{40}P_{40}K_{40}$	90	1,8
6. $N_{40}P_{80}K_{40}$	93	2,4
$НСР_{05}$	7	0,3
Уравнение регрессии	r=0,78, y=0,01x+1,24	r=0,91, y=0,21x+1,93
Уравнение регрессии	r=0,93, y=0,06x-3,74	

Примечание: * - содержание элемента перед посевом; ** - содержание перед уборкой; x-содержание подвижного фосфора; y – урожайность культур

Регион является лидером в гусеводческой отрасли сельского хозяйства РФ. Более 30% гусей от всего количества в стране выращивается в Зауралье. Для решения вопросов рационального применения гусиного помета (ГП), (с 01.03.2023 г, согласно №248-ФЗ, как побочного продукта животноводства) в качестве местного источника удобрения были проведены исследования его эффективности в севообороте. Фосфатный режим неудобренной почвы (опыт 7) за годы наблюдений в опыте с птичьим пометом был стабильным в интервале низкого содержания P_2O_5 – 46-48 кг/га (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Влияние птичьего помета и удобрений на содержание подвижного фосфора в черноземе выщелоченном (0-25 см), мг/кг

Вариант	Подвижный фосфор				
	пар черный	после уборки урожая			
		пшеница по пару	вторая пшеница	ячмень	среднее
1. Без удобрений (контроль)	48±3 (в среднем до закладки опыта)	48	46	46	47
2. $N_{20}P_{20}$		57	60	59	59
3. $N_{40}P_{40}$		58	62	63	61
4. ГП, 5 т/га		55	56	58	56
5. ГП, 5 т/га+ $N_{20}P_{20}$		67	70	71	69
6. ГП, 5 т/га+ $N_{40}P_{40}$		61	69	67	66
7. ГП, 10 т/га		58	65	66	63
8. ГП, 10 т/га+ $N_{20}P_{20}$		61	66	67	65
9. ГП, 10 т/га+ $N_{40}P_{40}$		62	70	70	67
$НСР_{05}$		3	4	4	–

Ежегодное применение $N_{40}P_{40}$ повышало содержание фосфатов до 61 мг/кг по сравнению с неудобренным вариантом, при внесении птичьего помёта увеличивалось на 9-16 мг/кг почвы.

Таким образом, применение фосфорных удобрений совместно с навозом оказывало влияние на накопление подвижного фосфора в чернозёме выщелоченном (увеличение на 43 мг/кг) и урожайность культур. Приемы известкования и фосфоритования чернозёма создавали дополнительные условия для закрепления фосфатов в пахотном горизонте, отмечалась средняя и сильная связь (r= 0,54-96). Гусиный помет увеличивал накопление подвижных фосфатов с 47 до 56-63 мг/кг.

5.1.3 Изменение содержания подвижного калия в почве при различных системах удобрения

Количество и качество почвенных калийсодержащих минералов и степень их выветренности определяет общее содержание калия в почвах. Однако валовое содержание элемента не характеризует его количество, которое может быть использовано растениями (Askegaard, Eriksen, 2000; Никитина, 2018; Бойко и др., 2019).

Приходная и расходная части определяют баланс калия в агроценозах. Поступление калия осуществляется из почвообразующих пород и минералов, зольного калия, калия плазмы микроорганизмов и с поступающими минеральными и органическими удобрениями. Расходная часть калия слагается отчуждаемыми растительной продукцией агроценоза, с потерями поверхностного стока, за счет инфильтрации и в виде необменной фиксации калия минералами (Никитишен, 2000; Якименко, 2003, 2019, Середина, 2007, 2013).

Д.Н. Прянишников (1963) считал, что отчуждаемое с урожаем количество калия должно быть компенсировано удобрениями не менее чем на 70-80%.

В опыте 1 с химическими мелиорантами и удобрениями на контрольном варианте содержание калия изменялось от 122 до 132 мг/кг почвы (таблица 5.8), в опыте 2 – от 124 до 133 мг/кг почвы.

Увеличение подвижных форм калия наблюдалось после избыточно влажного вегетационного года, где ГТК за вегетационный период составил 1,93 (приложения 80, 81). Это подтверждают и данные И.В. Синявского (2001), количество высвобождаемого калия зависит не только от общего количества конкретного минерала, но и от содержания в нем калия, зависящего от степени выветренности. Запасы калия в черноземе выщелоченном увеличиваются по мере увеличения влажности почвы.

Механизм транспорта и поступления калия в растения определяется скоростью его диффузии в почве. Степень насыщенности почвы обменно-поглощённым калием и водно-воздушный режим являются основными факторами, влияющими на скорость диффузии. Количество доступности элемента растениям является его концентрация в почвенном растворе (Прокошев, 1988; Прокошев, Дерюгин, 2000).

Таблица 5.8 – Влияние различных систем удобрения на содержание калия в черноземе выщелоченном (0-25 см), мг/кг

Вариант	Калий подвижный				Отклонение от контроля	
	пшеница по пару	вторая пшеница	ячмень	среднее	мг/кг	%
1. Без удобрений (контроль)	132	130	122	128	–	–
2. $N_{175}P_{140}$ *	133	132	118	128	–	–
3. Навоз 40 т/га	172	195	154	174	46	35,9
4. Навоз + NP	168	187	160	172	44	34,1
5. Известь 3 т/га – фон 1	133	140	120	131	3	2,3
6. Фон 1 + NP	131	131	122	128	–	–
7. Фон 1 + навоз	155	164	172	164	36	27,9
8. Фон 1 + навоз + NP	162	195	168	175	47	36,7
9. Фосфоритная мука 1 т/га- фон 2	131	135	126	131	3	2,3
10. Фон 2 + NP	132	142	130	135	7	5,5
11. Фон 2 + навоз	162	172	150	161	33	25,8
12. Фон 2 + навоз + NP	175	199	164	179	51	39,8
13. Гипс 3 т/га – фон 3	132	141	130	134	6	4,7
14. Фон 3 + NP	134	145	122	134	6	4,7
15. Фон 3 + навоз	173	197	158	176	48	37,5
16. Фон 3 + навоз + NP	190	207	158	185	57	44,5
НСР $_{05}$	11	15	11	–	–	–
Коэффициент корреляции с урожайностью (r_{05})	0,63	0,61	0,42	–	–	–

*- внесено за ротацию севооборота

До закладки опыта 2 содержание подвижного калия в почве составляло 129±6 мг/кг. Применение органических удобрений увеличивало количество элемента на 10-48 мг/кг почвы. (рисунок 5.2, приложение 23).

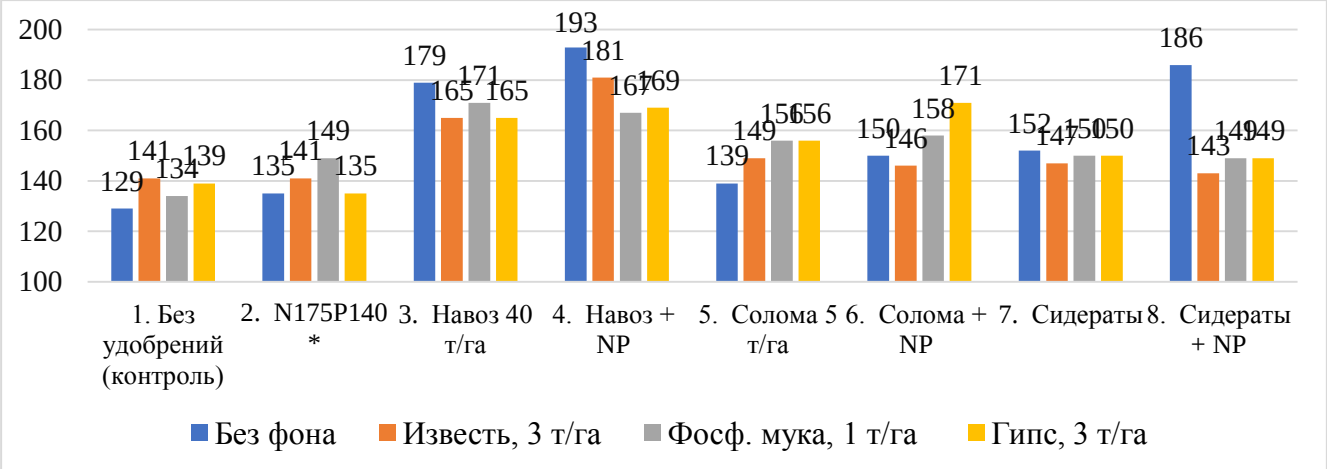


Рисунок 5.2 – Влияние удобрений и мелиорантов на содержание K_2O в черноземе выщелоченном (0-25 см), мг/кг (*- внесено за ротацию севооборота)

В наших исследованиях опыта 6 установлено, что рост урожайности культур севооборота изменял содержание калия в почве: происходило увеличение общего выноса элемента при недостаточном его восполнении, что со временем приводило к истощению его запасов в почве и повышению эффективности калийных удобрений. Содержание калия (таблица 5.9) до закладки опыта в среднем составляло 131 мг/кг и после уборки пшеницы оно практически не изменилось (127-132 мг/кг).

Таблица 5.9 – Динамика подвижного калия при внесении минеральных удобрений, (0-20 см), мг/кг (2014-2016 гг.)

Вариант	Калий подвижный			
	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
$НСР_{05}$	6	7	9	–
Коэффициент корреляции с урожайностью	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

Подобные исследования имеются в работах Горбунова Н.Т. (1978), Якименко В.Н. (2003). Калий удерживается ППК так же, как и другие катионы, соответственно своей валентности и гидратации может эквивалентно обмениваться с другими основаниями. Увеличение содержания элемента положительно сказалось на урожайности зерновых культур (r= 0,44 – 0,81), при ГТК – 1,07-1,32.

Ежегодное применение калия хлористого в дозе K_{40} увеличило его содержание с 126 до 135 мг/кг. Для оптимизации калийного питания вместо распространенных видов калийных удобрений, такие глинистые минералы, как иллит, глауконит, также могут быть использованы в качестве альтернативных источников калия (Прокошев, 1988; Прокошев, Дерюгин, 2000; Никитина, 2020; 2023).

Применение гусиного помета повысило содержание калия в среднем за три года со 155 до 164 мг/кг почвы (высокая обеспеченность) (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Влияние птичьего помета и минеральных удобрений на содержание калия в черноземе выщелоченном (0-25 см), мг/кг

Вариант	Калий подвижный				
	пар черный	пшеница по пару	вторая пшеница	ячмень	среднее по севообороту
1. Без удобрений (контроль)	155±6 (в среднем до закладки опыта)	155	156	155	155
2. $N_{20}P_{20}$		152	151	152	152
3. $N_{40}P_{40}$		162	155	156	158
4. ГП, 5 т/га		153	158	160	157
5. ГП, 5 т/га+ $N_{20}P_{20}$		161	163	162	162
6. ГП, 5 т/га+ $N_{40}P_{40}$		162	164	165	164
7. ГП, 10 т/га		158	166	167	164
8. ГП, 10 т/га+ $N_{20}P_{20}$		166	178	176	173
9. ГП, 10 т/га+ $N_{40}P_{40}$		164	172	171	169
$НСР_{05}$		6	6	5	–

Результаты исследований показали, что изменения в содержании калия во времени выражены незначительно. На увеличение обеспеченности растений подвижным калием оказывали влияние гидротермический режим вегетационных периодов и применение удобрений. Ежегодное применение хлористого калия увеличивало в почве содержание K_2O на 6-8 мг/кг, а органические удобрения на 9-50 мг/кг почвы.

5.1.4 Содержание подвижной серы в почве при использовании в зернопаровом севообороте фосфогипса

В почве сера в основном находится в составе органических соединений, представленных растительными остатками и гумусом (до 98% валового содержания серы в почве). В процессе минерализации органических соединений, протекающем с участием микроорганизмов растениям доступна только её сульфатная форма (Панасин и др., 1999; Шеуджен, 2018). Только 10-15% серы поглощается растениями в форме SO_4. Источником служат различные соли серной кислоты: $CaSO_4$, $MgSO_4$, K_2SO_4, $(NH_4)_2SO_4$ (Аристархов, 2000).

Недостаток серы в питании растений ухудшает использование других элементов питания, снижая эффективность вносимых удобрений. Особенно важна сера на первых этапах органогенеза, а зерновые культуры наиболее энергично поглощают ее до завершения фазы кущения. Вынос серы зерновыми культурами составляет 10-15 кг/га. (Аристархов, 2000). По данным Цховребова В.С. (2011) применение фосфогипса на чернозёме выщелоченном на 5-й год исследований увеличивало содержание подвижной серы в почве на 2,3 мг/кг.

Дефицит подвижной серы в почвах наблюдается при её содержании менее 6 мг/кг. В наших исследованиях до закладки опыта 4 среднее содержание серы составляло – 4,3 мг/кг. Очевидно, уровень обеспеченности серой обусловлен низким содержанием органического вещества чернозёма и работой серобактерий. Такое катастрофически низкое содержание серы предлагалось решить путем внесения фосфогипса (таблица 5.11).

Таблица 5.11 – Динамика подвижной серы в чернозёме выщелоченном при использовании фосфогипса, мг/кг (2012-2014 гг.)

Вариант	Пшеница по пару		Вторая пшеница		Ячмень		Среднее по севообороту
	перед посевом	после уборки	перед посевом	после уборки	перед посевом	после уборки	
1 Контроль (без удобрений)	4,3	4,0	7,2	2,6	3,9	3,0	4,2
2 Фосфогипс 0,5 т/га (Каратау)		38,5	5,5	9,0	4,6	4,2	11,0
3 Фосфогипс 1,0 т/га (Каратау)		46,5	8,4	3,2	5,4	6,4	12,4
4 Фосфогипс 1,0 т/га (Кольский п-в)		79,0	17,8	9,0	9,5	8,9	21,4
$НСР_{05}$	–	14,0	4,2	0,8	0,7	1,1	–

При внесении фосфогипса в количестве 1 т/га в почву поступает 265 кг/га – Ca, 215 – S(общ.), 20 – P_2O_5. Фосфогипс является ценным поликомпонентным удобрением для сельскохозяйственных культур и мелиорантом для почв (Шеуджен, 2015).

Осенью после уборки первой пшеницы после пара содержание подвижной серы на контрольном варианте составило 4,0 мг/кг. На фоне 1 т/га фосфогипса Каратауского месторождения содержание подвижной серы составило 46,5 мг/кг.

Для сравнения был заложен фон фосфогипса с аналогичной дозой из апатитового концентрата с Кольского полуострова – на этом фоне содержание серы больше почти в два раза и составляло 79,0 мг/кг. Такое увеличение на фонах связано малоподвижным поведением сульфатов и концентрацией их в пахотном горизонте, ввиду засушливости вегетационного периода, когда ГТК составил 0,3 (количество выпавших осадков было ниже среднемноголетних значений в 2,2 раза).

Перед посевом второй пшеницы почва характеризовалась средним содержанием серы на варианте без удобрений – 7,2 мг/кг, а после уборки культуры – 2,6 мг/кг. Резкое снижение количества серы на вариантах с фосфогипсом обусловлено, по нашему мнению, легким гранулометрическим составом чернозёма и усиленными майскими осадками (49 мм при норме 28 мм). При возделывании ячменя содержание сульфатной серы на варианте без удобрений составило 3,9 мг/кг, а после уборки культуры – 3,0 мг/кг. На вариантах с внесением фосфогипса содержание серы снижалось до 4,2-8,9 мг/кг. Это обусловлено теми же факторами, что указаны выше – обилие осадков за вегетационный период, когда в июле месяце выпало 142 мм, при норме в 60 мм, а ГТК составил 2,9.

На уровень накопления и подвижности серы в почвах сельскохозяйственных угодий указано в работах Аристархова А.Н. (2000, 2007), где автор отмечает, такие факторы как генезис, интенсивность и способы обработки, состав и содержание органических веществ, гранулометрический состав, водно-воздушный режим, кислотно-основные свойства.

Таким образом, применение фосфогипса увеличивало содержание в почве 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. Чтобы поддерживать содержание подвижной серы на достаточном для жизнеобеспечения растений уровне необходимо компенсировать естественные процессы выноса и вымывания питательных веществ, путем внесения минеральных серосодержащих удобрений.

5.1.5 Накопление в почве водорастворимого фтора при внесении фосфогипса

Фтор в повышенных дозах может оказывать токсическое действие на почву. Степень загрязнения почв фтором оценивается по водорастворимым формам, содержание которых не должно превышать предельно допустимой концентрации (ПДК) – 10 мг/кг почвы.

Содержание водорастворимых форм фтора тем выше, чем больше степень засоления почв. И это является усугубляющим фактором состояния площади посевов. Фтор влияет на метаболизм растений и способен вызывать снижение темпов поглощения кислорода, расстройства респираторной деятельности, снижение ассимиляции питательных веществ, уменьшение содержания хлорофилла, подавление синтеза крахмала и ингибировать ряд других процессов (Танделов, 2012).

Для оценки агроэкологического состояния чернозёма при использовании отходов промышленного производства всегда встает вопрос об уровне загрязнения различными веществами. Нами были дополнительно проведены исследования содержания водорастворимого фтора в чернозёме при использовании фосфогипса (таблица 5.12).

В первый год содержание водорастворимого фтора на вариантах с фосфогипсом составляло 0,125-0,203 мг/кг, что выше контрольного варианта в 1,29-2,09 раза. На второй год содержание фтора было на уровне контрольного варианта, такое снижение связано на наш взгляд как с подвижностью фтора, переходом в неактивные формы, за счет процессов адсорбции, миграции, а также накоплением и выносом его растениями (Якименко и др., 2020).

Таблица 5.12 – Содержание водорастворимого фтора, мг/кг (0-20 см)

Вариант	2012 г.		2013 г.	
	май	сентябрь	май	сентябрь
1 Контроль (без удобрений)	0,177 (до закладки опыта	0,097	0,144	0,095
2 Фосфогипс 0,5 т/га (Каратау)		0,203	0,122	0,109
3 Фосфогипс 1,0 т/га (Каратау)		0,154	0,122	0,091
4 Фосфогипс 1,0 т/га (Кольский п-в)		0,125	0,099	0,087
ПДК водорастворимого фтора	10,000			

Таким образом, в опыте при внесении фосфогипса в содержании фтора значительного увеличения не отмечалось, оно варьировало от 0,095 до 0,203 мг/кг и не превышало предельно допустимой концентрации.

5.2 Обеспеченность агроценозов элементами питания и их продуктивность

Сельскохозяйственные культуры в течение всей вегетации должны быть обеспечены в необходимых количествах питательными веществами и влагой (Милащенко, 1998; Сычёв, Кирпичников, 2009; Сычёв и др., 2012; Ерёмин, Моисеев, 2013; Абдулвалеев, Исмагилов, 2016; Добротворская и др., 2016). В зернопаровых севооборотах черный пар является гарантом оптимизации водно-физических свойств почвы и обеспеченности культурных растений нитратным азотом в системе земледелия. Волынкин В.И. и др. (1999), указывают на преимущество парового предшественника, где запас нитратного азота в слое 0-40 см в среднем был выше на 19,1 кг/га по сравнению с зерновой культурой.

Исследования показали, что перед посевом пшеницы в слое 0-20 см содержание $N\text{-}NO_3$ составляло 16,3 мг/кг, а запас элемента 35,8 кг/га, в слое 0-40 см – 57,6 кг/га. Содержание подвижного фосфора было среднее – 75 мг/кг почвы, калия – 133 мг/кг почвы (приложение 24).

Черноземные почвы на легких породах характеризуются высокой водопроницаемостью, низкими влагоемкостью и запасами продуктивной влаги. Это определяет дефицит их влажности и благоприятный воздушный режим. Водный режим этих почв зависит от количества выпавших осадков. Общий запас влаги в слое 0-100 см весной был 134,2 мм, при этом количество продуктивной влаги – 37,8 мм, по Вадюниной А.Ф. и Корчагиной З.А. (1986) запасы оценивались как очень плохие. Это связано, с тем, что в год парования участка осадков выпало ниже нормы, а ГТК составил 0,66. Содержание $N\text{-}NO_3$ в фазу колошения пшеницы было очень низким – 5,2 мг/кг, фосфора и калия соответственно – 70,9 мг/кг и 130,5 мг/кг почвы. Запас влаги снизился по всему профилю почвы до 109,3 мм, доступной влаги оставался на очень плохом уровне – 26,2 мм. Пройдя периоды

максимального потребления питательных веществ растениями содержание элементов в почве оставалось уже стабильным.

Под второй пшеницей после чистого пара содержание нитратного азота в почве было низким – 11,8 мг/кг почвы, запасы его в метровом слое составили 93,3 кг/га. Майские осадки превысили среднемноголетние значения в два раза, в результате чего запас общей влаги в слое 0-100 см достигал 161,2 мм, а доступной – 65,6 мм. В период фазы колошения (отбор 14 июля). К этому времени в течение всего июня шли проливные дожди (ГТК июля – 1,6), что дополнительно способствовало вымыванию нитратов в нижележащие горизонты, в двадцатисантиметровом слое запас нитратного азота составил 16,5 кг/га, количество влаги было максимальным – 141,0 мм. В фазу восковой спелости культуры в слое 0-40 см азота содержалось 7,2-7,8 мг/кг почвы.

Схожая динамика сохранялась и под ячменём. В начале вегетации содержание элементов в верхних слоях: $N\text{-}NO_3$ – 8,1 мг/кг, P_2O_5 – 74 мг/кг, K_2O – 133 мг/кг почвы. В фазу цветения ячменя запас азота по профилю снизился с 18,3 до 11,2 кг/га. После уборки культуры азота в верхнем слое оставалось также на низком уровне, как и в фазу цветения (4,9 мг/кг почвы).

Таким образом, наши 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 урожайность пшеницы при естественном плодородии составила 1,61-1,68 т/га. Во второй год весенние запасы азота были низкими, урожайность 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. Для получения устойчивых урожаев зерновых культур, создания бездефицитных условий фосфорного и калийного питания зерновых культур достаточно их вносить в количестве близком к выносу с урожаем.

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

Исследования показали, что в агроценозах Зауралья возрастает доля обменного водорода, повышаются показатели всех форм кислотности почвы. Наблюдается тенденция уменьшения емкости поглощения (таблица 5.13).

Таблица 5.13 – Влияние удобрений и мелиорантов на физико-химические свойства чернозёма выщелоченного, 0-25 см (2003 г.)

Вариант	Мг.-экв./ 100 г почвы				V, %
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^{+}	ЕКО	
1. Без удобрений (контроль)	19,3	5,0	3,93	28,3	86,1
2. $N_{175}P_{140}$	18,5	4,9	4,03	27,5	85,3
3. Навоз 40 т/га	20,0	5,4	3,48	28,9	88,0
4. Навоз + NP	19,0	5,2	3,53	27,8	87,3
r_{05} уравнение регрессии	–	–	-0,67; $H^{+}= -0,30Ca^{2+}+9,44$		
5. Известь 3 т/га – $фон_1$	24,9	6,6	2,15	33,7	93,6
6. $Фон_1$ + NP	23,7	6,3	2,59	32,6	92,1
7. $Фон_1$ + навоз 40 т/га	26,3	7,3	1,76	35,6	95,0
8. $Фон_1$ + навоз + NP	25,0	6,6	2,18	32,7	93,3
r_{05} уравнение регрессии	–	–	-0,99; $H^{+}= -0,32Ca^{2+}+10,11$		
9. Фосфоритная мука 1 т/га- $фон_2$	22,1	6,0	3,74	31,9	88,3
10. $Фон_2$ + NP	21,1	5,7	3,81	30,6	87,6
11. $Фон_2$ + навоз	23,7	6,4	3,18	33,3	90,4
12. $Фон_2$ + навоз + NP	22,7	6,2	3,29	32,2	89,8
r_{05} уравнение регрессии	–	–	-0,92; $H^{+}= -0,27Ca^{2+}+9,51$		
13. Гипс 3 т/га - $фон_3$	21,8	5,7	3,94	31,5	87,5
14. $Фон_3$ + NP	20,4	5,4	4,05	29,9	86,4
15. $Фон_3$ + навоз	22,1	6,1	3,47	31,7	89,0
16. $Фон_3$ + навоз + NP	20,6	5,6	3,54	29,8	88,1
r_{05} уравнение регрессии	–	–	-0,34; $H^{+}= -0,12Ca^{2+}+6,22$		

Применение навоза увеличило ёмкость катионного обмена до 28,9 мг.-экв./100 г почвы, а извести – до 33,7 мг.-экв./100 г почвы. В процессе растворения извести в почвенном растворе появляющиеся карбонат-ионы подвергаются гидролизу с образованием гидроксил- и бикарбонат-ионов (Надежкин и др., 2006).

Ионы OH^- нейтрализуют обменную кислотность и связывают H^+ слабых кислотных групп ППК, противоионами нейтрализованных кислотных групп ППК становятся ионы кальция (Мерзлая, 2002; 2011; Ломако и др., 2007). Известковый материал более активно насыщал ППК обменным кальцием, где происходило увеличение его содержания на 5,7 мг.-экв./100 г почвы, совместно с навозом – на 7,0 мг.-экв./100 г почвы, степень насыщенности основаниями составила в конце ротации соответственно 93,6 % и 95,0 %.

В опыте 5 с использованием сапропелей на варианте без удобрений сумма обменных катионов кальция и магния на контроле составила 16,3 мг.-экв./100 г почвы (таблица 5.14, приложение 86).

Таблица 5.14 – Влияние извести и удобрений на состав ППК чернозёма выщелоченного (2016 г.)

Вариант	Мг.-экв./100 г почвы				V, %
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^+	ЕКО	
1. Без удобрений (контроль)	11,5	4,8	3,82	20,1	81,1
2. Сапропель 1, 20 т/га	12,0	5,2	3,85	21,1	81,5
3. Сапропель 2, 20 т/га	11,9	5,1	4,17	21,2	80,2
4. $N_{30}P_{30}$	11,2	4,5	4,30	20,0	78,5
5. $N_{30}P_{30}$ + сапропель 1, 20 т/га	12,0	4,8	4,19	21,0	80,0
6. $N_{30}P_{30}$ + сапропель 2, 20 т/га	11,7	4,5	4,41	20,6	78,6
7. Известь, 2 т/га - фон	13,4	5,3	3,31	22,0	85,0
8. Фон + сапропель 1, 20 т/га	14,4	5,1	2,62	22,1	88,2
9. Фон + сапропель 2, 20 т/га	13,7	4,9	3,32	21,9	84,9
10 Фон + $N_{30}P_{30}$	12,8	4,8	3,04	20,6	85,4
11. Фон + $N_{30}P_{30}$ + сапропель 1, 20 т/га	13,9	5,2	3,07	22,2	86,4
12. Фон + $N_{30}P_{30}$ + сапропель 2, 20 т/га	13,5	5,1	3,55	22,2	83,8
$НСР_{05}$	0,3	0,1	0,12	-	-

Внесение азотного и фосфорного удобрений снижало показатель степени насыщенности основаниями на 2,6 %. Применение мелиоранта в норме 2 т/га насыщало ППК катионом кальция к концу ротации на 1,9 мг.-экв. /100 г почвы, на фоне сапропелей – на 2,2-2,9 мг.-экв./100 г почвы.

В опыте с минеральными удобрениями ёмкость катионного обмена на варианте без применения удобрений составила 24,6 мг.-экв. /100 г почвы. Увеличение хозяйственного выноса культурами снизилось содержание кальция в ППК на 0,3 мг.-экв. /100 г почвы (таблица 5.15, приложение 25). Полученные в опыте экспериментальные данные подтвердили имеющиеся в литературе сведения о том, что минеральные удобрения способствуют вытеснению кальция из почвенного поглощающего комплекса в раствор увеличивая его подвижность.

Таблица 5.15 – Влияние минеральных удобрений на состав ППК и свойства чернозёма выщелоченного, 0-25 см (ячмень, 2016 г.)

Вариант	Мг.-экв./100 г почвы				V, %
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^{+}	ЕКО	
1 Контроль (без удобрений)	14,4	4,8	5,4	24,6	78,0
2. P_{40}	14,2	4,9	5,5	24,6	77,6
3. P_{80}	14,2	4,9	5,5	24,6	77,6
4. $N_{40}K_{40}$	14,1	4,9	5,6	24,6	77,2
5. $N_{40}P_{40}K_{40}$	14,1	4,8	5,6	24,5	77,1
6. $N_{40}P_{80}K_{40}$	14,1	4,8	5,6	24,5	77,1
$НСР_{05}$	0,2	0,1	0,1	-	-

Исследования физико-химических свойств чернозёма в зернопаровых севооборотах показали, что применение минеральных удобрений приводило к снижению емкости поглощения на 0,1-0,8 мг.-экв. /100 г почвы, степени насыщенности основаниями – на 0,8-2,6%. Совместное внесение органических удобрений и мелиорантов способствовало стабилизации состава почвенного поглощающего комплекса чернозёма. Насыщение ППК кальцием увеличивало ёмкость поглощения на 2,2-7,3 мг.-экв. /100 г почвы, степень насыщенности основаниями возрастала на 2,9-8,9 %.

5.4 Агрохимические приемы снижения кислотности чернозёма

Значительными недостатками большинства минеральных удобрений является присутствие остаточной кислоты вследствие технологии их производства; физиологическая кислотность, образующаяся в результате преимущественного

использования растениями из удобрений катионов или анионов (Державин, 1992; Духанин и др., 2005; Дёмина, Еремин, 2021).

Негативные изменения реакции почвенного раствора при применении минеральных удобрений подтвердились и в наших исследованиях. От азотно-фосфорных удобрений показатель снизился с 6,07 до 5,96 ед. (Плотников, 2018) (таблица 5.16).

Для решения проблемы дальнейшего подкисления чернозёма проводилось известкование. Наибольший эффект нейтрализации достигнут при совместном применении извести с органическим удобрением – снижение актуальной кислотности до значений 7,02 ед.

Снижение всех форм кислотности на 1,7-18,4 % при применении навоза и соломы в зернопропашном севообороте на чернозёме выщелоченном отмечает в своей работе Кильдюшкин В.М. и др. (2022).

Таблица 5.16 – Влияние удобрений на кислотность чернозёма выщелоченного, опыт 1 (2003 г.)

Вариант	Фон				Среднее значение
	Без фона	Известь, 3 т/га	Фосфоритная мука, 1 т/га	Гипс, 3 т/га	
Актуальная кислотность, pHводн					
1. Без удобрений (контроль)	6,07	6,48	6,26	6,08	6,22
2. $N_{175}P_{140}$	5,96	6,40	6,18	5,97	6,13
3. Навоз 40 т/га	6,15	7,02	6,38	6,14	6,42
4. Навоз + NP	6,09	6,87	6,30	6,07	6,33
Среднее значение	6,07	6,69	6,28	6,07	–
$НСР_{05}$ – 0,19					
Обменная кислотность, pHсол					
1. Без удобрений (контроль)	5,29	5,75	5,42	5,28	5,44
2. $N_{175}P_{140}$	5,22	5,59	5,30	5,22	5,33
3. Навоз 40 т/га	5,45	6,10	5,57	5,46	5,65
4. Навоз + NP	5,38	6,00	5,49	5,35	5,56
Среднее значение	5,34	5,86	5,45	5,33	–
$НСР_{05}$ – 0,11					

Обменная кислотность (pHсол) при закладке опыта составила 5,36 ед, известкование почвы с применением навоза снижала кислотность до 5,81 ед. Максимальный эффект нейтрализации избыточной кислотности сохранялся в течение

3-х лет и отмечен на варианте последействия извести и навоза (6,10 ед.), где сдвиг pH составил 0,81 ед., при $НСР_{05}$ – 0,11 ед.

Независимо от применяемых сочетаний органических и минеральных удобрений известкование чернозёма в дозе 3 т/га снижало актуальную кислотность на 0,62 ед. (от 1 тонны извести сдвиг составил 0,21 ед.), обменную на 0,52 (сдвиг от 1 тонны извести – 0,17 ед.).

Негативные процессы подкисления чернозёма отмечались в опыте с применением фосфогипса и различных норм минеральных удобрений, которые увеличивали все формы кислотности. Актуальная кислотность наиболее сильно проявилась на фоне фосфогипса с азотным удобрением (таблица 5.17).

Таблица 5.17 – Кислотность чернозёма выщелоченного при использовании фосфогипса и минеральных удобрений (2014 г.)

Вариант	Нг, мг.-экв. /100 г почвы	pH	
		водн	сол
1. Контроль (без удобрений)	3,76	6,22	5,62
2. N_{40}	4,20	6,20	5,53
3. N_{80}	4,40	6,16	5,50
4. P_{40} (в запас на 3 года всего P_{120})	3,96	6,26	5,60
5. $N_{40}P_{40}$	4,10	6,21	5,53
6. $N_{80}P_{40}$	4,33	6,14	5,47
7. Фосфогипс 0,5 т/га – фон 1	3,90	6,22	5,54
8. Фон 1 +N_{40}	4,18	6,13	5,53
9. Фон 1 +N_{80}	4,50	6,12	5,50
10. Фон 1 +P_{40}	4,17	6,24	5,53
11. Фон 1 +$N_{40}P_{40}$	4,38	6,20	5,48
12. Фон 1 +$N_{80}P_{40}$	4,37	6,16	5,45
13. Фосфогипс 1,0 т/га – фон 2	3,92	6,23	5,52
14. Фон 2 +N_{40}	3,92	6,11	5,54
15. Фон 2 +N_{80}	4,47	6,04	5,46
16. Фон 2 +P_{40}	4,17	6,12	5,52
17. Фон 2 +$N_{40}P_{40}$	4,38	6,10	5,52
18. Фон 2 +$N_{80}P_{40}$	4,46	6,05	5,55
19. Фосфогипс 1,0 т/га (Кол. пол-в)	4,87	6,19	5,46
$НСР_{05}$	0,21	0,12	0,10

Внесение аммиачной селитры в дозе N_{80} снижало значение актуальной кислотности с 6,22 до 6,04 ед. ($НСР_{05}$ – 0,12) Увеличение обменной кислотности по опыту составило 0,02-0,17 при $НСР_{05}$ – 0,10, наиболее сильное подкисление отме-

чено на вариантах применения фосфогипса и минеральных удобрений в дозе $N_{80}P_{40}$ (pH – 5,45 ед.).

Водородные ионы, получающиеся из угольной кислоты, выделяемой корнями, обмениваются в почве с основаниями. Это отражалось при ежегодном применение азотного удобрения в повышении гидролитической кислотности (Нг) чернозёма. Наибольшее увеличение гидролитической кислотности наблюдалось на варианте с N_{80} – 0,64 мг.-экв. / 100 г почвы ($НСР_{05}$ – 0,21), на фоне фосфогипса – 0,70 мг.-экв. / 100 г почвы.

Возделывание зерновых культур с минеральными удобрениями на чернозёме приводит к увеличению доли обменного водорода, повышается кислотность почвы, что имеет подтверждение в работах Шильникова И.А. (1998, 2008, 2013) и других ученых.

Для решения проблемы подкисления почвы в наших исследованиях были использованы местные источники органических удобрений – озерные сапропели из Курганской и Свердловской областей. Полевые опыты показали, что применение в зернопаровом севообороте сапропеля носило комплексный положительный характер, так как сапропель представляет собой органо-минеральный комплекс веществ с большим разнообразием биологически активных веществ. Минеральная составляющая представлена набором минералов – кварц, полевые шпаты, мусковит, биотит, кальцит. При дополнительном известковании чернозёма усиливался нейтрализующий эффект кислотности почвы. На варианте без удобрений гидролитическая кислотность была 3,82 мг.-экв. /100 г почвы, а ввиду того, что значение pH сапропеля 2 составляло 4,4, наблюдалось дальнейшее её увеличение – до 4,17 мг.-экв. /100 г почвы. Снижение гидролитической кислотности на 1,20 мг.-экв./100 г почвы наиболее сильно проявилось под влиянием сапропеля 1 с известью до 2,62 мг.-экв./100 г почвы. Основой такого снижения послужило наличие в сапропеле оксида кальция (CaO – 47,8 %) и pH – 7,76 (таблица 5.18).

Актуальная кислотность на варианте без применения удобрений составила 6,38, от удобрений снизилась до 6,23. Наиболее сильное влияние на реакцию среды оказало использование извести совместно с сапропелем и повысило значение пока-

зателя до 6,74-6,98 ед. Обменная кислотность на варианте без применения удобрений составила 5,21 ед., с внесением $N_{30}P_{30}$ она повысилась до 5,14 ед. известкование чернозёма приводило к снижению обменной кислотности до величины 5,52 ед., на фоне сапропеля 1 до 6,00 ед.

Таблица 5.18 – Влияние извести, сапропелей и минеральных удобрений на кислотность чернозёма выщелоченного (2016 г.)

Вариант	Нг, мг.-экв. /100 г почвы		pH			
			водн		сол	
	без извести	известь, 2 т/га	без извести	известь, 2 т/га	без извести	известь, 2 т/га
1. Без удобрений (контроль)	3,82	3,31	6,38	6,54	5,21	5,52
2. Сапропель 1, 20 т/га	3,85	2,62	6,36	6,98	5,24	6,00
3. Сапропель 2, 20 т/га	4,17	3,32	6,26	6,74	5,14	5,54
4. $N_{30}P_{30}$	4,30	3,04	6,23	6,92	5,06	5,45
5. $N_{30}P_{30}$ + сапропель 1, 20 т/га	4,19	3,07	6,18	6,70	5,09	5,65
6. $N_{30}P_{30}$ + сапропель 2, 20 т/га	4,41	3,55	6,05	6,58	4,96	5,42
Среднее значение	4,12	3,15	6,24	6,74	5,12	5,60
$НСР_{05}$	0,12		0,09		0,07	

Химическая мелиорация чернозёма снижала по фону гидролитическую кислотность с 4,12 до 3,15 мг.-экв. /100 г почв, актуальную – на 0,5 ед., обменную на 0,48 ед (от 1 тонны извести сдвиг pH составил соответственно на 0,25 и 0,24 ед.).

Как и в других исследованиях, на чернозёме применение минеральных удобрений оказывало подкисляющий эффект (опыт 6, рисунок 5.3). Реакция почвенного раствора в опыте с минеральными удобрениями на контроле составила 5,75 ед., под влиянием фосфорного удобрения – 5,80 ед ($НСР_{05}$ – 0,08).

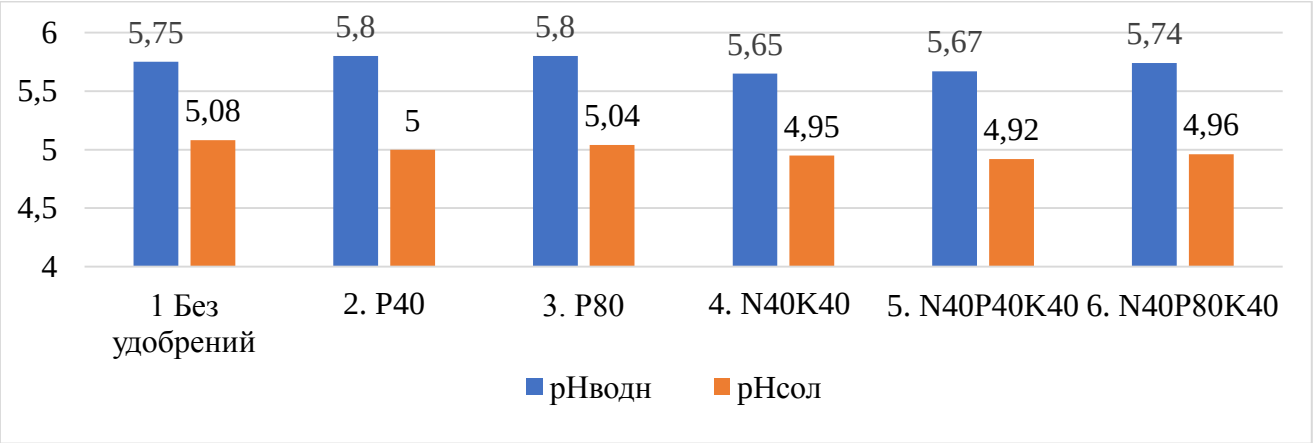


Рисунок 5.3 – Влияние удобрений на актуальную и обменную кислотность чернозёма выщелоченного, 0-25 см (2016 г.)

От ежегодного внесения $N_{40}P_{40}$ показатель pHводн. снизился до 5,65 ед. Обменная кислотность (pHсол.) на контроле составила 5,08 ед, на варианте применения комплексного минерального удобрения ($N_{40}P_{40}K_{40}$) – 4,92 ед ($НСР_{05}$ – 0,07). Оптимальная реакция почвенного раствора и насыщенность ППК основаниями являются обязательными условиями современных систем земледелия, в которых постоянно идет объективный процесс обеднения почвы основаниями вследствие их выноса с урожаем культур.

Исследования показали, что направленное воздействие химическими мелиорантами и органическими удобрениями на почвенный покров способствует комплексному положительному изменению его кислотности. Эффект по снижению избыточной кислотности достигался 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. Известкование чернозёма (из расчёта 1 т извести) за трехлетний период снижало актуальную кислотность на 0,21-0,25, обменную на – 0,17-0,24 ед.

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

При ухудшении физико-химических свойств, структурно-агрегатного состава, гумусного состояния чернозёмов в зернопаровых севооборотах необходима разработка дополнительных технологических приемов – не только применения кальцийсодержащих соединений для насыщения ППК кальцием и снижения избыточной кислотности, но и обработки почвы, введения в структуру посевных площадей многолетних трав.

Обработка почвы выполняет большое количество задач: это оструктуривание пахотного слоя почвы, в том числе вследствие улучшения ее водно-физических свойств, регулирование интенсивности микробиологических процессов, создание условий для увеличения мощности пахотного слоя почвы и др. (Баздырев, 2008; Поляков, 2021; Гармашов, 2022).

Многолетние наблюдения (55 лет) показывают, что в составе ППК на участках с отвальной и безотвальной обработками почвы происходит, снижение суммы обменных катионов кальция и магния. С 1967 года более интенсивное ухудшение физико-химических свойств чернозёма наблюдается с применением отвальной обработки, где снижение суммы обменных оснований составило 32,7 %, тогда, как на участках с без отвальной обработкой 25,3 % (таблица 5.19, приложение 2).

Таблица 5.19 –Динамика суммы обменных оснований в северо-западной зоне при разных способах обработки чернозёма выщелоченного тяжелосуглинистого

Способ обработки почвы	Сумма обменных оснований, мг.-экв. / 100 г почвы			
	1967 г.	2008 г.	2022 г.	изменение показателя за 55 лет наблюдений
Отвальная	26,9	18,4±0,7	18,1±0,8	-8,8 (32,7 %)
Безотвальная		20,2±0,7	20,1±1,1	-6,8 (25,3 %)

При определении обменной и актуальной кислотности наибольшее ухудшение показателей отмечается также на отвальной обработке. За 14 лет на участке с применением в севообороте отвальной обработки незначительно происходило увеличение обменной кислотности с 5,0 до 4,92 ед., тогда как с безотвальной обработкой кислотность оставалась на том же уровне (рисунок 5.4, приложения 5, 6).

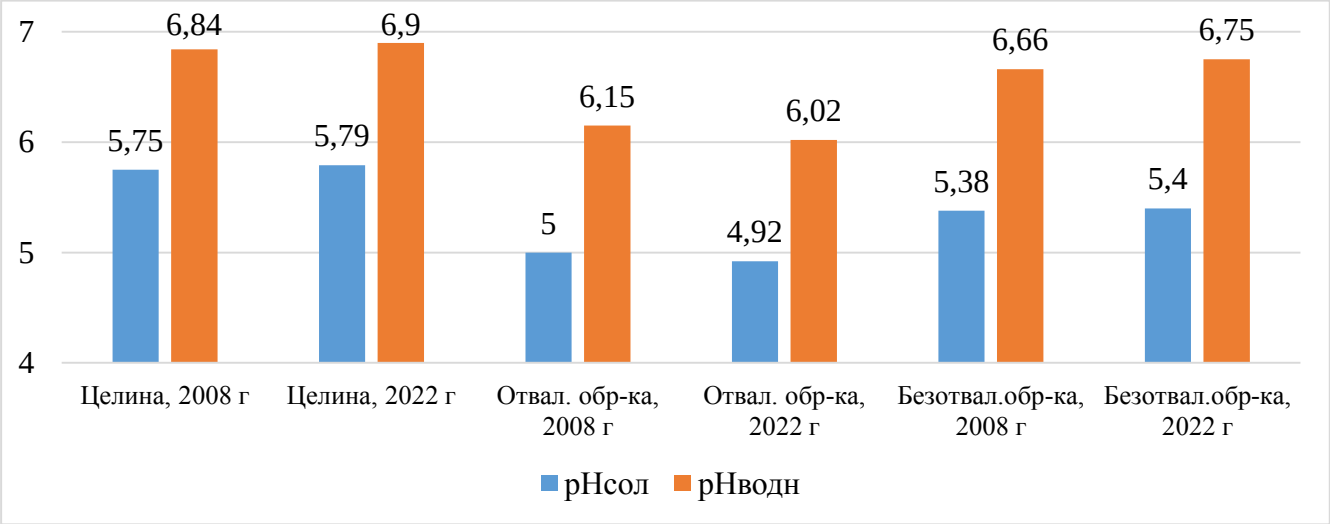


Рисунок 5.4 – Актуальная и обменная формы кислотности выщелоченного чернозёма в горизонте А (Апах) (северо-западная зона)

Снижение связано, с тем, что при отвальной обработке активно идут процессы минерализации органического вещества, которые влияют на буферные свойства чернозёма. Относительно целинного участка снижение показателей составило 0,87 и 0,39 ед. соответственно. При использовании безотвальной обработки показатели форм кислотности были близки к целинному участку.

В южной зоне, прослеживалась такая же динамика, как и в других зонах – ухудшение агрохимических показателей чернозёма при возделывании зерновых культур. Разница в показателях обменной кислотности составляла 0,5 ед., гидролитической – 1,0 мг.-экв. /100 г почвы (рисунок 5.5). Многолетние травы способствуют накоплению пожнивно-корневых остатков, элементов питания, улучшают процессы гумусообразования. Также корневая система, которая уходит глубоко в почву извлекает из слоев и переносит в верхние горизонты питательные вещества, одним из которых является кальций. Накопление кальция способствовало снижению кислотности чернозёма, кроме того, для южной агроклиматической зоны многолетние травы являются важным и необходимым средством в комплексе мероприятий по защите от дефляции.

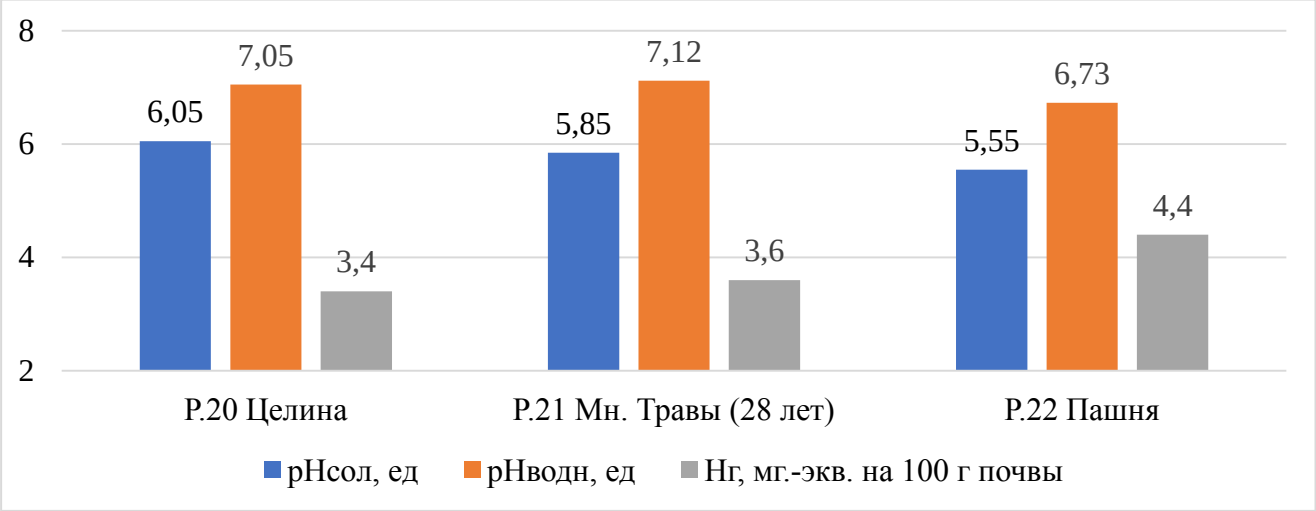


Рисунок 5.5 – Кислотность выщелоченного чернозёма при различных уровнях антропогенной нагрузки в горизонте А (Апах) (южная зона, 2022 г.)

Оценивая роль обработки почвы на режим органического вещества в чернозёме, многие ученые склонны считать, что при сокращении количества отвальной вспашки почвенные характеристики приближаются к тем, которые были до начала обработки, что ведет к накоплению органического вещества. Однако достичь пер-

воначального уровня гумуса без внесения удобрений не удается, поскольку поступление в почву пожнивно-корневых остатков от сельскохозяйственных культур значительно отличается от того, которое происходило в целинных почвах. Эти доводы подтверждаются работами Егорова В.П. (1980), Гришиной Л.А. (1986), Безугловой О.С. (2001), Волынкиной О.В. (2015, 2017) и др.

На чернозёме выщелоченном тяжелосуглинистом Шадринской ОС в исследованиях 2022 года содержание гумуса в чернозёмах снижалось относительно исследований 2008 г. 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% за тридцатилетний период. При безотвальной обработке, происходило снижение содержания гумуса до уровня 5,21 %.

Слюсарев В.Н. и др. (2022) оценивая современное гумусное состояние чернозёма выщелоченного при различных системах обработки, применении удобрений, установили, что внесение высоких доз органических удобрений способствовало улучшению агрофизических и физико-химических свойств чернозёма. Интенсификация технологий в севообороте с использованием безотвальной обработки улучшало гумусное состояние чернозёма по сравнению с отвальной обработкой.

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 гумуса на 2,87 % (снижение в относительном выражении 35,5 %). При этом ежегодные потери содержания гумуса составляли соответственно 0,053–0,064 %. Одной из причин такого падения содержания гумуса может быть минерализация, которая связана с проводившимися в 60-80 годы прошлого столетия частыми интенсивными обработками почвы, для создания менее засоренного состояния посевов (таблица 5.20).

Дальнейшая интенсификация земледелия без изменения факторов, определяющих баланс гумуса, усугубляла проблему плодородия почв и, соответственно, продуктивности земель.

Таблица 5.20 – Содержание гумуса на различных агрофонах в слое 0-20 см, %.

Местонахождение (разрезы)	Годы	Угодье	
		целина	пашня
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (отвальная/безотвальная обработка) (северо-западная зона (Р. 13, Р.15, Р.16)	1968	–	8,08
	1992	–	5,58/ 7,40
	2008	8,98±0,28	4,76±0,14/5,30±0,13
	2022	8,95±0,36	4,65±0,09/5,21±0,10
Чернозём выщелоченный среднесуглинистый (многолетние травы, 28 лет)/ пашня) (южная зона (Р.20, Р.21, Р.22)	1975	-	5,45
	2009	6,00±0,25	3,82±0,13/3,52±0,07
	2022	6,10±0,23	3,96±0,15/3,46±0,07

Замена вспашки безотвальной обработкой приводит к снижению темпов минерализации и потерь гумуса. Гамзиков Г.П. (1981) объясняет это тем, что преобладающая фракция органического вещества почвы при минимальных обработках – менее подвижные гуминовые соединения, прочно связанные с кальцием и полуторными окислами.

Один из способов замедления минерализации и усиления гумификации вносимого органического вещества в качестве закрепителей гумуса – применение органоминеральной системы удобрения с использованием кальцийсодержащих соединений, так как синтез наиболее ценных гуматов кальция сдерживается еще и недостатком катиона кальция в поглощающем комплексе и почвенном растворе.

Повышение интенсивности земледелия, влечет за собой увеличение потребности как в управляющих, так и компенсирующих материальных и энергетических потоках. Составляющие гумусового баланса почв имеют в своей основе как биохимическую, так и миграционную природу. Расходные статьи баланса гумуса представлены его минерализацией, поверхностным выносом в составе тонкодисперсных частиц почвы при водной эрозии и выносом гумусовых веществ в результате вертикальной миграции. Приходные статьи баланса представлены в основном включением продуктов трансформации поступающих органических веществ (растительные остатки и удобрения) в гумусовые вещества. В зависимости от конкретных почвенно-климатических условий, рельефа и хозяйственных факторов изменя-

ется как соотношение, так и интенсивность процессов, определяющих направленность и динамику изменений в содержании и запасах гумуса в почвах.

В целом содержание и запасы гумуса в генетически сопряженном ряду почв определяется климатическими факторами, гранулометрическим и минералогическим составом почвообразующих пород, количеством и качеством поступающих органических веществ. Изменение режимов функционирования почв и изменения гумусного состояния при сельскохозяйственном использовании происходит под влиянием структуры посевных площадей (севооборота), применения органических и минеральных удобрений и обработки почв (Балабанова, и др., 2023).

Определение коэффициента структурности чернозёма в северо-западной зоне показало, что на пашне он составил 0,92, и с целинным участком отмечалась 3-хкратная разница. При использовании безотвальной обработки и как следствие снижения интенсивности разрушающего действия на пахотный слой сельскохозяйственной техники, наблюдалось накопление агрономически ценных агрегатов, где коэффициент структурности составил 1,78. В южной зоне на среднесуглинистом чернозёме с многолетними травами при увеличении массы корневой системы происходило восстановление структуры почвы ($К_{СТР}$ – 2,8) (таблица 5.21).

Таблица 5.21 – Структурно-агрегатный состав чернозёма выщелоченного лесостепного Зауралья (2022 г.)

Агроклиматическая зона	Агрофон	Содержание агрегатов, % к массе воздушно-сухой почвы			$К_{СТР}$
		>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 Многолетние травы, 28 лет	22,5	73,7	3,8	2,80
	Р.22 Пашня	31,9	63,6	4,5	1,75

Ухудшение структуры при механических обработках почв влечет за собой уменьшение их водопроницаемости и, развитие процессов водной эрозии. Оценка водопрочности агрегатов чернозёма (Шадринской ОС), показала, что происходи-

ло увеличение пылеватых фракций с 32,1% на целине до 64,9% на пашне с применением отвальной обработки. Применение же безотвальной обработки оказало щадящий эффект на верхний пахотный горизонт, количество пылеватых частиц при мокром просеивании составило 45,8%, в подпахотном горизонте отмечалось некоторое их увеличение. По мнению Холодова В.А. и Ярославцевой Н.В. (2021) размеры агрегатов также зависят от характеристик органического вещества.

Наибольшая плотность сложения чернозёма была в пахотном слое при применении отвальной обработки (1,34-1,38 г/см^3), и в горизонте АВ на глубине 30-40 см – плотность сложения составила 1,42 г/см^3. При безотвальной обработке почва менее уплотнена – 1,30-1,32 г/см^3. При распашке почвы без дополнительных мероприятий происходило также ухудшение ее общей пористости, которая напрямую связана с плотностью сложения. Наибольшее снижение показателя произошло при применении отвальной обработки на 11,8 %, тогда как при безотвальной обработке – на 8,8%. При повторном обследовании чернозёма тяжелосуглинистого в 2022 году общая пористость на целине составила 56,5 %, а разница с пахотными участками составила соответственно 11,7 % и 7,5 % (рисунок 5.6).

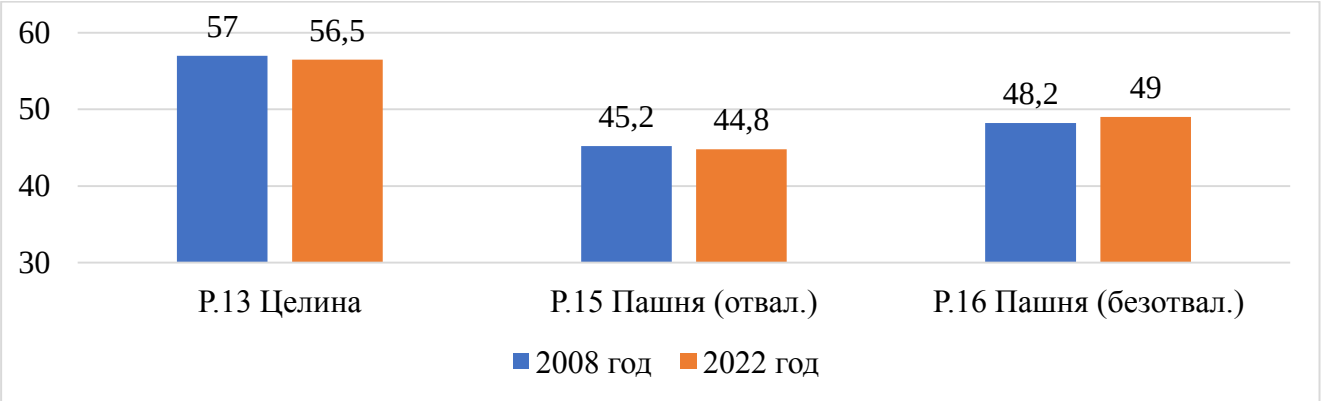


Рисунок 5.6 – Общая пористость чернозёма выщелоченного при разных обработках почвы в слое 0-25 см, % (северо-западная зона, Шадринская ОС)

Восстановление и сохранение структуры почв в условиях сельскохозяйственного использования осуществляется и агротехническими методами. В наших исследованиях установлено, 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 безотвального способа обработки почвы и посев многолетних культур.

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

Одним из направлений улучшения свойств почвы, стабилизации их плодородия и обеспечения наибольшего положительного эффекта увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур в севообороте служат органические удобрения (Асылбаев и др., 2018; Чекаев, Леснов, 2020). Рассмотрены изменения агрофизических свойств чернозёма выщелоченного легкосуглинистого при применении в зернопаровых севооборотах различных видов органических удобрений (таблица 5.22).

Таблица 5.22 – Изменение агрофизических свойств чернозёма выщелоченного при применении органических удобрений в зернопаровых севооборотах лесостепного Зауралья

Центральная зона	Плотность сложения, г/см^3		Общая пористость, %	
	среднее за севооборот	отклонение	среднее за севооборот	отклонение
1. Без удобрений (контроль)	1,17±0,06	–	55,6	–
продуктивность на контроле 1,79 т/га				
2. Навоз, 40 т/га	1,07±0,03	0,10	59,0	3,4
3. Солома, 5 т/га	1,15±0,05	0,02	55,9	0,3
4. Сидераты	1,10±0,04	0,07	57,9	2,3
Коэффициент корреляции с урожайностью культур	-0,95		0,98	
продуктивность на контроле 1,75 т/га				
5. Сапропель 20 т/га (1)	1,11±0,04	0,06	57,5	1,9
6. Сапропель 20 т/га (2)	1,13±0,04	0,04	56,7	1,1
Коэффициент корреляции с урожайностью культур	-0,93		0,96	
продуктивность на контроле 1,48 т/га				
7. ГП, 5 т/га	1,16±0,05	0,01	55,6	–
8. ГП, 10 т/га	1,14±0,04	0,03	56,3	0,7
Коэффициент корреляции с урожайностью культур	-0,90		0,71	

Применение органических удобрений снижало плотность сложения (равновесной для типа почвы) на всех вариантах полевых опытов, при том, что плотность твердой фазы является константой, следовательно происходило увеличение общей пористости чернозёма. Исследования показали, что использование навоза полупе-

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

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. Вследствие этого повышение продуктивности исследуемых почв в первую очередь связано с внедрением комплекса мероприятий, направленных на создание и сохранение в них агрономически ценной структуры.

Оценка агрегатного состава чернозёма показала, что содержание агрегатов размерами <10…>0,25 мм составило в пахотном горизонте 60,5% (таблица 4.4). На фоне навоза происходило наибольшее увеличение агрономически ценных агрегатов – до 71,6 %, при этом количество фракции 3-2 и 2-1 мм увеличились соответственно на 3,3 и 3,8 %. В то же время происходило снижение содержания глыбистой и пылеватой 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 структурности – 1,73-2,01 (рисунок 5.7, приложение 26).

В первую очередь улучшение агрофизических свойств чернозёма при применении органических удобрений связано с изменением качественного состава гумуса (Безуглова, 2001; Ерёмин и др., 2009). Увеличение содержания гуминовых кислот оказывает положительное влияние на физические и сорбционные свойства почв, а гуминовые кислоты вместе с кальцием образуют нерастворимые в воде гуматы кальция, которые участвуют в создании водопрочной структуры (Муха и др., 2003; Галеева, 2012).

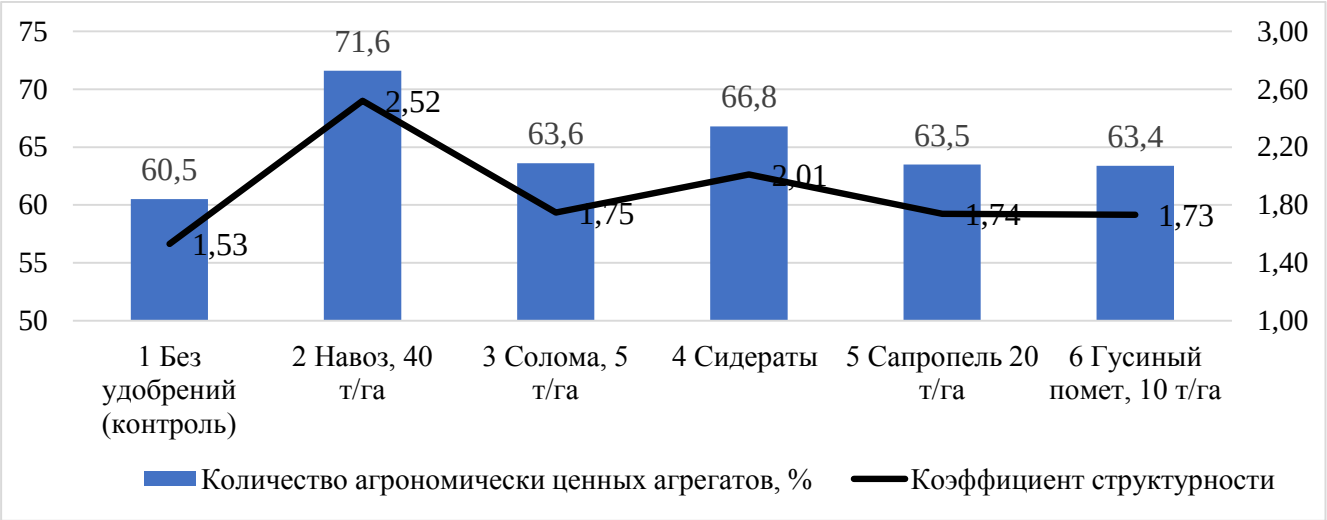


Рисунок 5.7 – Изменение структурно-агрегатного состава чернозёма выщелоченного при использовании органических удобрений

На 2006 год сокращение поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах составило по сравнению с восьмидесятыми годами прошлого столетия 5,4 раза. По данным Росстата, в 2020 году в хозяйствах всех категорий насчитывалось 121 тысяча голов КРС и на один гектар посевной площади сейчас приходится 0,2–0,25 т/га (Курганская область в цифрах…, 2008).

Увеличение доли чистого пара в севооборотах приводит усилению процессы минерализации, эрозии и дефляции, что приводит к снижению содержания гумуса. Занимающие ведущее место в земледелии Зауралья зернопаровые севообороты требуют особого внимания с позиции сохранения почвенного плодородия (Гилев, 2017).

Наиболее распространенные расчетные методы оценки гумусного баланса дают возможность лишь ориентировочно судить о направленности и интенсивности изменений в запасах гумуса во времени, так как используемые нормативные показатели усреднены. Но эти методы оперативны и доступны в производственных условиях, позволяют рассчитать баланс гумуса для любого массива (например севооборота, отдельного поля за год).

Гумификация растительных остатков и минерализация гумуса являются наиболее узким местом в процессах трансформации органического вещества в почве. Общая скорость определяется этими двумя наиболее медленными звеньями и это дает возможность управлять поведением всех сопряженных процессов

трансформации органического вещества в почве. Скорость превращения различных соединений, составляющих растительные остатки, определяется их составом и свойствами, деятельностью различных организмов, ферментов и абиотических факторов. Основной приходной статьей гумусового баланса в пахотных почвах является синтез его из продуктов трансформации пожнивно-корневых остатков возделываемых культур и вносимых органических удобрений.

В наших расчетах количество гумуса синтезированного на варианте без удобрений составило 0,89 т/га, на вариантах с удобрениями, где урожайность была выше (0,04-0,54 т/га) – 0,88-0,97 т/га (таблица 5.23).

Таблица 5.23 – Баланс гумуса и уровень его компенсация при применении различных видов органических удобрений

Центральная агроклиматическая зона	Гумус синтезированный, т/га		Баланс гумуса в севообороте, т/га	Уровень компенсации, используемых норм удобрений, %	Нормы удобрений для создания бездефицитного баланса гумуса, т/га
	за севооборот	среднее за год			
1. Без удобрений (контроль)	0,89	0,22	-3,60	–	–
2. Навоз, 40 т/га	0,96	0,24	-3,52	113,6	35-40
3. Солома, 5 т/га	0,88	0,22	-3,60	42,0	11-12
4. Сидераты	0,95	0,24	-3,54	57,5	60-70
5. Сапропель 20 т/га	0,97	0,24	-3,51	81,6	24-28

Расчеты показали, что в агроценозах Зауралья складывается отрицательный баланс гумуса в зернопаровых севооборотах. Величина минерализованного гумуса составила в паровом участке 2,14 т/га, а под зерновыми культурами севооборота – 2,34 т/га (0,78 т/га ежегодно). На запланированный гумусовый режим одновременно вычисляли норму внесения органических удобрений.

В современных производственных условиях для создания бездефицитного баланса гумуса рекомендуется использовать за ротацию зернопаровых севооборотов органические удобрения в следующих количествах:

– навоз полуперепревший, при 50-52% влажности – 35-40 т/га;

– солому зерновых культур, при 15 % влажности – 11-12 т/га;

– сидераты, масса при 75 % – 60-70 т/га;

– сапропель при 50 % влажности – 24-28 т/га.

Для стабилизации плодородия слабогумусированных чернозёмов необходимо создавать в пахотном слое бездефицитный баланс гумуса. Это достигается при ежегодном внесении навоза полуперепревшего в нормах 8-10 т/га для зерновых культур. Для повышения содержания гумуса в почве на 1 % необходимо внести 300-350 т/га органического удобрения. Обобщение многолетних данных исследовательских материалов Егорова В.П. и Кривонос Л.А. (1990) позволило объективно выделить уровни плодородия по гумусовому состоянию пахотных чернозёмов в сопоставлении со средней многолетней урожайностью зерновых культур (таблица 5.24, 5.25, 5.26)

Таблица 5.24 – Параметры гумусового состояния пахотного слоя чернозёма

Уровень плодородия чернозёма	Содержание и запасы гумуса				Средняя урожайность, т/га
	легкосуглинистый гранулометрический состав		средне- и тяжелосуглинистый гранулометрический состав		
	%	т/га	%	т/га	
Очень низкий	< 3,3	< 101	< 3,1	< 95	< 1,0
Низкий	3,3-4,9	101-150	3,1-4,7	95-144	1,0-1,5
Средний	4,9-6,7	150-205	4,7-6,6	144-202	1,5-2,5
Повышенный	> 6,7	> 205	> 6,6	>202	> 2,5
Высокий (для окультуренных)	> 7,1	> 217	–	–	3,0-4,0

Для оценки потенциальной продуктивности чернозёма легкосуглинистого нами предложена формула 2, с учетом процессов дегумификации (Плотников и др., 2015):

$$У=0,45\ (Г-а\cdot в)-0,45 \quad (2)$$

где, У - средняя урожайность зерновых культур, т/га;

Г - исходное содержание гумуса, %;

а – ежегодное снижение содержания гумуса при возделывании культур, %;

в – расчетное время для прогнозирования, лет (таблица 48, 49);

Расчет потерь продуктивности пашни основан на сравнении урожайностей до начала и после окончания деструктивного процесса (3):

$$У_{\Delta}=0,45\ (Г_1-Г_2) \quad (3)$$

где, $У_{\Delta}$ *– снижение урожайности зерновых культур, т/га;*

$Г_1$ *- исходное содержание гумуса, %;* $Г_2$ *- конечное содержание гумуса, %.*

Для чернозёма среднесуглинистого состава оценка продуктивности пахотных угодий имеет вид (4):

$$У=0,46\ (Г-а\cdot в)-0,60 \quad (4)$$

Оценить потерь продуктивности пашни, чернозёма среднесуглинистого (5):

$$У_{Δ}=0,46\ (Г_1-Г_2) \quad (5)$$

где, *$У_Δ$ – снижение урожайности зерновых культур, т/га;*

$Г_1$ - исходное содержание гумуса, %;

$Г_2$ - конечное содержание гумуса, %.

Таблица 5.25 – Баланс гумуса при возделывании зерновых культур на почве легкосуглинистого гранулометрического состава, слой 0-20 см

Содержание гумуса, %	Урожайность зерновых культур, т/га			
	1,0	1,5	2,3	3,0
3,0	-0,48	-0,42	-0,31	-0,24
3,5	-0,60	-0,54	-0,43	-0,36
4,0	-0,71	-0,65	-0,54	-0,47
4,5 (ср.)	-0,83	-0,77	-0,66	-0,59
5,0	-0,94	-0,88	-0,77	-0,70
Среднее	-0,60			

Расчеты показали – урожайность пшеницы на участке чернозёма легкосуглинистого при содержании гумуса 4,5 %, в среднем составляла 1,58 т/га (1,575 т/га). При этом ежегодный баланс гумуса с учетом пожнивно-корневых остатков отрицательный и составляет –0,77 т/га или –0,032%.

Таблица 5.26 – Баланс гумуса при возделывании зерновых культур на почве среднесуглинистого гранулометрического состава, слой 0-20 см

Содержание гумуса, %	Урожайность зерновых культур, т/га			
	1,0	1,5	2,3	3,0
3,0	-0,37	-0,31	-0,20	-0,13
3,5	-0,46	-0,40	-0,29	-0,22
4,0	-0,56	-0,50	-0,39	-0,32
4,5 (ср.)	-0,65	-0,59	-0,48	-0,41
5,0	-0,75	-0,69	-0,58	-0,51
Среднее	-0,44			

Снижение содержания и запасов гумуса повлияет на урожайность культур. Потенциальная средняя урожайность, рассчитанная по формуле 1, через 5 лет будет ограничена уровнем в 1,503 т/га:

$$У= 0,45(4,5-0,032 \cdot 5)-0,45 = 1,503 \text{ т/га}$$

Потери продуктивности могут быть получены как сравнение уже рассчитанных уровней урожайности, либо с использованием формулы 2:

$$У_{\Delta}=1,575-1,503 = 0,072 \text{ т/га, или}$$

$$Г_1=4,5\ \%;\ Г_2=4,5-0,032*5=4,34\ \%;\ У_{\Delta}=0,45*(4,5-4,34) = 0,072 \text{ т/га}$$

На почвах среднесуглинистого гранулометрического состава процессы минерализации органического вещества идут медленнее и, следовательно, баланс гумуса составляет под пшеницей -0,59 т/га (-0,025 %). Исходя из таблицы 47 при тех же параметрах исходного гумусового состояния средняя урожайность составляет 1,47 т/га, через 5 лет средняя урожайность, рассчитанная по формуле 4, может снизиться до 1,41 т/га:

$$У= 0,46\ (4,5-0,025 \cdot 5)-0,60 = 1,41 \text{ т/га}$$

В результатах исследований отражено комплексное положительное влияние органических удобрений на агрофизические свойства и баланс гумуса чернозёма в севооборотах Зауралья. Органические удобрения снижали плотность сложения почвы на 0,01-0,10 г/см^3, увеличивали общую пористость на 0,3-2,3 %, коэффициент структурности – с 1,53 до 2,52. 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 %.

Для агроландшафтов лесостепного Зауралья на основании обобщения многолетних данных исследовательских материалов, оценки продуктивности (урожайности) пахотных угодий предложены формулы, которые обеспечивают возможность расчета количества недополученной продукции, определены нормы органических удобрений для создания бездефицитного баланса гумуса и поддержания плодородия чернозёма.

5.7 Баланс элементов питания в зернопаровых севооборотах

Для получения любых уровней урожайности сельскохозяйственных культур вплоть до максимальных на почвах с оптимальными параметрами плодородия уровень применяемых удобрений должен быть теоретически таковым, чтобы пол-

ностью компенсировать расходование питательных элементов отчуждаемой продукцией (Ягодин и др., 2003; Хачидзе, Мамедов, 2009; Завалин, Соколов, 2019).

Контроль и оценка баланса элементов питания при решении задачи использования нормативов в агроценозах является важной частью в разработке системы удобрения и необходим для (Каштанов, 1983, 2012; Шарков, 2017; Шарков и др., 2021). Баланс элементов питания в системе удобрения отражает вектор изменения тех или иных элементов в почве, дает представление о полноте использования элементов питания, и их влияния на продуктивность культур (Назаров, Скрипкин, 1974; Русинова, 1977; Перельман, 1989; Шафран, 2015, Волынкина и др., 2017, Бобренко, 2020). Расходная часть включает расходование элементов на формирование основной и побочной продукции агроценозов и пожнивно-корневых остатков. В приходную часть балансовых расчетов включают элементы органических и минеральных удобрений, мелиорантов (Ефимов и др., 2003).

По данным агрохимических служб ФГБУ ГСАС «Курганская» и ФГБУ ЦАС «Шадринская» в чернозёмных почвах региона отмечаются низкие объемы применяемых удобрений (Волынкина и др., 2017). В связи с этим необходимы дополнительные исследования по изучению баланса основных элементов питания при применении разработанных систем удобрения (Шилов, Плотников, 2014).

В полевых исследованиях в качестве местных источников элементов питания нами были использованы различные виды органических удобрений (таблица 5.27).

Таблица 5.27 – Химический состав органических удобрений используемых в исследованиях

Органическое удобрение, норма	Содержание, %			Внесено с удобрениями, кг/га		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Навоз, 40 т/га	0,50	0,25	0,60	200	100	240
Солома, 5 т/га	0,64	0,26	1,10	32	13	55
Сидераты	2,19	0,69	2,62	230	73	275
Сапропель, 20 т/га (1)	7,05	0,53	0,23	705	53	23
Сапропель, 20 т/га (2)	4,11	0,41	0,40	411	41	40
Гусиный помет, 5 т/га	3,8	1,8	1,3	60,2	28,5	20,6
Гусиный помет, 10 т/га				120,4	57	41,2

Для научного обоснования необходимости внесения кальцийсодержащих соединений необходимо определять баланс кальция в агроландшафтах. Приходные статьи баланса складываются из поступления кальция с различными видами кальцийсодержащих соединений (таблица 5.28).

Расходные статьи баланса определяются выносом CaO с урожаем и с инфильтрационными водами, потерями при эрозии почв, расходом кальция на нейтрализацию физиологически кислых минеральных удобрений и кислых атмосферных осадков.

Таблица 5.28 – Источники кальция и фосфора (2001, 2002 гг.)

Вариант	%, д.в.	Молекулярная масса	% CaO в х.ч.	% CaO на физ массу	Содержание в 1 т кг	Внесено на га кг
1. Навоз полуперепревший	4%, CaO	–	–	–	4	160
2. Фосфоритная мука	25%, P_2O_5	312	18	10	100	100
3. Суперфосфат двойной	46%, P_2O_5	156	24	24	240	72
4. Известь	85%, CaO	100	56	47	470	1410
5. Гипс	73%, $CaSO_4$	168	33	24	240	720

Вынос кальция в полевом севообороте на 1 т зерна яровых зерновых составляет 6,5-13,4 кг. За вегетационный период на контрольных вариантах с 1 га использовалось 13,5-24,9 кг CaO. Такие потери обусловливаются тем, что почва в наших опытах имеет легкий гранулометрический состав. За ротацию четырехпольного севооборота на контрольном варианте складывался отрицательный баланс кальция (-62 кг/га) (таблица 5.29, приложение 27).

Таблица 5.29 – Баланс кальция (CaO) в севообороте, кг/га (2001-2003 гг.)

Вариант	Вынос	Приход	Баланс ±	Вынос	Приход	Баланс ±
	без фона			известь, 3 т/га		
1. Контроль (без удобрений)	62	–	-62	69	1410	1341
2. $N_{175}P_{140}$	85	72	-13	85	1482	1397
3. Навоз 40 т/га	70	160	90	80	1570	1490
4. Навоз + NP	89	232	143	110	1642	1532
Вариант	фосфоритная мука, 1 т/га			гипс, 3 т/га		
1. Контроль (без удобрений)	68	100	32	69	720	651
2. $N_{175}P_{140}$	85	172	87	89	792	703
3. Навоз 40 т/га	84	260	176	84	880	796
4. Навоз + NP	106	332	226	104	952	848

Баланс кальция в севообороте на контрольном и с применением азотно-фосфорных удобрений вариантах оказался отрицательным. За три года кальция было вынесено культурами 62 и 13 кг/га соответственно. Приход осуществлялся только за счет внесения суперфосфата. С применением органического удобрения баланс кальция имел положительные показатели (+90 кг/га). Наибольшее поступление элемента в почву в опыте за годы исследований наблюдалось на фоне извести. Баланс кальция на варианте с дополнительным использованием навоза и минеральных удобрений повышал приходную статью до +1532 кг/га. При оценке других фонов также положительные результаты были отмечены с использованием фосфоритной муки и гипса.

При внесении азотно-фосфорных удобрений отмечалась незначительная стабилизация, а с применением навоза баланс элементов складывается положительно (таблица 5.30). Наши исследования показали, что в течение ротации севооборота на контрольном варианте сложился отрицательный баланс азота – минус 173 кг/га, фосфора – минус 68 кг/га, калия – минус 177 кг/га.

Таблица 5.30 – Баланс NPK за ротацию севооборота (опыт 1)

Удобрения		Мелиоранты (С)				Средние
органические (А)	минеральные (В)	без удобрений	известь, 3 т/га	фосф. мука, 1 т/га	гипс 3 т/га	
азот						
0	0	-173	-199	-201	-197	-192
	NP	-75	-98	-93	-97	-91
Навоз 40 т/га	0	-8	-36	-37	-53	-34
	NP	90	44	51	45	58
среднее		-42	-72	-70	-76	–
фосфор						
0	0	-68	-81	170	-79	-15
	NP	43	34	287	36	100
Навоз 40 т/га	0	15	7	253	2	69
	NP	128	113	366	119	182
среднее		30	18	269	20	–
калий						
0	0	-177	-215	-215	-212	-205
	NP	-260	-263	-266	-274	-266
Навоз 40 т/га	0	19	-11	-15	-26	-8
	NP	-46	-92	-84	-87	-77
среднее		-116	-145	-145	-150	–

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.

Вынос азота определяется биологическими особенностями зерновых культур, куда входит поглощение ионов NO^-_3 и NH^+_4 корневыми системами, ближний и дальний транспорт, распределение азота между органами, ассимиляция и реутилизация, накопление в репродуктивных и вегетативных органах, отток из корней, вымывание из различных органов осадками и отчуждение с высыхающими и опадающими частями растения (Якушкина, 1980; Завалин, 2022).

Наиболее благоприятные условия складывались на варианте совместного применения навоза и азотно-фосфорных удобрений, где баланс был 90 кг/га. Применение фосфоритной муки создало положительный баланс фосфора на всех вариантах фона (170-366 кг/га).

Положительный баланс калия (+19 кг/га) отмечен только на одном варианте опыта с внесением полуперепревшего навоза. Баланс калия на вариантах без навоза складывался отрицательным, и в среднем составлял 177-274 кг/га. Такие значения обусловлены отсутствием использования калийных удобрений, так как для зерновых культур почва характеризовалась высокой обеспеченностью этим элементом (122-133 мг/кг почвы). С применением навоза в почву поступило 240 кг/га калия, что довело баланс практически до бездефицитного состояния (в среднем – 8 кг/га). Положительный баланс NPK обеспечивает органоминеральная система удобрений. Использование только мелиорантов увеличивало вынос элементов питания, что приводило к их отрицательному балансу.

Для определения доли потребления растениями элементов питания от общего количества вносимых с удобрениями на создание прироста урожая, использовался коэффициент использования элементов удобрений (КИУ), рассчитанный разностным методом (Ефимов и др., 2003).

Расчеты показали, что коэффициент использования азота из минерального удобрения составлял 44 %, на фоне известкования и гипсования он повысился до 57 %. (таблица 5.31).

Таблица 5.31 – Коэффициенты использования питательных элементов удобрений за ротацию севооборота (опыт 1)

Вариант	Коэффициент использования, %			
	без мелиоранта	известь, 3 т/га	фосф. мука, 1 т/га	гипс, 3 т/га
N				
1. $N_{175}P_{140}$	44	57	54	57
2. Навоз, 40 т/га	18	32	32	40
3. Навоз+NP	30	42	40	42
P_2O_5				
1. Без удобрений (контроль)	–	–	5	–
2. $N_{175}P_{140}$	21	27	9	26
3. Навоз, 40 т/га	17	25	8	30
4. Навоз+NP	18	25	11	22
K_2O				
1. Навоз, 40 т/га	18	31	33	37
2. Навоз+NP	45	65	61	63
CaO				
1. Без удобрений (контроль)	–	0,5	6	1
2. $N_{175}P_{140}$	32	2	13	3
3. Навоз, 40 т/га	5	1	8	3
4. Навоз+NP	12	3	13	4

*– внесено за всю ротацию севооборота

Использование фосфора растениями также увеличивалось на фоне дополнительного применения кальцийсодержащих соединений. Коэффициент использования удобрений повысился с 21 % до 26-27 % Вынос азота в опыте с полимерным гидрогелем на варианте без применения удобрений составил 176,8 кг/га, фосфора и калия соответственно 61,6 и 137,5 кг/га (таблица 5.32, приложение 28).

Вынос азота возрастал на вариантах с совместным внесением удобрений и гидрогеля, причем повышенные дозы азотных удобрений способствовали увеличению выноса. Также причиной повышения усвоения азота растениями является способность чернозёма фиксировать аммонийный азот, а также характер микро-

биологической деятельности, который определяет размер закрепления азота удобрений в органической форме и потери его в результате денитрификации.

Таблица 5.32 – Баланс элементов питания в зернопаровом севообороте при внесении удобрений и гидрогеля, кг/га (опыт 3)

Вариант	Без гидрогеля			Гидрогель, 20 кг/га			Гидрогель, 40 кг/га		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1. Без удобрений (контроль)	-176,8	-61,6	-137,5	-209,8	-64,7	-155,2	-208,3	-70,8	-134,6
2. N_{30}	-111,4	-62,7	-163,1	-148,9	-76,5	-202,7	-143,1	-75,4	-200,7
3. N_{60}	-42,8	-65,5	-150,3	-83,3	-81,2	-193,6	-56,8	-75,3	-197,4
4. P_{20}	-181,4	-9,0	-164,8	-231,5	-20,1	-173,4	-208,6	-37,2	-200,6
5. P_{40}	-208,4	48,5	-170,4	-237,2	41,0	-184,9	-232,6	23,8	-196,7
6. $N_{30}P_{20}$	-124,3	-8,0	-164,3	-129,8	-17,4	-168,1	-150,2	-24,8	-212,1
7. $N_{30}P_{40}$	-134,8	44,8	-150,5	-154,0	41,4	-153,7	-157,1	36,1	-207,3
8. $N_{60}P_{20}$	-69,0	-17,3	-161,0	-84,1	-20,0	-202,2	-73,4	-24,9	-187,9
9. $N_{60}P_{40}$	-69,8	45,9	-168,5	-83,4	36,4	-178,1	-75,3	38,6	-170,5

На фоне внесения полимерного гидрогеля, по сравнению с контролем, увеличивался на 10-20 % вынос фосфора. Увеличение выноса элемента связано с расширением площади соприкосновения гидрогеля и минеральной части почвы и, как следствие повышением его подвижности в почвенном растворе. Максимальный вынос был отмечен при внесении простого суперфосфата в дозе P_{20} и 40 кг гидрогеля, где он составил 97,2 кг/га. Это говорит о положительном влиянии почвенного кондиционера на доступность фосфорных удобрений. 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/ га.

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 25,6-27,3 % внесенного азота, а на фоне применения гидрогеля в дозе 20 кг/га уже 41,7-48,1 %. 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 5.33).

Таблица 5.33 – 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 8,3-12,4 до 14,5-30,9 %. 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 росла их подвижность в почве и доступность растениям.

Коэффициенты использования на варианте совместного применения азотных и фосфорных удобрений были выше по азоту на 7,7-21,5 % относительно вариантов без гидрогеля. При норме внесения 40 кг/га также прослеживается увеличение коэффициентов использования элементов питания из туков до 42,6-78,1 % (N) и 16,5-38,7 % (P). Однако темпы роста их снизились относительно предыдущей нормы (20 кг/га) и составили N – на 4,3 %, а P – на 2,3–7,9 %.

Максимальное использование растениями азота удобрений достигается при полном обеспечении фосфором, калием, кальцием, магнием, серой, железом, кремнием и другими элементами минерального питания (Ермохин, Кочергин, 1983; Шарков, Колбин, 2020).

Расчет баланса элементов урожаем пшеницы показал увеличение выноса азота на фоне фосфогипса с дозой 0,5 т/га при совместном использовании азотно-фосфорных удобрений, на фоне фосфогипса с дозой 1 т/га вынос по сравнению с контрольным вариантом вырос на 22,6 кг/га (таблица 5.34, приложение 29).

Таблица 5.34 – Баланс азота в севообороте и коэффициент использования из удобрений при внесении минеральных удобрений и фосфогипса (опыт 4)

Вариант	Баланс, кг/га			КИУ, %		
	без фосфогипса	фосфогипс 0,5 т/га	фосфогипс 1,0 т/га	без фосфогипса	фосфогипс 0,5 т/га	фосфогипс 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

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

Расчет баланса и интенсивности баланса фосфора за ротацию севооборота с применением фосфогипса показал, что внесение фосфорного удобрения приводило к значительному изменению структуры баланса и компенсировало вынос этого элемента (таблица 5.35, приложение 30). Вынос фосфора первой пшеницей после пара из почвы составил на контрольном варианте 8,1 кг/га.

Использование фосфорного удобрения в запас увеличило вынос элемента до 8,6 кг/га, с совместным использованием азота и фосфора – до 9,2 кг/га. Наибольший вынос элемента отмечен на варианте с применением фосфогипса – 10,5 кг/га. На второй пшенице после пара отмечается такая же тенденция – рост выноса произошел на вариантах с применением удобрений (до 18,1-19,2 кг/га) и на фоне фосфогипса (до 16,7-17,1 кг/га). Вынос фосфора урожаем ячменя составил от 22,4 до 33,5 кг/га по вариантам опыта. При ежегодном применении азотного удобрения вынос фосфора увеличился до 53,6-53,8 кг/га и также вызвал отрицательный его баланс в зернопаровом севообороте (Плотников, 2018).

Таблица 5.35 – Баланс фосфора в зернопаровом севообороте (опыт 4)

Вариант	Баланс, кг/га			Интенсивность баланса, %		
	без фосфогипса	фосфогипс 0,5 т/га	фосфогипс 1,0 т/га	без фосфогипса	фосфогипс 0,5 т/га	фосфогипс 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

Применение суперфосфата обеспечивало интенсивность баланса на уровне 222 %, то есть более чем в два раза компенсировало вынос элемента зерновыми культурами. На фоне применения фосфогипса в норме 0,5 т/га интенсивность составила 20 % (то есть покрывала только 1/5 часть выноса), при норме 1,0 т/га интенсивность баланса увеличилась до 38 %, что позволяет обеспечивать накопление фосфатов, как одного из факторов плодородия чернозёма.

Азотно-фосфорное удобрение ($N_{30}P_{30}$) увеличивало вынос элементов соответственно на 31,6 кг азота, 23,8 фосфора и 32,7 калия с 1 га (таблица 5.36).

Наибольший вынос азота и калия в опыте наблюдался на варианте с применением сапропеля и $N_{30}P_{30}$ – 185,3 и 144,4 кг/га соответственно. Вынос фосфора на варианте мелиоранта и минеральных удобрений – 76,9 кг/га.

Таблица 5.36 – Вынос и баланс элементов питания в севообороте при внесении сапропеля и минеральных удобрений, кг/га (опыт 5)

Вариант	Вынос за севооборот			Баланс элементов		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1. Без удобрений (контроль)	138,1	48,9	106,1	-138,1	-48,9	-106,1
2. Сапропель 20 т/га (1)	153,6	54,6	120,3	551,4	-1,6	-97,3
3. Сапропель 20 т/га (2)	139,6	53,5	116,4	271,4	-12,5	-76,4
4. $N_{30}P_{30}$	169,7	72,7	138,8	-79,7	17,3	-138,8
5. Сапропель 20 т/га (1)+$N_{30}P_{30}$	185,3	76,4	144,4	609,7	66,6	-121,4
6. Сапропель 20 т/га (2)+$N_{30}P_{30}$	177,5	74,9	138,9	323,5	56,1	-98,9
7. Известь, 0,5 г.к.- фон	155,5	57,8	117,3	-155,5	-57,8	-117,3
8. Фон + сапропель 20 т/га (1)	164,4	63,8	138,9	540,6	-10,8	-115,9
9. Фон + сапропель 20 т/га (2)	165,7	63,4	131,9	245,3	-22,4	-91,9
10. Фон +$N_{30}P_{30}$	182,6	76,9	142,0	-92,6	13,1	-142,0
11. Фон + сапропель 20 т/га (1)+$N_{30}P_{30}$	181,9	76,5	136,5	613,1	66,5	-113,5
12. Фон + сапропель 20 т/га (2)+$N_{30}P_{30}$	170,2	72,4	132,2	330,8	58,6	-92,2

При ежегодном внесении минеральных удобрений интенсивность баланса азота составила 53,0 %, фосфора – 123,8%, на фоне извести интенсивность составила соответственно 49,3 % и 117,0 %. Снижение интенсивности баланса (уровня компенсации) говорит, о том, что элементы питания, внесённые минеральными удобрения на фоне извести, были более полно использованы растениями. На фоне химического мелиоранта, при снижении кислотности чернозёма, произошло увеличение КИУ: N – до 49,4 %, P_2O_5 – до 31,1% (таблица 5.37).

Увеличению доступности растениям азота с 2,2 % до 6,7 %, способствовало снижение кислотности почвы под действием извести и сапропеля.

Таблица 5.37– Коэффициенты использования элементов питания из удобрений (опыт 5)

Вариант	Без извести		Известь, 0,5 г.к.	
	N	P_2O_5	N	P_2O_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

Для решения вопросов оптимизации калийного питания в чернозёме был поставлен опыт 6 с применением в севообороте хлористого калия. Вынос элементов питания за ротацию севооборота составил: азота - 113,6 кг/га, 52,2 кг/га фосфора, 88,5 кг/га калия. Ежегодное внесение $N_{40}K_{40}$ увеличивало урожайность зерновых культур соответственно и вынос азота на 23,8 кг/га и калия на 13,1 кг/га (таблица 5.38).

Таблица 5.38 – Хозяйственный баланс и коэффициенты использования из минеральных удобрений (опыт 6)

Вариант	Баланс ±, кг/га			КИУ, %		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
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

При дозе фосфорного удобрения P_{40} наблюдался положительный баланс элемента (60,5 кг/га), калия хлористого в дозе K_{40} – 18,4 кг/га. В вариантах с внесением P_{40} и P_{80} компенсация выноса составила 201 и 393 % соответственно.

Восполняя дефицит фосфора и калия, в растениях более интенсивно протекают физиологические процессы, что увеличивает потребность в азоте. При низком содержании нитратного азота в чернозёме – 9-10 мг/кг почвы норма N_{40} близка к бездефицитному балансу. При увеличении нормы фосфорного удобрения до P_{80} совместно с калийным (K_{40}) дефицит азота возрастал до 41,9 кг/га. Доза 40 кг д.в. /га азотного удобрения компенсировала вынос азота на 74,1–87,3 %, дефицит элемента составил 17,4–41,9 кг/га.

Увеличение доз фосфорного удобрения снижало коэффициенты использования культурами фосфора. Внесение суперфосфата обеспечивало положительный баланс фосфора, при этом КИУ за ротацию составили 6,1–3,7 % соответственно. Калий хлористый компенсировал вынос элемента урожаями культур на 107,8–118,1 %. С учетом обеспеченности чернозёма калием (131 мг /кг) ежегодная норма внесения этого элемента достигла оптимальных значений.

Применение полного удобрения ($N_{40}P_{80}K_{40}$) увеличивало коэффициенты использования азота до 40,3 %, калия до 19,0 %, а на варианте с внесением ($N_{40}P_{40}K_{40}$) фосфора до 9,7 %. Использование питательных веществ удобрений колебалось в широких пределах и обусловливалось в основном нормами вносимых удобрений и содержанием их в почве. На вариантах (5 и 6) с наибольшими коэффициентами использования получена и наибольшая продуктивность зерновых культур – 1,94 и 1,98 т/га з.е., что выше варианта без применения удобрений на 0,23-0,27 т/га з.е.

В опыте с использованием гусиного помета внесение $N_{40}P_{40}$ увеличивало вынос элементов соответственно на 26,8 кг N и 16,0 кг P_2O_5 при урожайности 1,79 т/га (приложение 31).

В условиях лесостепного Зауралья на чернозёме выщелоченном при уровне обеспеченности P_2O_5 в пахотном слое (48 мг/кг) норма фосфорного минерального удобрения 40 кг/га обеспечивала бездефицитный баланс фосфора, компенсация выноса составила 176,4 % (таблица 5.39).

Таблица 5.39 – Баланс и КИУ при внесении гусиного помета и минеральных удобрений (опыт 7)

Вариант	Баланс, кг/га		КИУ, %	
	N	P_2O_5	N	P_2O_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

Наиболее полное использование азота отмечалось при применении органического удобрения – помета (содержание –N-3,8%) в дозе 5 т/га – 43,5 %. Это связано с действием и последействием органического удобрения, так как часть азота

в почве находится в органической форме и постепенно переходила в доступное для растений состояние.

Увеличением доз минеральных удобрений закономерно снижало КИУ азота и фосфора культурами. Коэффициент использования фосфора был на варианте опыта с применением $N_{20}P_{20}$ – 17,8 %, на фоне помета в дозе 10 т/га – 26,0 %. Фосфор суперфосфата (P_{40}) был использован на 13,3 %.

Улучшение минерального питания способствовало накоплению калия в основной и побочной продукции, при этом в данный процесс был вовлечён этот химический элемент как из почвы, так и гусиного помёта, коэффициент его использования превысил 100%. На наш взгляд, это может происходить в условиях, где не наблюдается дефицита элемента питания. При этом помет важен не только на малоплодородных почвах, как источник органического вещества, но и в целом на чернозёмах для поддержания уровня плодородия почвы.

Таким образом, процессы поступления, трансформации и расходования питательных элементов определяют пищевые режимы почвы в целом и каждого элемента в отдельности. Расчет баланса азота в опытах показал, что без дополнительного внесения элемента в почву отрицательные значения могут достигать -201 кг/га. Положительный баланс не был получен при внесении повышенных доз аммиачной селитры (N_{60}), это отразилось при острозасушливых условиях (ГТК составили соответственно 0,29 и 0,30), при этом значения по опыту колебались в пределах от -42,8 до -83,3 кг. В опыте с фосфогипсом только доза N_{80} обеспечивала положительный баланс элемента в севообороте – 23,6 кг/га. В опыте с минеральными удобрениями доза N_{40} восполняла вынос азота только на 74,1–87,3 %. Применение фосфоритной муки обеспечило положительный баланс фосфора (170-366 кг/га). Внесение суперфосфата и калия хлористого ($P_{40}K_{40}$) привело к положительному балансу фосфора и калия в севообороте. В вариантах с внесением P_{40} и P_{80} компенсация выноса составила 176-201 и 393 % соответственно.

Органоминеральная система удобрения способствовала улучшению режима элементов питания в севооборотах относительно вариантов только с применением минеральных форм. Баланс азота достигал положительного значения до 90 кг/га,

фосфора – 128 кг/га. Химические мелиоранты обеспечивали положительный баланс кальция в севообороте – при гипсовании баланс составил 651 кг/га, при известковании – 1341 кг/га.

Оценка баланса элементов питания, при применении удобрений в севооборотах, нашла отражение в коэффициентах использования удобрений. Так, КИУ азота из аммиачной селитры составил 19,8-53,5 %, на фоне извести и гипса он повысился до 57 %, фосфогипса до 25,3-44,5 %, совместно с фосфорными удобрениями – 33,6-40,3 %. Использование фосфора растениями также увеличивалось на фоне дополнительного применения кальцийсодержащих материалов – коэффициент повышался с 10,5 % до 26-27 %. Коэффициенты использования элементов азотно-фосфорных удобрений достигали в среднем N – 47,8-74,8 % P – 14,2-30,8 % и при совместном применении N – 42,6-78,1 %, P – 16,5-38,7 % на фоне 20 и 40 кг/га полимерного гидрогеля соответственно. Коэффициент использования калия из удобрений при совместном внесении с азотными составил 10,9 %. Применение полного удобрения увеличивало коэффициент использования калия до 19,0 %.

5.8 Вынос макроэлементов зерновыми культурами в зависимости от применяемых удобрений

Избирательная способность растений потреблять элементы питания обусловлена определенной направленностью в синтезе органических соединений. Количество и сочетание органических соединений, накапливаемых растениями, определяют в значительной мере концентрацию химических элементов в тканях, качество растениеводческой продукции и количество отчуждаемых с урожаем элементов питания (Кулаковская, 1990).

Зерновые культуры за вегетацию потребляют неодинаковое количество элементов питания. Это количество зависит от большого количества факторов – биологических особенностей культуры, почвенных и погодных условий, содержания доступных элементов питания в почве, уровня агротехники и др. Для разработки агрохимических параметров определения потребности растений в удобрениях, определяют и вынос элементов питания урожаем (Шеуджен, 2015, Гоман, 2022).

На контроле вынос 1 т основной и побочной продукции пшеницы в среднем за два года составил N-31,9 кг, P_2O_5 – 10,3, K_2O – 24,4 кг, ячменя: N-36,6 кг, P_2O_5 – 16,0, K_2O – 30,1 кг (таблица 5.40, приложение 32). Внесение минеральных удобрений увеличило вынос элементов питания пшеницы азота по вариантам опыта до 39,9 кг, фосфора до 11,4, калия – 26,7 кг.

Таблица 5.40 – Вынос макроэлементов 1 т основной продукции с учетом побочной в зависимости от применяемых гидрогеля и удобрений (опыт 3), кг

Варианты	Пшеница, среднее за два года			Ячмень		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Без удобрений (контроль)	31,9	10,3	24,4	36,6	16,0	30,1
N_{30-60}	34,7	9,7	25,1	40,2	15,5	32,6
P_{20-40}	31,5	10,2	26,0	36,5	17,3	34,6
N_{30-60} P_{20-40}	37,5	10,9	24,1	40,0	16,4	34,5
Гидрогель 20-40 кг /га	35,5	10,1	24,4	41,6	18,9	34,5
Гидрогель +N_{30-60}	37,8	10,7	31,1	40,5	18,3	36,8
Гидрогель +P_{20-40}	34,5	11,7	28,1	35,8	20,1	36,2
Гидрогель +N_{30-60} P_{20-40}	36,3	10,9	27,1	39,9	17,2	33,5

Применение полимерного гидрогеля с минеральными удобрениями также увеличивало вынос элементов питания. Это объясняется функциями гидрогеля – накопителя воды, доступной для растений и калийного удобрения. При внесении в почву гранулы образуют определенную зону в корневой части, и обеспечивают длительное и равномерное питание растения водой и водорастворимыми питательными веществами. После полива гранулы СПГ набухают, корни растения проникают в эти гранулы и потребляют из них воду и питательные вещества. По мере отдачи воды гранулы уменьшаются до первоначального размера. После очередного полива цикл набухания-высыхания повторяется.

В опыте с сапропелями на контроле вынос 1 т основной и побочной продукции пшеницы составил N-29,0 кг, P_2O_5 – 9,9, K_2O – 21,0 кг, ячменя N-22,4 кг, P_2O_5 – 8,4, K_2O – 19,1 кг (таблица 5.41).

Таблица 5.41 – Вынос макроэлементов 1 т основной продукции с учетом побочной в зависимости от применяемых удобрений (опыт 5), кг

Вариант	Пшеница, среднее за два года			Ячмень		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
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

На фоне применения минеральных удобрений вынос тонной продукции фосфора возрос до 11,7, калия до 22,6 кг, азот оставался на том же уровне. У ячменя вынос азота увеличился на 3,0 кг, фосфора на 3,6 кг, калия на 3,6 кг.

В опыте 6 с минеральными удобрениями на контроле вынос 1 т основной и побочной продукции пшеницы составил N-24,9 кг (таблица 5.42). При использовании полного минерального удобрения он повысился до 30,9 кг, P_2O_5 увеличился с 12,9 до 14,0, K_2O с 17,1 до 19,0 кг. На ячмене отмечалась такая же тенденция увеличения выноса элементов питания урожаем.

Таблица 5.42 – Вынос элементов 1 т основной продукции с учетом побочной в зависимости от применяемых удобрений (опыт 6), кг

Вариант	Пшеница, среднее за два года			Ячмень		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
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

Решение вопроса повышения продуктивности зерновых культур рассматривалось и в опыте с птичьем пометом. На варианте без удобрений вынос 1 т основной и побочной продукции пшеницы составил N-22,6 кг, P_2O_5 – 11,4, K_2O – 23,6 кг, овса N – 20,3 кг, P_2O_5 – 9,9, K_2O – 26,7 кг. По вариантам опыта с применением удобрений увеличивался вынос пшеницей азота до 28,7 кг, фосфора до 13,1, калия – 25,7 кг (таблица 5.43).

Таблица 5.43 – Вынос элементов 1 т основной продукции с учетом побочной в зависимости от применяемых удобрений (в среднем по опыту 7), кг

Вариант	Пшеница, среднее за два года			Овес		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1. Без удобрений (контроль)	22,6	11,4	23,6	20,3	9,9	26,7
2. $N_{20}P_{20}$	23,4	11,9	24,1	21,2	10,6	24,6
3. $N_{40}P_{40}$	23,1	12,4	23,0	22,3	10,7	25,5
4. Гусиный помет, 5 т/га	24,3	12,0	22,3	24,5	10,9	30,0
5. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{20}P_{20}$	25,7	12,4	22,6	23,2	10,7	25,0
6. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{40}P_{40}$	25,8	12,4	21,4	23,5	10,7	25,5
7. Гусиный помет, 10 т/га	28,7	13,1	25,7	25,1	10,9	28,8
8. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{20}P_{20}$	25,7	12,7	22,3	24.0	10,3	25,3
9. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{40}P_{40}$	24,0	11,8	21,8	23.0	9,9	25,3

Необходимость обновления данных по выносу связана в настоящее время с изменением плодородия чернозёма, внедрением интенсивных технологий возделывания зерновых культур. В целом наши исследования в зернопаровых севооборотах показали, что вынос элементов 1 т продукции пшеницы составил на естественном фоне без удобрений N – 22,6-31,9 кг, на фоне извести – 31,8 кг; P_2O_5 – 10,3-11,4 кг, K_2O – 23,6-24,4 кг, ячменя N-36,6 кг, P_2O_5 – 16,0 кг, K_2O – 30,1 кг, овса – N – 20,3 кг, P_2O_5 – 9,9 кг, K_2O – 26,7 кг. Применение минеральных удобрений приводило к увеличению выноса элементов питания единицей урожая. Для пшеницы вынос азота увеличивался до 39,9 кг, фосфора – 14,0 кг, калия – 26,7 кг. С ячменем вынос азота увеличился на 7,0 кг, фосфора на 1,9 кг, калия – 10,7 кг.

Применение азотных удобрений способствовало накоплению нитратного азота в почве и увеличению продуктивности зерновых культур. Исследования по-

казали, что между содержанием в почве нитратного азота и урожайностью корреляционное отношение составило 0,64-0,68. Фосфорные удобрения влияли на накопление элемента в чернозёме (до 43 мг/кг). За период наблюдений коэффициент корреляции между содержанием подвижного фосфора и урожайностью культур при использовании удобрений составлял 0,68-0,83. Изменения в содержании калия в почве оказывало увлажнение почвы и вынос его растениями. Использование калийных удобрений на чернозёмных почвах в лесостепном Зауралье подтверждает низкую производственную эффективность.

Расчет баланса азота в опытах показал, что в опыте с фосфогипсом только доза N_{80} обеспечивала положительный баланс элемента в севообороте – 23,6 кг/га. В опыте с минеральными удобрениями доза N_{40} восполняла вынос азота на 74,1–87,3 %, дефицит элемента составлял 17,4–41,9 кг/га. В вариантах с внесением P_{40} и P_{80} компенсация выноса составила 176-201 и 393 % соответственно. Применение фосфоритной муки обеспечило положительный баланс фосфора (170 кг/га).

Коэффициент использования азота из минерального удобрения составлял 19,8-53,5 %. На фоне известкования и гипсования КИУ повысился до 57 %, на фоне 1,0 т/га фосфогипса до 25,2-43,9 %. Использование фосфора растениями также увеличивалось на фоне дополнительного применения кальцийсодержащих материалов – КИУ повысился с 10,5 до 26-27%. Коэффициент использования калия из удобрений при совместном внесении с азотными составил – 10,9 %. Применение полного удобрения увеличивало коэффициент использования калия до 19,0 %.

ГЛАВА 6. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОЦЕНОЗОВ (четвертый этап)

6.1 Методы математического моделирования продуктивности агроценозов

Одним из методов научного познания является моделирование, то есть изучение интересующих объектов, процессов, явлений на их аналогах – моделях. В моделировании широко используются, математические модели – описание объектов, процессов, явлений при помощи различной сложности уравнений или системы уравнений (Шарый и др., 2024). Ассортимент, используемых моделей велик. В зависимости от целей и задач исследователей, применяются статические и динамические модели, эмпирические и функциональные, стохастические и детерминированные и другие. При описании агроценозов широко используются статистические модели, строящиеся на допущении, что изучаемый процесс случаен и может быть изучен с помощью статистических методов, которые включают корреляционный и факторный анализ, эмпирические и динамические статистические модели, анализ временных рядов и другие (Полуэктов, 2006).

В настоящее время нашли практическое применение такие модели как прогнозирование урожайности в зависимости от метеорологических условий, наличия вредителей, болезней, сорняков и рекомендуемых агроприемов; оптимальное использование удобрений, формирование урожая сельскохозяйственных культур и многие другие (Якушев, 2014).

Неизменный интерес у исследователей вызывает разработка математических моделей, описывающих не просто отдельные процессы, протекающие в растении или в агроценозе, но увязывающие практически все процессы, факторы, действующие в агроэкосистеме в единое целое, или пытающиеся это сделать. Следует понимать, что подобные модели стали возможны только на современном этапе развития вычислительной техники и информационных технологий в целом. Появилась возможность быстрого накопления и обмена информацией, возросли вычислительные мощности, стало возможным быстро производить сложнейшие

расчеты, перебирать варианты уравнений, оптимизируя работу модели, применять алгоритмы машинного обучения, нейронные сети, «искусственный интеллект». Научная значимость математических моделей заключается, в частности, в выявлении существующих связей в агроэкосистеме, а также в изучении поведения агроценоза при изменении воздействующих на него факторов, не проводя многочисленные натурные эксперименты (Шарый и др., 2024).

Помимо неоспоримой научной ценности, математические модели пользуются высоким интересом у сельхозтоваропроизводителей в виде разнообразных программ-помощников, которые можно установить на персональный компьютер, ноутбук или мобильное устройство.

По литературным данным, продуктивность агроэкосистемы обусловлена абиотическими, почвенно-экологическими факторами и физиологическими процессами в растениях (Пых, 2014). Модели, учитывающие все эти составляющие, так называемые комплексные имитационные модели, формализуют при помощи ЭВМ любые эмпирические сведения об агроэкосистеме, крайне интересны с научной точки зрения, но очень сложны и требуют для своей разработки участия команды профессионалов – агрохимиков, физиологов, математиков, программистов (Иванова, 1989; Пивоварова, 2005, 2006, 2019).

Автор данной работы, ни в коей мере не претендуя на всеохватность, попытался рассмотреть только зависимости между минеральным питанием и урожайностью растений в разных погодных условиях. В наших исследованиях разрабатывались эмпирические модели продуктивности зерновых культур, представляющие собой регрессионные уравнения, связывающие зависимый признак – урожайность с действующими факторами – дозами удобрений, мелиорантами. Большой вклад в создание подобных моделей внесли Т.И. Иванова, А.П. Федосеев, И.М. Стребков, Е.С. Уланова, и другие исследователи (Бондаренко, 1982; Фрид, 2004; Хворова, 2008).

Очень часто, при описании изучаемых связей в агроценозе, исследователи ограничиваются выявлением линейных зависимостей (6) между парами показате-

лей – влияющего фактора (X) и результирующего признака (Y) редко предпринимая попытки выявить зависимости нелинейные (7), множественные.

$$Y = a_0 + a_1X \quad (6)$$

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 \quad (7)$$

Линейная зависимость в агроценозах, как правило, не отражает объективность происходящих процессов системы почва-растение. Нелинейные уравнения регрессии более точно описывают зависимости урожайных, качественных признаков от возрастающих доз удобрений – например, уравнение квадратичной параболы (Кирюшин, 2015).

Специфика наших объектов исследований обусловила выбор уравнения, описывающего зависимость урожайности (или другого зависимого показателя) от нескольких факторов сразу – уравнение множественной регрессии.

Для полной оценки выявленных закономерностей нами использована зависимость урожайности культур от доз трех разных удобрений, которая лучше описывается двумя видами уравнений. Это либо уравнение вида (8), либо уравнение вида (9):

$$Y = a_0 + a_1N + a_2N^2 + a_3P + a_4P^2 + a_5K + a_6K^2 + a_7NP + a_8NK + a_9PK \quad (8)$$

$$Y = a_0 + a_1N^{0,5} + a_2N + a_3P^{0,5} + a_4P + a_5K^{0,5} + a_6K + a_7(NP)^{0,5} + a_8(NK)^{0,5} + a_9(PK)^{0,5} \quad (9)$$

где *N, P, K – дозы соответственно азотных, фосфорных и калийных удобрений;*

a_0-a_9 – коэффициенты (Иванова, 1989).

Данные виды уравнений, по сути, являются многомерной квадратической параболой или многомерной левой ветвью такой параболы, позволившим в наших экспериментах понять, как повышение значений результирующего фактора Y (например, урожайности) зависят от увеличения значений влияющих факторов (доз удобрений NPK) до определенного уровня.

Полученные уравнения регрессии заключают в себе всю имеющуюся информацию о характере зависимости результативного показателя от испытуемых в опыте факторов, в частности доз удобрений. Это позволит дать агрономическую интерпретацию полученных результатов.

Практическое значения уравнений регрессии состоит в том, что их использование позволяет применить интерполяцию. Это дает возможность получить сведения о величине результативного показателя для не осуществленных в опыте промежуточных вариантов, что значительно углубляет традиционный анализ опытных данных. Используя уравнение регрессии, можно увеличить количество данных, характеризующих действие различных доз и сочетаний удобрений.

Производственная функция дает возможность построить нормативно-справочные таблицы для автоматизированного (с помощью ЭВМ) поиска оптимальных доз и сочетаний удобрений с целью получения планируемой урожайности и других показателей0 (Полуэктов, 1982, 1991).

На основе системы уравнений регрессии, описывающих зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от доз удобрений, можно находить оптимальные решения, которые гарантировали бы получение планируемых уровней результативных показателей в конкретных условиях. Этот подход к нахождению оптимальных решений использован при изучении закономерностей действия минеральных удобрений в условиях длительного систематического их применения в севообороте. Подбор конкретной математической модели (вида уравнения регрессии), наиболее точно описывающей зависимости между дозами удобрений и урожайностью культуры зависит не только от рассматриваемых в ней факторов, но и от погодных, почвенно-климатических и других условий (Перегудов, 1965; Hyun, 2021; Saeed, 2021).

Еще с середины прошлого века ведутся исследования в области построения моделей, описывающих влияние различных факторов на формирование урожайности возделываемых культур. Разработанные имитационные модели, учитывают десятки разнообразных параметров, позволяющие спрогнозировать реакцию агроценоза на их изменения (Дмитриев, Будажапов. 2012; Будажапов и др., 2021). Однако, данные модели (уже реализованные в виде программных продуктов) не пользуются активным спросом у сельскохозтоваропроизводителей. Точность расчетов таких моделей высока только в схожих условиях, с теми, где были получены исходные опытные данные для них. (Mirschel и др., 2014). Авторы указывают

на достаточную точность прогнозирования продуктивности культур обычных регрессионных уравнений, разработанных в типичных условиях для местности, где их планируется использовать (Топаж, 2014; Pisman, Botvich, Sidko, 2015).

В статье Whetton R.L. (2021) представлен новый метод нелинейного корреляционного анализа, основанный на нелинейной модели с конечной импульсной характеристикой (NFIR) для изучения количественной оценки влияния десяти показателей свойств почвы на урожайность сельскохозяйственных культур. Свойства почвы использовались в качестве исходных данных системы, в то время как урожайность была результатом системы. Результаты показали, что индивидуальный и общий вклад свойств почвы в урожайность культур варьировал в течение сезонов от погодных условий.

Буклагиным Д.С. и др. (2020) рассмотрены перспективные направления разработки и использования цифровых технологий и системы оценки, планирования и использования земель сельскохозяйственного назначения, прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. Бурлаковой Л.М. (2022) определена логическая формула урожайности яровой пшеницы с прогнозирующим эффектом 66 %, на основе которой разработана методика качественной оценки почв.

Полученные в нашей работе уравнения регрессии отражают существующие зависимости урожайности культур от изучаемых факторов. На основании этих зависимостей нами разрабатывается программное обеспечение, при помощи которого сельскохозяйственные предприятия смогут более точно прогнозировать урожайность культур в зависимости от сочетаний и доз применяемых удобрений, а также разрабатывать систему удобрения для получения планируемого сбора с гектара. Безусловно данный программный продукт помимо представляемых уравнений должен учитывать зависимость урожайности и от других факторов.

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

Продукционный процесс у растений протекает под совокупным воздействием широкого спектра внешних факторов: плодородия (агрохимических, биологи-

ческих и физических свойств), климатических условий (водного, температурного и воздушного режимов), каждый из которых оказывает определенное, характерное для него непосредственное или косвенное влияние на формирование урожая (Минеев, 1985; Каюмов, 1989; Хабиров и др., 2014; Волынкина, Волынкин, 2015, 2017; Сычёв и др., 2022).

Абрамовым Н.В. (2022) рассчитан по фотосинтетической радиации биопотенциал яровой пшеницы, который в условиях Зауралья составляет 13,74 т/га, а лимитирующими факторами являются тепловые ресурсы и влагообеспеченность.

Увеличение производства зерна было и остается ключевой проблемой сельского хозяйства (Немченко, Суркова, 2010). На современном этапе развития сельскохозяйственного производства необходим дифференцированный подход к разработке систем агротехнических мероприятий (Каличкин и др., 2003; Шарков, 2016).

Нами установлена высокая эффективность применения удобрений и химических мелиорантов почвы в опыте 1. Урожайность пшеницы после парового предшественника составила 2,51 т/га (приложение 33). На максимальную прибавку (1,44 т/га) в опыте повлияла хорошая растворимость гипса и переход в почвенный раствор таких элементов как кальций и сера. Эффект от известкования чернозёма был ниже, чем при гипсовании, что связано со слабой растворимостью мелиоранта (Плотников, Яковлев, 2003).

По непаровому предшественнику урожайность второй пшеницы на контроле была 1,73 т/га, от внесения $N_{70}P_{50}$, прибавка составила 0,88 т/га (приложение 34).

Хорошие урожаи ячменя можно получить только на произвесткованных почвах, так как растения очень чувствительны к кислотности почв. Оптимальная реакция среды близка к нейтральной (pH 6,5-7,0) (Посыпанов и др., 2007). В засушливых условиях урожайность ячменя на контроле составила 2,08 т/га, от последействия извести была наибольшей (2,41 т/га) (приложение 35).

В целом за ротацию севооборота установлено, что кальцийсодержащие соединения и удобрения в неодинаковой степени влияли на общую продуктивность культур (таблицы 6.1). На контрольном варианте суммарно было собрано 6,32 т

з.е., а от ежегодного применения NP продуктивность увеличилась на 2,10 т з.е., при оптимальных ГТК – 1,01-1,93 за этот период.

При значениях pHсол в интервале 5,59-6,1 ед. наибольший эффект получен при известковании чернозёма с дополнительным применением $N_{175}P_{140}$ – 9,77 т з.е. Системный подход решения оптимизации агрохимических свойств почвенного плодородия обеспечивал создание более благоприятных условий для развития растений и выработки дополнительных мероприятий сохранения плодородия чернозёмов. Сбор зерновых при использовании всех факторов в опыте был максимальный – 11,75 т.з.е.

Таблица 6.1 – 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 полуперепревший	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					

Фосфоритование почвы при совместном применении навоза и минеральных удобрений суммарно было собрано 11,39 т з.е. Относительно контрольного варианта в среднем прибавки на фонах с мелиорантами составили 1,09-1,19 т/га з.е. (таблица 6.2)

Таблица 6.2 – Таблица анализа средних показателей продуктивности севооборота, т/га з.е. по факторам А, В, С

Варианты	Фактор А		Фактор В		Фактор С	+/- к контролю
	0	навоз полуперепревший	0	NP		
Без удобрений	8,17	9,65	7,58	10,24	8,07	–
Известь					9,26	1,19
Фосф. мука					9,17	1,10
Гипс					9,16	1,09

$НСР_{05}$ по фактору А 0,19 т/га; по фактору В 0,19 т/га; по фактору С 0,27 т/га

В решении оптимизации агрохимических показателей (опыт 2) лучше проявили себя навоз полуперепревший и зеленое удобрение (приложение 36). После парового предшественника урожайность пшеницы получена на уровне 2,87 т/га, с применением $N_{35}P_{50}$ она возросла до 3,24 т/га. Внесение навоза, увеличивало урожайность на 0,21 т/га, солома снижала её на 0,30 т/га (при значении $НСР_{05}$ – 0,08 т/га). Снижение урожайности на варианте с соломой связано с уменьшением количества минерального азота в почве при её разложении. Это еще раз подтверждает, что широкий интервал соотношения (C:N) в соломе следует компенсировать внесением азотного удобрения для эффективности ее применения в качестве органического удобрения.

Фосфоритная мука повышала урожайность пшеницы на варианте с совместным использованием навоза (3,50 т/га), внесение гипса было самым эффективным приемом совместно с минеральными удобрениями – 3,72 т/га. Такая урожайность была получена, как и в первом опыте, в результате увеличения содержания в почве кальция и серы. В первый год при внесении соломы наблюдалось снижение урожая вследствие биологического закрепления подвижных соединений почвы.

На второй пшенице после пара в засушливых условиях на варианте без удобрений урожайность составила 1,22 т/га. Внесение $N_{70}P_{50}$ при низкой обеспеченности почвы азотом и средней фосфором прибавка достигла 0,61 т/га, на варианте с сидератами – 2,23 т/га (приложение 37). Снижение кислотности от последействия извести способствовало увеличению урожайности до 1,38 т/га, а с применением $N_{70}P_{50}$ с навозом урожайность была самая высокая в опыте – 2,54 т/га.

В засушливых условиях вегетационного периода урожайность ячменя на варианте без удобрений была невысокой – 1,27 т/га. Культура была плохо обеспечена влагой и необходимыми запасами питательных веществ в почве. (приложение 38).

За весь севооборот в опыте 2 сбор зерновых единиц от минеральных удобрений составил – 6,82 т/га, навоза – 5,86 т/га. При внесении удобрений наибольшую продуктивность обеспечил вариант сочетания навоз + NP –7,57 т/га з.е. (таблица 6.3). Максимальный сбор зерна отмечен на произвесткованной почве с применением навоза и минеральных удобрений (8,80 т з.е.) (Яковлев, Плотников, 2005).

Таблица 6.3 – Суммарная продуктивность севооборота под действием удобрений и химических мелиорантов, т/га з.е. (опыт 2)

Удобрения		С – химические мелиоранты и фосфоритная мука			
А- минеральные	В - органические	без удобрений	известь	фосф. мука	гипс
0	0	5,36	5,76	6,03	5,90
	Навоз	5,86	7,10	6,60	6,18
	Солома	5,30	5,99	6,06	5,76
	Сидераты	5,75	6,11	6,27	6,16
	Ср. без учета орг. удобрений	5,57	6,24	6,24	6,00
$N_{175}P_{140}$	0	6,82	7,60	7,45	7,54
	Навоз	7,57	8,80	8,18	8,06
	Солома	7,14	7,73	7,66	7,69
	Сидераты	7,30	7,81	7,74	7,71
	Ср. без учета орг. удобрений	7,21	7,99	7,76	7,75
$НСР_{05}$: для частных различий - 0,33; для фактора А - 0,10; для фактора В - 0,12; для фактора С - 0,14; для взаимодействия ВС - 0,24					

Относительно контрольного варианта в среднем прибавки на фонах с мелиорантами составили 0,49-0,73 т/га з.е. (таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Таблица анализа средних показателей продуктивности севооборота, т/га з.е. по факторам А, В, С

Варианты опыта	Фактор А		Фактор В				Фактор С	+/- к контролю
	0	$N_{175}P_{140}$	0	навоз	солома	сидераты		
Контроль	6,01	7,68	6,55	7,30	6,67	6,86	6,39	–
Известь							7,12	0,73
Фосф. мука							7,00	0,61
Гипс							6,88	0,49

$НСР_{05}$ по фактору А 0,10 т/га по фактору В 0,12т/га по фактору С 0,14 т/га

В зонах рискованного земледелия, коим считается лесостепное Зауралье, необходимо внимательно относиться к подбору доз удобрений с учетом обеспеченности почв элементами питания. В засушливых условиях внесение повышенных доз азота не целесообразно, так как надземная масса приводит к «захвату» и «выгоранию» посевов. Следует обратить внимание и в условиях избыточного

увлажнения, где резко нарушается соотношение между зерном и соломой, снижается урожай, ухудшается качество зерна (Назарюк, 2004; Гилев, 2009). Внесение фосфора в слабообеспеченную им почву может наряду с повышением урожаев служить и другим целям: фосфорные удобрения уравновешивают действие азотных удобрений и ускоряют созревание (Адерихин, 1970; Сдобникова, 1985).

На выщелоченных черноземах Зауралья фосфорные удобрения имеют важное значение наряду с азотом. Оптимальное фосфорное питание улучшает развитие корневой системы у растений, снабжение питательными веществами и влагой. Потребность в фосфорных удобрениях особенно возрастает при достаточном обеспечении растений азотом и влагой.

Неблагоприятные погодные условия в период вегетации из-за высоких температур, недостатка осадков не лучшим образом повлияли на продуктивность пшеницы в опыте с гидрогелем. Урожайность пшеницы (ГТК – 0,29) составила 1,62 т/га, при внесении азотных удобрений она увеличилась на 9-17 %. Такой уровень урожайности объясняется достаточным накоплением нитратного азота в паровом поле (18-22 мг/кг) и весенними запасами продуктивной влаги. При использовании гидрогеля урожайность пшеницы достигла 2,38 т/га, на фоне гидрогеля 20 кг/га. На этом фоне наиболее эффективным оказалось применение фосфорных удобрений в дозе P_{40} (приложение 39).

Развитие второй пшеницы отличалось обильными осадками и умеренными температурами, что способствовало формированию урожая (ГТК – 1,10) на уровне 2,67 т/га, применение N_{60} увеличило её до 3,00 т/га. А при внесении 40 кг/га гидрогеля урожайность достигала 3,43 т/га. На этом фоне наиболее эффективным оказалось совместное применение азотных и фосфорных удобрений в дозе $N_{30}P_{20}$.

В период возделывания ячменя отмечены засушливые погодные условия. Осадков было на 50% ниже нормы, а температурный режим был достаточно напряженным (выше нормы на 2,4°С, ГТК – 0,30). Урожайность культуры на варианте без удобрений составила 1,09 т/га, удобрения увеличили её до 1,25 т/га.

За ротацию севооборота общая продуктивность составила – 5,38 т з.ед. Внесение N_{60} позволило дополнительно получить 0,64 т з.ед., фосфорные удобрения – 0,74 т/ га. При совместном использовании азотных и фосфорных удобрений наблюдалась прибавка от 0,76 до 0,86 т з.ед./ га. (рисунок 6.1).

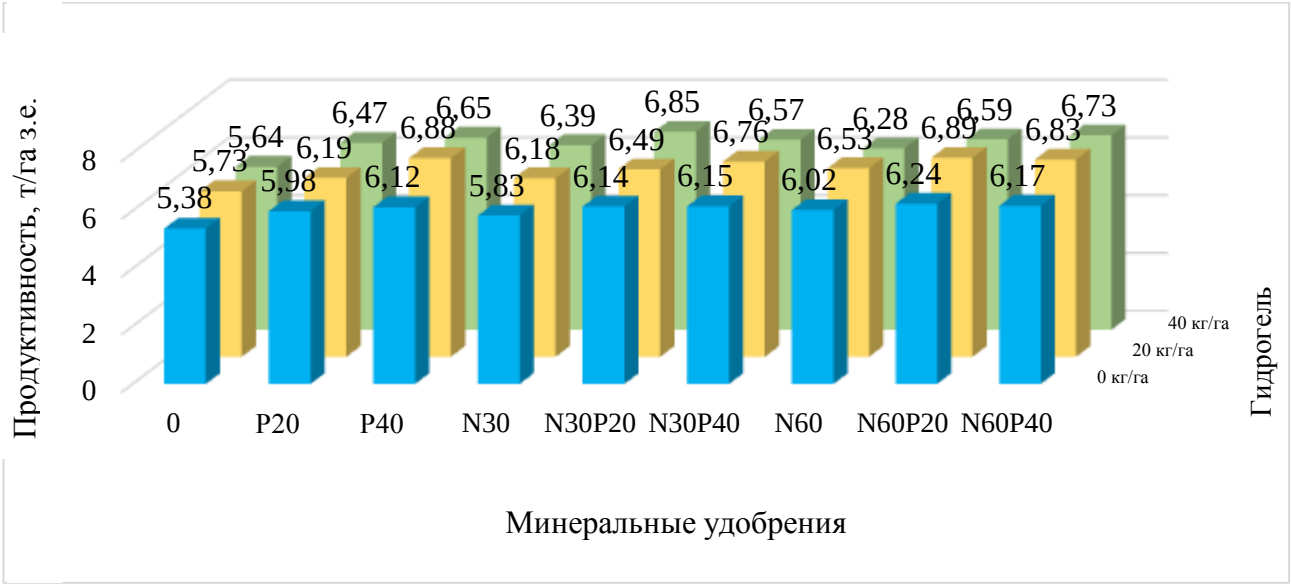


Рисунок 6.1 – Продуктивность зернопарового севооборота при внесении удобрений и полимерного гидрогеля, т з.ед./га

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.ед./ га, внесенные азотные удобрения способствовали росту продуктивности на 0,64 т/га. Использование гидрогеля с удобрениями максимально увеличило продуктивность севооборота до 6,89 т/га з.ед. или по сравнению с контрольным вариантом на 28,1 % (Шилов, Плотников, 2014). Отмечено существенное влияние на урожайность культур каждого фактора отдельно, тогда как взаимодействие оказалось эффективным лишь в сочетании гидрогеля с азотными удобрениями.

Многофакторный опыт с количественными градациями факторов предназначен для выявления тенденции изменения показателей продуктивности сельскохозяйственных культур и плодородия почвы под воздействием увеличивающихся доз изучаемых факторов (Кирюшин и др., 2009; Шарая и др., 2023; Шарый и др., 2023). При этом ставится задача выразить закономерности изменения изуча-

емых показателей в виде определенных математических формул (Перегудов, 1976, Минеев, 2001, Муравин и др., 2013).

В агрономических исследованиях предсказания результативных показателей и изучаемых процессов редко имеют в своей основе универсальные законы. Здесь в качестве основных выступают статистические законы. Предсказания, основанные на них, имеют неопределенный, вероятностный характер, обусловливаемый совокупным действием большого числа случайных факторов на объекты, принадлежащие одному классу. В таких условиях применяют статистические методы исследований. Для установления реальных закономерностей действия изучаемых факторов на результативный показатель в конкретных условиях широко используют регрессионные модели, в основе которых лежат экспериментальные данные (Доспехов, 1985; Агеев, 2007).

Эффективность фосфорных удобрений зависит не только от исходного содержания подвижных фосфатов и других элементов питания в почве, но и от условий увлажнения: чем благоприятнее были условия увлажнения в период интенсивного роста пшеницы (июнь), тем большие прибавки урожайности обеспечивали фосфорные удобрения. Объясняется это тем, что увеличение количества воды в почве способствует растворимости фосфатов и эффективности диффузии фосфатных ионов (Кук, 1970).

При корреляционно-регрессионном анализе результатов исследований гидрогель и фосфорные удобрения в условиях недостатка влаги, показали среднее влияние на урожайность культуры (приложения 40, 41). В повышении продуктивности агроценозов обычно существенную роль играют азотные удобрения, действие которых наиболее полно проявляется на фоне достаточной обеспеченности растений влагой и другими элементами, однако после парового предшественника наиболее тесную взаимосвязь с урожайностью в опыте показало внесение фосфорного удобрения в запас (P_{120}) – r = 0,42.

В литературных источниках описывается, что форма зависимости урожайности от возрастающих доз удобрений точнее изображается в виде параболы. То есть для построения уравнения регрессии может быть недостаточно только ли-

нейного уравнения или оно может вообще не подходить. Расчет нелинейной корреляции выявил, что урожайность пшеницы в засушливых условиях была в большей зависимости от использования гидрогеля – корреляционное отношение (η) составило 0,60, а наименьшим влиянием характеризовалось применяемое азотное удобрение (η = 0,22) при содержании нитратного азота 17-25 мг/кг.

Для более точного прогнозирования урожайности культур при внесении удобрений целесообразно построить уравнение множественной регрессии. В первую очередь нами было рассчитано уравнение линейной множественной зависимости урожайности от доз гидрогеля и удобрений (r = 0,56). Затем путем расчета в программе Statistica параметров уравнения было установлено, что в большей степени урожайность пшеницы по пару зависела от квадратного корня из доз гидрогеля, квадратного корня, из доз фосфора и от доз азота в квадрате. То есть данная зависимость лучше описывалась как нелинейная множественная (r - 0,64).

Рассчитав коэффициенты для уравнений регрессии по данным исследований, между фактическими и расчетными данными урожайности, мы получили коэффициенты корреляции 0,83 и 0,82 соответственно. Итогом стало уравнение, описывающее зависимость урожайности пшеницы после пара от доз гидрогеля и удобрений с достаточно высоким уровнем тесноты связи.

При размещении второй пшеницы возрастала зависимость урожайности культуры от азотного удобрения (r=0,58). Повышение эффективности аммиачной селитры также обусловлено благоприятными погодными условиями (при сумме осадков 273 мм за вегетационный период) и улучшением фосфатного состояния почв (до 114-152 мг/кг). Уравнение множественной линейной регрессии позволило предсказывать урожайность пшеницы с точностью 71,7% (коэффициент аппроксимации r^2=0,72). Наиболее точными уравнениями, описывающими зависимость урожайности от трех изучаемых факторов, были уравнения нелинейной множественной регрессии (r=0,89-0,94).

Засушливые условиях не оказали влияния азотного удобрения на урожайность ячменя при ГТК - 0,30, продуктивность культуры имела слабую связь (r =0,02). Расчет коэффициента корреляции в нелинейной парной зависимости также

указывает на существенность этих факторов. Теснота связи между факторными и результативными показателями в уравнении нелинейной множественной регрессии была наивысшей за три года (r = 0,92–0,97).

Анализ уравнений, описывающих зависимость продуктивности севооборота от трех изучаемых удобрений, показал, что несмотря на наличие средней парной связи между факторами и продуктивностью, наибольший коэффициент корреляции отмечен в уравнениях нелинейной множественной регрессии (r=0,89-0,96). Уравнения регрессии показали, что наиболее значительным и устойчивым было взаимодействие суперфосфата с гидрогелем на урожайность зерновых культур. (таблица 6.5, приложение 42) (Синявский и др., 2021).

Таблица 6.5 – 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}	Fт
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
	$Y = 5,332882 – 0,020421Г + 0,181478Г^{0,5} – 0,000259N + 0,094158N^{0.5} – 0,005490P + 0,163182P^{0,5} + 0,000816(ГN)^{0.5} + 0,004671(ГР)^{0.5} - 0,013508(NP)^{0.5}$	0,96	21,93*	9,17
	$Y = 5,333704 + 0,036611Г – 0,000661Г^2 + 0,017046N – 0,000086N^2 + 0,035875P – 0,000394P^2 – 0,000015ГN + 0,00009ГР – 0,000278NP$	0,95	18,93*	9,17

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

В земледелии нашей страны также усиливается и недостаток для растений серы. Этот процесс связан, в первую очередь, с активным выносом серы из почвы с урожаями сельскохозяйственных культур (20-50 кг/га в год). Использование фосфогипса может позволить во многом устранить проблему дефицита серного питания. По данным Аристархова А.Н. (2007), в почвах страны из обследованных земель 54,7% имеют низкое содержание серы, 34,6% – среднее. Следовательно, 89,3% почв нуждаются в улучшении их состояния по содержанию этого важнейшего питательного элемента.

Зауралье не относится к индустриальному району, поэтому поступление серы в атмосферу и, как следствие, дополнительное поступление элемента с осадками практически отсутствует. Из атмосферы сера попадает в почву с осадками: от 100 кг/га и более в крупных промышленных районах, до 2-3 кг/га в сельской местности.

Сера по своему физиологическому значению занимает третье место после азота и фосфора. Она содержится в аминокислотах, белках и других важнейших соединениях (Аристархов, 2007). Микроорганизмы различных групп способны использовать соединения серы, а корни высших растений – только серу в виде SO_4. Листья могут также усваивать из атмосферы окисленную серу SO_2 (Кулаковская, 1990).

При разработке системы применения удобрений, как правило, вопросы питания серой не являются ведущими. Это объясняется тем, что в составе применяемых удобрений (суперфосфат, сульфат аммония), содержится большое количество серы. При переходе на концентрированные удобрения, в составе которых содержание серы низкое, встает вопрос о необходимости дополнительного обеспечения серными удобрениями сельскохозяйственных культур в районах, где может проявиться серная недостаточность.

Увеличение потребности растений в сере зависит от уровня азотного питания. Оптимальные для растений нормы азота, приводят к большему потреблению серы. И если в удобрениях отсутствует сера, поступление этого элемента в почву прекращается. Общий вынос серы с урожаем зерновых в 2 т/га составляет 7-15 кг/га, бобовых трав – 20-30 кг/га. В среднем количество серы в почве, которое

может обеспечить нормальное питание растений, должно составлять не менее 10-15 кг на 1 га. Ниже этого уровня обнаруживается серная недостаточность.

Результаты полевых исследований на чернозёме показали, что в условиях острой засухи (ГТК-0,30) урожайность пшеницы после пара была низкой – 1,06 т/га, при внесении N_{40} она возрастала до 1,21 т/га (приложение 42).

Фосфорное удобрение не вызвало существенной прибавки урожайности пшеницы (Fф< Fт). При недостаточном увлажнении вегетационного периода (ГТК – 0,66) урожайность второй пшеницы на варианте без удобрения составила 1,76 т/га., азотные (N_{80}) увеличивали урожайность до 2,19 т/га, на фоне 1,0 т/га фосфогипса – 2,23-2,26 т/га. Увеличение урожайности, на наш взгляд, связано с улучшением серного и фосфатного режимов. Урожайность ячменя (ГТК-0,92) на варианте без удобрений составила 2,54 т/га. Даже при слабой интенсивности выпадения осадков в мае-июне месяце (соответственно 43 и 34 % от среднемноголетних данных) от внесения азотного удобрения (N_{40}) урожайность возрастала до 3,28 т/га (Плотников, Тарабаев, 2016).

Общая продуктивность севооборота без применения удобрений составила 5,36 т/га (рисунок 6.2, приложение 42). Первостепенную роль в росте урожая играли азотные удобрения, превышение над контролем составило 1,10 и 1,12 т/га.

Действие и последействие 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 %. В целом использование фосфогипса и минеральных удобрений в зернопаровом севообороте привело к увеличению его продуктивности до 34,1 % по вариантам опыта (Плотников, 2019).

Математические расчеты показали среднее линейное влияние на урожайность первой пшеницы доз фосфогипса и азотных удобрений – r- 0,50 и r-0,38 соответственно (приложение 43).

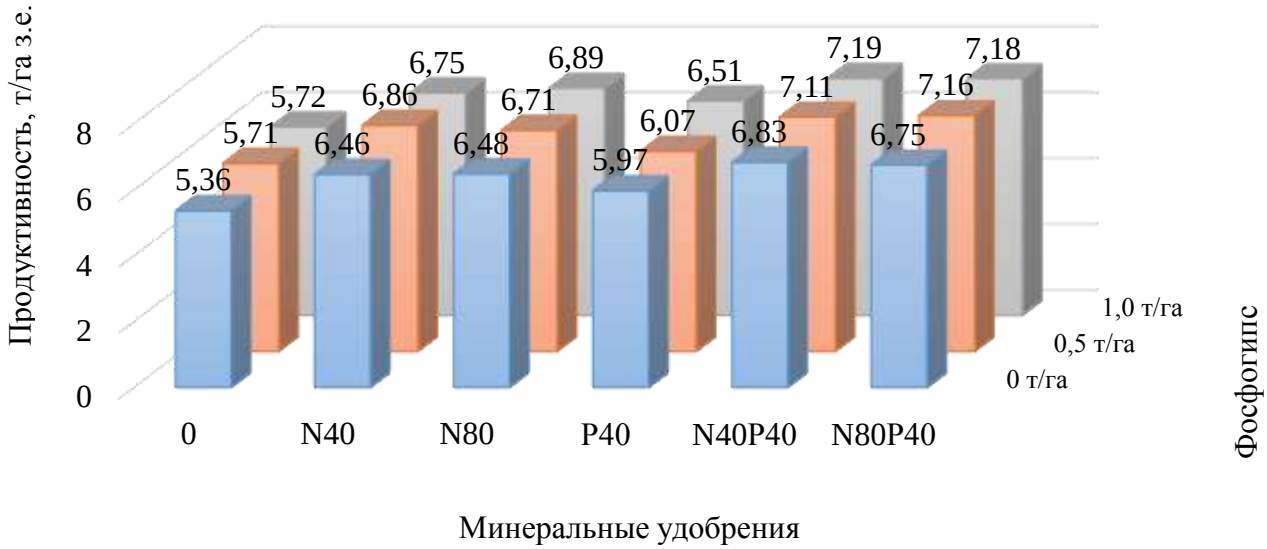


Рисунок 6.2 – Влияние фосфогипса и минеральных удобрений на продуктивность севооборота, т/га (2012-2014 гг.)

При расчете нелинейной корреляции было выявлено, что урожайность пшеницы одинаково зависела от использования азотного удобрения и фосфогипса – корреляционное отношение (η) составило 0,56 и 0,51 соответственно. Первоначально нами было построено уравнение линейной множественной зависимости урожайности от доз фосфогипса, азотных и фосфорных удобрений (r = 0,67). После чего, расчётом параметров уравнения было установлено, что в большей степени урожайность пшеницы по пару зависела линейно от доз фосфогипса и фосфора, а также от доз азота в ½ степени. Причем такое уравнение более точно описывало зависимость урожайности от изучаемых факторов, чем линейное (r= 0,72). Коэффициент корреляции нелинейной множественной зависимости составил 0,82.

По результатам опыта с первой пшеницей после пара, было получено уравнение, описывающее зависимость её урожайности от доз фосфогипса и удобрений с достаточно высоким уровнем тесноты связи – 66,7 %.

При размещении второй пшеницы увеличивалась зависимость урожайности её от внесения аммиачной селитры (r=0,74). Уравнение множественной линейной регрессии позволило прогнозировать урожайность пшеницы с точностью 82,6 % (коэффициент аппроксимации r^2=0,83). Наиболее точными уравнениями, описы-

вающими зависимость урожайности от трех изучаемых факторов, были уравнения нелинейной множественной регрессии (r = 0,94-0,99).

Последействие фосфогипса и фосфорного удобрения показало более слабую взаимосвязь с урожайностью ячменя, возможно это связано с иммобилизацией фосфатов. Коэффициент корреляции между дозами азотного удобрения и урожайностью ячменя составил 0,72 (при содержании в почве $N\text{-}NO_3$ – 8-11 мг/кг), дозами фосфорного удобрения и урожайностью – 0,36.

Высокая эффективность азотного удобрения объясняется в первую очередь весенними запасами влаги в почве в слое 0-40 см (38-55 мм) и дефицитом нитратного азота на второй и третьей культуре после пара. Содержание азота весной перед посевом было более чем в два раза ниже, с 16-18 мг/ кг до 8-11 мг/кг. Расчет регрессионной зависимости показал наличие сильной линейной связи – между дозами аммиачной селитры и продуктивностью (таблица 6.6, приложение 44).

Таблица 6.6 – 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}	$F_т$
Линейная парная	$Y = 0{,}133333Ф + 2{,}11$	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	$Y = 2{,}103 + 0{,}26Ф – 0{,}127Ф^2$	0,31	0,81	2,15
	$Y = 1{,}963 + 0{,}0123N – 0{,}000103N^2$	0,85	19,37*	2,15
Линейная множественная	$Y = 1{,}880833 + 0{,}133333Ф + 0{,}003528P + 0{,}004063N$	0,88	16,60*	3,14
Нелинейная множественная	$Y = 1{,}834193 + 0{,}134392Ф^{0,5} + 0{,}003528P + 0{,}039165N^{0,5}$	0,95	47,18*	3,14
	$Y = 1{,}792738 – 0{,}019567Ф + 0{,}147112Ф^{0,5} - 0{,}000582P + 0{,}032843P^{0.5} – 0{,}005411N + 0{,}091898N^{0,5} + 0{,}002474(ФP)^{0,5} – 0{,}000400(ФN)^{0,5} - 0{,}001833(PN)^{0,5}$	0,99	46,48*	9,80

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

Расчет нелинейной зависимости между дозами фосфогипса, азота, фосфора и продуктивностью севооборота показал более высокие коэффициенты корреляции (r=0,95-0,99). Уравнения регрессии показали, что агрохимические факторы в севообороте вызывали положительную реакцию, которая отразилась в увеличении продуктивности зернопарового севооборота (Синявский и др., 2022).

Только в полевых условиях при проведении опытов можно подобрать методы химического анализа почвы и растений для диагностики условий минерального питания, коэффициенты использования питательных веществ из почвы и удобрений. (Прянишников, 1963; Тюрин, 1965; Кук, 1970; Сычёв, 2009, 2012; Ерёмин, Кибук, 2017).

В настоящее время недостаточные дозы внесения фосфорных удобрений слабо влияют на урожай сельскохозяйственных культур, особенно на почвах с очень низкой обеспеченностью этим элементом. Эффективность ежегодного и запасного применения фосфорных удобрений зависит от почвенно-климатических условий, свойств почвы, содержания подвижного фосфора, биологических особенностей растений, доз, форм удобрений и ряда других факторов (Чумаченко, 2002; Сушеница, 2007; Волынкин, Волынкина, 2012; Ерёмин, Уфимцева, 2013).

В качестве дополнительного источника элементов питания используются различные виды органических удобрений, одни из которых — это сапропели. Они представляют собой сложный комплекс богатых азотом веществ. Это соединения гуминовых кислот с белковыми веществами как адсорбционного, так и химического порядка и продукты различной степени разложения белковых веществ животного и растительного происхождения (Борисов и др., 2014).

Урожайность первой пшеницы в опыте 5 при внесении азотно-фосфорных удобрений она была наибольшей и составила 2,03 т/га (приложение 45), при средней урожайности по Курганской области 1,46-1,54 т/га. Использование сапропелей также способствовало увеличению урожайности пшеницы на 0,14-0,19 т/га ($НСР_{05}$ для фактора С = 0,08) (Плотников и др., 2014).

Вторая пшеница после пара была менее продуктивна, урожайность была ниже предыдущего года – 1,44 т/га, от $N_{30}P_{30}$ – 1,54 т/га. В июне месяце количе-

ство осадков только на 41 % от среднемноголетних, это на наш взгляд, и определило урожайность культуры. Урожайность третьей культуры севооборота (ГТК – 1,07) составила 2,13 т/га, при внесении $N_{30}P_{30}$ – 2,56 т/га. Количество осадков в июне месяце выпало 66 мм, что выше нормы (112 %). В результате благоприятных условий увлажнения чернозёма в критические фазы ячменя происходило заложение будущего урожая культуры. Последействие сапропеля, извести и применение минеральных удобрений существенно увеличивало урожай культуры – 2,60-2,64 т/га (Плотников, Созинов, 2016).

Наибольшую продуктивность обеспечило сочетание на фоне известкования 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 частичного снижения кислотности, так как сапропель (1) с pH – 7,76, способствовал нейтрализации почвенного раствора чернозёма со слабокислой реакцией (pHсол – 5,65-6,00), увеличению степени насыщенности почвы обменными основаниями до 88,2 % (рисунок 6.3).

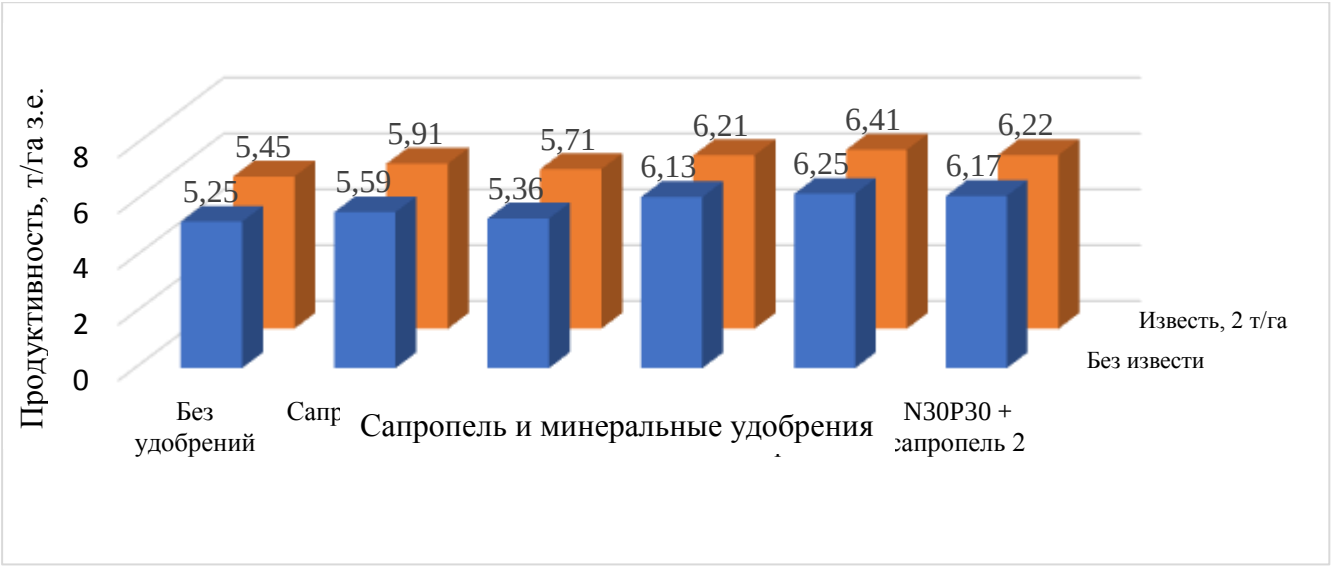


Рисунок 6.3 – Продуктивность севооборота при внесении извести, сапропелей и азотно-фосфорного удобрения, т.з.ед./га

Корреляционно-регрессионный анализ результатов исследований, показал в первый год среднее влияние (r=0,63) на урожайность пшеницы после пара дозы $N_{30}P_{30}$ (приложение 46) (Синявский, Плотников, 2021).

На второй год в слабогумусированном чернозёме проявился дефицит нитратного азота (содержание элемента 10-13 мг/кг почвы), прослеживалось увеличение зависимости урожайности пшеницы от внесения удобрений – r=0,83. Уравнение множественной линейной регрессии позволило планировать урожайность пшеницы с точностью 68,0 % (коэффициент аппроксимации r^2=0,68). Наиболее точное отражение получено в уравнениях линейной множественной регрессии (r = 0,97-0,98).

В севообороте с урожайностью наиболее значительным и устойчивым было взаимодействие азотно-фосфорного удобрения. Слабым было влияние сапропеля (С2) и известкового мелиоранта (таблица 6.7, приложение 47).

Таблица 6.7 – Регрессионная зависимость 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}	$F_т$
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 = 0,004625С(1) + 1,92	0,35	0,84*	0,39
	Y = 0,00175С(2) + 1,92	0,14	0,11	0,75
Линейная множественная	Y = 1,77 + 0,03375И + 0,003875NP + 0,004625С(1)	0,98	40,25*	3,40
	Y = 1,77 + 0,0275И + 0,004083NP + 0,00175С(2)	0,98	40,81*	3,40

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

Теснота связи $N_{30}P_{30}$ с урожайностью при коэффициенте корреляции (r=0,98) отмечена в уравнениях линейной множественной регрессии.

Парный линейный корреляционный анализ агрохимических показателей почвы не выявил существенного влияния их на урожайность ячменя (r = 0,01-0,10). Множественный нелинейный корреляционно-регрессионный анализ выявил доказуемое влияние обменной кислотности почвы и содержания катиона кальция на урожайность зерна ячменя, что позволило получить математическую модель (10), описывающую данную зависимость:

$$y = 51{,}8785 - 38{,}6013x_1 + 8{,}7069x_2 + 7{,}995x_1^2 - 3{,}7872x_1x_2 + 0{,}4637x_2^2 \quad (10)$$

где, y – урожайность зерна ячменя, т/га;

x_1 – pHсол;

x_2 – содержание Ca^{2+}, ммоль/100 г. почвы.

Графическое изображение модели представлено на рисунке 6.4.

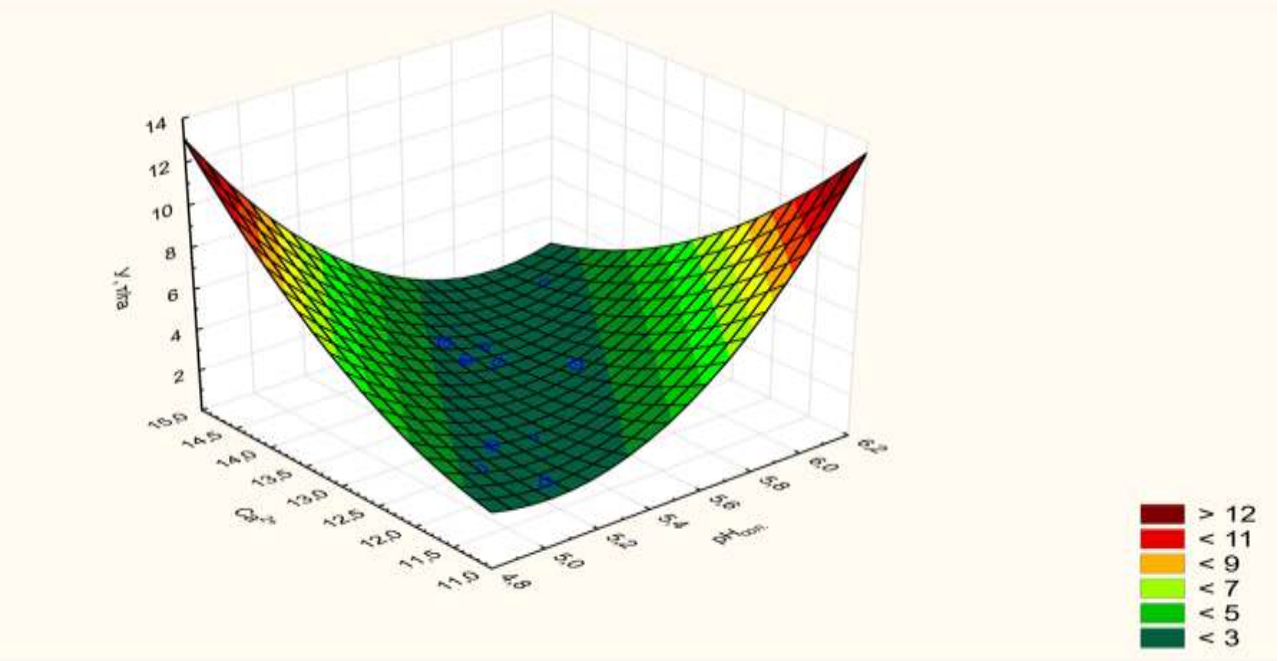


Рисунок 6.4 – Зависимость урожайности зерна ячменя от pHсол и содержания катионов кальция

Судя по полученной модели, при увеличении содержания катиона кальция и одновременном увеличении значения pHсол урожайность зерна ячменя возрастает. При значениях pHсол 4,8-5,4 рост содержания катиона кальция способствует росту урожайности зерна, в то время как при значениях pHсол 5,8-6,2, увеличению содержания катиона кальция сопутствует снижение урожайности зерна (таблица 6.8).

Математические модели должны проверяться на адекватность описываемым процессам (ГОСТ Р 57700.37-2021), для чего мы провели ее верификацию Ввод экспериментальных данных о значении pHсол, содержании катиона Ca^{2+} и урожайности зерна ячменя в предложенную модель показал, что из 12 наблюдений только в 2 (17%) случаях расхождения между $У_{эксп}$ и $У_{расч}$ превышали 0,2 т/га, что говорит о сравнительно высоких прогностических возможностях модели.

Таблица 6.8 – Проверка прогностических возможностей регрессионного уравнения 10

Вариант	pHсол(x_1)	Ca^{2+}(x_2)	y($У_{эксп}$)	y($У_{расч}$)	y($У_{эксп}$)-y($У_{расч}$)
1. Без удобрений (контроль)	5,21	11,5	2,13	2,33	-0,20
2. Сапропель 1, 20 т/га	5,24	12,0	2,23	2,25	-0,02
3. Сапропель 2, 20 т/га	5,14	11,9	2,06	2,32	-0,26
4. $N_{30}P_{30}$	5,06	11,2	2,56	2,31	0,25
5. $N_{30}P_{30}$ + сапропель 1, 20 т/га	5,09	12,0	2,64	2,47	0,17
6. $N_{30}P_{30}$ + сапропель 2, 20 т/га	4,96	11,7	2,61	2,67	-0,06
7. Известь, 2 т/га - фон	5,52	13,4	2,20	2,21	-0,01
8. Фон + сапропель 1, 20 т/га	6,00	14,4	2,37	2,41	-0,04
9. Фон + сапропель 2, 20 т/га	5,54	13,7	2,33	2,28	0,05
10 Фон + $N_{30}P_{30}$	5,65	12,8	2,62	2,53	0,09
11. Фон + $N_{30}P_{30}$ + сапропель 1, 20 т/га	5,45	13,9	2,60	2,69	-0,09
12. Фон + $N_{30}P_{30}$+ сапропель 2, 20 т/га	5,42	13,5	2,59	2,47	0,12

В опыт 6 с минеральными удобрениями, урожайность первой пшеницы составила 1,61 т/га, на фоне $N_{40}P_{40}K_{40}$ она возрастала на 0,24 т/га и была максимальной. У второй пшеницы наибольшая урожайность наблюдалась на вариантах с внесением полного минерального удобрения ($N_{40}P_{80}K_{40}$), увеличение по сравнению с контролем составило 0,26 т/га или 18,2 %. Урожайность ячменя при ГТК-1,07 на варианте без применения удобрений составила 2,10 т/га, при внесении суперфосфата в дозе 80 кг д.в. на 1 га она возросла до 2,22 т/га. Условия вегетационных периодов были изложены выше, в целом урожайность зерновых культур в севообороте и отзывчивость их на минеральные удобрения совпадали в опыте с сапропелями (приложения 48) (Плотников, Кабдунова, 2018).

Прибавки урожая пшеницы после пара от внесения азотно-калийных удобрений (фактор А) были математически достоверны, эффект фактора составлял 0,09 т/га. На второй пшенице эффект фактора А составил 0,12 т/га, что больше $НСР_{05}$ (0,06 т/га), для обеих градаций фактора В эффект также превышает значение НСР. Расчеты эффекта фактора В в дозе 40 кг/га (внесенного под ячмень фосфорного удобрения) не доказали существенную прибавку урожайности.

Продуктивность севооборота без внесения удобрений за три года составила 5,14 т з.е. с 1 га. Внесенные с удобрениями фосфор и калий закрепляются в корнеобитаемом слое в форме органических или минеральных соединений. Нашими исследованиями установлено, что ежегодное внесение фосфорного удобрения увеличивает его доступность растениям. Улучшение питательного режима почвы под влиянием вносимых удобрений (увеличение содержания подвижного фосфора с 75 до 93 мг/кг, водорастворимого – с 0,6 до 2,4 мг/кг, подвижного калия – с 131 до 136 мг/кг) способствовало росту продуктивности зерновых культур и количества побочной продукции. 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. За счет создания более благоприятных условий, при внесении суперфосфата, позволило повысить суммарную продуктивность гектара до 5,95 т/га з.е или на 15,8 % (таблица 6.9).

Таблица 6.9 – Влияние минеральных удобрений на продуктивность зерно-парового севооборота, т/га з.е.

Вариант	В среднем по севообороту	Прибавка к контролю	Среднее за год	Отклонение от контроля
1. Контроль (без удобрений)	5,14	-	1,71	-
2. P_{40}	5,49	+ 0,35 (6,8%)	1,83	0,12
3. P_{80}	5,50	+ 0,36 (7,0%)	1,83	0,12
4. $N_{40}K_{40}$	5,64	+ 0,50 (9,7%)	1,88	0,17
5. $N_{40}P_{40}K_{40}$	5,81	+ 0,67 (13,0%)	1,94	0,23
6. $N_{40}P_{80}K_{40}$	5,95	+ 0,81 (15,8%)	1,98	0,27

В рамках поиска альтернативных источников полуперепревшему навозу был заложен опыт с птичьим пометом, где рассматривалось действие и последействие удобрения на продуктивность зерновых культур в севообороте. По количеству питательных веществ и самой массы он не уступает навозу от крупного и мелкого рогатого скота (Кидин, 2012). Так урожайность первой пшеницы после пара (ГТК-1,03) на варианте составила 1,57 т/га, применение удобрений достоверно увеличивало урожайность до 2,46 т/га. Увеличение нормы до 10 т/га гусиного помета показало существенное влияние в сравнении с предыдущей нормой, урожайность была 2,35-2,43 т/га, прибавка – 49,7-54,8 % (таблица 6.10, приложение 49).

При ГТК-0,95 урожайность второй пшеницы после чистого пара без удобрений была ниже, чем годом ранее – 1,50 т/га. Минеральные удобрения обеспечивали более высокий уровень урожая до 1,71-1,85 т/га. На вариантах первых двух лет после пара при совместном использования органического и минеральных удобрений в почве отмечался рост подвижного фосфора с 48 до 70 мг/кг, калия – с 155 до 178 мг/кг, что обеспечило прибавку урожайности культуры на 0,24-0,77 т/га.

Таблица 6.10 – Влияние гусиного помета и минеральных удобрений на продуктивность культур и севооборота, т/га (опыт 7, 2017-2019 гг.)

Гусиный помет, т/га	Урожайность зерновых культур			Среднее по гусиному помету
	0	$N_{20}P_{20}$	$N_{40}P_{40}$	
1-я пшеница				$НСР_{05}$=0,08
0	1,57	1,84	1,94	1,78
5	2,03	2,22	2,46	2,24
10	2,11	2,35	2,43	2,30
Средние по мин. удобрениям, $НСР_{05}$=0,08	1,90	2,14	2,28	2,11
$НСР_{05}$=0,13 для сравнения частных средних				
2-я пшеница				$НСР_{05}$=0,04
0	1,50	1,71	1,85	1,69
5	1,57	1,67	1,96	1,73
10	1,63	2,23	2,19	2,02
Средние по мин. удобрениям, $НСР_{05}$=0,04	1,57	1,87	2,00	1,81
$НСР_{05}$=0,07 для сравнения частных средних				
овес				НСР05=0,08
0	1,72	1,92	1,96	1,87
5	1,76	2,16	2,22	2,05
10	1,85	2,35	2,38	2,19
Средние по мин. удобрениям, НСР05=0,08	1,78	2,14	2,19	2,04
$НСР_{05}$=0,10 для сравнения частных средних				
Зерновые единицы, среднее за 3 года				
0	1,48	1,70	1,79	1,66
5	1,67	1,87	2,07	1,87
10	1,74	2,15	2,17	2,02
Средние по мин. удобрениям	1,63	1,91	2,01	1,85

Последействие 5 т/га органического удобрения не оказывало существенного влияния на урожайность овса при ГТК-0,88 (приложение, 49) (Синявский, 2021).

При оценке продуктивности севооборота, питательный режим выщелоченного чернозема был достаточен (содержание NO_3 колебалось от 12 до 20 мг/кг, P_2O_5 – 59-61 мг/кг, K_2O – 152-158 мг/кг), а лимитирующим фактором дальнейшего роста урожайности были погодные условия. От применения смешанного минерального удобрения продуктивность составила 5,36 т. з.ед. или в среднем на 14,9-21,0 % выше контрольного варианта. Наибольший сбор зерновых единиц в севообороте получен при совместном применении органических и минеральных удобрений – 6,52 т/га з.ед., что превышало контроль на 46,6 %.

Для выявления существующих зависимостей между изучаемыми показателями была составлена корреляционная матрица. Подтверждены парные линейные корреляционные зависимости практически между всеми показателями (таблица 6.11).

Таблица 6.11 – Корреляционная матрица изучаемых показателей в опыте

Показатели	Показатели								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Поступление N с удобрениями, кг/га	-								
2 Поступление P_2O_5 с удобрениями, кг/га	0,94	-							
3 Поступление K_2O с удобрениями, кг/га	0,71	0,43	-						
4 Среднее содержание P_2O_5, мг/кг	0,90	0,82	0,71	-					
5 Среднее содержание K_2O, мг/кг	0,87	0,68	0,91	0,81	-				
6 Средняя продуктивность севооборота, т з.ед. /га	0,96	0,91	0,66	0,89	0,84	-			
7 $КИУ_N$, %	0,36	0,21	0,54	0,63	0,34	0,38	-		
8 $КИУ_{P2O5}$, %	0,34	0,12	0,64	0,57	0,39	0,33	0,96	-	
9 $КИУ_{K2O}$, %	0,70	0,56	0,70	0,81	0,81	0,74	0,55	0,48	-

Регрессионный анализ зависимостей средней продуктивности севооборота за 2017-2019 гг. от среднего содержания в почве подвижных фосфора и калия при применении удобрений показал наличие прямой линейной множественной зависимости и выражается уравнением регрессии (11):

$$Y = -1,9657 + 0,0029X_1 + 0,0134X_2 (11)$$

где, *Y – средняя продуктивность севооборота за ротацию, т з.ед./га;*

X_1 – среднее содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы;

X_2 – содержание подвижного калия, мг/кг почвы.

Сопоставление фактических и расчетных данных средней продуктивности севооборота показало различия выше 5 % в четырех вариантах из девяти (приложение таблица 50).

Регрессионный анализ зависимости суммарной продуктивности севооборота от количества внесенных за три года удобрений в пересчете на действующее вещество указывает на наличие прямой линейной множественной зависимости (рисунок 6.5). Выявленная зависимость выражается уравнением регрессии (12).

$$Y = 4{,}4311 + 0{,}0047X_1 + 0{,}005X_2 \quad (12)$$

где, Y – общая продуктивность севооборота за ротацию, т з.ед./га;

X_1 – норма минеральных удобрений за 3 года, кг д.в./га;

X_2 – норма птичьего помета, кг д.в./га.

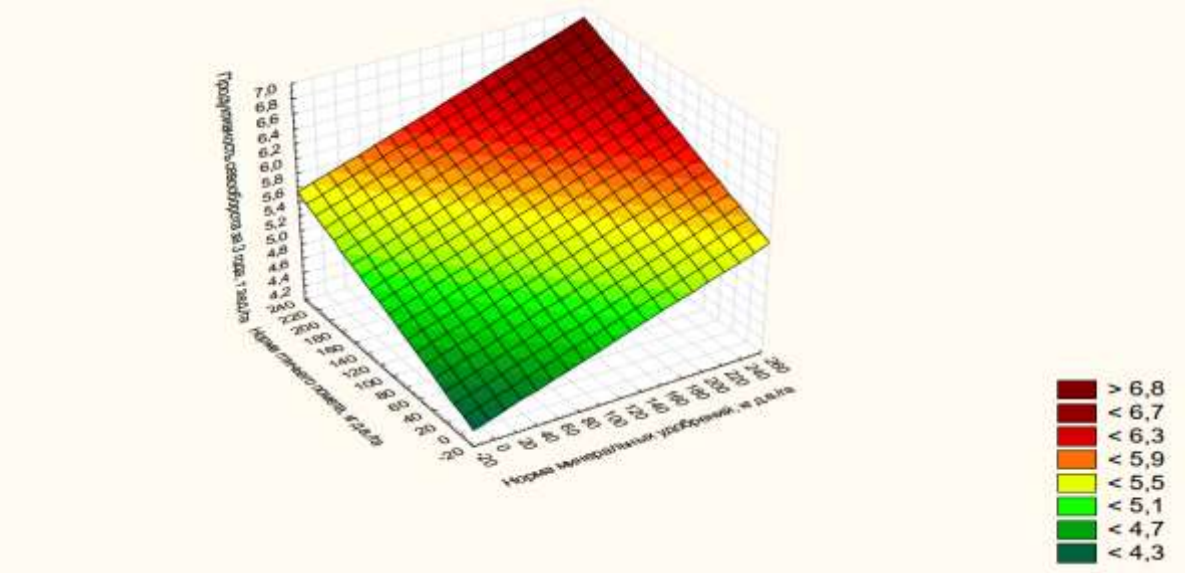


Рисунок 6.5 – Зависимость продуктивности севооборота, т з.ед./га от норм минеральных удобрений и птичьего помета, кг д.в./га (2017-2019 гг.)

Верификация полученных уравнений показала их сравнительно высокую точность. Выявленные зависимости позволяют прогнозировать продуктивность севооборота при использовании удобрений с учетом содержания подвижного фосфора и калия в почве (Приложение 51).

Последействие птичьего помета показало сильную взаимосвязь с урожайностью зерновых культур. Коэффициент корреляции между урожайностью зерновых культур и дозой азотно-фосфорного удобрения составил 0,70, птичьего помета – 0,66. Теснота связи между факторными и результативными показателями в этом случае была наивысшей за три года (r = 0,99) (таблица 6.12, приложения 52-55).

Власенко А.Н. и др. (2014) изучены экстенсивные, нормальные и интенсивные технологии возделывания яровой пшеницы по пару в центральной лесостепи Западной Сибири. Показано, что наиболее высокая продуктивность и экономическая эффективность производства зерна пшеницы достигается в интенсивных технологиях при оптимальных условиях увлажнения.

Таблица 6.12 –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	Регрессионные уравнения	r между прогнозируемой и фактической урожайностью Y	Оценка достоверности модели	
			F_{05}	$F_т$
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 или полиномиальная второй степени	$Y = 1{,}467778 + 0{,}043П - 0{,}001267П^2 + 0{,}008333NP - 0{,}000054NP^2 + 0{,}00015П*NP$	0,99	19,42*	5,30

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

Эффективность минеральных удобрений и других средств химизации в значительной степени зависело от метеорологических условий вегетационного периода. Известно, что доступность внесенных питательных элементов растениям обусловлена наличием и количеством почвенной влаги. В годы с достаточным количеством осадков удобрения быстро растворяясь, обеспечивают растения питательным фондом, позволяя последним реализовать свой генетический потенциал.

Таким образом, для обеспечения сохранения плодородия чернозёма выщелоченного и повышения продуктивности агроценозов в условиях лесостепного Зауралья следует использовать органоминеральную систему удобрения с применением мелиорантов. Воздействие на почвенный покров агрохимических приемов приводило к увеличению продуктивности полевых севооборотов в условиях лесостепного Зауралья. Валовой сбор зерновых культур при совместном применении извести с удобрениями составил 11,75 т з.е., что на 86 % больше, их без использования. В опыте с применением 20 кг/га полимерного гидрогеля совместно с $N_{60}P_{20}$ продуктивность севооборота была максимальной – 6,89 т/га з.ед., (или на 28,1 % выше контрольного варианта). Фосфогипс с удобрениями увеличивал продуктивность севооборота на 6,5 - 34,1 %. В опыте с сапропелями на фоне известкования с применением и минеральных удобрений продуктивность возросла до 6,41 т/га з.е., что на 1,16 т/га (или на 22,1 %) больше, чем на контроле. При применении полного минерального удобрения продуктивность увеличивалась на 15,8 %. Гусиный помет и минеральные удобрения увеличивали продуктивность севооборота на 46,6 % относительно варианта без удобрений.

В опыте с гидрогелем подбор регрессионного уравнения, наиболее точно описывающего зависимость продуктивности севооборота от изучаемых удобрений, указал на наличие средней парной связи между удобрениями и продуктивностью, в уравнениях нелинейной множественной регрессии корреляционное отношение было 0,89-0,96. При определении зависимости урожайности от фосфогипса и минеральных удобрений также были получены уравнения нелинейной множественной регрессии (r = 0,95-0,99). В опыте с применением сапропелей наибольший коэффициент корреляции (r=0,98) отмечен в уравнениях линейной множественной регрессии. Зависимость урожайности от птичьего помета, азота и фосфора в уравнении линейной множественной регрессии показала тесноту связи – r = 0,99. Полученные в работе регрессионные уравнения зависимостей служат основой программного обеспечения для своевременного решения производственных вопросов использования средств химизации.

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

Рост и развитие растений, процессы питания, накопления и обмена органических веществ, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции зависят от продолжительности периода активной вегетации при среднесуточной температуре воздуха выше 10 °С.

В наших исследованиях была поставлена цель оценить роль фактора погодных условий во влиянии удобрений на увеличение зерновой продуктивности агроценозов Зауралья. 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 ГТК. За 22 летний этот период сумма осадков колебалась от 85 до 315 мм, сумма температур > 10°С – от 1632 до 2900°С, ГТК – от 0,30 до 1,93 (рисунок 6.6).

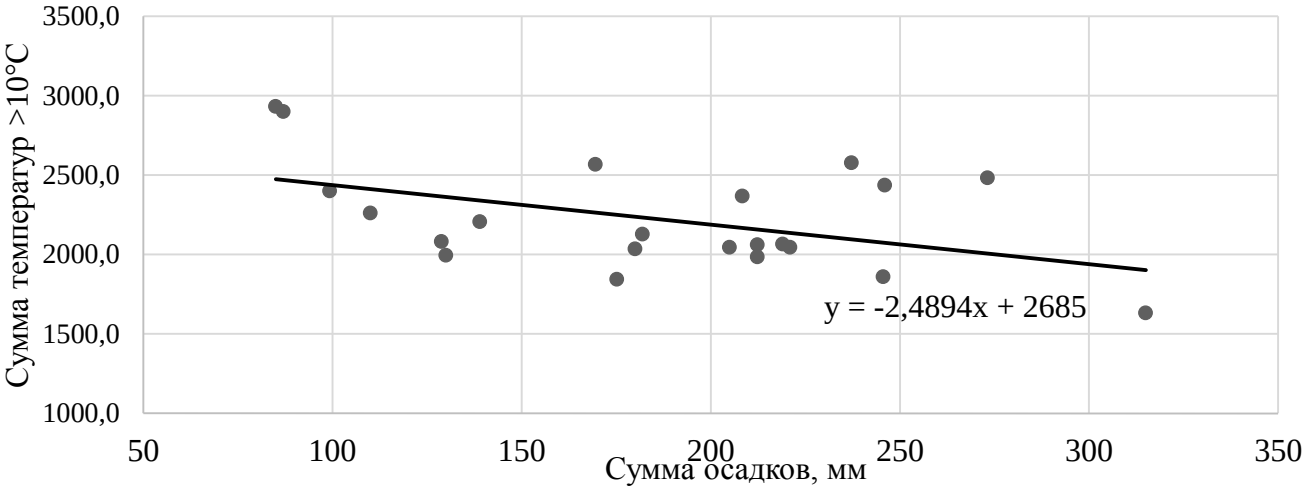


Рисунок 6.6 – Сумма температур > 10°С и сумма осадков за период май-август (2001-2022 гг.)

Связь суммы осадков и суммы активных температур можно выразить линейным уравнением регрессии Y = –2,4894X + 2685 при значении $r_{0,05}$ = -0,47, что предсказуемо указывает на наличие отрицательной средней силы связи между этими показателями (Абрамов и др., 2023).

Согласно классификации Селянинова годы наблюдений по значению ГТК были сгруппированы по условиям вегетационного периода следующим образом: сухой (ГТК < 0,5) – 4 года, или 18,2 %; очень засушливый (ГТК 0,5-0,7) – 4 года

или 18,2 %; засушливый (ГТК 0,7-1,0) – 6 лет или 27,3 %; слабозасушливый (ГТК 1,0-1,3) – 6 лет или 27,3 %; влажный (ГТК > 1,3) – 2 года или 9,0 %.

Значения ГТК за 22 года показали, что, в центральной агроклиматической зоне преобладают засушливые и слабозасушливые условия.

Нами проведена группировка вегетационных периодов по значениям суммы осадков и суммы активных температур, применительно к конкретной зоне. При помощи кластерного анализа методом К-средних были определены центры пяти кластеров со следующими значениями суммы осадков и суммы активных температур: 1. 86,4 мм и 2909,7 °С; 2. 142,0 мм и 2125,6 °С; 3. 156,8 мм и 2428,5 °С; 4. 191,5 мм и 1894,4 °С; 5. 315,0 мм и 1632,1 °С. В соответствующие кластеры попали следующие года исследований: 1. 2 года (2010, 2012); 2. 9 лет (2003-2008, 2017, 2020, 2022); 3. 6 лет (2001, 2011, 2013, 2014, 2019, 2021); 4. 4 года (2009, 2015, 2016, 2018); 5. 1 год (2002).

Приняв середины отрезков между центрами выявленных кластеров за границы кластеров, можно получить классификацию погодных условий вегетационного периода по сумме осадков и сумме активных температур. За годы наблюдений нами получена шкала условий, представленная в таблице 6.13. Вегетационные периоды чаще всего встречались с недостаточным и средним количеством осадков, а также прохладным и теплым температурным режимом.

Таблица 6.13 – Шкала тепловых ресурсов и увлажнения вегетационного периода (2001-2022 гг.)

Сумма осадков, мм (май-август)	Характеристика количества осадков за вегетационный период	Сумма температур > 10 °С	Характеристика вегетационного периода по сумме температур
< 115	низкое	< 1765	холодный
115-150	недостаточное	1765-2010	прохладный
150-175	среднее	2010-2280	теплый
175-255	повышенное	2280-2670	оч. теплый
> 255	высокое	> 2670	жаркий

Средняя урожайность на вариантах без применения удобрений в годы исследований составила 1,79 т/га з. ед. (рисунок 6.7). Внесение минеральных удобрений повышало урожайность зерновых культур до 2,15 т/га (или на 20,1%).

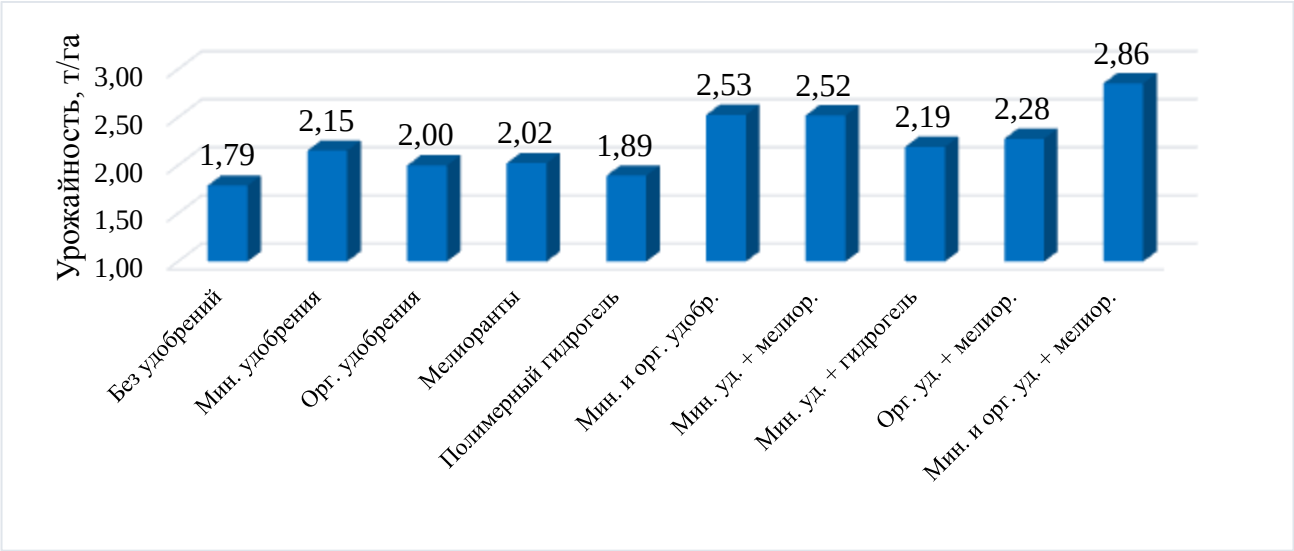


Рисунок 6.7 – Урожайность зерновых культур при использовании удобрений, химических мелиорантов, СПГ (опытное поле Курганской ГСХА, 2001-2019 гг.)

Исследования свидетельствуют о значительных изменениях урожайности культур в зависимости от ГТК. Улучшение условий увлажнения вегетационного периода закономерно находило отзывчивость в повышении урожайности на всех уровнях обеспеченности растений питательными элементами. (таблица 6.14).

Таблица 6.14 – Урожайность зерновых культур при различных погодных условиях, удобрениях и мелиорантах (2001-2019 гг.)

Факторы / ГТК	Без удобрений	Мин. удобрения	Орг. удобрения	Мелиоранты	Гидрогель	Мин. уд. + орг. уд.	Мин. уд. + мелиор.	Мин. уд. + гидрогель	Орг. уд. + мелиор.	Мин. и орг уд. + мелиор.	Средняя по погодным условиям		Средняя взвешенная	
< 0,5	1,26/3*	1,47/3	-	1,12/1	1,49/2	-	1,19/1	1,69/2	-	-	1,37	-	1,40	-
0,5-0,7	1,52/2	1,94/2	1,31/1	1,64/2	-	1,83/1	2,11/2	-	1,54/1	2,02/1	1,74	0,37	1,76	0,36
0,7-1,0	1,81/5	2,16/5	1,75/3	2,25/2	-	2,07/3	2,67/2	-	1,92/1	1,96/1	2,07	0,70	2,05	0,65
1,0-1,3	2,04/7	2,49/7	2,18/5	2,21/4	2,70/1	2,90/5	2,88/4	3,21/1	2,47/4	3,28/4	2,64	1,27	2,53	1,13
> 1,3	1,87/4	2,24/4	2,19/3	2,18/3	-	2,60/3	2,66/3	-	2,39/3	2,87/3	2,38	1,01	2,35	0,95

* - в числителе средняя урожайность, в знаменателе число лет, зафиксированных в данном интервале ГТК

Так, на варианте без удобрений и мелиорантов с ростом ГТК от 0,5 до 1,3 урожайность зерновых увеличилась от 1,26 до 2,04 т/га, а на фоне минеральных удобрений – от 1,47 до 2,49 т/га. Для создания наибольшей продукции агроцено-

зов нами установлен оптимальный уровень гидротермического коэффициента 1,0–1,3. На всех вариантах с применением средств химизации в данном интервале ГТК получена максимальная урожайность зерновых – 2,04-3,28 т/га.

Условия роста и развития культурных растений при значениях ГТК вегетационного периода < 0,5 и отсутствием удобрений привело к получению вполне ожидаемой наименьшей урожайности зерновых – 1,26 т/га. Классификация погодных условий по сумме осадков за май-август, предложенная для центральной зоны позволила по-иному сгруппировать годы наблюдений и оценить влияние степени увлажнения на урожайность культур (таблица 6.15).

Таблица 6.15 – Урожайность зерновых культур при различных уровнях увлажнения, применения удобрения и мелиорантов (2001-2019 гг.)

Факторы / Осадки, мм	Без удобрений	Мин. удобрения	Орг. удобрения	Мелиоранты	Гидрогель	Мин. уд. + орг. уд.	Мин. уд. + мелиор.	Мин. уд. + гидрогель	Орг. уд. + мелиор.	Мин. и орг уд. + мелиор.	Средняя по погодным условиям		Средняя взвешенная	
< 115	1,26/3	1,39/3	-	1,12/1	1,49/2	-	1,19/1	1,69/2	-	-	1,36	-	1,26	-
115-150	1,27/1	1,75/1	1,31/1	1,41/1	-	1,83/1	1,97/1	-	1,54/1	2,02/1	1,64	0,28	1,64	0,38
150-175	1,76/1	2,22/1	-	1,87/1	-	-	2,24/1	-	-	-	2,02	0,66	2,02	0,76
175-255	1,81/13	2,18/13	1,96/9	2,12/7	-	2,48/9	2,65/7	-	2,22/6	2,80/6	2,28	0,92	2,22	0,96
> 255	2,42/3	2,97/3	2,54/2	2,53/2	2,70/1	3,07/2	3,16/2	3,21/1	2,81/2	3,43/2	2,88	1,52	2,86	1,60

От суммы активных температур (выше 10°С) зависела урожайность зерновых в годы исследований, наблюдалось её снижение при увеличении теплообеспеченности (таблица 6.16). Температурный стресс растений отмечен в самые жаркие годы (2010 и 2012 гг.) когда отмечалась наименьшая урожайность, при минимальном количестве осадков. Рост температурных показателей вегетационного периода вызывал снижение интенсивности физиологических процессов, и как следствие средней урожайности с 2,84 до 1,38 т/га по всем фонам питания.

Шарой Л.С. и др. (2023) указывается, что между урожайностью яровой пшеницы (за 2012-2022 гг.) и ростом температуры на Урале существует достоверная отрицательная связь.

Таблица 6.16 – Урожайность зерновых культур при различных температурных режимах, применении удобрений и мелиорантов (2001-2019 гг.)

Факторы / Сумма темп. > 10°С	Без удобрений	Мин. удобрения	Орг. удобрения	Мелиоранты	Гидрогель	Мин. уд. + орг. уд.	Мин. уд. + мелиор.	Мин. уд. + гидрогель	Орг. уд. + мелиор.	Мин. и орг уд. + мелиор	Средняя по погодным условиям		Средняя взвешенная	
< 1765	2,30/2	2,92/2	2,54/2	2,53/2	-	3,06/2	3,16/2	-	2,81/2	3,43/2	2,84	-	2,84	-
1765-2010	1,72/5	1,95/5	1,74/3	1,84/2	-	2,10/3	2,15/2	-	1,65/2	2,48/2	1,95	-0,89	1,92	-0,92
2010-2280	1,54/4	2,10/4	1,80/4	1,68/3	-	2,58/4	2,52/3	-	1,91/3	2,98/3	2,14	-0,70	2,12	-0,72
2280-2670	2,07/7	2,44/7	2,17/3	2,34/4	2,70/1	2,53/3	2,72/4	3,21/1	2,64/2	2,78/2	2,56	-0,28	2,43	-0,41
> 2670	1,26/3	1,39/3	-	1,12/1	1,49/2	-	1,19/1	1,68/2	-	-	1,36	-1,48	1,38	-1,46

Зависимость урожайности зерновых культур от погодных условий хорошо иллюстрирует корреляционно-регрессионный анализ (приложение 56).

Коэффициент корреляции урожайности со значением ГТК по всем фонам питания составил 0,48. Сильнее связь проявлялась с суммой выпавших за вегетационный период осадков – 0,62. Как и в случае с ГТК, наибольшее влияние на изменения урожайности оказывала величина осадков при наибольшей обеспеченности растений питательными элементами (r_{05} – 0,66) (Абрамов и др., 2023).

Зависимость урожайности от роста суммы активных температур была отрицательной (-0,28). Однако достоверность обратной корреляции урожайности и суммы активных температур осталась недоказанной на 95%-ном уровне вероятности ($t_ф < t_{05}$).

В результате проведенного анализа влияния погодных условий вегетационного периода установлено, что сумма выпавших осадков – на 32,5 % (коэффициент детерминации $r^2 = 0,325$) определяет урожайность зерновых культур вне зависимости от минерального питания. В меньшей степени суммой активных температур – на 7,6 %, к тому же эта связь является несущественной на 95%-ном уровне вероятности ($t_ф < t_{05}$). Показатель ГТК, основанный на этих двух показателях, определяет изменения урожайности зерновых культур на 22,8 %.

6.4 Качество продукции зерновых культур при различных уровнях почвенного плодородия

Показатели качества продукции сельскохозяйственных культур определяются совокупностью факторов: возможности потребления минеральных элементов растениями из почвы связаны с биологическими особенностями развития корневых систем, условиями выращивания и в значительной степени применением средств химизации (Державин, 2007). Требования растений к минеральному питанию предопределены их генотипическими особенностями (Минеев, Павлов, 1981; Волынкин, Волынкина, 1999). Сбалансированное питание способствует ускоренному развитию растений, формированию большей урожайности, повышению продуктивности зерновых культур высокого качества (Прянишников, 1965, 1968, 1976; Авдусь, 1976; Минеев, Павлов, 1981; Кузнецова, 2011).

На содержание клейковины в зерне пшеницы сильно влияют внешние условия, уровень агротехники и используемые сорта (Кулаковская, 1990; Посыпанов и др., 2007; Гилев, 2010; Кириллова, 2011; Волынкина и др., 2017).

В наших исследованиях удобрения влияли на качество зерновых культур. Содержание общего азота в зерне пшеницы без применения удобрений в опыте 1 составило 1,69 %, при внесении $N_{35}P_{50}$ –1,91 %. При известковании почвы у зерновых культур повышается содержание белка, аминокислот, фосфора, магния и других цепных веществ в зерне, улучшаются его технологические качества (Петербургский, 1981, Кулаковкая, 1993). Относительно контроля содержание N в зерне пшеницы в сочетании с $N_{35}P_{50}$ повысилась до 1,93 % (таблица 6.17).

Изменения в содержании фосфора не были столь ярко выражены и полученные данные позволяют говорить только о некоторых тенденциях действия кальцийсодержащих соединений и удобрений, изучаемых в опыте. При совместном внесении навоза с NP накопление фосфора в зерне составило 0,77%. Существенных изменений в содержании калия в зерне пшеницы отмечено не было (0,83-0,96 %).

В результате оценки качества зерна пшеницы мы наблюдали незначительное увеличение содержания сырой клейковины, а в некоторых случаях снижение.

На качество зерна пшеницы повлияли погодные условия. В третьей декаде июля температура была на 1,0^{O}С выше среднемноголетних данных, а ГТК составил 0,1. Формирование клейковины шло с меньшей интенсивностью, что снижало эффект в получении продовольственного зерна. Содержание ее на варианте без удобрений было низким и составляло 18,8%. При внесении минеральных удобрений клейковины было больше на 1,4–3,5% ($НСР_{05}$ = 1,7 %).

Таблица 6.17 - Химический состав и качество зерна яровой пшеницы (опыт 1, первая пшеница после пара)

Вариант	Содержание, %				Сырая клейковина, %
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	
1. Без удобрений (контроль)	1,69	0,73	0,83	0,28	18,8
2. $N_{35}P_{50}$	1,91	0,71	0,86	0,25	21,9
3. Навоз 40 т/га	1,72	0,74	0,84	0,22	19,1
4. Навоз + NP	1,82	0,77	0,96	0,22	20,7
5. Известь 3 т/га – фон 1	1,71	0,74	0,91	0,31	18,9
6. Фон 1 + NP	1,93	0,76	0,84	0,28	22,4
7. Фон 1 + навоз 40 т/га	1,76	0,70	0,91	0,22	19,4
8. Фон 1 + навоз + NP	1,79	0,75	0,86	0,28	21,6
9. Фосфоритная мука 1 т/га- фон 2	1,75	0,72	0,96	0,28	19,9
10. Фон 2 + NP	1,92	0,74	0,93	0,28	22,7
11. Фон 2 + навоз	1,83	0,77	0,86	0,25	20,9
12. Фон 2 + навоз + NP	1,90	0,76	0,93	0,28	22,4
13. Гипс 3 т/га – фон 3	1,73	0,69	0,84	0,27	19,4
14. Фон 3 + NP	1,90	0,70	0,83	0,27	22,5
15. Фон 3 + навоз	1,86	0,72	0,93	0,28	21,4
16. Фон 3 + навоз + NP	1,92	0,68	0,94	0,29	22,8
$НСР_{05}$					1,7

Погодные условия вегетационного периода с ГТК - 1,93 не способствовали накоплению общего азота в зерне второй пшеницы после пара. Вегетационный период культуры затянулся, и уборка проходила на 2-3 недели позднее. По сравнению с контролем удобрения повышали содержание азота с 1,76 до 1,94%, а содержание фосфора в зерне оставалось невысоким 0,65 - 0,75%. Содержание калия в зерне пшеницы, наоборот было выше, чем у первой пшеницы, это связано с увлажнением почвы и поступлением элемента в растения (таблица 6.18).

Таблица 6.18 – Химический состав и качество зерна яровой пшеницы (опыт 1, вторая пшеница после пара)

Вариант	Содержание, %				Сырая клейковина, %
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	
1. Без удобрений (контроль)	1,76	0,68	0,94	0,28	21,0
2. $N_{70}P_{50}$	1,94	0,74	0,96	0,28	23,0
3. Навоз 40 т/га	1,85	0,70	0,82	0,22	22,2
4. Навоз + NP	1,95	0,71	0,86	0,17	23,3
5. Известь 3 т/га – фон 1	1,66	0,73	1,08	0,25	19,7
6. Фон 1 + NP	1,82	0,73	0,92	0,22	21,7
7. Фон 1 + навоз 40 т/га	1,76	0,67	0,83	0,28	20,9
8. Фон 1 + навоз + NP	1,97	0,68	0,85	0,22	23,5
9. Фосфоритная мука 1 т/га- фон 2	1,73	0,75	1,01	0,21	19,2
10. Фон 2 + NP	1,86	0,71	0,93	0,17	22,2
11. Фон 2 + навоз	1,70	0,65	0,83	0,31	20,5
12. Фон 2 + навоз + NP	1,83	0,66	0,86	0,24	21,8
13. Гипс 3 т/га – фон 3	1,68	0,70	0,90	0,22	20,0
14. Фон 3 + NP	1,90	0,69	0,86	0,28	22,7
15. Фон 3 + навоз	1,71	0,65	0,89	0,19	20,9
16. Фон 3 + навоз + NP	2,04	0,67	0,84	0,25	24,6
$НСР_{05}$					1,9

Содержание сырой клейковины на варианте без удобрений составило 21,0%, от $N_{70}P_{50}$ – 23,0 % ($НСР_{05}$ = 1,9 %). Растворение гипса способствовало накоплению в почве подвижной серы, которая участвовала в накоплении протеина растений. Коэффициент корреляции содержания сырой клейковины с урожайностью составил 0,74.

При анализе качества зерна ячменя установлено, что от минеральных удобрений содержание азота повысилось с 1,73 до 1,79% (таблица 6.19). По содержанию фосфора зерно ячменя не имело значительных различий по вариантам опыта. Наиболее высокое содержание калия в зерне отмечено при гипсовании почвы совместно с внесением навоза (0,92%). Кальцийсодержащие соединения также оказали влияние на качественные показатели зерна ячменя. Наблюдались различия по вариантам при определении массы 1000 зёрен. На контроле этот показатель составил 50,3 г, на варианте навоз + фосфоритная мука + NP – 57,2 г ($НСР_{05}$ = 2,8 г.). На увеличение массы зерна оказало влияние улучшение фосфатного режима и благоприятные погодные условия.

Таблица 6.19 – Химический состав и качество зерна ячменя (2003 г.)

Вариант	Содержание, %				Натура зерна, г/л	Масса 1000 зёрен, г
	N	P_2O_5	K_2O	CaO		
1. Без удобрений (контроль)	1,73	0,55	0,77	0,20	631	50,3
2. $N_{70}P_{40}$	1,79	0,58	0,73	0,14	653	54,4
3. Навоз 40 т/га	1,70	0,60	0,82	0,14	641	52,2
4. Навоз + NP	1,86	0,58	0,73	0,16	648	55,4
5. Известь 3 т/га – фон 1	1,81	0,56	0,70	0,11	635	51,3
6. Фон 1 + NP	1,86	0,59	0,73	0,14	651	54,3
7. Фон 1 + навоз 40 т/га	1,93	0,60	0,82	0,11	634	52,0
8. Фон 1 + навоз + NP	1,87	0,56	0,86	0,22	650	56,1
9. Фосфоритная мука 1 т/га- фон 2	1,86	0,55	0,77	0,14	633	50,9
10. Фон 2 + NP	1,79	0,57	0,77	0,20	648	55,4
11. Фон 2 + навоз	1,81	0,61	0,81	0,11	641	51,6
12. Фон 2 + навоз + NP	1,86	0,58	0,75	0,16	652	57,2
13. Гипс 3 т/га – фон 3	1,79	0,59	0,80	0,16	635	51,2
14. Фон 3 + NP	1,76	0,57	0,74	0,08	646	54,3
15. Фон 3 + навоз	2,04	0,59	0,92	0,16	645	50,7
16. Фон 3 + навоз + NP	1,97	0,54	0,90	0,11	649	55,1
$НСР_{05}$					11	2,8

Содержание азота в зерне первой пшеницы после пара в опыте 2 от внесения $N_{35}P_{50}$ повысилось с 1,83 % до 2,28 %. Азот навоза увеличивал количество этого элемента в зерне до 2,25 %. На варианте без удобрений содержание фосфора составило 0,61%, от органических и минеральных удобрений оно достигло 0,75%. Содержание калия по всем вариантам опыта было более 1,0 %. При высокой увлажненности почвы (ГТК-1,93) увеличивалось количество доступного калия для растений. Также это связано с разложением органического удобрения. В результате его содержание в почве достигало 275 кг/га и влияло на доступность калия культурой (приложение 57). Содержание сырой клейковины в зерне пшеницы под влиянием навоза увеличилось до 26,6%. В отличие от навоза, солома снижала качество продукции, так как наблюдался недостаток азота при её разложении. Высокое действие на качество пшеницы на различных фонах, несмотря на неблагоприятные погодные условия, оказало совместное внесение навоза и минеральных удобрений (31,0 %).

Содержание N в зерне второй пшеницы после пара составило 1,61 %, применение $N_{70}P_{50}$ увеличило значение этого показателя до 2,06 %. Различия по вариан-

там опыта в накоплении фосфора в зерне были менее существенными (от 0,57% до 0,69 %). Накопление калия в зерне определяли, как правило, органические удобрения, в большей степени солома и зеленое удобрение. На этих вариантах в последействии содержание K_2O составило соответственно 0,88 и 0,86% (приложение 58).

В зерне ячменя содержание азота на варианте при внесении $N_{70}P_{40}$ увеличивало его содержание до 1,76 %. Наибольшее влияние на накопление P_2O_5 в зерне оказало последействие совместного применения извести и навоза (0,62%). Количество калия в зерне ячменя при естественном плодородии чернозёма составило 0,79% (приложение 58).

В исследованиях с полимерным гидрогелем (опыт 3) содержание азота в зерне на контроле в засушливом 2010 году (ГТК - 0,29) составило 2,16 %. При внесении 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% (приложения 60-62). В более благоприятном году (ГТК- 1,10) содержание элементов в зерне и соломе были выше значений, чем у первой пшеницы.

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% (таблица 6.20, приложения 63). 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%.

Таблица 6.20 – Качество зерна яровой пшеницы (опыт 3)

Вариант	Сырая клейковина, %			Масса 1000 зерен, г		
	полимерный гидрогель, кг/га					
	0	20	40	0	20	40
1 Без удобрений (контроль)	27,6	32,7	31,5	34,9	36,7	33,7
2 N_{30}	30,3	34,0	29,8	35,5	35,6	36,3
3 N_{60}	34,9	33,3	32,1	33,8	35,3	34,8
4 P_{20}	27,9	31,9	29,7	36,5	36,6	34,9
5 P_{40}	29,7	31,2	31,4	36,6	37,1	34,9
6 $N_{30}P_{20}$	31,0	30,4	33,2	35,1	37,4	36,3
7 $N_{30}P_{40}$	34,5	31,3	35,0	35,0	36,1	35,4
8 $N_{60}P_{20}$	33,1	33,2	32,8	34,6	34,9	35,0
9 $N_{60}P_{40}$	34,9	32,6	34,1	34,8	35,2	35,8

Вид и степень зависимости содержания сырой клейковины в зерне пшеницы и массы 1000 зерен в зерновых культурах от изучаемых факторов определяли при помощи корреляционно-регрессионного анализа. Анализ результатов исследований, полученных на первой пшенице, показал слабое влияние доз гидрогеля и удобрений на содержание клейковины. Связь доз применяемых азотных удобрений и содержания клейковины в зерне средняя (r = 0,62) (таблица 6.21, приложения 64, 65).

Для более точного прогнозирования качества пшеницы при внесении возрастающих доз удобрений целесообразно построить уравнение множественной регрессии. Определение нелинейной множественной зависимости качества от доз гидрогеля, азотных и фосфорных удобрений, показало, что r = 0,79. Путем подбора параметров уравнения было установлено, что в большей степени качество пшеницы по пару зависело от доз гидрогеля в ½ степени, доз фосфора в ½ степени и от доз азота в квадрате.

Таблица 6.21 – 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
	$Y = 28,48003 – 0,03513Г + 0,73677Г^{0,5} + 0,03075N + 0,39930N^{0.5} + 0,12038P – 63934P^{0,5} – 0,08408(ГN)^{0,5} - 0,01218(ГР)^{0,5} + 0,01595(NP)^{0,5}$	0,79
	$Y = 28,91852 + 0,10181Г – 0,00106Г^2 + 0,09588N - 0,00027N^2 – 0,06368P + 0,00201P^2 – 0,00156ГN + 0,00016ГР + 0,00012NP$	0,77

Масса 1000 зёрен является показателем качества семенного материала. В крупном зерне количество оболочек и масса зародыша по отношению к ядру наименьшие. Крупные семена дают более мощные всходы и более продуктивные растения. Наиболее высокая масса 1000 зерен на первой пшенице после пара была получена на варианте с совместным внесением 20 кг/га гидрогеля и смеси удобрений в дозе $N_{30}P_{20}$ – 35,4 г. Отметим также, что на вариантах с применением азотных и фосфорных удобрений на фоне использования полимерного гидрогеля масса 1000 зерен росла как в сравнении с контрольным вариантом, так и относительно аналогичных вариантов без гидрогеля. На второй пшенице картина несколько изменилась – более крупным оказалось зерно на варианте гидрогель + P_{20}, но совместное применение азотных и фосфорных удобрений на фоне применения гидрогеля привело к более низким показателям массы 1000 семян, что связано с прохладной температурой и обилием осадков в июле месяце (ГТК – 1,6). Масса 1000 зерен ячменя в засушливый год (ГТК – 0,30) колебалась по опыту в пределах 20,8-23,7 г, коэффициент корреляции с урожайностью – 0,68 (таблица 6.22).

Таблица 6.22 – Последействие гидрогеля на массу 1000 зерен ячменя (2012 г.)

Вариант	Полимерный гидрогель, кг/га			Среднее
	0	20	40	
1 Без удобрений (контроль)	20,8	21,4	21,0	21,1
2 N_{30}	21,1	21,8	21,9	21,6
3 N_{60}	20,9	22,8	22,4	22,0
4 P_{20}	20,2	22,1	23,0	21,8
5 P_{40}	21,7	21,8	23,5	22,3
6 $N_{30}P_{20}$	21,3	23,5	22,6	22,5
7 $N_{30}P_{40}$	20,7	23,7	23,5	22,6
8 $N_{60}P_{20}$	20,7	21,0	21,1	20,9
9 $N_{60}P_{40}$	20,4	21,3	20,9	20,9
Коэффициент корреляции с урожайностью	r_{05}=0,68			–

Слабое влияние удобрений и гидрогеля на массу 1000 зерен первой пшеницы обусловили погодные условия. Коэффициент корреляции составил 0,04-0,23. Зависимость лучше описывалась как нелинейная множественная (r = 0,69-0,74). С увеличением количества осадков увеличилась и зависимость массы 1000 зерен пшеницы от внесения азотного удобрения (r=0,53).

Коэффициенты корреляции при расчете нелинейной множественной регрессии составили 0,81-0,82. Последействие гидрогеля показало более сильную связь с качественным показателем ячменя (r=0,54), а удобрений – слабую 0,18 и 0,15 соответственно. Так же как в предыдущие годы наиболее точными уравнениями, описывающими зависимость массы 1000 семян от гидрогеля и удобрений были уравнения нелинейной множественной регрессии, где теснота связи была наивысшей за три года (r = 0,66–0,86).

Средние за годы исследований значения массы 1000 зерен зерновых культур свидетельствуют о средней зависимости данного показателя от доз гидрогеля, а также азотного удобрения. Более точно данную зависимость описывают уравнения квадратичной кривой (r = 0,51-0,53) (таблица 6.23).

Таблица 6.23 – Регрессионная зависимость массы 1000 зерен зерновых культур (Y) от доз гидрогеля (Г) в кг/га, азотных (N) и фосфорных (P) удобрений в кг д.в./га (среднее за ротацию севооборота)

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической массой 1000 зерен Y
Линейная парная	$Y = 30,674 + 0,0119Г$	0,25
	$Y = 31,270 - 0,0120N$	0,37
	$Y = 30,691 + 0,0110P$	0,23
Нелинейная парная	$Y = 30,411 + 0,0907Г – 0,002Г^2$	0,53
	$Y = 31,074 + 0,0273N - 0,0007N^2$	0,51
	$Y = 30,633 + 0,0282P - 0,0004P^2$	0,25
Линейная множественная	$Y = 30,81296 + 0,01185Г - 0,01198N + 0,01102P$	0,50
Нелинейная множественная	$Y = 30,62771 + 0,10348Г^{0,5} - 0,00023N^2 + 0,07303P^{0,5}$	0,63
	$Y = 30,31368 – 0,08338Г + 0,48978Г^{0,5} - 0,05937N + 0,36683N^{0.5} - 0,00977P + 0,23463P^{0,5} + 0,02450(ГN)^{0,5} + 0,00125(ГP)^{0,5} - 0,02443(NP)^{0,5}$	0,87
	$Y = 30,36019 + 0,07352Г – 0,00197Г^2 + 0,02608N - 0,00065N^2 + 0,04088P - 0,00043P^2 + 0,00053ГN + 0,00007ГP – 0,00047NP$	0,86

Содержание сырой клейковины в зерне пшеницы на контроле в опыте с фосфогипсом составило 32,6 %. Самое высокое содержание клейковины (37,0 %)

отмечалось на пятом варианте опыта при совместном использовании азотных и фосфорных удобрений (таблица 6.24, приложение 66).

Положительное влияние серы часто остается незамеченным, так как воздействует она главным образом не на величину урожая, а на его качество. Вместе с этим визуальное проявление серного голодания растений обычно маскируется почти полным внешним сходством с известными признаками недостатка азотной пищи растений, так как азот и сера имеют общие сходные черты в метаболизме растений.

Таблица 6.24 – Качество зерновых культур при использовании фосфогипса и минеральных удобрений (опыт 4)

Вариант	Пшеница, среднее в звене севооборота			Ячмень после пшеницы	
	сырая клейковина, %	масса 1000 зерен, г	натура зерна, г/л	масса 1000 зерен, г	натура зерна, г/л
1. Без удобрений (контроль)	32,6	31,2	743	42,1	603
2. N_{40}	35,5	32,6	747	44,2	599
3. N_{80}	36,4	31,9	742	42,2	599
4. P_{40} (в запас на 3 года всего P_{120})	34,7	30,0	748	43,7	605
5. $N_{40}P_{40}$	37,0	32,3	744	43,1	582
6. $N_{80}P_{40}$	35,2	32,0	747	43,2	576
7. Фосфогипс 0,5 т/га – фон 1	32,2	30,9	741	41,5	594
8. Фон 1 +N_{40}	34,3	31,6	744	42,9	596
9. Фон 1 +N_{80}	34,0	32,0	739	43,1	586
10. Фон 1 +P_{40}	31,9	31,9	744	42,6	609
11. Фон 1 +$N_{40}P_{40}$	32,7	32,5	738	45,1	588
12. Фон 1 +$N_{80}P_{40}$	36,7	30,6	746	44,7	592
13. Фосфогипс 1,0 т/га – фон 2	33,2	30,8	747	43,6	610
14. Фон 2 +N_{40}	33,4	31,6	741	43,5	606
15. Фон 2 +N_{80}	33,7	31,2	744	43,1	599
16. Фон 2 +P_{40}	33,7	31,8	738	45,3	616
17. Фон 2 +$N_{40}P_{40}$	36,3	31,6	744	45,5	610
18. Фон 2 +$N_{80}P_{40}$	34,3	31,9	742	44,7	592

Масса 1000 зерен пшеницы на контроле в звене севооборота составила 31,2 г. Выявлено, что основным элементом питания, влияющим на массу зерна является азот, в дозе 40 кг д.в. на гектар он повышал содержание N в зерне пшеницы, и как следствие массу 1000 зерен до 32,6 г. Масса 1000 зерен ячменя на варианте

без удобрений составила 42,1 г. Использование различных сочетаний азотных и фосфорных удобрений изменяло этот показатель от 42,2 до 43,7 г. На фоне фосфогипса значение качественного показателя колебалось в пределах от 41,5 до 45,5 г. Улучшение качества зерна ячменя при использовании фосфогипса на чернозёме также отмечается и в исследованиях Троц Н.М. и др. (2022).

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 (r=0,53). Линейная и нелинейная формы зависимости с довольно близкой точностью (r =0,67-0,80) описывают изменения данных показателей (таблица 6.25, приложение 67).

Таблица 6.25 – 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

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

В остро засушливых условиях, отмечалось слабое влияние удобрений и фосфогипса на массу 1000 зерен, коэффициент корреляции составил 0,11-0,20. Масса 1000 зерен пшеницы была в большей зависимости от использования азотного удобрения – r= 0,48. В засушливых условиях (ГТК – 0,66) исследований увеличилась зависимость массы 1000 зерен пшеницы от внесения аммиачной селитры

(r=0,81). В замыкающем поле зернопарового севооборота последействие фосфогипса и фосфорного удобрения показало более сильную связь с массой 1000 зерен культуры (r=0,44-0,58). Нелинейная множественная связь между факторными и результативными показателями была сильной (r=0,74-0,77). В севообороте на массу 1000 семян оказали фосфорные удобрения r=0,40 (таблица 6.26, приложение 68).

Парные зависимости массы 1000 зерен зерновых культур и доз применяемых удобрений в среднем за годы исследований наиболее достоверно описываются нелинейной регрессией качества от доз азота (r = 0,61).

Таблица 6.26 – Регрессионная зависимость массы 1000 зерен зерновых культур (Y) в г от доз фосфогипса (Ф) в т/га, азотных (N) и фосфорных (P) удобрений в кг д.в./га (среднее за ротацию севооборота)

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической массой 1000 зерен Y
Линейная парная	$Y = 35,433 + 0,2778Ф$	0,18
	$Y = 35,344 + 0,0057N$	0,30
	$Y = 35,326 + 0,0123P$	0,40
Нелинейная парная	$Y = 35,472 – 0,1889Ф + 0,4667Ф^2$	0,20
	$Y = 35,111 + 0,0407N - 0,0004N^2$	0,61
Линейная множественная	$Y = 34,95926 + 0,27778Ф + 0,00569N + 0,01231P$	0,53
Нелинейная множественная	$Y = 34,85488 + 0,29231Ф^2 + 0,06862N^{0,5} + 0,01231P$	0,61
	$Y = 34,68386 + 1,33902Ф – 1,01501Ф^{0,5} - 0,03579N + 0,45038N^{0.5} + 0,00228P – 0,10719(ФN)^{0,5} + 0,22331(ФP)^{0,5} - 0,00732(NP)^{0,5}$	0,88
	$Y = 34,74676 – 0,31944Ф + 0,46667Ф^2 + 0,04809N - 0,00044N^2 + 0,00259P – 0,01063ФN + 0,02778ФP – 0,00010NP$	0,87

В опыте 5 действие в первый год внесения сапропеля зерно пшеницы с содержало азота 2,66 %, с клейковиной 34,4 %, что было выше контрольного варианта соответственно на 0,34 % и 4,9 %. Нейтрализация кислотности 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 % (таблица 6.27, приложение 69).

Таблица 6.27 – Содержание сырой клейковины в зерне пшеницы при использовании сапропеля, извести и минеральных удобрений, % (опыт 5)

Вариант	Без извести			Известь 2,0 т/га		
	первая пшеница	вторая пшеница	среднее за два года	первая пшеница	вторая пшеница	среднее за два года
1. Без удобрений (контроль)	29,5	20,8	25,2	32,6	22,6	27,6
2. Сапропель 1, 20 т/га	34,4	20,3	27,4	29,5	21,4	25,5
3. Сапропель 2, 20 т/га	28,5	21,1	24,8	34,6	22,0	28,3
4. $N_{30}P_{30}$	27,6	21,3	24,5	27,2	22,2	24,7
5. $N_{30}P_{30}$ + сапропель 1, 20 т/га	34,0	23,4	28,7	29,1	23,0	26,1
6. $N_{30}P_{30}$ + сапропель 2, 20 т/га	33,7	22,2	28,0	27,7	22,9	25,3

Результаты исследований показали слабое влияние в первый год известкования почвы и удобрений на содержание клейковины (r=0,21-0,48). С совместное их применение, увеличивало корреляционное отношение – 0,54-0,70. Качество второй пшеницы определялось внесением минеральных удобрений (r=0,62) и последействия известкования почвы (r=0,45). За годы исследований содержание сырой клейковины в зерне пшеницы в большей степени зависело от доз сапропеля Курганской области (r = 0,44) (таблица 6.28, приложение 70).

Таблица 6.28 – 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 + 0,2708С1	0,44
	Y = 638,83 + 0,2375С2	0,36
Линейная множественная	Y = 635,5833 – 2,5833И + 0,1194NP + 0,3833С1	0,70
	Y = 633,2500 – 1,1667И + 0,1500NP + 0,3500С2	0,68

На варианте без удобрений масса 1000 зерен пшеницы составила 30,4 г, при внесении $N_{30}P_{30}$ она увеличилась до 33,4 г (таблица 6.29). Применение сапропеля способствовало росту массы 1000 зерен на 0,1-2,7 г, извести – на 0,5 г. На второй пшенице наибольшее значение данного показателя (35,1 г) было отмечено на варианте сапропель 1+$N_{30}P_{30}$. Масса 1000 зерен ячменя на варианте при использовании

минеральных удобрений увеличилась до 46,5 г. Корреляционный анализ показал, что увеличение массы 1000 зерен обусловило рост урожайности культуры (r= 0,63-0,89) (Плотников, 2014). Натура зерна первой пшеницы на контроле составила 639 г/л. Наибольший показатель натуры зерна второй пшеницы (710 г/л) отмечен на варианте с последействием сапропеля и извести.

Таблица 6.29 – Качественные характеристики урожая зерновых культур при использовании удобрений (2014-2016 гг.)

Вариант	Масса 1000 зерен, г			Натура зерна, г		
	пшеница после пара	пшеница по пшенице	ячмень	пшеница после пара	пшеница по пшенице	ячмень
1. Без удобрений (контроль)	30,4	33,0	44,2	639	692	569
2. Сапропель 1, 20 т/га	33,1	33,3	45,3	651	693	584
3. Сапропель 2, 20 т/га	30,5	33,2	44,0	645	693	571
4. $N_{30}P_{30}$	33,4	33,6	46,5	661	708	583
5. $N_{30}P_{30}$ + сапропель 1, 20 т/га	32,3	35,1	46,4	648	708	580
6. $N_{30}P_{30}$ + сапропель 2, 20 т/га	30,3	34,5	46,1	642	709	583
7. Известь, 2 т/га - фон	30,9	33,1	44,0	634	688	574
8. Фон + сапропель 1, 20 т/га	33,3	33,2	45,4	657	710	578
9. Фон + сапропель 2, 20 т/га	31,3	34,1	46,6	652	706	591
10 Фон + $N_{30}P_{30}$	31,9	33,9	47,0	636	704	578
11. Фон + $N_{30}P_{30}$ + сапропель 1, 20 т/га	32,6	34,0	47,1	643	705	574
12. Фон + $N_{30}P_{30}$ + сапропель 2, 20 т/га	32,0	33,6	46,8	638	708	585
Коэффициент корреляции с урожайностью r_{05}	0,71	0,63	0,89	–	–	–

Наибольшее влияние на массу 1000 зерен первой пшеницы после пара оказал сапропель 1, полученный в Курганской области, r=0,57. При расчете множественной линейной зависимости – коэффициент составил 0,64-0,68. На пшенице по пшенице увеличилась зависимость массы 1000 зерен пшеницы (r=0,66) и ячменя (r=0,77) от внесения азотно-фосфорного удобрения. Расчет линейной множественной регрессии между факторными и результативными показателями показал сильную связь, r = 0,86-0,95 (приложение 71).

У зерновых культур зернопарового севооборота масса 1000 зерен варьировала, в основном, в результате применения различных доз сапропеля 1 (r = 0,49) и азотно-фосфорного удобрения (r = 0,68) (таблица 6.30).

Таблица 6.30 – Регрессионная зависимость массы 1000 зерен зерновых культур (Y) в г от сапропелей (С1 и С2) в т/га, извести (И) в т/га, азотно-фосфорных (NP) удобрений в кг д.в./га (среднее для зерновых культур, 2014-2016 гг.)

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической массой 1000 зерен Y
Линейная парная	Y = 36,956 + 0,1556И	0,21
	Y = 36,606 + 0,0169NP	0,68
	Y = 36,825 + 0,0383С1	0,49
	Y = 36,825 + 0,0046С2	0,06
Линейная множественная	Y = 36,22500 – 0,00833И + 0,02028NP + 0,03833С1	0,93
	Y = 36,00000 + 0,22917И + 0,01986NP + 0,00458С2	0,83

Химический состав растений, в опыте с применением минеральных удобрений изменялся в широких пределах. При внесении минеральных удобрений под первую пшеницу в дозе $N_{40}P_{80}K_{40}$ концентрация азота повысилась до 2,05 % в зерне, в соломе также была наибольшей и составила 0,62 %. Разница в содержание азота в зерне культур севооборота, была выше показателя контрольного варианта на 0,32 %, на второй пшенице – 0,41 %, на ячмене – 0,17 %. Схожая динамика отмечалась по содержанию фосфора (приложение 72).

Содержание сырой клейковины (рисунок 6.8) на варианте с внесением полного минерального удобрения – 25,4 % (Плотников, Кабдунова, 2018).

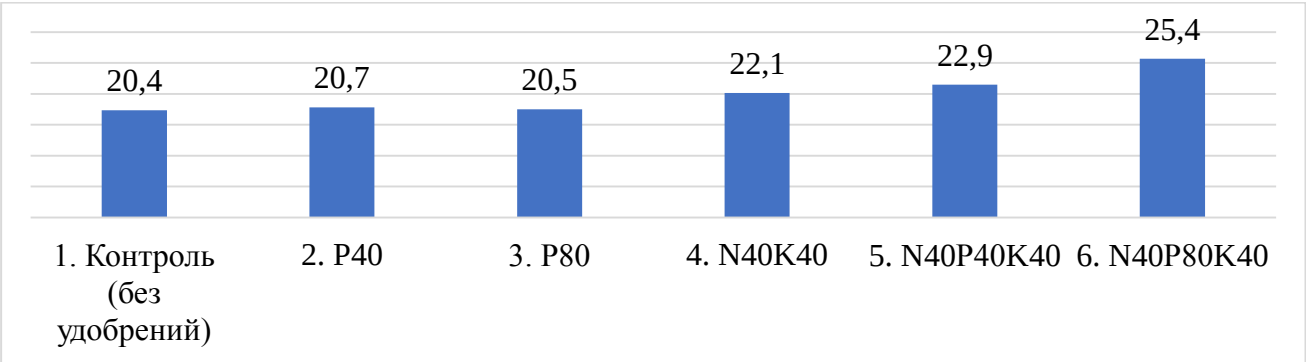


Рисунок 6.8 – Влияние минеральных удобрений на содержание сырой клейковины в зерне пшеницы, среднее в звене севооборота, %

Полученные результаты исследований, показали среднее влияние на содержание клейковины дозы минеральных удобрений, коэффициент корреляции составил 0,49-0,53. При построении уравнения линейной множественной зависимости содержания клейковины от доз удобрений, коэффициент корреляции был 0,72. Размещение пшеницы по пшенице усиливает остроту нехватки $N\text{-}NO_3$, поэтому внесение минеральных удобрений улучшало этот качественный показатель. Увеличилась зависимость содержания сырой клейковины в зерне на второй пшенице от внесения аммиачной селитры (r=0,96). Коэффициент корреляции для уравнения линейной множественной регрессии составил 0,99.

В среднем в звене севооборота отмечен высокий уровень линейной зависимости содержания сырой клейковины от доз азотного удобрения – коэффициент корреляции составил 0,83. Фосфорное удобрение оказывало практически вдвое меньшее воздействие на данный показатель (таблица 6.31, приложение 73).

Таблица 6.31 – Регрессионная зависимость содержания сырой клейковины в зерне пшеницы (Y) в % от доз азотных (N), фосфорных (P) и калийных (K) удобрений в кг д.в./га (2014, 2015 г.)

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической клейковиной Y
Линейная парная	$Y = 20,533 + 0,0733N$	0,83
	$Y = 21,150 + 0,0213P$	0,39
	$Y = 20,533 + 0,0733K$	0,83
Нелинейная парная	$Y = 21,25 + 0,0062P + 0,0002P^2$	0,40
Линейная множественная	$Y = 19,68333 + 0,07333N + 0,02125P$ $Y = 19,84103 + 0,07333N + 0,00026P^2$	0,92 0,92

Масса 1000 зерен также возрастала при внесении удобрений. Так, для пшеницы увеличение составило в среднем за 2014-2015 годы 0,8-3,2 г. У ячменя наилучший показатель наблюдался на варианте применения $N_{40}P_{80}K_{40}$ – 48,6 г, что выше контрольного варианта на 4,2 г (таблица 6.32).

Расчет линейной корреляции показал, что между урожайностью пшеницы и массой 1000 зерен связь средняя – r = 0,38. В благоприятные по погодным

условиям (ГТК- 1,32-1,07) коэффициент корреляции составил 0,77-0,96 (связь сильная).

Таблица 6.32 – Влияние минеральных удобрений на массу 1000 зерен культур в севообороте (опыт 6)

Вариант	Масса 1000 зерен, г		
	пшеница по пару	пшеница по пшенице	ячмень по пшенице
1. Контроль (без удобрений)	30,4	32,1	44,4
2. P_{40}	31,6	32,5	44,4
3. P_{80}	29,9	34,9	45,9
4. $N_{40}K_{40}$	30,9	34,2	46,8
5. $N_{40}P_{40}K_{40}$	30,7	38,3	48,1
6. $N_{40}P_{80}K_{40}$	30,8	36,0	48,6
$НСР_{05}$	0,4	0,4	0,6
коэффициент корреляции (r) с урожайностью	0,38	0,77	0,96

Наибольшее влияние на массу 1000 зерен первой пшеницы после пара оказало фосфорное удобрение, коэффициент корреляции составил 0,24 (содержание элемента в почве 75-86 мг/кг), хорошие запасы азота после парового предшественника отражают влияние азотного удобрения (r = 0,16). При исследовании второй пшеницы отмечалось, что масса 1000 зерен пшеницы зависела от внесения азотного удобрения (r = 0,71). Внесение минеральных удобрений также оказало сильное влияние на массу 1000 зерен ячменя (r = 0,89). Расчет линейной множественной корреляции между факторными и результативными показателями показал, что r = 0,98 (приложение 74).

Определяющим фактором формирования массы 1000 зерен были дозы азотных и калийных удобрений, о чем свидетельствует сильная (тесная) корреляционная связь (r = 0,85). Зависимость массы 1000 зерен от доз фосфорного удобрения была вдвое ниже и описывалась линейным и нелинейным уравнением с практически одинаковой точностью (таблица 6.33).

Натура зерна пшеницы на контрольном варианте по годам исследований составляла 637-645 г/л, ячменя – 570 г/л. На вариантах с использованием полного минерального удобрения отмечались наибольшие показатели натуры зерна культур (приложение 75).

Таблица 6.33 – Регрессионная зависимость массы 1000 зерен зерновых культур (Y) в г от доз азотных (N) в кг/га, фосфорных (P) и калийных (K) удобрений в кг д.в./га

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической массой 1000 зерен Y
Линейная парная	$Y = 36,233 + 0,0508N$	0,85
	$Y = 36,642 + 0,0152P$	0,42
	$Y = 36,233 + 0,0508K$	0,85
Нелинейная парная	$Y = 36,467 + 0,0415P - 0,0003P^2$	0,46
Линейная множественная	$Y = 35,62500 + 0,05083N + 0,01521P$ $Y = 35,50043 + 0,05083N + 0,14400P^{0,5}$	0,95 0,96

В опыте с птичьим пометом, содержание азота в зерне первой пшеницы превысило показатель контрольного варианта на 0,13 %, на второй пшенице – на 0,03 %, овсе – на 0,06, от птичьего помета в дозе 10 т/га соответственно на 0,33, 0,39, 0,24 %. Схожая динамика отмечалась по содержанию фосфора (приложение 76).

Сложившиеся погодные условия вегетационных периодов 2017 и 2018 гг в основном можно считать неблагоприятными для пшеницы. Оценивая качество зерна по массовой доле сырой клейковины, можно констатировать о наличии положительного влияния удобрений на содержание клейковины – 23,2 от гусиного помета, против 18,7 %, на варианте без удобрений (таблица 6.34).

Таблица 6.34 – Содержание сырой клейковины в зерне пшеницы, %

Вариант	Без гусиного помета		Гусиный помет, 5 т/га		Гусиный помет, 10 т/га	
	среднее	откл.	среднее	откл.	среднее	откл.
1. Контроль (без удобрений)	18,7	–	20,7	2,0	23,2	4,5
2. $N_{20}P_{20}$	19,7	1,0	22,5	3,8	22,5	3,8
3. $N_{40}P_{40}$	20,8	2,1	22,7	4,0	20,4	1,7

В целом 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 (таблица 6.35, приложение 77).

Таблица 6.35 – Регрессионная зависимость содержания клейковины в зерне пшеницы (Y) в % от доз гусиного помета (П) в т/га и азотно-фосфорного (NP) удобрения в кг д.в./га (среднее в звене севооборота)

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической клейковиной Y
Линейная парная	$Y = 20,094 + 0,230П$	0,64
	$Y = 21,028 + 0,0054NP$	0,12
Нелинейная парная	$Y = 19,733 + 0,6633П – 0,0433П^2$	0,73
	$Y = 20,867 + 0,0296NP – 0,0003NP^2$	0,20
Линейная множественная	$Y = 19,87778 + 0,23000П + 0,00542NP$	0,66
Нелинейная множественная	$Y = 19,54036 + 0,77746П^{0,5} + 0,05994NP^{0,5}$	0,72
Нелинейная множественная	$Y = 18,19445 – 0,29308П + 2,29938П^{0,5} – 0,02376NP + 0,48905NP^{0,5} – 0,12678(П*NP)^{0,5}$	0,87
	$Y = 18,13056 + 0,90833П – 0,04333П^2 + 0,06021NP – 0,00030NP^2 – 0,00612П*NP$	0,94

На варианте без удобрений масса 1000 зерен в среднем за два года была 26,9 г, тогда как с ежегодным применением $N_{40}P_{40}$ она составила 29,6 г, а совместно с птичьим пометом – 29,7 г (рисунок 6.9). У овса она также увеличивалась при внесении удобрений на 0,3-4,7 г. Наилучший показатель наблюдался на варианте птичий помет, 10 т/га+ $N_{20}P_{20}$ – 38,9 г, что было выше контрольного варианта на 4,7 г.

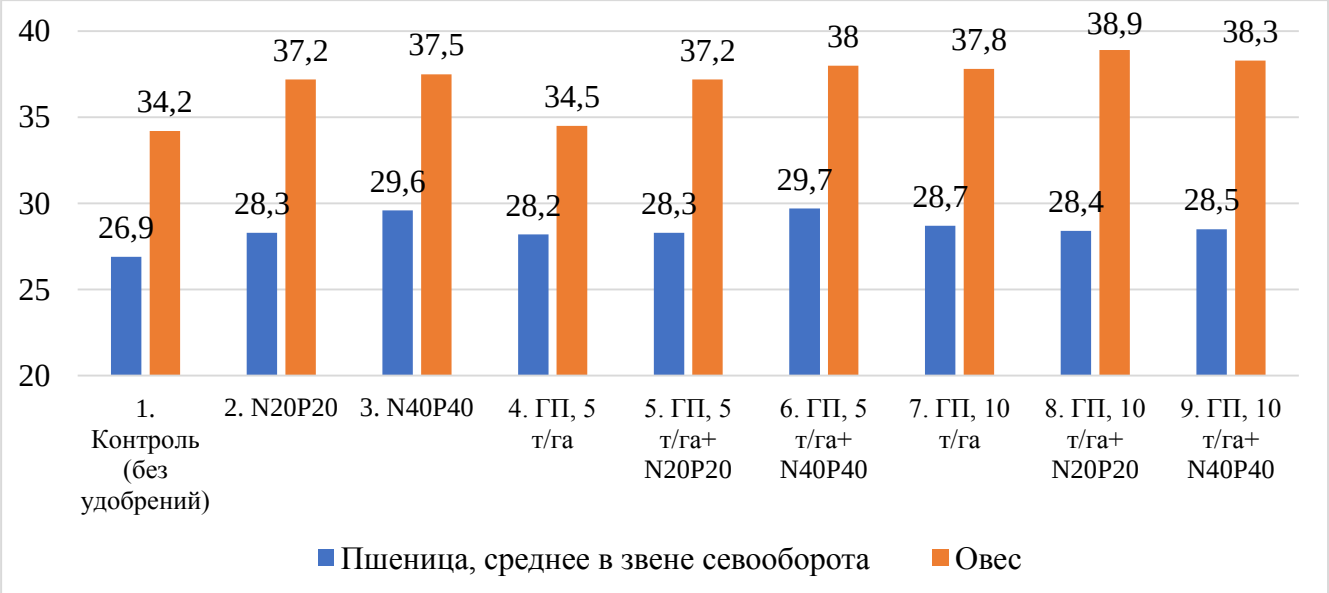


Рисунок 6.9 – Влияние удобрений на массу 1000 зерен зерновых культур, г

Расчеты линейной корреляции показали, что между урожайностью овса и массой 1000 зерен коэффициент корреляции составил 0,80 (связь сильная). Это объясняется тем, что преобладали благоприятные погодные условия (ГТК – 0,88), и совместное применение органических и минеральных удобрений.

Среднее влияние на массу 1000 зерен отмечается от гусиного помета и минеральных удобрений, коэффициент корреляции составил 0,49 (приложение 78).

Составленное нелинейное множественное уравнение позволило показать тесную связь изучаемых факторов – коэффициент корреляции составил 0,88-0,95 (приложение 79). Формирование качества второй пшеницы от внесения минеральных удобрений показало среднюю тесноту (r = 0,62). При расчете нелинейной множественной регрессии составил r = 0,83. При возделывании овса внесение минерального удобрения оказало еще большее влияние на массу 1000 зерен овса (r = 0,65). За годы исследований севооборота в существенной степени зависела от доз азотно-фосфорного удобрения, при этом линейное и нелинейное уравнение регрессии одинаково описывали данную зависимость (r = 0,74-0,75) (таблица 6.36).

Таблица 6.36 – Регрессионная зависимость массы 1000 зерен зерновых культур (Y) в г от доз гусиного помета (П) в т/га и азотно-фосфорного (NP) удобрения в кг д.в./га

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической массой 1000 зерен Y
Линейная парная	$Y = 30,92 + 0,0856П$	0,37
	$Y = 30,498 + 0,0212NP$	0,74
Нелинейная парная	$Y = 30,922 + 0,0833П + 0,0002П^2$	0,37
	$Y = 30,433 + 0,031NP – 0,0001NP^2$	0,75
Линейная множественная	$Y = 30,08519 + 0,08556П + 0,02125NP$	0,83
Нелинейная множественная	Линейная множественная дает более высокую аппроксимацию	-
Нелинейная множественная	$Y = 29,22628 + 0,09897П + 0,40815П^{0,5} + 0,01086NP + 0,25227NP^{0,5} – 0,08853(П*NP)^{0,5}$	0,962
	$Y = 29,32037 + 0,21778П + 0,00111П^2 + 0,04778NP – 0,00011NP^2 – 0,00358П*NP$	0,98

Таким образом, в ходе исследований было установлено, что применение средств химизации в зернопаровых севооборотах оказывает положительное влия-

ние не только на продуктивность зерновых культур, но и на содержание элементов питания и качество продукции. Минеральные удобрения в севооборотах лесостепного Зауралья увеличивали содержание сырой клейковины в зерне пшеницы на 2,0-5,0 %. Использование органических удобрений (навоз, сапропель, помет и др.) приводило к росту этого показателя на 0,3-4,0 %, при совместном применении с минеральными удобрениями– на 2,3-4,5 %. Гидрогель увеличивал содержание в зерне сырой клейковины на 3,9-5,1%, тогда как известкование совместно с органическими удобрениями на 1,5-2,4 %.

Минеральные удобрения оказывали слабое и среднее влияние на содержание сырой клейковины первой пшеницы после пара – коэффициент корреляции составлял при применении азотного удобрения 0,10-0,53, фосфорного – 0,08-0,49. В последующие годы воздействие минеральных удобрений на качество продукции возрастало, это отражает коэффициент корреляции: азотное удобрение – 0,66-0,96, фосфорное – 0,17-0,39. При совместном использовании азотного и фосфорного удобрения коэффициент корреляции повышался с 0,10-0,29 до 0,46-0,62. Такая же динамика отмечается с массой 1000 зерен культур. В первый год исследований после пара зависимость натуры зерна от применения азотного удобрения составляет 0,04-0,20, а на третий год – 0,13-0,89, от фосфорного удобрения соответственно 0,11-0,24 до 0,15-0,58. Совместное использование азота и фосфора увеличивало коэффициент корреляции в первый год с 0,23-0,49, до 0,65-0,77 в последний год ротации.

За ротацию зернопаровых севооборотов содержания сырой клейковины зависело от азотных удобрений 0,53-0,83, сапропеля – 0,44, фосфогипса – 0,30, гусиного помета – 0,64. Коэффициент корреляции Масса 1000 зерен так же от азотных удобрений – 0,30-0,85, совместного применения – 0,69-0,74, сапропеля – 0,49, в меньшей степени от гусиного помета – 0,37.

Регрессионные уравнения научно обосновывают нормы удобрений и дают понимание роли их в улучшении плодородия почвы, повышении продуктивности агроценозов.

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

Совершенствование технологий возделывания сельскохозяйственных культур – требования, предъявляемые культурными растениями к факторам внешней среды, среди которых почвенные условия занимают ведущее место.

Интенсификация сельскохозяйственного производства, её уровень химизации открывают большие возможности для управления процессами формирования плодородия почв. Для этого требуется конкретизация оптимального сочетания главных факторов и свойств, при которых возможно получить определенный для чернозёмных почв урожай в конкретном биоклиматическом потенциале местности. Поиск оптимальных параметров весьма важен в условиях усиления возрастающей антропогенной нагрузки на чернозёмы (Бобренко, 2021).

Достигаемые параметры плодородия чернозёма под влиянием факторов интенсификации включает его исходное состояние, что обусловлено постоянно протекающим обменом веществ в почвенной среде, переходом химических элементов, участвующих в процессах питания растений, из одной формы в другую (Абрамов, 1998). Это четко прослеживается как в отношении органических соединений, находящихся в почве и поступающих извне, так и в отношении минеральной субстанции почвы, особенно биогенных элементов (Кулаковская, 1990).

Регулирование физико-химических (агрохимических) свойств почв возможно лишь путем возврата (с превышением) той части материальной субстанции, которая отчуждается с урожаями, а также восполнения безвозвратных потерь ряда соединений в результате эрозии, вымывания, распада (органическое вещество, карбонаты, биофильные элементы) (Сычёв, 2022). Это связано с необходимостью возрастающего обеспечения агроэкосистем резервами всех видов энергии и условиями для их высокой продуктивности (Шильников, 2012).

Для поддержания плодородия относятся такие технологические приёмы, как системы севооборотов и обработки почвы, которые способствуют увеличению

плодородия за счет улучшения фитосанитарного состояния почвы, поступления в почву пожнивных и корневых остатков и их преобразования (Ладонин, 2005).

Используя средства интенсификации для достижения оптимальных степеней состояния почв, агрохимических, физико-химических, водно-физических свойств, возможно достичь такого уровня плодородия, при котором не будут ограничены потребности высокоинтенсивных культур и их сортов (Кулаковская, 1990).

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 и лабораторных исследований нами установлены параметры почвенного плодородия чернозёма выщелоченного легкосуглинистого 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/см^3; 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 7.1).

Разрабатывая такую интегральную модель, возникает вопрос, возможно ли соединить в единую неразрывно связанную систему все свойства почв, отразив их взаимообусловленность и динамичность при изменяющихся факторах внешней среды (Кулаковская, 1990).

Таблица 7.1 – 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 ($N\text{-}NO_3$)	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_2O_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_2O_5 в виде удобрений для смещения содержания на 10 мг/кг почвы
		Подвижный калий (K_2O)	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_2O 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 %	

Модель в современных условиях – это математическое описание, доведенное до уровня программного продукта. В этом смысле модель высокоплодородной почвы призвана имитировать совокупность свойств почв в их динамическом состоянии и отражать возможные изменения под влиянием антропогенных и климатических факторов (Бобренко, 2021, Будажапов, 2021).

С агрохимической стороны предстоит усилить изучение интенсивности продукционных процессов растительных организмов и других биологических объектов, а также процессов, ведущих к улучшению параметров плодородия почв. Такими исследованиями необходимо постепенно охватить все почвенные типы и разновидности, используемые в сельском и лесном хозяйстве (Бобренко, 2021).

В условиях научно-технического прогресса быстро и существенно меняется динамика почвенных процессов, что в конечном итоге ведет к изменению агрономических свойств почв: удобрения влияют на баланс элементов питания, мелиорация — на водно-воздушный режим.

Химическая мелиорация значительно улучшает почвенно-поглощающий комплекс чернозёмов. Эти воздействия усиливаются при увеличении урожаев сельскохозяйственных культур, более мощном развитии корневых систем, влияющих на процессы трансформации химических элементов, находящихся в почве, что указывает на возрастающую значимость оптимизации всех ее свойств (Сычёв, Аканова, 2012).

Наличие критериев по важнейшим свойствам почв должно стать основой для определения оптимальных вариантов в условиях усиления интенсификации.

Работам, связанным с улучшением плодородия почв, следует придавать планово-управляемый характер. В современных условиях требуется разработка моделей чернозёмных почв с учетом особенностей ведения земледелия в конкретных условиях.

ГЛАВА 8. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ УЛУЧШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ

Важнейшим условием увеличения производства валовой продукции и снижения ее себестоимости является рост урожайности сельскохозяйственных культур. Невысокие результаты отрасли растениеводства связаны именно с недостаточностью внимания к использованию и развитию инновационных технологий, значительная часть которых специализируется на внедрении высокопродуктивных сортов зерновых и зернобобовых культур, разработке систем земледелия и высокоинтенсивных технологий производства, что обеспечивает дополнительный рост урожая сельскохозяйственных культур. Одним из путей повышения урожайности зерновых культур является использование агрохимикатов в полевых севооборотах.

Экономическая эффективность производства зерна определяется системой показателей, важнейшими из которых являются урожайность, качество, себестоимость, цена реализации. Эти показатели позволяют определить уровень рентабельности производства. Величина прибыли конкретного предприятия зависит от множества внешних факторов, независящих от управленческих решений товаропроизводителя, в частности от диспаритета цен и пропорций распределения вновь созданной стоимости на оплату труда, прибыль и части, изымаемой обществом по разным каналам.

Главная задача сельского хозяйства – обеспечение максимальной урожайности и получение экологически безопасной растениеводческой продукции с минимальными затратами, что определяет экономическую эффективность выполняемых при этом работ с точки зрения их целесообразности и окупаемости затрат, рентабельности (Шеуджен и др., 2012; Синещеков и др., 2018; Шарков и др., 2019).

Используя естественное плодородие чернозёма выщелоченного в лесостепной зоне рентабельность на контрольном варианте была 78 % (в ценах 2001-2004 гг., при стоимости пшеницы 2800 руб. /т). С внесением удобрений и химических мелиорантов затраты возросли, рентабельность заметно снизилась и составила 51

%. На фоне фосфоритования почвы в комплексе с навозом и минеральными удобрениями рентабельность снизилась до уровня 42-61 % (приложение 82).

В современных экономических условиях проведены расчеты эффективности применения химических мелиорантов с удобрениями (таблица 8.1).

Таблица 8.1 – 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-$фон_2$	7,20	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

Экономическая оценка применяемых агротехнологических приемов в зернопаровых севооборотах, показала увеличение рентабельности. За 20 лет цена пшеницы росла и достигла 16500 руб./т. (за основу расчетов была взяты средние цены на зерновые за последние три года – 12700 руб./т.). Наиболее экономически выгодной была органоминеральная система удобрения, которая как отмечено в соответствующих разделах, обеспечивала сохранение плодородия почв и увеличивала урожайность зерновых культур. Так на вариантах рентабельность с использованием навоза, азотных и фосфорных удобрений, известкования, гипсования была в интервале – 136-150, что на 4-14 % выше контрольного варианта.

Применение $N_{175}P_{140}$ за ротацию севооборота, только извести, фосфоритной муки и гипса тоже позволило выращивать культуры с хорошей рентабельностью – 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.

Решая вопросы перспективности производства здесь в основу положен процесс восстановления плодородия почв агроландшафтов лесостепного Зауралья.

Для обеспечения воспроизводства чернозёма выщелоченного в условиях Зауралья из органических удобрений наиболее эффективным оказались сидераты, при этом рентабельность в целом за севооборот составила 95 %. Применение минеральных удобрений снижало показатель в 1,4 раза (до 68 %), навоза и соломы – до 86-87 %, при совместном их применении до – 70-72%. Высокая цена на фосфоритную муку снижала рентабельность при совместном применении с минеральными удобрениями и навозом до 58 % (приложение 83).

При расчете экономической эффективности в опыте с полимерным гидрогелем прибавка продуктивности севооборота покрывала затраты применения минеральных удобрений (таблица 8.2).

Ежегодное внесение N_{30} обеспечивало рентабельность производства на уровне 97 %, а P_{20} – 104 %, дальнейшее увеличение доз удобрений снижало этот экономический показатель. Острозасушливые погодные условия вегетационных периодов (ГТК – 0,29-0,30) обусловливали низкую подвижность элементов питания, и как следствие, урожайность культур. Применение полимерного гидрогеля (при цене 8600 руб./ 20 кг) увеличивало продуктивность севооборота на 0,35 т/га и снижало рентабельность до 67 %. Наиболее эффективный вариант в опыте на фоне гидрогеля – P_{40} (82 %).

Таблица 8.2 – Экономическая эффективность производства зерна яровой пшеницы и ячменя при внесении гидрогеля и минеральных удобрений (опыт 3)

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)	5,38	34950	68326	33376	95
2. N_{30}	5,83	37550	74041	36491	97
3. N_{60}	6,02	40150	76454	36304	90
4. P_{20}	5,98	37150	75946	38796	104
5. P_{40}	6,12	39350	77724	38374	98
6. $N_{30}P_{20}$	6,14	39750	77978	38228	96
7. $N_{30}P_{40}$	6,15	41950	78105	36155	86
8. $N_{60}P_{20}$	6,24	42350	79248	36898	87
9. $N_{60}P_{40}$	6,17	44550	78359	33809	76
10. Гидрогель 20 кг/га (фон)	5,73	43550	72771	29221	67
11. Фон+N_{30}	6,18	46150	78486	32336	70
12. Фон+N_{60}	6,53	48750	82931	34181	70
13. Фон+ P_{20}	6,19	45750	78613	32863	72
14. Фон+ P_{40}	6,88	47950	87376	39426	82
15. Фон+ $N_{30}P_{20}$	6,49	48350	82423	34073	70
16. Фон+ $N_{30}P_{40}$	6,76	50550	85852	35302	70
17. Фон+ $N_{60}P_{20}$	6,89	50950	87503	36553	72
18. Фон+$N_{60}P_{40}$	6,83	53150	86741	33591	63

Расчет экономической эффективности в опыте с минеральными удобрениями показал наибольшую рентабельность (138 %) при возделывании первой пшеницы после пара с использованием фосфорного удобрения (P_{40}). На других вариантах опыта при увеличении доз минеральных удобрений отмечено снижение рентабельности до 108 %. По второй пшенице после пара наиболее рентабельным был контрольный вариант – 62 %. На остальных вариантах опыта рентабельность составила 46-57 %. При возделывании ячменя внесение фосфорных удобрений в дозе 80 кг/га д.в. снижало рентабельность с 100 до 82 %., при совместном внесении минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{80}K_{40}$ рентабельность была 78 %.

Самая высокая рентабельность производства зерновых культур во все годы получена на контроле. При ежегодном внесении удобрений увеличиваются затраты, рентабельность снижается на 6-22 % (Plotnikov, Sozinov, 2019).

Рентабельность производства в опыте с сапропелями (рисунок 8.3) в среднем за ротацию севооборота составила на варианте без применения удобрений 112 %, на седьмом варианте с применением извести – 107 %, с ежегодным внесением $N_{30}P_{30}$ снизилась до 93 %. При совместном применении сапропеля, извести и минеральных удобрений рентабельность была невысокой по опыту (51-57 %). Использование сапропеля Курганской области было более экономически эффективным, в сравнении с сапропелем Свердловской области – рентабельность его внесения по вариантам была выше на 3-8 %.Результаты полевых (продуктивность агроэкосистемы) и лабораторных (обеспеченность растений элементами питания, кислотность почвы) исследований, а также экономические расчеты дают основание выбрать наиболее эффективные смешанные органо-минеральные удобрения на основе сапропеля Курганской области (Plotnikov, 2020).

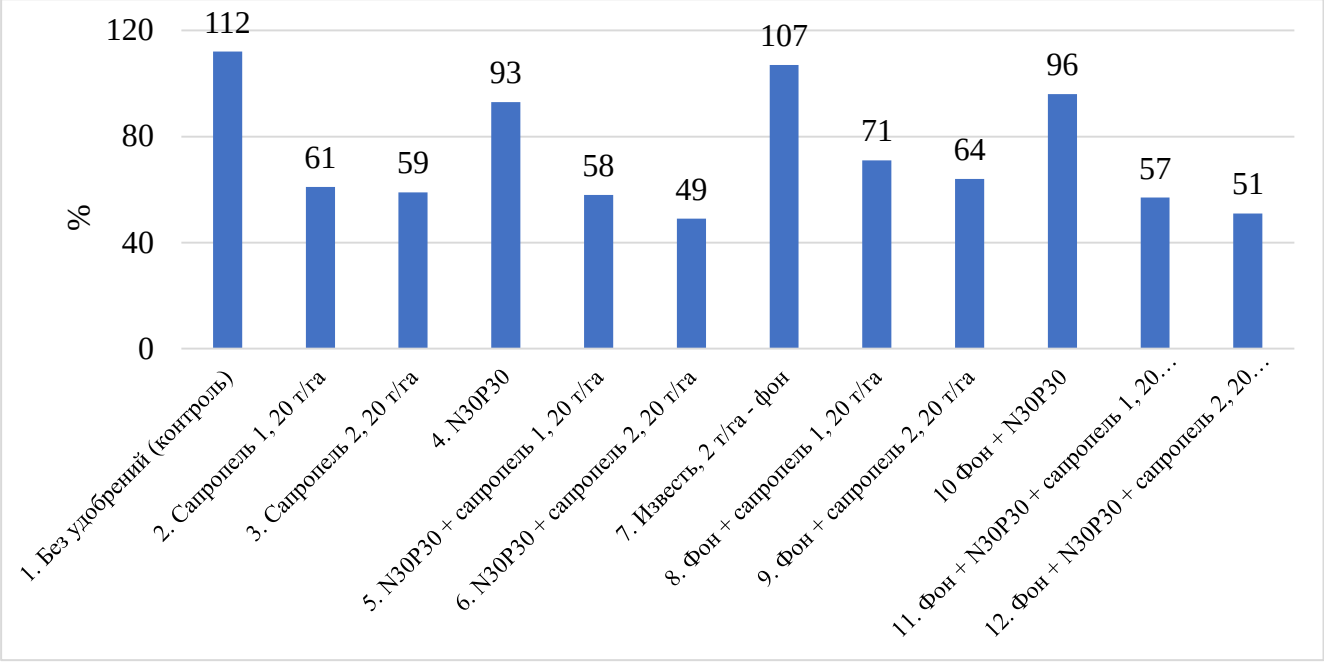


Рисунок 8.1 – Рентабельность производства зерновых культур при применении удобрений в полевом севообороте (2014-2016 гг.)

Проведённые исследования показали, что в условиях возделывания первой пшеницы наименьшие производственные затраты на 1 га были получены на контрольном варианте. Рентабельность на варианте без применения удобрений соста-

вила 102 %, на фоне птичьего помета данный показатель был 123 % при дозе внесения 5 т/га и 114 % при дозе внесения 10 т/га. На вариантах с совместным применением удобрений и птичьего помета рентабельность была ниже контрольного варианта, что связано с высокими затратами на приобретение минеральных удобрений (таблица 8.3).

Во второй год исследования рентабельность составила на контрольном варианте 101 %. Рентабельность на удобренных гусиным пометом вариантах была ниже контрольного варианта и составила 87 и 62 % соответственно. Рентабельность при возделывании овса также была ниже с применением удобрений – 74-104 %.

Таблица 8.3 – Экономическая эффективность применения органического и минеральных удобрений в севообороте (опыт 7)

Варианты	Суммарная продуктивность, т з.е.	Рентабельность, %.			
		пшеница по пару	пшеница по пшенице	овес по пшенице	средняя за севооборот
1. Контроль (без удобрений)	4,45	102	101	134	112
2. $N_{20}P_{20}$	5,09	75	73	98	82
3. $N_{40}P_{40}$	5,36	58	60	74	64
4. Гусиный помет, 5 т/га - фон$_1$	5,01	123	85	112	107
5. Фон$_1$ + $N_{20}P_{20}$	5,62	88	54	100	81
6. Фон$_1$ + $N_{40}P_{40}$	6,20	80	55	80	72
7. Гусиный помет, 10 т/га - фон$_2$	5,22	114	76	104	98
8. Фон$_2$ + $N_{20}P_{20}$	6,46	87	87	102	92
9. Фон$_2$ + $N_{40}P_{40}$	6,52	69	62	81	71

В настоящее время в России наблюдается рост потребления удобрений, несмотря на возможную экономическую невыгодность, объясняется это на наш взгляд, несколькими важными факторами, среди которых можно выделить необходимость обеспечения стабильности урожая, улучшение качества продукции, борьбу с истощением почвы и условиями дотации на сельскохозяйственной продукцию.

Удобрения играют, ключевую роль в обеспечении стабильности и прогнозируемости урожая. В современных аграрных условиях сельхозтоваропроизводители сталкиваются с многочисленными рисками, включая неблагоприятные по-

годные условия, вредителей и болезни растений. Применение удобрений помогает минимизировать эти риски, обеспечивая растения необходимыми питательными веществами для роста и развития. Это особенно важно в регионах, где большие площади заняты старопахотными истощенными почвами и без удобрений урожайность культур может значительно снижаться. Применение удобрений способствуют не только улучшению качества сельскохозяйственной продукции, но и повышению устойчивости растений к болезням. Качественная продукция имеет более высокую рыночную стоимость, что помогает аграриям компенсировать затраты на удобрения.

Еще один важный фактор использования средств химизации – это агроэкологическое состояние почвы. Отрицательный баланс элементов питания приводит к истощению почвы и как следствие снижению ее плодородия. Внесение удобрений, химических мелиорантов позволяет компенсировать дефицит макро- и микроэлементов, сохраняя продуктивность агроландшафтов на соответствующем уровне. Сельхозтоваропроизводители понимают, что краткосрочные экономические выгоды от отказа от удобрений могут обернуться долгосрочными потерями из-за развития деградации почвы и необходимости восстановления ее плодородия.

В проведенных расчетах установлено, что внесение органических удобрений является наиболее экономически эффективным приёмом, ввиду того что они являются местными источниками элементов питания. Рентабельность от применения навоза была на уровне контрольного варианта, а на произвесткованных участках – выше на 15%. Последействие удобрений зависело от погодных условий вегетационных периодов, что в конечном итоге отразилось на рентабельности производства зерновых культур.

Таким образом несмотря на то, что, на первый взгляд, применение удобрений может оказаться экономически невыгодным из-за высоких затрат, комплекс рассмотренных выше факторов, делает этот подход обоснованным и целесообразным для многих сельхозтоваропроизводителей. В долгосрочной перспективе использование удобрений способствует устойчивому развитию сельского хозяйства и поддержанию экономической стабильности агропромышленного комплекса.

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/см^3); 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 подтвержда-

ет 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 P_2O_5 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/см^3, 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 птичьем 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} увеличили 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/см^3; 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов Е.В. Изменение органического вещества типичного чернозема за 30 лет на основе изучения почвенного монолита / Е.В. Абакумов, Б.Ф. Апарин, А. Лапенис, Т. Косаки // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. – 2009. – № 2. – С. 113-123.
2. Абдулвалеев Р.Р. Дифференциация нормы внесения минеральных удобрений на разных элементах рельефа поля / Р.Р. Абдулвалеев, Р. Р. Исмагилов // Аграрная наука. – 2016. – № 11. – С. 2-3.
3. Абрамов Н. В. Цифровизация производственных процессов в точном земледелии / Н. В. Абрамов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2022. – № 58. – С. 5-10.
4. Абрамов Н.В. Биопотенциал агроэкосистем в условиях Северного Зауралья / Н.В. Абрамов // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 10. – С. 8-10.
5. Абрамов Н.В. Воспроизводство плодородия почв УрФО / Н.В. Абрамов // АПК России. –2017. – № 5. – Т. 24. – С. 1055-1065.
6. Абрамов Н.В. Изучение и хозяйственное использование торфяных и сапропелевых ресурсов // Сб. материалов Международного симпоз., состоявшегося в Тюмени, 18-20 июля 2006 г. / Абрамов Н.В. (ред.). – Тюмень: Изд-во Тюменской ГСХА, 2006. – 324 с.
7. Абрамов Н.В. Морфогенетические особенности черноземных почв восточной окраины Зауральской лесостепи / Н.В. Абрамов, Д.И. Еремин // Аграрный вестник Урала. – 2008. – № 2. – С. 62-64.
8. Абрамов Н.В. Оптимальные параметры факторов плодородия чернозема выщелоченного в северной лесостепи Западной Сибири / Н.В. Абрамов, Е.В. Салова // Почвоведение. – 1998. – № 10. – С. 1250.
9. Абрамов Н.В. Проблемы плодородия почв в современных агроландшафтах и пути их решения / Н.В. Абрамов // Плодородие почв и ресурсосбережение в земледелии: Мат. Всероссийская науч. практ. конф. – Тюмень: ТГСХА, 2003. – С. 11-19.

10. Абрамов Н.В. Проблемы получения максимально возможной урожайности яровой пшеницы в условиях Северного Зауралья / Н.В. Абрамов, Д.И. Еремин // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 1. – С. 31-34.
11. Абрамов Н.В. Система адаптивно-ландшафтного земледелия в природно-климатических зонах Тюменской области / Абрамов Н.В., Акимова Ю.А., Бакшеев Л.Г., Белкина Р.И., Иваненко А.С., Игловиков А.В., Кабанин И.Б., Казак А.А., Кулясова О.А., Логинов Ю.П., Миллер С.С., Рзаева В.В., Степанов А.Ф., Тоболова Г.В., Федоткин В.А., Фисунов Н.В., Фуртаев К.В., Якубышина Л.И. – Тюмень: Изд-во Тюменский издательский дом, 2019. – 472 с.
12. Абрамов Н.В. Точное земледелие в эпоху цифровой экономики / Н.В. Абрамов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2020. – № 3(60). – С. 8-14.
13. Абрамов Н.В. Формирование профиля черноземов выщелоченных Северного Зауралья в условиях длительной распашки / Н.В. Абрамов, Д.И. Еремин // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 3. – С. 7-9.
14. Абрамов Н.В. Формирование химического состава зерна яровой пшеницы при различном уровне минерального питания / Н.В. Абрамов, Д.В. Чикшиев, Н.В. Ларина, С.В Шерстобитов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2020. – №10 (3). – С. 496-505.
15. Абрамов Н.В. Фосфорный режим чернозема выщелоченного после различных предшественников / Н.В. Абрамов // Агропродовольственная политика России. – 2021. – № 3. – С. 2-5.
16. 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.
17. Абрукова В.В. Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО: монография / В.В. Абрукова, Д.А. Букреев, И.И. Васенёв и др. // под ред. А.П. Щербакова и И.И. Васенёва. – Курск, 1996. – 329 с.
18. Авдонин Н.С. Почвы, удобрения и качество растениеводческой продукции / Н.С. Авдонин. – М.: Колос, 1979. – 302 с.

19. Авдусь П.Б. Определение качества зерна, муки и крупы / П.Б. Авдусь, А.С. Сапожникова / изд. 3-е перераб. и доп. – М.: Колос, 1976. – 336 с.
20. Агапкина Г.И. Доступность для растений кальция органических соединений почвенных растворов / Г.И. Агапкина, Л.В. Беркетова, Ф.А. Тихомиров // Агрохимия. – 1988. – № 1. – С. 61-66.
21. Агеев В.В. Корневое питание сельскохозяйственных растений / В.В. Агеев. – Ставрополь: Изд-во Ставропольская ГСХА, 1996. – 134 с.
22. Агеев В.В. Планирование, методология, методика, модификации длительных опытов с удобрениями и математико-статистические методы обработки экспериментальных данных: методические указания / В.В. Агеев, А.И. Подколзин, С.В. Динякова. – Ставрополь: Изд-во СтГАУ, 2007. – 384 с.
23. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: метод. руководство. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 784 с.
24. Адерихин П.Г. Поглощение фосфат-ионов почвами и растениями / П.Г. Адерихин // Почвоведение. – 1957. – № 5. – С. 84–88.
25. Адерихин П.Г. Фосфор в почвах и земледелии Центрально-черноземной полосы / П.Г. Адерихин. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1970. – 248 с.
26. Азаренко М.А. Изменение растительного покрова и биологических свойств черноземов в постагрогенный период / М.А. Азаренко, К.Ш. Казеев, О.Ю. Ермолаева, С.И. Колесников // Почвоведение. – 2020. – № 11. – С. 1412-1422.
27. Азева Г.Ф. Геологическая история развития, минералы и горные породы Курганской области / Г.Ф. Азева. – Курган: Изд-во Курган. гос. ун-та, 1996. – 44 с.
28. Аканова Н.И. Проблема химической мелиорации почв в земледелии Российской Федерации / Н.И. Аканова, И.А. Шильников // Плодородие. – 2018. – № 2(101). – С. 9-11.
29. Аканова Н.И. Фосфогипс нейтрализованный – перспективное агрохимическое средство интенсификации земледелия / Н.И. Аканова // Плодородие. – 2013. – № 1. – С. 2-7.

30. Аканова Н.И. Эффективность известкования, как фактор плодородия почв и охраны окружающей среды / Н. И. Аканова // Плодородие. – 2023. – № 3(132). – С. 5-9.
31. Александрова А.М. О природе почвенной кислотности / А.М. Александрова, Н.К. Крупский, Ю.В. Дараган // Почвоведение. – 1983. –№ 3. – С. 35–43.
32. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – 288 с.
33. Алиев Ш.А. Изменения структурно-агрегатного состава выщелоченного чернозема при различных способах заделки извести / Современная агрофизика – высоким агротехнологиям: Материалы Международной конференции/ Ш.А. Алиев, Е.И. Ломако, Л.М.-Х. Биккинина. – Санкт-Петербург: Изд-во С.-Петерб. ун-та 2007. – С.71– 72.
34. Антипина А.П. Черкасова Т.А. Изменение форм и доступности минеральных фосфатов при паровании и внесении удобрений // Науч. тен. бюлл. / ВАСХНИЛ. Сибирское отделение СибНИИСХим. – 1990. – Вып. 3. – С. 3-8.
35. Антипина Л.П. Подвижный фосфор в почвах Западной Сибири / Л.П. Антипина // Химизация сельского хозяйства. – 1988. – № 4. – С. 30-32.
36. Антипина Л.П. Проблемы фосфора, в земледелии Западной Сибири // Почвенно-агрохимические проблемы интенсификации земледелия Сибири: Сб. науч. тр. /ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. СибНИИСХим. – Новосибирск, 1989. – С. 110-128.
37. Антипина Л.П. Фосфор в почвенном покрове Западной Сибири / Л.П. Антипина, М.К. Пашкевич, Л.П. Малыгина // Агрохимия. – 1988. – № 5. – С. 20-28.
38. Апарин Б.Ф. Гумусовые горизонты почв урбоэкосистем / Б.Ф. Апарин, Е.Ю. Сухачева, А.М. Булышева, М.А. Лазарева // Почвоведение. – 2018. – № 9. – С. 1071-1084.
39. Арефьев А.Н. Использование местных сырьевых ресурсов для повышения плодородия чернозема выщелоченного в лесостепном Поволжье / А. Н. Арефьев, Е. Е. Кузина, Е. Н. Кузин. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – 190 с.

40. Арефьев А.Н. Приемы повышения плодородия черноземных и лугово-черноземных почв лесостепного Поволжья: монография / А.Н. Арефьев, Е.Е. Кузина, Е.Н. Кузин. – Пенза: ПГАУ, 2017. – 438 с.
41. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.
42. Аристархов А.Н. Агрохимия серы / под. ред. академика РАСХН Сычёва В.Г. – М.: ВНИИА, 2007. – 272 с.
43. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах / А.Н. Аристархов. – М.: Изд-во ЦИНАО, 2000. – 522 с.
44. Асылбаев И.Г. Влияние внесения органических удобрений на свойства чернозема выщелоченного Южной лесостепи Республики Башкортостан / И. Г. Асылбаев, А. А. Киселева, И. К. Хабиров [и др.] // Вестник ИрГСХА. – 2018. – № 88. – С. 7-13.
45. Асылбаев И.Г. Концентрация химических элементов в почвах и породах Республики Башкортостан / И. Г. Асылбаев, И. К. Хабиров // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 2(22). – С. 11-16.
46. Афанасьев Р.А. Динамика подвижного фосфора в различных почвах / Р.А. Афанасьев, Г.Е. Мерзлая // Плодородие. – 2012. – №3. – С. 16–19.
47. Афанасьев Р.А. Содержание подвижного калия в почвах при длительном применении удобрений / Р.А. Афанасьев, Г.Е. Мерзлая // Агрохимия. – 2013. – №6. – С. 5–11.
48. Афанасьев Р.А. Содержание подвижного фосфора при длительном применении удобрений / Р.А. Афанасьев, Г.Е. Мерзлая // Агрохимия. – 2013. – №2. – С. 30-36.
49. Баздырев Г.И. Земледелие / под ред. Г. И. Баздырева. – М.: КолосС, 2008. – 606 с.
50. Базилевич Н.И., Семенюк Н.В. Опыт выделения антропогенной составляющей круговорота веществ в лугово-степных экосистемах при различном их использовании / Н.И. Базилевич, Н.В. Семенюк // Почвоведение. – 1984. – № 5. – С. 6-18.

51. Байбеков Р.Ф. Агроэкологическое состояние почв при длительном применении удобрений / Р.Ф. Байбеков. – М.: ЦИНАО, 2003. – 192 с.
52. Балабанова Н.Ф. Влияние способов обработки лугово-черноземной почвы на содержание органического вещества и ее структурное состояние / Н.Ф. Балабанова, Н.А. Воронкова, Л.В. Юшкевич // Агрохимия. – 2023. – № 10. – С. 3-8.
53. Бахарева А.Ф. Агрохимическая характеристика почв и применение удобрений в Курганской области / А.Ф. Бахарева, А.В. Терпугов. – Челябинск: Юж-Ур. кн. из-во, 1969. – 116 с.
54. Бахарева А.Ф. Почвы Курганской области / А.Ф. Бахарева. – Курган: Газ. "Красный Курган", 1959. – 153 с.
55. Безуглова О.С. Гумусное состояние почв юга России / О.С. Безуглова. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, - 2001. – 228 с.
56. Блэк К.А. Растение и почвы / К.А. Блэк. – М.: Колос, 1973. – 392 с.
57. Бобренко И. А. Модели плодородия пахотных почв северной лесостепи Омской области / И.А. Бобренко, Ю.В. Аксенова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2021. – № 3(43). – С. 16-25.
58. Бобренко И.А. Баланс элементов питания в пахотных почвах лесостепи Омской области / И.А. Бобренко, О.А. Матвейчик // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2020. – № 4(40). – С. 23-28.
59. Бобренко И.А. Использование куриного помета для оптимизации питания сельскохозяйственных культур / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, А.Г. Шмидт [и др.]. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2022. – 136 с.
60. Богатырев Л.Г. Основные концепции, законы и принципы современного почвоведения: монография / Л.Г. Богатырев. – М.: МАКС Пресс, 2015. – 196 с.
61. Бойко В.С. Изменение калийного состояния почв лесостепи Западной Сибири при длительном сельскохозяйственном использовании / В.С. Бойко, В.Н. Якименко, А.Ю. Тимохин // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23. – № 11. – С. 66-71.

62. Бойко В.С. Изменение фосфатного состояния почв лесостепи Западной Сибири при систематическом применении удобрений / В.С. Бойко, А.Ю. Тимохин, В.Н. Якименко // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 1. – С. 29-33.
63. Бондаренко Н.Ф. Моделирование продуктивности агроэкосистем / Н.Ф. Бондаренко, Е.Е. Жуковский, И.Г. Мушкин., С.В. Нерпин, Р.А. Полуэктов, И.Б. Усков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 264 с.
64. Борисов В.А. Состав органического вещества разных видов сапропелей / В.А. Борисов, О.Н. Успенская, Н.В. Гренадеров, И.Ю. Васючков // Агрохимия. – 2014. – № 8. – С. 51-55.
65. Будажапов Л.В. Управление плодородием каштановой почвы и прогнозные сценарии урожая яровой пшеницы: цифровая база, статистики и модели диагностики (по данным длительного полевого опыта географической сети опытов с удобрениями) / Л.В. Будажапов, А.К. Уланов, А.С. Билтуев // Плодородие. – 2021. – № 3(120). – С. 39-44.
66. Буклагин Д.С. Цифровые технологии оценки, планирования и прогнозирования использования земель сельскохозяйственного назначения: Аналитический обзор / Д. С. Буклагин, Н. П. Мишуров, В. И. Балабанов [и др.]; Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса. – Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2020. – 92 с.
67. Булгаков Д.С. Агроэкологическая оценка пахотных почв / Д. С. Булгаков. – М.: Изд-во Почв. ин-та им. В. В. Докучаева, 2002. – 252 с.
68. Бурлакова Л. М. Плодородие алтайских черноземов в системе агроценоза / Л. М. Бурлакова. – 2-е издание, исправленное. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2022. – 204 с.
69. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв. / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

70. Вальков В.Ф. Плодородие почв: экологические, социальные и почвенно-генетические особенности. / В.Ф. Вальков, Т.В. Денисова, К.Ш. Казеев, Колесников. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. – 299 с.
71. Ванюшин С.П. Влияние систем удобрений и известкования на структурное состояние чернозема выщелоченного / С.П. Ванюшин // Вопросы известкования почв: сб. ст. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 43-46.
72. Васенёв И.И. Анализ средневременной динамики чернозёмов антропогенно изменённых лесостепных экосистем / И.И. Васенёв. – Курск, 2003. – 120 с.
73. Васильев А.А. Влияние сапропелей на урожайность картофеля и плодородие выщелоченных черноземов / А.А. Васильев // Пермский аграрный вестник. – 2014. – № 1(5). – С. 3-9.
74. Власенко А.Н. Продуктивность яровой пшеницы по пару при различных технологиях в лесостепи Западной Сибири / А.Н. Власенко, В.Н. Шоба, И.Н. Шарков, Л.Н. Иодко // Земледелие. – 2014. – № 5. – С. 26-28.
75. Возбуцкая А.Е. Химия почвы / А.Е. Возбуцкая. – М.: Высшая школа, 1968. – 428 с.
76. Волынкин В.И. Агрохимические и экономические принципы применения удобрений под яровую пшеницу / В.И. Волынкин, О.В. Волынкина, // Аграрный вестник Урала. – 2017. – № 3(157). – С. 18-24.
77. Волынкин В.И. Влияние удобрений при длительном применении на урожайность культур и агрохимические свойства выщелоченного чернозема лесостепи Зауралья / В.И. Волынкин, О.В. Волынкина // Агрохимия. – 2011. – № 4. – С. 32–39.
78. Волынкин В.И. Изменение почвенного плодородия при длительном применении удобрений в Курганской области / В.И. Волынкин, О.В. Волынкина, А.Н. Копылов // Агрохимия. – 2019. – № 8. – С. 3-13.
79. Волынкин В.И. Сравнительное действие минеральных и органических удобрений в Западной Сибири / В.И. Волынкин, О.В. Волынкина // Плодородие. – 2014. – № 4. – С. 17-19.

80. Волынкин В.И. Эффективность применения суперфосфата при различной обеспеченности фосфором культур зернопарового севооборота в Курганской лесостепи / В.И. Волынкин, О.В. Волынкина // Агрохимия. – 2012. – № 6. – С. 38-44.
81. Волынкина В.И. Влияние удобрений на формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы на стерневых посевах / В.И. Волынкин, О.В. Волынкина, // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 4(134). – С. 23-27.
82. Волынкина О.В. Влияние длительного применения удобрений на агрохимические показатели выщелоченного чернозема и продуктивность культур / О.В. Волынкина, Е.В. Кириллова, Ю.Я. Емельянов, А.Н. Копылов // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 7(125). – С. 15-21.
83. Волынкина О.В. Системы удобрения в агротехнологиях Зауралья / О.В. Волынкина (и др.) / под ред. О.В. Волынкиной. – Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2017. – 284 с.
84. Волынкина О.В. Факторы, определяющие накопление растительных остатков на выщелоченном чернозёме центральной зоны Курганской области / Волынкина О.В., Волынкин В.И./ Бесплужное земледелие как основа современных ресурсосберегающих технологий: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 120-летию со дня рождения Т.С. Мальцева (11 августа 2015 г.). Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2015. – С. 70-85.
85. Волынкина О.В. Формирование агрофона с оптимальным содержанием подвижного фосфора в черноземе выщелоченном / О.В. Волынкина, Е.В. Кириллова // Агрохимия. – 2021. – № 1. – С. 3-11.
86. Воробьева Л.А. Потенциальная кислотность. Понятия и показатели / Л.А. Воробьева, А.А. Авдонькин // Почвоведение. – 2006. – № 4. – С. 421-431.
87. Воробьева Л.А. Химический анализ почв / Л.А. Воробьева. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 272 с.
88. Воронкова Н.А. Агрохимическая оценка фосфатного режима лугово-черноземной почвы в агроценозе / Н.А. Воронкова, Н.Ф. Балабанова, В.А.

Волкова, Н. А. Цыганова // Таврический вестник аграрной науки. – 2023. – № 2(34). – С. 6-15.

89. Воронкова Н.А. Влияние длительного применения удобрений в севообороте на фосфатный режим черноземов выщелоченных Западной Сибири / Н.А. Воронкова // Агрохимия. – 2010. – № 12. – С. 10-17.
90. Воронкова Н.А. Применение азотных удобрений под яровую пшеницу на лугово-черноземной почве в Омском Прииртышье / Н.А. Воронкова, Н.А. Цыганова, Н.Ф. Балабанова [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2024. – Т.19, №1. – С. 61-75.
91. Вражнов А.В. Органические удобрения и практика их применения в Челябинской области / А.В. Вражнов, Ю.Д. Кушниренко, В.Н. Брагин, Х.С. Юмашев // Аграрный вестник Урала. – 2008. – № 9(51). – С. 50-54.
92. Галеева Л.П. Азотный режим черноземов выщелоченных Новосибирского Приобья при внесении минеральных удобрений в зерновом севообороте / Л.П. Галеева // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 3(56). – С. 18-28.
93. Галеева Л.П. Влияние минеральных удобрений на гумусовое состояние чернозёмов выщелоченных Новосибирского Приобья в агроценозах / Л.П. Галеева // Инновации и продовольственная безопасность. – 2020. – № 3(29). – С. 95-105.
94. Галеева Л.П. Гумусное состояние и биологическая продуктивность чернозёмов выщелоченных в агроценозах / Л.П. Галеева // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2012. – № 1-1(22). – С. 10-16.
95. Галеева Л.П. Изменение свойств черноземов выщелоченных северной лесостепи Приобья при различном сельскохозяйственном использовании/ Л.П. Галеева // Почвоведение. – 2012. – № 2. – С. 236–249.
96. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах / Г.П. Гамзиков. – Новосибирск: Изд-во ИИЦ ГНУ СибНСХБ Россельхозакадемии, 2013. – 790 с.
97. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири / Г.П. Гамзиков. – М.: Наука, 1981. – 268 с.

98. Гамзиков Г.П. Баланс и превращение азота удобрений / Г.П. Гамзиков, Г.И. Кострик, В.Н. Емельянова. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1985. – 160 с.
99. Гамзиков Г.П. Возможности использования нетрадиционных удобрений в Сибирском земледелии / Г.П. Гамзиков, О.И. Гамзикова, П.С. Широких // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 3. – С. 9-12.
100. Гамзиков Г.П. Калий в земледелии Сибири / Г.П. Гамзиков, И.Я. Маслова, Г.А. Жуков, К.А. Дзикович // Проблемы агрохимического сырья Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1985. – С. 73-79.
101. Ганжара Н.Ф. Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества подзолистых и черноземных почв Европейской части СССР: диссертация ... доктора биологических наук: 06.01.03 / Моск. с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева. - Москва, 1988. – 417 с.
102. Ганжара Н.Ф. Практикум по почвоведению / Н.Ф. Ганжара, Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф./ Под ред. Н.Ф. Ганжары. – М.: Агроконсалт, 2002. – 280 с.
103. Гармашов В.М. Научные основы обработки черноземных почв юго-востока ЦЧР: к 130-летию "Особой экспедиции..." В.В. Докучаева / В. М. Гармашов. – Воронеж: Издательство Истоки, 2022. – 470 с.
104. Гедройц К.К. Избранные сочинения. Т. 1-3 / К.К. Гедройц. М.: Сельхозиздат, 1955. – Т.1. – 560 с., Т.2 – 615 с., Т.3 – 560 с.
105. Гедройц К.К. Учение о поглотительной способности почв. Избр. соч. – Т.1. – М.: Гос. Изд-во с.-х. литературы, 1955. – 559 с.
106. Геология СССР. Т. 12. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Ч.1. Геологическое описание. Кн. 2. – М.: Недра, 1969. – 304 с.
107. Гилев С.Д. Влияние агрометеорологических факторов на физическое состояние выщелоченных черноземов и урожайность зерновых культур в условиях Зауралья / С.Д. Гилев, И.Н. Цымбаленко, А.А. Замятин, А.П. Курлов // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 4 (134). – С. 28-32.
108. Гилев С.Д. Динамика плодородия почвы при возделывании яровой пшеницы в севооборотах и бессменно в зависимости от системы удобрений и обработ-

ки / С.Д. Гилев, И.Н. Цымбаленко, Ю.В. Суркова, Е.В. Нестерова // Земледелие. 2017. – №4. – С. 22-26.

109. Гилев С.Д. На пути к бесплужному земледелию / Под общ. ред. С.Д. Гилева. - Куртамыш: ГУП «Куртамышская типография». - 2015. – 312 с.
110. Гилев С.Д. Повышение эффективности использования пашни в условиях Зауралья и Среднего Урала / под общ. ред. С.Д. Гилева. – Куртамыш: Изд-во ООО «Куртамышская типография», 2016. – 300 с.
111. Гилев С.Д. Ресурсосберегающие способы обработки почвы в адаптивно-ландшафтном земледелии Зауралья/ под общей ред. С.Д. Гилева. – ГУП «Куртамышская типография», 2010 – 194 с.
112. Гилев С.Д. Севообороты и агротехнологии для современного земледелия Зауралья / Под ред. С.Д. Гилева. – Куртамыш: ГУП «Куртамышская типография», 2009. – 126 с.
113. Гинзбург К.Е. Методы определения фосфора в почве / К.Е. Гинзбург // Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – С. 107-180.
114. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР / К.Е. Гинзбург. – М.: Наука, 1981. – 234 с.
115. Глухих М.А. Влага черноземов Зауралья и пути ее эффективного использования / М.А. Глухих. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 359 с.
116. Глухих М.А. Динамика азота в почвах Зауралья / М.А. Глухих, Т.С. Калганова // АПК России. 2015. – Т.71 – С. 118-125.
117. Глухих М.А. Динамика емкости катионного обмена почв Зауралья / М.А. Глухих, А.А. Калганов, Т.С. Калганова // АПК России. – 2016. – Т. 23. – № 5 – С. 909 – 917.
118. Глухих М.А. Плодородие черноземов Зауралья и его динамика: монография / М.А. Глухих, В.Б. Собянин, О.Б. Собянина / под ред. М. А. Глухих. – Челябинск: ЧГАА, 2010. – 300 с.
119. Глухих М.А. Севообороты Южного Зауралья: Монография. – Челябинск, 2008. – 324 с.

120. Глухих М.А. Терентий Семенович Мальцев. Идеи и научные исследования: (Часть вторая) / М.А. Глухих, В.Б. Собянин, О.Б. Собянина / Под. ред. В.Д. Павлова – Курган: ФГУИПП «Зауралье», 2005. – 224 с.
121. Головин Л.К. Особенности системы удобрений в полевых севооборотах лесостепи Зауралья / Л.К. Головин, В.П. Егоров, В.А. Яковлев // Почвы Западной Сибири и их удобрений: сб. трудов. – Омск: ОмСХИ, 1991. – С. 30-34.
122. Гоман Н.В. Вынос элементов питания урожаем яровой пшеницы / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.П. Кормин, М.В. Иванова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1(45). – С. 30-35.
123. Горбунов Н.И. Минералогия и физическая химия почв / Н.И. Горбунов. – М.: Наука, 1978. – 293 с.
124. Горшенин К.П. Почвы южной части Сибири (от Урала до Байкала / К.П. Горшенин. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 592 с.
125. ГОСТ 10840–2017 Зерно. Метод определения натуры.
126. ГОСТ 10842–89 Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян.
127. ГОСТ 26204–91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО.
128. ГОСТ 26212–2021. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО.
129. ГОСТ 26213 -91. Почвы. Методы определения органического вещества
130. ГОСТ 26261-84 Почвы. Методы определения валового фосфора и валового калия.
131. ГОСТ 26490-85 Почвы. Определение подвижной серы по методу ЦИНАО
132. ГОСТ 26713-85 Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка.
133. ГОСТ 26714–85 Удобрения органические. Метод определения золы.
134. ГОСТ 26715–85 Удобрения органические. Методы определения общего азота.
135. ГОСТ 26717-85 Удобрения органические. Метод определения общего фосфора.

136. ГОСТ 26718-85 Удобрения органические. Метод определения общего калия.
137. ГОСТ 27593–88 Почвы. Термины и определения.
138. ГОСТ 27753.5–88 Грунты тепличные. Метод определения водорастворимого фосфора.
139. ГОСТ 28268–89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений.
140. ГОСТ 29269–91. Почвы. Общие требования к проведению анализов.
141. ГОСТ Р 54478-2011 Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице.
142. ГОСТ Р 57700.37-2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 15 с.
143. ГОСТ Р 58594-2019. Почвы. Метод определения обменной кислотности.
144. ГОСТ Р 58596-2019. Почвы. Метод определения общего азота.
145. Грехова И.В. Приготовление и применение органических удобрений и питательных грунтов в условиях Северного Зауралья / И. В. Грехова, М. Ю. Михеев, В. К. Семенов, М. В. Гильманова. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. – 216 с.
146. Грехова И.В. Пути повышения плодородия почв и продуктивности культур в лесостепной зоне Зауралья: монография / И.В. Грехова, В.К. Семёнов, Н.В. Матвеева. — Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2020. – 236 с.
147. Гречишкина Ю.И. Черноземы Центрального Предкавказья / Ю. И. Гречишкина, В. Г. Сычев, М. С. Сигида, А. В. Бурлай. – Ставрополь: Издательство "АГРУС", 2020. – 456 с.
148. Гришин Г.Е. Влияние известкования и систем удобрения на агрохимические свойства чернозёма выщелоченного и продуктивность звена севооборота / Г.Е. Гришин // Вопросы известкования почв: сб. науч. тр. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 64-74.
149. Гришин Г.Е. Совместное использование дефеката и навоза в севообороте / Г.Е. Гришин, Е.В. Курносова // Плодородие. – 2005. – № 3(24). – С. 26-27.

150. Гришина Л.А. Гумусообразование и гумусовое состояние почв / Л.А. Гришина. – М.: МГУ, 1986. – 243 с.

151. Данюкова О.В. Изучение фосфогипса в качестве кальциевого удобрения при прорастании семян овса / О.В. Данюкова, Е.В. Терещенко // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства / Отв. ред. профессор А.И. Трубилин. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2009. – С. 202-204.

152. Дедов А.В. Воспроизводство плодородия чернозёмов в севообороте / А.В. Дедов, Н.И. Придворев, В.В. Верзилин, Л.П. Кузнецова // Земледелие. – 2003. – № 4. – С. 5-9.

153. Дёмина О.Н. Влияние минеральных удобрений на динамику нитратов пахотного чернозема под пшеничным агрофитоценозом / О.Н. Дёмина, Д.И. Ерёмин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. – № 4(198). – С. 15-23.

154. Дёмина О.Н. Влияние минеральных удобрений на нитратный режим и нитрификацию чернозема выщелоченного в северном Зауралье / О.Н. Дёмина, Д.И. Ерёмин // Агрохимический вестник. – 2021. – № 2. – С. 10-14.

155. Державин Л.М. Интегрированное применение агрохимических средств в зерновом хозяйстве / Л.М. Державин // Агрохимия. – 2007. –№ 12. – С. 3-17.

156. Державин Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии / Л.М. Державин. – М.: Колос, 1992. – 272 с.

157. Державин Л.М. Содержание гумуса в пахотных почвах СССР / Л.М. Державин, А.Н. Поляков, Т.А. Флоринский // Химизация сел. хоз-ва. 1988. – № 6. – С. 7–12.

158. Джонстон Дж. Роль органического вещества почвы в получении высоких урожаев и повышении эффективности использования азота и фосфора растениями / Дж. Джонстон // Питание растений. – 2013. – № 4. – С. 2-5.

159. Дмитриев Н.Н. Статистики и модели урожая яровой пшеницы в динамике многолетних рядов на светло-серой лесной почве Прибайкалья. Сообщение 1 / Н.Н. Дмитриев, Л.В. Будажапов // Вестник ИрГСХА. – 2012. – № 49. – С. 7-14.

160. Дмитриев П.С. Перспективы использования в условиях Северного Казахстана удобрений на основе местного сырья / П.С. Дмитриев, Е.А. Фомин, Е.Р. Айтжанов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. – № 4-1. – С. 123-128.
161. Добровольский Г.В. Функции почв в биосфере и экосистемах / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука. 1990. – 265 с.
162. Добровольский Г.В. Экология почв. Учение об экологических функциях почв / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Изд-во МГУ, 2012. – 412 с.
163. Добротворская Н.И. Подходы к разработке системы оценки ресурсного потенциала агроландшафтов / Н.И. Добротворская, Н.В. Семендяева, С.Ю. Капустянчик, М.И. Иванова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 4. – С. 20–29.
164. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 384 с.
165. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Курганской области в 2021 году. – Курган: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Курганской области. 2022. – 194 с.
166. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Курганской области в 2019 году. – Курган, 2020. – 190 с.
167. Докучаев В.В. Избранные сочинения. В 3-х т. – Т.3 Картография, генезис и классификация почв. – М.: Гос. изд-во с.-х. литературы, 1949. – 446 с.
168. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. –351 с.
169. Дубовик Е.В. Влияние приемов основной обработки почвы на макроструктуру чернозема типичного / Е.В. Дубовик, Д.В. Дубовик, А.В. Шумаков // Почвоведение. – 2021. – № 10. – С. 1195-1206.
170. Духанин Ю.А. Экологическая оценка взаимодействия удобрений и мелиорантов с почвой / Ю.А. Духанин, В.И. Савич, А.Г. Замараев, Е.В. Трубицина, Н.Л. Поветкина. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005.–324 с.

171. Дьяконова К.В. Оценка почв по содержанию и качеству гумуса для производственных моделей почвенного плодородия / К.В. Дьякова, Н.А. Титова, Б.М. Когут. – М.: Агропромиздат, 1990. – 27 с.
172. Дюрягин И.В. Теоретические основы и практические приёмы повышения продуктивности агрофитоценозов Зауралья / Автореф. дис. …д-ра с.-х. наук. – Омск, 1996. – 35 с.
173. Дюшофур Ф. Основы почвоведения. Эволюция почв (опыт изучения динамики почвообразования) / Ф. Дюшофур. – М.: Прогресс, 1970. – 592 с.
174. Егоров В.П. Изменение запасов гумуса в чернозёмах Зауралья / В.П. Егоров, С.Л. Петуховский // Почвоведение. – 1980. – № 5. – С. 48-54.
175. Егоров В.П. Изменение физических свойств чернозёмов Зауралья при окультуривании / В.П. Егоров, Л.А. Кривонос//Почвоведение. – 1968. – №11. – С. 53–56.
176. Егоров В.П. Почвы Курганской области / В.П. Егоров, Л.А. Кривонос. – Курган: Изд-во «Зауралье», 1995. – 176 с.
177. Егоров В.П. Распространение, свойства и гидрология почвообразующих пород в Зауралье / В.П. Егоров // Удобрение сельскохозяйственных культур. Агропочвоведение. – 1985. – № 6. – С. 2-6.
178. Егоров В.П. Результаты мониторинга трансформации гумуса в черноземах лесостепного Зауралья / В.П. Егоров, Л.А. Кривонос, Е.А. Иванюшин // Аграрная наука: проблемы и перспективы: мат. региональной научно-практической конференции. – Курган: ГИПП «Зауралье», 2002. – С. 231-235.
179. Егоров В.П. Рекомендации по регулированию баланса гумуса в чернозёмах Курганской области / В.П. Егоров, Л.А. Кривонос, А.Г. Иванова. – Курган: Курганский СХИ, 1990. – 52 с.
180. Егоров В.П. Сравнительная агрохимическая характеристика целинных и пахотных черноземов Зауралья / В.П. Егоров, Н.И. Дюрягина // Агрохимия. – 1972. – № 4. – С. 66-73.
181. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2014. – 768 с.

182. Емельянов Ю.Я. Приемы эффективного использования фосфорного удобрения / Ю.Я. Емельянов, А.Н. Копылов, О.В. Волынкина, Е.В. Кириллова // Агрохимия. – 2014. – № 7. – С. 27-32.
183. Ерёмин Д.И. Агрогенное изменение гранулометрического состава при распашке чернозема выщелоченного в лесостепной зоне Зауралья /Д.И. Ерёмин // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – № 8(95). – С. 34-36.
184. Ерёмин Д.И. Антропогенный фактор почвообразования в современном земледелии / Д.И. Ерёмин, А.В. Сахаров // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2017. – № 1. – С. 30-35.
185. Ерёмин Д.И. Влияние длительного сельскохозяйственного использования на запасы органического углерода в черноземе выщелоченном / Д.И. Ерёмин, Е.А. Дёмин // Земледелие. – 2023. – № 4. – С. 35-39.
186. Ерёмин Д.И. Влияние основной обработки почвы на формирование корневой системы зерновых культур и многолетних трав в условиях лесостепи Зауралья / Д.И. Ерёмин, О.А. Шахова // Агропродовольственная политика России. – 2021. – № 3. – С. 11-14.
187. Ерёмин Д.И. Динамика агрофизических свойств пахотного чернозёма под действием многолетнего использования минеральных удобрений в лесостепной зоне Зауралья / Д.И. Ерёмин // Агрофизика. – 2018. – № 2. – С. 9-14.
188. Ерёмин Д.И. Динамика кислотности чернозема выщелоченного под действием длительного использования органоминеральной системы удобрений в условиях лесостепной зоны Зауралья / Д.И. Ерёмин, Г.Д. Притчина // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 10(102). – С. 4-7.
189. Ерёмин Д.И. Минеральные удобрения и плодородие сибирского чернозёма. Результаты многолетних исследований / Д.И. Ерёмин // Вестник Курганской ГСХА. – 2017. – № 4(24). – С. 36-40.
190. Ерёмин Д.И. Продуктивность севооборотов на черноземе выщелоченном в Северной лесостепи Тюменской области / Д.И. Ерёмин, А.Н. Моисеев // Земледелие. – 2013. – № 5. – С. 10-11.

191. Ерёмин Д.И. Рациональное применение минеральных удобрений как фактор экологической безопасности агроценозов / Д.И. Ерёмин, М.Г. Уфимцева // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 12(118). – С. 63-66.
192. Ерёмин Д.И. Состояние старопахотных черноземов лесостепной зоны Зауралья / Д.И. Ерёмин, Д.В. Ерёмина, М.Г. Уфимцева // Аграрная наука. – 2014. – № 6. – С. 8-10.
193. Ерёмин Д.И. Сохранение плодородия Сибирских чернозёмов, как неотъемлемая часть продовольственной безопасности страны / Д.И. Ерёмин // Агропродовольственная политика России. – 2017. – № 10(70). – С. 83-89.
194. Ерёмин Д.И. Стабилизация гумусного состояния пахотных черноземов лесостепной зоны Зауралья / Д.И. Ерёмин // Земледелие. – 2014. – № 1. – С. 29-31.
195. Ерёмин Д.И. Физические свойства выщелоченных чернозёмов Северного Зауралья в условиях длительного сельскохозяйственного использования / Д.И. Ерёмин, Д.В. Ерёмина, Ж.А. Фисунова // Аграрный вестник Урала. – 2009. – №4. – С. 60-65.
196. Ермолаев О.Т. Фосфор: трансформация в почве, поглощение растениями / О.Т. Ермолаев. – Тюмень: ТГСХА, 2007. – 352 с.
197. Ермохин Ю.И. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур / Ю.И. Ермохин, И.А. Бобренко. – Омск: Изд-во Омский ГАУ им. П.А. Столыпина, 2005. – 282 с.
198. Ермохин Ю.И., Кочергин А.Е. Определение потребности растений в удобрениях на планируемый урожай. Рекомендации / Ю.И. Ермохин, А.Е. Корчегин. – Омск: ОмСХИ им. С.М. Кирова, 1983. – 44 с.
199. Ефимов В.Н. Система удобрений / В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко. – М.: Колос, 2003. – 320 с.
200. Завалин А.А. Биологический и минеральный азот в земледелии России / А.А. Завалин. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2022. – 256 с.

201. Завалин А.А. Коэффициент использования растениями азота удобрений и его регулирование / А.А. Завалин, О.А. Соколов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 4(370). – С. 71-75.
202. Завалин А.А. Проблемы и пути решения технологического развития земледелия/ А.А. Завалин // Земледелие. – 2024. – №2. – С. 25-29.
203. Завьялова О.Г. Региональное природопользование (на примере Курганской области) / О. Г. Завьялова, А. Е. Коваль. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2008. – 197 с.
204. Зайдальман Ф.Р. Мелиорация почв / Ф.Р. Зайдальман. – 3-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 448 с.
205. Закожурников В.П. Комплексная геологическая карта Курганской области. – М.: 1:200000, 1987 (фондовые материалы).
206. Захарова И.А. Мониторинг плодородия чернозёмных почв Южного Зауралья / И.А. Захарова, Х.С. Юмашев; Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства. – Челябинск: Челябинский государственный университет, 2023. – 121 с.
207. Зинченко С.И. Почвы и растения / С.И. Зинченко, М.А. Мазиров, М.К. Зинченко. – Владимир: Транзит-Икс, 2008. – 284 с.
208. Иванов А.Л. Агробиологический цикл фосфора / А.Л. Иванов, В.Г. Сычёв, Л.М. Державин, С.Н. Адрианов и др.; под ред. академика А.Л. Иванова. – М.: Россельхозакадемия, 2012. – 512 с.
209. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей / Т.И. Иванова. – М.: Агропромиздат, 1989. – 240 с.
210. Иванова Т.Н. Изменение содержания и состава гумуса черноземов выщелоченных (Luvic Chernozems) южной лесостепи Республики Башкортостан при сельскохозяйственном использовании / Т. Н. Иванова, Ф. Я. Багаутдинов, И. Г. Асылбаев // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2015. – № 1(33). – С. 19-23.

211. 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.
212. 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. – 229 с.
213. Ивойлов А.В. Влияние основных видов удобрений и их сочетаний при длительном применении на урожайность культур, качество продукции и агрохимические показатели чернозёма выщелоченного тяжелосуглинистого / А.В. Ивойлов, А.В. Малова // Агрохимия. – 1993. – № 3. – С. 25-38.
214. Ивойлов А.В. Основные результаты исследований и проблемы известкования выщелоченных чернозёмов республики / А.В. Ивойлов // Сб. науч. тр. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 74-78.
215. Ионина Н.В. Основные этапы и результаты исследований по вопросам бесплужного земледелия в северо-западной зоне Курганской области / Н. В. Ионина, М.В. Гинцяк, И.Н. Цымбаленко / Бесплужное земледелие как основа современных ресурсосберегающих технологий: Мат.Международной научно-практической конференции, посвященной 120-летию со дня рождения Т. С. Мальцева (11 августа 2015 г.). Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2015. – С. 70-85.
216. Казанский К.С. Сильнонабухающие полимерные гидрогели как влагоудерживающие почвенные добавки / К.С. Казанский, Г.В. Ракова, Н.С. Ениколопов // сб. «Природные ресурсы пустынь и их освоение». – Ашхабад: Изд-во «Ылым», 1986. – С. 147-148.
217. Калинин К.В. Фосфорные удобрения и их применение / К.В. Калинин. – М.: Колос, 1981. – 135 с.
218. Каличкин В.К. Формирование агроэкологических условий для агроценозов яровой пшеницы / В.К. Каличкин, Г.М. Захаров, Т.Н. Крупская,

М.В.иБекасова, В.Н. Шоба, И.Г. Бокина // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2003. – № 4. – С. 3-10.

219. Каргин И.Ф. Изменение запасов гумуса в условиях длительного использования пашни / И.Ф. Каргин, В.И. Каргин, И.И. Игонов // Российский научный мир. – 2013. – № 2. – С. 104-113.
220. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области / Л.Н. Каретин. – Новосибирск: Наука, 1990. – 286 с.
221. Карманов И.И. Плодородие почв СССР / И.И. Карманов. – М.: Колос, 1980. – 226 с.
222. Карманов И.И. Современные аспекты оценки плодородия земель и почв / И.И. Карманов, Д.С. Булгаков, Л.А. Карманова, Е.И. Путилин // Почвоведение. – 2002. – № 7. – С. 850-857.
223. Карпачевский Л.О. Почва, мелиорация и охрана природы / Л.О. Карпочевский. – М.: Знание, 1987. – 64 с.
224. Карпачевский, Л.О. Экологическое почвоведение / Л.О. Карпачевский. – М.: ГЕОС, 2005. – 336 с.
225. Касицкий Ю.И. Агрохимические аспекты решения проблемы фосфора в земледелии / Ю.И. Касицкий // Агрохимия. – 1983. – № 10. – С. 16-31.
226. Качинский Н.А. Физика почвы. Ч.1. /Н.А. Качинский. – М.: Высшая школа, 1965. – 324 с.
227. Качинский Н.А. Физика почвы. Ч.2. /Н.А. Качинский. – М.: Высшая школа, 1970. – 358 с.
228. Каштанов А.Н. Плодородие почв – основа продовольственной безопасности России / А.Н. Каштанов // Почвоведение в России: вызовы современности, основные направления развития: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2012. – С. 82-85.
229. Каштанов А.Н. Устойчивость земледелия: пути повышения / А.Н. Каштанов. – М.: Знание, 1983. – 64 с.

230. Каюмов М.К. Программирование продуктивности полевых культур / М.К. Каюмов. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 368 с.
231. Кидин В.В. Основы питания растений и применения удобрений / В.В. Кидин. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2008. – 415 с.
232. Кидин В.В. Система удобрения / В.В. Кидин. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2012. – 535 с.
233. Кильдюшкин В.М. Влияние минеральных и органических удобрений в зернопропашном севообороте на свойства чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / В.М. Кильдюшкин, В.Н. Слюсарев, О.А. Подколзин, А.В. Осипов // Масличные культуры. 2022. – № 2(190). – С. 51-56.
234. Кирейчева Л.В. Элементарный состав сапропелевых отложений для использования их в качестве мелиоранта и удобрения длительного действия / Л.В. Кирейчива // Докл. РАН. – 2000. – № 4. – С. 59-62.
235. Кириллова Е.В. Эффективность применения минеральных удобрений в севообороте и на бессменной пшенице в центральной лесостепи Зауралья / Е.В. Кириллова, А.Н. Копылов//Аграрный вестник Урала. – 2015. – №4(134). – С. 33-39.
236. Кирюшин Б.Д. Основы научных исследований в агрономии / Б.Д. Кирюшин, Р.Р. Усманов, И.П. Васильев. – М.: КолосС, 2009. – 398 с.
237. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение / В.И. Кирюшин. – М.: КолосС, 2010. – 687 с.
238. Кирюшин В.И. Агротехнологии: Учебник. / В.И. Кирюшин, С.В. Кирюшин. – СПб.: Изд-во «Лань», 2015. – 464 с.
239. Кирюшин В.И. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / В.И. Кирюшин, А.Л. Иванова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005.– 784 с.
240. Кирюшин В.И. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах / В.И. Кирюшин, Н.Ф. Ганжара, И.С. Кауричев [и др.]. – М.: МСХА, 1993. – 100 с.

241. Кирюшин В.И. Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования / В.И. Кирюшин // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т.30. – №3. – С. 19-25.
242. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия / В.И. Кирюшин. – М.: Колос, 1996. – 367 с.
243. Кихаев Г.С. Влияние фосфогипса в качестве серосодержащего удобрения на прорастание семян озимой пшеницы / Г.С. Кихаев, Е.В. Терещенко // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства / Отв. ред. профессор А.И. Трубилин. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2009. – С. 204-207.
244. Классификация и диагностика почв СССР / В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.И. Иванова и др. – М.: Колос, 1977. – 223 с.
245. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1985. – 267 с.
246. Ковда В.А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1981. – 182 с.
247. Ковда В.А. Проблемы защиты почвенного покрова и биосферы планеты / В.А. Ковда. – Пущино: Изд-во АН СССР. 1989. – 155 с.
248. Козаченко А.П. Обоснование приемов рационального использования, обработки и мелиорации земель сельскохозяйственного назначения Челябинской области / А.П. Козаченко. – Челябинск: Изд-во «Челябинский Дом печати», 1999. – 144 с.
249. Кокотов Ю.А. Анализ показателей кислотности почвенного профиля и их связи с процессом почвообразования / Ю.А. Кокотов, Е.Ю. Сухачева, Б.Ф. Апарин // Почвоведение. – 2016. – № 1. – С. 3.
250. Конаныхин А.С. Геологическое строение и полезные ископаемые Курганской области / А. С. Конаныхин. – Курган: Дамми, 2013. – 238 с.
251. Кононова М.М. Органическое вещество, его природа, свойства и методы изучения / М.М. Кононова. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 313 с.

252. Кореньков Д.А. Продуктивное использование минеральных удобрений / Д.А. Кореньков. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 219 с.
253. Королев В.А. Изменение основных показателей плодородия выщелоченных чернозёмов под влиянием удобрений / В.А. Королев, Л.Д. Старлухова // Почвоведение. – 2004. – № 5 – С. 604-611.
254. Коротаев Н.Я. К познанию почв лесостепи Зауралья / Н.Я. Коротаев // Научные труды Пермского СХИ. – 1957. – Т. 15.
255. Корчагин В.А. Научные основы современных технологических комплексов возделывания яровой мягкой пшеницы в Среднем Заволжье / В.А. Корчагин, С.Н. Зудилин, С.Н. Шевченко. – Самара: Изд-во Самарская ГСХА, 2013. – 343 с.
256. Костычев П.А. Избранные труды / П.А. Костычев. – Л.: АН СССР, 1951. – 670 с.
257. Костычев П.А. Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства / П.А. Костычев. – М.: Гос. изд-во с.-х. лит., 1949. –240 с.
258. Котченко С.Г. Динамика агрохимических свойств старопахотного чернозёма лесостепной зоны Зауралья / С.Г. Котченко, Н.А. Груздева, Д.И. Еремин // Плодородие. – 2017. – № 2 (95). – С. 12-15.
259. Кочергин А.Е. Диагностика потребности сельскохозяйственных культур в азотных удобрениях на чернозёмах Западной Сибири / А.Е. Кочергин // Химия в сельском хозяйстве. – 1984. – № 12. – С. 9-13.
260. Кочергин А.Е. Условия азотного питания зерновых культур на чернозёмах Сибири / А.Е. Кочергин // Агробиология. – 1956. – № 2. – С. 76-88.
261. Кочергин А.Е. Фосфатный фонд почв и его доступность растениям // Почвы Западной Сибири и повышение их плодородия / А.Е. Кочергин. – Омск: ОмСХИ, 1984. – С. 12-19.
262. Красницкий В.М. Воспроизводство и сохранение плодородия почв Западной Сибири / В.М. Красницкий // Агрохимический вестник. – 2000. – № 3. – С. 2-5.
263. Красницкий В.М. Динамика подвижного фосфора в почвах лесостепи Западной Сибири / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт, О.А. Матвейчик, И.А. Бобренко // Плодородие. – 2020. – № 2(113). – С. 57-60.

264. Красницкий В.М. Плодородие почв Сибирского федерального округа в аспекте сегодняшнего дня / В.М. Красницкий, Ю.И. Ермохин // Сейтеновские чтения- 5: материалы Международной научно-практической конференции (3-5 июня 2010 г.) в 2 т. Т1. – Кокшетау, 2010. – С. 25-33.
265. Кривонос Л.А. Влияние соломы на биологическую активность чернозёма и урожай яровой пшеницы / Л.А. Кривонос, В.Н. Фомина // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 1985. – № 3. – С. 34-38.
266. Кудеяров В.Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России / В.Н. Кудеяров // Агрохимия. – 2019. – № 12. – С. 3-15.
267. Кудеяров В.Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России / В.Н. Кудеяров // Агрохимия. – 2018. – № 10. – С. 3-11.
268. Кудеяров В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений / В.Н. Кудеяров; отв. ред. Е.Н. Мишустин – М.: Наука, 1989. – 216 с.
269. Кузин Е.Н. Изменение плодородия чернозема выщелоченного под влиянием агромелиоративных приемов в условиях лесостепи Среднего Поволжья / Е. Н. Кузин, А. А. Галиуллин, Е. Е. Кузина. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – 304 с.
270. Кузнецов М.С. Эрозия и охрана почв / М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов. – М.: Изд-во МГУ; КолосС, 2004. – 352 с.
271. Кузнецов П.И. Научные основы экологизации земледелия в лесостепи Зауралья / П.И. Кузнецов, В.П. Егоров. – Курган: Изд-во «Зауралье», 2001. – 366 с.
272. Кузнецова Л.М. Количественно-качественный учет зерна и зернопродуктов / Л.М. Кузнецова, Г.П. Черкасова. – Москва: ДеЛи принт, 2011. – 260 с.
273. Кук Дж. Регулирование плодородия почвы /Дж. Кук. – М.: Колос, 1970. – 520 с.
274. Кук Дж. У. Системы удобрения для получения максимальных урожаев. Пер. с анг. Н.В. Гаделия. Под. ред. Э.И. Шконде. – М.: Колос, 1975. – 416 с.
275. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т.Н. Кулаковская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 219 с.

276. Куприченков М.Т. Сезонная динамика химических и агрохимических свойств био- и агрочернозема / М.Т. Куприченков // Достижение науки и техники АПК. – 2013. – № 7. – С. 67-68.
277. Курганская область в цифрах за 65 лет. Статистический сборник. – Курган: Курганстат, 2008. – 191 с.
278. Кушниренко Ю.Д. К вопросу о трансформации физико-химических свойств почв Южного Урала / Ю.Д. Кушниренко // Производство зерна и кормов в агроландшафтном земледелии: агрохимические, экономические и экологические аспекты. – Миасс: Геотур, 1999. – С. 59-80.
279. Кушниренко Ю.Д. Фосфатный режим выщелоченного чернозёма и продуктивность севооборота при длительном применении удобрений / Ю.Д. Кушниренко, В.Н. Брагин // Агрохимический вестник. – 2005. – № 2. – С. 16-18.
280. Ладонин В.Ф. Комплексное применение гербицидов и удобрений в интенсивном земледелии / В.Ф. Ладонин. – М.: Агропромиздат, 1991. – 271 с.
281. Ладонин В.Ф. Научные основы оптимизации питания и фитосанитарного состояния посевов в ландшафтном земледелии / В.Ф. Ладонин, С.Н. Андрианов, Н.И. Аканова [и др.]; под ред. В.Г. Сычёва. – М.: РАСХН, 2005. – 94 с.
282. Лебедев Б.А. Курганская область / Агрохимическая характеристика почв СССР. Районы Урала / Б.А. Лебедев. – М.: Наука, 1964. – С. 183-209.
283. Лебедева И.И. Почвы Центрально-Европейской и Средне-Сибирской лесостепи / И.И. Лебедева, Е.В. Семина. – М.: Наука, 1974. – 231 с.
284. Лобков В.Т. Интенсификация биологических факторов воспроизводства плодородия почвы в земледелии: монография / В.Т. Лобков, Н.И. Абакумов, Ю.А. Бобкова, В.В. Наполов. – Орел: ОрелГАУ, 2016. – 160 с.
285. Ломако Е.И. Известкование почв Республики Татарстан / Е.И. Ломако, Ш.А. Алиев. – Казань: Центр инновационных технологий, 2004. – 272 с.
286. Ломако Е.И. Эффективность известкования выщелоченного чернозёма при ресурсосберегающих системах обработки / Е.И. Ломако, Ш.А. Алиев, Л.М.-Х. Биккинина // Плодородие. – 2007. – № 6. – С. 12-14.
287. Лотов Р.А. Методика изучения динамики почв во времени по материалам по-

вторных обследований / Р.А. Лотов // Почвоведение. – 1975. – № 6. – С. 101-113.

288. Лотов Р.А. Эмпирические линейно-графические модели гумусового профиля черноземов / Р.А. Лотов // Почвоведение. – 1988.– № 3. – С 28-40.
289. Лошаков В.Г. Зеленое удобрение как фактор повышения плодородия почвы, биологизации и экологизации земледелия / В.Г. Лошаков // Плодородие. – 2018. – № 2(101). – С. 26-29.
290. Лысухин В.Я. Государственная станция агрохимической службы «Курганская» / В.Я. Лысухин // Консультативное агрохимическое обслуживание в Российской Федерации. Итоги и перспективы (40 лет Агрохимической службе) / Под ред. Сычева В.Г. – М.: ВНИИА, 2005. – С. 402-406.
291. Максимов П.Г. Результаты агроэкологической оценки сапропелевых месторождений / П.Г. Максимов. – М.: ЦИНАО, 2000. – 110 с.
292. Максютов Н.А. Эффективность зелёного удобрения под яровую твёрдую пшеницу в полевых севооборотах степной зоны Южного Урала / Н.А. Максютов, А.А. Зоров, В.Ю. Скороходов [и др.]. – Оренбург: ООО Типография «Агентство Пресса», 2022. – 125 с.
293. Маландин Г.А. Почвы Урала: Принципы агротехники и мелиорации/ Г.А. Маландин. – Свердловск: Свердл. обл. гос. изд-во, 1936. – 328 с
294. Мамонтов В.Г. Общее почвоведение / В.Г. Мамонтов, Н.П. Панов, И.С. Кауричев, Н.Н. Игнатьев. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
295. Мамонтов В.Г. Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного Курской области / В.Г. Мамонтов, З.С. Артемьева, В.И. Лазарев [и др.] // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2020. – № 101. – С. 182-201.
296. Масютенко Н.П. Оценка пространственной неоднородности свойств черноземных почв / Н.П. Масютенко, Г.Н. Черкасов, О.Г. Чуян // Земледелие. – 2008. – № 8. – С. 6-8.
297. Мерзлая Г.Е. Влияние известкования и разных систем удобрения на физико-химические свойства чернозема выщелоченного / Г.Е. Мерзлая и др. // Вопросы известкования почв: сб. ст. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 115-119.

298. Мерзлая Г.Е. Действие и последействие систем удобрения с использованием навоза / Г.Е. Мёрзлая // Плодородие. – 2011. – № 3. – С. 16-18.
299. Мерзлая Г.Е. Основные приемы и условия эффективного использования органических удобрений / Г.Е. Мерзлая // Плодородие чернозёмов России. – М.: Агроконсалт, 1998. – С. 225-254.
300. Мерзлая Г.Е. Оценка продуктивности агроценозов в органическом и традиционном земледелии / Г.Е. Мерзлая // Плодородие. – 2020. – № 6(117). – С. 44-46.
301. Метод К-средних онлайн [Электронный ресурс]. URL: https://axd.semestr.ru/upr/average.php (Дата обращения 05.03.2023).
302. Милащенко Н.З. Плодородие чернозёмов России / Под общ. редакцией Н.З. Милащенко. – М.: Агроконсалт, 1998. – 688 с.
303. Милащенко Н.З. Устойчивое развитие агроландшафтов. В 2-х т. Т.1. / Н.З. Милащенко, О.А. Соколов, Т. Брайсон, В.А. Черников. – Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2000. – 316 с.
304. Милащенко Н.З. Устойчивое развитие агроландшафтов. В 2-х т. Т.2. / Н.З. Милащенко, О.А. Соколов, Т. Брайсон, В.А. Черников. – Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2000. – 282 с.
305. Минакова О.А. Динамика фосфатного режима чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений в зернопаропропашном севообороте лесостепи ЦЧР / О.А. Минакова, Л.В. Александрова, М.Г. Мельникова // Агрохимия. – 2013. – № 5. – С. 9-17.
306. Минеев В.Г. Агрохимические и экологические функции калия / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.
307. Минеев В.Г. Агрохимические основы повышения качества зерна пшеницы / В.Г. Минеев, А.Н. Павлов. – М.: Колос, 1981. – 288 с.
308. Минеев В.Г. Агрохимия / под. ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017 – 854 с.

309. Минеев В.Г. Воспроизводство плодородия почвы и экологические функции удобрений в агроценозе / В.Г. Минеев // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 1. – С. 3-6.
310. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
311. Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 285 с.
312. Михайленко И.М. Программное управление параметрами плодородия почвы под посевами яровой пшеницы / И.М. Михайленко, В.Н. Тимошин // Агрохимия. – 2020. – № 8. – С. 86-93.
313. Мнатсаканян А.А. Показатели плодородия чернозема выщелоченного в зависимости от систем основной обработки почвы / А. А. Мнатсаканян, Г. В. Чуварлеева, О. Б. Быков // Земледелие. – 2022. – № 5. – С. 15-19.
314. Моисеев А.Н. Влияние севооборотов на фосфорный режим чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья / А.Н. Моисеев, Д.И. Еремин // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 2(108). – С. 4-6.
315. Мотузова Г.В. Экологический мониторинг почв / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. – М.: Академический проспект Гаудеамус, 2007. – 237 с.
316. Муравин Э.А. Агрохимия / Э.А. Муравин. – М.: КолосС, 2004. – 384 с.
317. Муравин Э.А. Практикум по агрохимии // Э.А. Муравин, Л.В. Обуховская, Л.В. Ромодина. – М.: КолосС, 2013. – 288 с.
318. Муха В.Д. Агропочвоведение. / В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Ред. В.Д. Муха. – М.: КолосС, 2003. – 528 с.
319. Муха В.Д. Естественно-антропогенная эволюция почв / В.Д. Муха. – М.: Колос, 2004. – 271 с.
320. Муха В.Д. Изменение физико-химических свойств чернозёма типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании / В.Д. Муха, В.И. Лазарев // Агрохимия. – 2003. – № 1. – С. 5-7.
321. Муха В.Д. Кальций и плодородие чернозёмов / В.Д. Муха // Земледелие. – 2002. – № 1. – С. 11-13.

322. Муха В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В. Муха, А.Л. Ачкасов. – М.: КолосС, 2010. – 367 с.

323. Мязин Н.Г. Влияние систематического применения удобрений и мелиорантов на гумусное состояние чернозема выщелоченного / Н.Г. Мязин, Т.М. Парахневич // Агрохимия. – 2000. – № 9. – С. 11-18.

324. Надежкин С.М. Влияние известкования и применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность зернопропашного севооборота / С.М. Надежкин, Т.Б. Лебедева, М.В. Арефьева // Агрохимия. – 2006. – № 10. – С. 5-14.

325. Назаров Ю.И. О коэффициентах использования растениями фосфора удобрений / Ю.И. Назаров, В.Н. Скрипкин // Агрохимия. – 1974. – № 12. – С. 20-26.

326. Назарюк В.М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах / В.М. Назарюк. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 257 с.

327. Назарюк В.М. Почвенно-экологические основы оптимизации питания растений / В.М. Назарюк // отв. ред. Л.Л. Убугунов; Рос. акад. наук, Сиб. от-ние, Ин-т почвовед. и агрохим. – Новосибирск: СО РАН, 2007. – 364 с.

328. Назарюк В.М. Эколого-агрохимические и генетические проблемы регулируемых агроэкосистем / В.М. Назарюк. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 240 с.

329. Наливкин Д.В. Западно-Сибирская низменность // Геология СССР. / Д.В. Наливкин. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 280-299.

330. Науменко Н.И. Геоботаническое районирование Южного Зауралья // Вестник Курганского университета. Сер. Естественные науки. – 2007. – Вып. 1. – № 4 (08). – С. 20-24.

331. Науменко Н.И. К вопросу о секторных флористических границах в южном Зауралье / Н.И. Науменко // Вестник Удмуртского университета. – 2016. – Т. 26. – вып. 2. – С. 71-83.

332. Науменко Н.И. Флора и растительность южного Зауралья: Монография / Н.И. Науменко. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2008. – 512 с.

333. Научные основы систем земледелия Курганской области: рекомендации. – Курган: Изд-во Курганский НИИСХ РАСХН, 2001. – 296 с.
334. Национальный атлас почв Российской Федерации (под ред. чл.- корр. С. А. Шобы). – М.: Астрель: АСТ, 2011. – 632 с.
335. Немченко В.В. Продуктивность севооборотов и агрохимические показатели почвы при длительном использовании пашни / В.В. Немченко, Ю.В. Суркова // Земледелие. – 2010. – № 7. – С. 9-11.
336. Несговорова Н.П. Почвоведение с основами экологии почв (региональный компонент) / Н.П. Несговорова, В.Г. Савельев. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2020. – 300 с.
337. Несговорова Н.П. Эколого-географический атлас Курганской области / Н.П. Несговорова, О.Г. Завьялова, Н.А. Неумывакина [и др.]; отв. ред. Н.П. Несговорова. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2023. – 112 с.
338. Никитин В.В. Почвы и общая характеристика природных условий лесостепи Зауралья / В.В. Никитин // Биологические и научные исследования: Сб. тр. / Пермский СХИ. – 1933. – Т.5. – 466 с.
339. Никитина Л.В. Влияние систем удобрения в склоновом агроландшафте на калийный режим суглинистой почвы / Л. В. Никитина, В. А. Романенков // Плодородие. – 2020. – № 4(115). – С. 35-38.
340. Никитина Л.В. Исследования калийного режима разных типов почв в длительных опытах Геосети / Л. В. Никитина // Агрохимия. – 2018. – № 1. – С. 39-51.
341. Никитина Л.В. Калий в питании растений и эффективность калийных удобрений / Л.В. Никитина, М. В. Беличенко // Плодородие. – 2023.– № 6(135). –С. 5-8.
342. Никитишен В.И. Роль почвы и удобрения в обеспечении калийного питания культур севооборота / В.И. Никитишен, Л.К. Дмитракова, В.И. Личко // Агрохимия. – 2000. – № 12. – С. 30-35.
343. Новиков А.А. Обоснование роли корневых и пожнивных остатков в агроценозах / А.А. Новиков, О.П. Кисаров // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 4. – С. 1-10.

344. Окорков В.В. Использование фосфогипса в земледелии / В.В. Окорков // Плодородие. – 2013. – № 1. – С. 20-25.

345. Окорков В.В. О механизме и эффективности взаимодействия извести с кислыми почвами / В.В. Окорков // Агрохимия. – 2004. – № 7. – С. 11-21.

346. Окорков В.В. Поглощающий комплекс и механизм известкования кислых почв / В.В. Окорков. – Владимир: ВООО ВОИ, 2004. – 181 с.

347. Ониани О.Г. Агрохимия калия / О.Г. Ониани. – М.: Наука, 1981. – 200 с.

348. Орлов Д.С. Биогеохимия / Д.С. Орлов, О.С. Безуглова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. – 320 с.

349. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 335 с.

350. Орлов Д.С. Органическое вещество почв Российской Федерации / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, Н.И. Суханова. – М.: Наука, 1996. – 256 с.

351. Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова // Методы исследований органического вещества почв. – Владимир: РАСХН, 2005. – С. 6-16.

352. Орлов Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 400 с.

353. Орлов Д.С. Химия почв: учеб. для студ. вузов / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высш. шк., 2005. – 558 с.

354. Панасин В.И. Сера и урожай / В.И. Панасин, В.Д. Слобожанинова, Н.В. Лопатина. –Калининград: ГП «КГТ», 1999. – 150 с.

355. Панников В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.

356. Пат. 2667159 Российская Федерация, МПК7 C05F 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.

357. Перегудов В.Н. Метод наименьших квадратов и его применение в исследованиях / В.Н. Перегудов. – М.: Статистика, 1965. – 340 с.

358. Перельман А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.

359. Петербургский А.В. Агрохимия и физиология питания растений. – 2-е изд., перераб. / А.В. Петербургский. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 184 с.

360. Пивоварова Е.Г. Математические модели региональных эталонов в агрохимическом мониторинге почв / Е.Г. Пивоварова, Е.В. Кононцева, Ж.Г. Хлуденцов, И.П. Аверьянова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 8(178). – С. 54-62.

361. Пивоварова Е.Г. Решение вопросов пространственной и временной вариации агрохимических свойств почв с помощью информационно-логического анализа / Е.Г. Пивоварова // Агрохимия. – 2006. – № 8. – С. 77-84.

362. Пивоварова Е.Г. Управление агрохимическими свойствами почв с помощью прогнозных моделей / Е.Г. Пивоварова // Агрохимия. – 2005. – № 12. – С. 5-10.

363. Пискунов А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. –М.: КолосС, 2004. – 312 с.

364. Плотников А.М. Агрохимические свойства чернозёма выщелоченного и продуктивность зерновых культур под влиянием удобрений и химических мелиорантов в условиях Зауралья / А.М. Плотников // Вестник Курганской ГСХА. – 2018. – № 4(28). – С. 30-35.

365. Плотников А.М. Баланс фосфора в зернопаровом севообороте / А.М. Плотников // Вестник Курганской ГСХА. – 2018. – № 3(27). – С. 45-47.

366. 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.

367. 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.

368. 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.

369. 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.
370. 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.
371. Плотников А.М. Зависимость урожайности зерновых культур от содержания в почве доступных форм фосфора и калия / А.М. Плотников // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 1(29). – С. 17-20.
372. 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.
373. Плотников А.М. Оценочный критерий порчи земель сельскохозяйственного назначения при снижении содержания гумуса почвы/ А.М. Плотников, М.Ю. Горбунов, А.В. Уткин // Вестник Курганской ГСХА, 2015. – № 1 (13).– С. 60-63.
374. 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.
375. Плотников А.М. Продуктивность севооборота и показатели кислотности при использовании различных удобрений / А.М. Плотников // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 3(31). – С. 13-17.
376. Плотников А.М. Содержание и запасы элементов питания в чернозёмах Зауралья / А.М. Плотников // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 2(30). – С. 19-22.
377. 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.
378. Плотников А.М. Физико-химические свойства выщелоченных чернозёмов южного Зауралья при различных уровнях интенсификации земледелия / А.М.

Плотников, С.А. Еликбаева // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 4(32). – С. 17-19.

379. Повышение эффективности земледелия Зауралья в засушливых условиях / Авторский коллектив ФГБНУ «Курганский НИИСХ». Отв. В.А. Телегин, А.А. Лушников. Куртамыш: ГУП «Куртамышская типография», 2013. – 231 с.
380. Погода и климат [Электронный ресурс]. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/ (Дата обращения 05.03.2023).
381. Полуэктов Р.А. Динамические модели агроэкосистем / Р.А. Полуэктов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 312 с.
382. Полуэктов Р.А. Динамические модели экологических систем / Р.А. Полуэктов, Ю.А. Пых, И.А. Швытов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 347 с.
383. Полуэктов Р.А. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006. – 396 с.
384. Поляков Д.Г. Обработка почвы и прямой посев: агрофизические свойства черноземов и урожайность полевых культур / Д. Г. Поляков // Земледелие. – 2021. – № 2. – С. 37-43.
385. Пономарева В.В. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения) / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.
386. Посыпанов Г.С. Растениеводство / Г.С. Посыпанов, В.Е. Долгодворов, Б.Х. Жеруков. – М.: КолосС, 2007. – 612 с.
387. Почвообразовательные процессы. Коллектив авторов; под ред. М.С. Симаковой, В.Д. Топкопогова.–М.: Почвенный ин-т. им. В.В. Докучаева, 2006. – 510 с.
388. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России / Под ред. академиков Россельхозакадемии А.В. Гордеева, Г.А. Романенко. – М.: Росинформагротех, 2008. – 67 с.
389. Проведение многофакторных опытов с удобрениями и математический анализ их результатов. Методические указания / Под общ. ред. В.Н. Перегудова. – М.: ВИУА, 1976. – 112 с.

390. Прокошев В.В. Калий и калийные удобрения / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин. – М.: Ледум, 2000. – 185 с

391. Прокошев В.В. О методах определения доступных форм калия в почве / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин // Плодородие. – 2005. – № 5. – С. 15-19.

392. Прокошев В.В. Оптимизация калийного питания растений / Прокошев В.В. // Параметры плодородия основных типов почв. – М.: Агрохимпромиздат, 1988. – С. 95-106.

393. Пронина Н.Д. Действие сильнонабухающих полимерных гидрогелей на растения сои и люцерны в условиях засухи / Н.Д. Пронина, Н.Н. Краснобаева, Н.Н. Кудрявцева, Н.Н. Черканова, Ю.А. Урманцев, К.С. Казанский // Тез. докл. II Вс. Совещ. «Биологически активные полимеры и полимерные реагенты для растениеводства». – Звенигород, 1991. – С. 29.

394. Прошкин В.А. Модель прогноза прибавки урожайности озимой пшеницы при применении фосфорных удобрений / В.А. Прошкин, С.Н. Андрианов, Е.В. Шаброва // Агрохимия. – 2011. – № 6. – С. 19-26.

395. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. Т.1 / Д.Н. Прянишников. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 546 с.

396. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. Т.2. / Д.Н. Прянишников – М.: Колос, 1965. – 798 с.

397. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. Т.3 / Д.Н. Прянишников. – М.: Сельхозиздат, 1968. – 640 с.

398. Прянишников Д.Н. Избранные труды. / Д.Н. Прянишников – М.: Наука, 1976. – 591 с.

399. Пых Ю.А. О становлении исследований по моделированию продуктивности посевов сельскохозяйственных культур в Агрофизическим НИИ / Ю.А. Пых // Математические модели природных и антропогенных экосистем: сб. статей, посвященный памяти Ратмира Александровича Полуэктова. – СПб.: АФИ, 2014. – С. 15-19.

400. Растворова О.Г. Физика почв / О.Г. Растворова – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. – 196 с

401. Ренев Е.П. Водопроницаемость пахотного чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья / Е.П. Ренев, Д.И. Еремин // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31. – № 10. – С. 18-21.
402. Рзаева В.В. Изменение агрофизических свойств чернозема выщелоченного при длительном использовании различных систем основной обработки и минеральных удобрений в северном Зауралье / В.В. Рзаева, Д.И. Ерёмин // Вестник КрасГАУ. – 2010. – №6. – С. 36-42.
403. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге / А.А. Роде. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1969. – 287 с.
404. Родин Л.Е. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара: научное издание / Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич. – АН СССР, Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова. – Л.: Наука, 1965. – 264 с.
405. Розанов Б.Г. Морфология почв / Б.Г. Розанов. – М.: Академический проект, 2004. – 432 с.
406. Роуэлл Д.Л. Почвоведение: методы и использование / Пер. с англ. Е.К. Кубиковой; под ред. и с предисл. Б.Н. Золотаревой / Д.Л. Роуел. – М.: Колос, 1998. – 486 с.
407. Русанов А.М. Гумусное состояние чернозёмов Уральского региона как функция периода их биологической активности / А.М. Русанов // Почвоведение. – 1998. – № 3. – С. 302-310.
408. Русин Г.Г. Физико-химические методы анализа в агрохимии / Г.Г. Русин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 303 с.
409. Русинова И.П. Изучение взаимосвязи азотного и фосфорного питания растений (с применением N и P) / И.П. Русинова // Агрохимия. – 1977. – № 8. – С. 3-7.
410. Рымарь В.Т. Особенности применения удобрений на черноземах с разной обеспеченностью элементами питания / В.Т. Рымарь, А.М. Новичихин // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2006. – № 3. – С. 49-51.
411. Савич В.И. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе / В.И. Савич, В.А. Седых, П.Н. Балабко [и др.]. – Москва: Калужский филиал

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева», 2020. – 352 с.

412. Савич В.И. Оценка земель / В.И. Савич, А.М. Гатаулин, В.Г. Сычёв [и др.]. – М.: ВНИИА, 2010. – 452 с.
413. Сахаров А.В. Агрофизические свойства чернозема выщелоченного при различном его использовании в лесостепной зоне Зауралья / А.В. Сахаров, В.В. Мищенко, Д.И. Ерёмин // Вестник Курганской ГСХА. – 2020. – № 3(35). – С. 62-67.
414. Сдобникова О.В. Фосфорные удобрения и урожай / О.В. Сдобникова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 111 с.
415. Семендяева Н.В. Влияние сельскохозяйственного использования на свойства почв Западной Сибири / Новосиб. гос. аграр. ун-т; СибНИИ земледелия и химизации сел. хоз-ва. / Н.В. Семендяева. – Новосибирск: Изд-во Новосибирский ГАУ, 2011. – 168 с.
416. Семендяева Н.В. Гранулометрический и микроагрегатный состав черноземов выщелоченных Приобья в длительных севооборотах / Н.В. Семендяева, Л.А. Карловец, Т.Н. Крупская, С.С. Аверкина // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2013. – № 1(230). – С. 11-17.
417. Семендяева Н.В. Изменение свойств чернозема выщелоченного Новосибирского Приобья при сельскохозяйственном использовании / Н.В. Семендяева, Л.А. Карловец, Т.Н. Крупская. – Новосибирск: Изд-во Новосибирского ГАУ, 2015. – 183 с.
418. Семендяева Н.В. Физико-химические свойства чернозема выщелоченного Новосибирского Приобья в длительных полевых опытах / Н.В. Семендяева, Л.А. Карловец, Т.Н. Крупская, С.С. Аверкина // Агрохимия. – 2014. – № 12. – С. 3-9.
419. Середина В.П. Геохимические особенности поведения калия в почвах / В. П. Середина // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2007. – № 1(1). – С. 106-118.

420. Середина В.П. Резервы калия в почвах Западно-Сибирской равнины / В. П. Середина // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2013. – № 1(21). – С. 7-21.
421. Синещеков В.Е. Содержание подвижного фосфора в почве в зернопаровом севообороте при разных уровнях химизации в лесостепи Новосибирского Приобья / В.Е. Синещеков, Т.Н. Крупская // Агрохимия. – 2020. – № 10. – С. 3-8.
422. Синещеков В.Е. Содержание подвижных форм азота, фосфора в почве и продуктивность зерновых культур по разным приемам подготовки пара и фонам химизации / В.Е. Синещеков, Г.И. Ткаченко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. - № 5(175). – С. 12-18.
423. Синещеков В.Е. Химизация - ключевой фактор в формировании продуктивности колосовых культур в лесостепи / В.Е. Синещеков // АПК России. – 2018. – Т. 25. - № 3. – С. 455-460.
424. Синещеков В.Е. Экономическая эффективность производства зерна / В.Е. Синещеков, Н.В. Васильева, Е.А. Дудкина // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 13. - № 4(51). – С. 160-167.
425. Синявский В.А. Плодородие и экология чернозёмных почв Зауралья / В.А. Синявский // Вестник ЧГАУ. – 1996. – Т. 15. – С. 139-146.
426. Синявский И.В. Агрохимические и экологические аспекты плодородия чернозёмов Зауралья: Монография / И.В. Синявский. – Челябинск: Челяб. гос. агроинженер. ун-т, 2001. – 275 с.
427. Синявский И.В. Влияние перепревшего гусиного 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.
428. Синявский И.В. Зависимость продуктивности севооборота от применения фосфогипса и удобрений / И.В. Синявский, А.М. Плотников, А.В. Созинов, Н.Д. Гущенская // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 1. – С. 37-42.

429. Синявский И.В. Культурная растительность агрофитоценоза как фактор почвообразования / И.В. Синявский // Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. – 2007. – Т.49. – С. 90-94.
430. 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. Гущенская // Вестник Курганской ГСХА. – 2021. – № 3(39). – С. 13-20.
431. 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. Гущенская // Проблемы агрохимии и экологии. – 2021. – № 3-4. – С. 9-16.
432. Синявский И.В. Последействие минеральных и органоминеральных удобрений на микрофлору почвы и урожайность яровой пшеницы в условиях северной лесостепи Зауралья / И.В. Синявский, Ю.З. Чиняева, А.А. Калганов // Известия высших учебных заведений. Уральский регион. – 2017. – № 1. – С. 110-117.
433. Синявский И.В. Фосфатный и калийный фонд почв Челябинской области / И.В. Синявский // Вестник ЧГАУ. – 1997. – Т. 19. – С. 158-159.
434. Синягин И.И. Агротехнические условия высокой эффективности удобрений / И.И. Синягин. – М.: Россельхозиздат, 1980. – 220 с.
435. Синягин И.И. Применение удобрений в Сибири / И.И. Синягин, Н.Я. Кузнецов. – М.: Колос, 1979. – 373 с.
436. Система адаптивно-ландшафтного земледелия Курганской области / Под ред. А.Л. Иванова. – Куртамыш: ГУП «Куртамышская типография», 2012. – 494 с.
437. Система земледелия Курганской области / ВАСХНИЛ. Сиб. отделение Курганский НИИЗХ. – Новосибирск, 1988. – 216 с.
438. Слюсарев В.Н. Влияние длительного возделывания сельскохозяйственных культур различными технологиями на свойства чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / В.Н. Слюсарев, С.А. Тешева, А.В. Осипов, Т.В. Швец // Рисоводство. – 2022. – № 2(55). – С. 68-75.

439. Смагин А.В. Влияние сильнонабухающих полимерных гидрогелей на физическое состояние почв легкого гранулометрического состава / А.В. Смагин, Н.Б. Садовникова. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 208 с.
440. Смагин А.В. Динамика черноземов: реконструкция развития и прогноз агродеградации / А.В. Смагин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2012. – № 3. – С. 31-38.
441. Смагин А.В. Теория и практика конструирования почв / А.В. Самгин. – М.: Издательство Московского университета, 2012. – 544 с.
442. Смагин А.В. Физические показатели и механизм слитизации (на примере Предкавказского слитого чернозема) / А.В. Смагин // Почвоведение. – 2020. – № 7. – С. 828-839.
443. Созинов А.В. Реакция яровых зерновых на внесение озерного сапропеля на выщелоченном черноземе центральной части Курганской области / А.В. Созинов // Стратегия инновационного развития агропромышленного комплекса (25-26 апреля 2013 г.). – Курган: Изд-во Курганская ГСХА, 2013. – С. 378-382.
444. Соколов А.В. Агрохимические методы исследования почв / под ред. А.В. Соколова. – М.: Изд-во Наука, 1975. – 656 с.
445. Соколов А.В. Агрохимия фосфора / А.В. Соколов. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – 152 с.
446. Соколов А.В. Зафосфачивание почв и последействие фосфорных удобрений / А.В. Соколов // Агрохимия. – 1976. – № 2. – С. 3-6.
447. Соколова Т.А. Сорбционные свойства почв. Адсорбция. Катионный обмен: учебное пособие по некоторым главам химии почв / Т.А. Соколова, С.Я. Трофимов. – Тула: Гриф и К, 2009. – 172 с.
448. СП 1.2.1170-02 «Гигиенические требования к безопасности агрохимикатов», утвержденными Постановлением главного государственного санитарного врача РФ от 23 октября 2002 г. № 36,
449. Станков Н.З. Корневая система полевых культур / Н.З. Станков. – М.: Колос, 1964. – 280 с.

450. Стекольников К.Е. Влияние систем применения удобрения на режим фосфатов чернозёма выщелоченного / К.Е. Стекольников, С.С. Ярцева, А.В. Комова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4(47). – Ч. 2. – С. 34-41.
451. Стекольников К.Е. Органическое земледелие в России – благо или катастрофа // Биосфера. 2020. – Т. 12. – № 1-2. – С. 53-62.
452. Суринов А.В. Динамика агрохимических показателей плодородия черноземов лесостепной зоны ЦЧР / А.В. Суринов // Агрохимический вестник. – 2022. – № 2. – С. 8-14.
453. Суринов А.В. Динамика плодородия пахотных черноземов лесостепной зоны Центрально-Черноземных областей России / А. В. Суринов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16, № 1(61). – С. 57-61.
454. Сушеница Б.А. Фосфатный уровень почв и его регулирование / Б.А. Сушеница. – М.: Колос, 2007. – 376 с.
455. Сычёв В.Г. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений / В.Г. Сычёв, С.А. Шафран. – М.: ВНИИА, 2013. – 296 с.
456. Сычев В.Г. Взаимодействие циклов углерода и азота в основных типах почв при длительном применении различных систем удобрения / В. Г. Сычев, Л. К. Шевцова, М. В. Беличенко [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. – 2018. – № 4. – С. 68-77.
457. Сычёв В.Г. Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов Географической сети России / В. Г. Сычев, А. Н. Налиухин, Л. К. Шевцова [и др.] // Почвоведение. – 2020. – № 12. – С. 1521-1536.
458. Сычёв В.Г. Плодородие почв России и пути его регулирования / В.Г. Сычёв, С.А. Шафран, С.Б. Виноградова // Агрохимия. – 2020. – № 6. – С. 3-13.
459. Сычёв В.Г. Приёмы оптимизации фосфатного режима почв в агротехнологиях / В.Г. Сычёв, Н.А. Кирпичников Н.А. – М.: ВНИИА, 2009 – 176 с.

460. Сычёв В.Г. Применение минеральных удобрений и их эффективность в различных зонах России / В.Г. Сычёв, С.А. Шафран, И.В. Ильюшенко // Плодородие. – 2022. – № 3(126). – С. 3-6.
461. Сычёв В.Г. Современное состояние и динамика плодородия пахотных почв России / В.Г. Сычёв, М.И. Лунев, А.В. Павлихина // Плодородие. – 2012. – № 4. – С. 5-7.
462. Сычёв В.Г. Современные проблемы и перспективы химической мелиорации кислых почв / В.Г. Сычёв, Н.И. Аканова // Плодородие. – 2019. – № 1(106). – С. 3-7.
463. Танделов Ю.П. Фтор в системе почва–растение. – 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.П. Танделов; под ред. акад. РАСХН В.Г. Минеева. – Красноярск: Изд-во Красноярская городская типография, 2012. – 146 с.
464. Татаринцев В.Л. Гранулометрия почв юга Западной Сибири и их физическое состояние / В.Л. Татаринцев. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. – 261 с.
465. Тейт Р.З. Органическое вещество почвы: биологические и экологические аспекты / Пер. с англ. / Р.З. Тейт. – М.: Мир, 1991. – 400 с.
466. Терещенко Е.В. Возможность использования фосфогипса в качестве серосодержащего удобрения / Е.В. Терещенко, Л.С. Новопольцева // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: (с участием ученых Украины и Белоруссии). – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2010. – С. 206-208.
467. Терпелец В.И. Физико-химические свойства чернозёма выщелоченного в агроценозах с различным антропогенным воздействием / В.И. Терпелец, В.Н. Слюсарев // Труды Кубанского ГАУ. – 2008. – № 12. – С. 110-114.
468. Томсон Л.М. Почвы и их плодородие. Пер с англ. Э.И. Шконде / Л.М. Томсон, Ф.Р. Троу. – М.: Колос, 1982. – 462 с.
469. Топаж А.Г. Динамические модели продуктивности: тупик или распутье? /Математические модели природных и антропогенных экосистем: сборник статей, посвященный памяти Р.А. Полуэктова /Топаж А.Г. – СПб.: АФИ, 2014. – С. 48-69.

470. Троц Н.М. Агрохимия / Н.М. Троц, М.А. Габибов, Д.В. Виноградов. – Кинель: Самарский государственный аграрный университет, 2021. – 165 с.
471. Троц Н.М. Динамика подвижных форм нитратного и аммонийного азота в черноземных почвах Самарского аграрного карбонового полигона / Н.М. Троц, Г.И. Чернякова, А.А. Бокова, Е. Е. Суворов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 4. – С. 23-28.
472. Троц Н.М. Динамика содержания фосфора и калия в черноземных почвах Самарского аграрного карбонового полигона / Н.М. Троц, Г.И. Чернякова, А.А. Бокова, Е. Е. Суворов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 4. – С. 3-8.
473. Троц Н.М. Оценка эффективности фосфогипса на посевах ярового ячменя / Н.М. Троц, Н.В. Боровкова, А.А. Соловьев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. – №1. – С. 3–11.
474. Трубилин А.И. Нормативно-правовые основы управления плодородием почв / А.И. Трубилин, А.Х. Шеуджен, Л. М. Онищенко; МСХ Российской Федерации, ФГБОУ ВПО «Кубанский гос. аграрный ун-т». – 2-е изд., перераб. и доп. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2013. – 580 с.
475. Турусов В.И. Роль пожнивно-корневых остатков в восстановлении плодородия почвы / В. И. Турусов, О. А. Богатых, Н. В. Дронова, Е. А. Балюнова // Плодородие. – 2020. – № 4(115). – С. 10-12.
476. Тюрин И.В. Биология гумуса и вопросы плодородия почвы / И.В. Тюрин, М.М. Кононова // Почвоведение. – 1963. – № 3. – С. 1-13.
477. Тюрин И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии / И.В. Тюрин. – М.: Наука, 1965. – 320 с.
478. Ульянова О.А. Эколого-агрохимические основы повышения плодородия почв Красноярской лесостепи: монография / О.А. Ульянова, Н.Л. Кураченко. – Красноярск: КрасГАУ, 2019. – 149 с.
479. Усенко В.И. Органические удобрения на чернозёмных почвах Западной Сибири / В.И. Усенко, В.К. Каличкин. – Новосибирск: Изд-во СО РАСХН. 2003. – 156 с.

480. Усенко В.И. Содержание гумуса в выщелоченном черноземе в зависимости от севооборота, системы обработки почвы и удобрений в лесостепи юга Западной Сибири / В. И. Усенко, С. В. Усенко, Т. А. Литвинцева // Земледелие. – 2020. – № 6. – С. 18-20.

481. Ушкова Д.А. Устойчивость агрегатов пахотных почв: экспериментальное определение и нормативная характеристика / Д.А. Ушкова, У.А. Конкина, И.В. Горепекин, Д.И. Потапов, Е.В. Шеин, Г.Н. Федотов // Почвоведение. – 2023. – №2. – С. 203-210.

482. Федеральный закон от 14.07.2022 № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации».

483. Фокин А.Д. О роли органического вещества почв в функционировании природных и сельскохозяйственных экосистем / А.Д. Фокин // Почвоведение. – 1994. – № 4. – С. 40-45.

484. Фокин А.Д. Почва, биосфера и жизнь на Земле / А.Д. Фокин. – М.: Наука, 1986. – 176 с.

485. Фрид А.С. Современное состояние моделирование в агрохимии / А.С. Фрид // Агрохимия. – 2004. – № 1. – С. 40-45.

486. Хабиров И.К. Гидротермические условия - важный фактор биологизации земледелия / И. К. Хабиров, И. Г. Асылбаев, И. М. Габбасова [и др.] // Вестник ИрГСХА. – 2014. – № 65. – С. 29-39.

487. Хазиев Ф.Х. Воспроизводство плодородия черноземов Предуралья / Ф.Х. Хазиев // Плодородие черноземов России / Под ред. Н.З. Милащенко. – М.: Агроконсалт, 1998. – С. 553-595.

488. Хачидзе А.С. Влияние сортовых особенностей и технологии выращивания зерновых культур на вынос питательных веществ и окупаемость удобрений / А.С. Хачидзе, М.Г. Мамедов // Агрохимия. – 2009. – № 5. – С. 42-48.

489. Хворова Л.А. Прогнозирование урожайности зерновых культур: методы и расчеты / Л.А. Хворова, Н.В. Гавриловская // Известия АлтГУ. – 2008. – № 1 (57). – С. 65-68.

490. Холодов В.А. Агрегаты и органическое вещество почв восстанавливающихся ценозов / В.А. Холодов, Н. В. Ярославцева. – Москва: ООО "Издательство ГЕОС", 2021. – 120 с.

491. Холодов В.А. Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования / В.А. Холодов, Н.В. Ярославцева, Ю.Р. Фарходов, В.П. Белобров, С.А. Юдин, А.Я. Айдиев, В.И. Лазарев, А.С. Фрид // Почвоведение. – 2019. – № 2. – С. 184-193.

492. Холодов В.А. Органическое вещество и минеральная матрица почв: современные подходы, определения терминов и методы изучения (обзор) / В. А. Холодов, О. Б. Рогова, М. П. Лебедева [и др.] // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2023. – № 117. – С. 52-100.

493. Холодов В.А. Содержание органического углерода и азота в размерных фракциях агрегатов типичных черноземов / В.А. Холодов, Н.В. Ярославцева, М.А. Яшин [и др.] // Почвоведение. – 2021. – № 3. – С. 320-326.

494. Храмцов И.Ф. Агроэкологическая оценка длительного применения удобрений на черноземных почвах Западной Сибири / И. Ф. Храмцов, М. С. Чекусов, Н. А. Воронкова [и др.] // Плодородие. – 2021. – № 3(120). – С. 104-107.

495. Храмцов И.Ф. Эффективность минеральных и органических удобрений на черноземных почвах Западной Сибири / И.Ф. Храмцов, Н.А. Воронкова // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2005. – № 3. – С. 3-9.

496. Цховребов В.С. Влияние фосфогипса и удобрений на содержание элементов питания в черноземе южном и урожайность озимой пшеницы / В.С. Цховребов, А.Б. Умаров, В.И. Фаизова [и др.] // Земледелие. – 2019. – № 7. – С. 15-17.

497. Цховребов В.С. Применение горных пород в качестве удобрения подсолнечника / В.С. Цховребов, Д.В. Калугин, В.И. Фаизова, А.А. Новиков // Агрохимический вестник. – 2011. – №4. – С. 14-15.

498. Чекаев Н.П. Агрофизические свойства чернозема выщелоченного и урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от применения птичьего помета и известкования / Н. П. Чекаев, А. В. Леснов // Нива Поволжья. – 2020. – № 1(54). – С. 41-47.

499. Чекаев Н.П. Действие и последействие птичьего помета на агрохимические свойства чернозема выщелоченного и продуктивность сельскохозяйственных культур / Н. П. Чекаев, А. А. Галиуллин // Аграрная наука. – 2022. – № 1. – С. 102-105.

500. Чернова О.В. Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей (на примере Ростовской области) / О. В. Чернова, И.О. Алябина, О.С. Безуглова, Ю. А. Литвинов // Юг России: экология, развитие. – 2020. – Т. 15, № 4(57). – С. 99-113.

501. Чикишев Д.В. Динамика NPK при дифференцированном внесении минеральных удобрений в режиме OFF-LINE /Д.В. Чикишев, Н.В. Абрамов, Н.С. Ларина, С.В. Шерстобитов // Аграрный научный журнал. – 2021. – №10. – С. 61-66.

502. Чириков Ф.В. Агрохимия калия и фосфора / Ф.В. Чириков. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 464 с.

503. Чумаченко И.Н. Фосфор в жизни растений и плодородие почв / И.Н. Чумаченко. – М.: ЦИНАО, 2002. – 124 с.

504. Чумаченко И.Н. Фосфор и воспроизводство плодородия почв / И.Н. Чумаченко, Б.А. Сушеница // Агрохимический вестник. – 2001. – № 1. – С. 28-31.

505. Шарая Л.С. Связь урожайности яровой пшеницы с климатом, почвами и рельефом на Урале / Л.С. Шарая, О.В. Рухович, П.А. Шарый, О.И. Иванова, Л.В. Никитина // Плодородие. – 2023. – № 5(134). – С. 68-71.

506. Шарков И.Н. Проблема азота при использовании чернозема выщелоченного по интенсивной технологии в лесостепи Западной Сибири / И.Н. Шарков, С.А. Колбин, Л.М. Самохвалова // Агрохимия. – 2021. – № 2. – С. 3-10.

507. Шарков И.Н. Проблемы интенсификации технологий возделывания зерновых культур в Сибири / И.Н. Шарков // Инновации и продовольственная безопасность. – 2016. – № 1(11). – С. 24-32.

508. Шарков И.Н. Прогнозированная оценка целесообразности применения средств интенсификации в агротехнологиях / И.Н. Шарков, О.Д. Сорокин, С.А. Колбин // Земледелие. – 2019. – № 3. – С. 14-17.

509. Шарков И.Н. Эффективность удобрения яровой пшеницы азотом на черноземе выщелоченном в лесостепи Западной Сибири / И.Н. Шарков // Агрохимия. – 2017. – № 8. – С. 25-31.
510. Шарков И.Н., Колбин С.А. Влияние погодных условий вегетационного периода на урожайность яровой пшеницы и эффективность азотного удобрения в лесостепи Приобья / И.Н. Шарков, С.А. Колбин // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – №1(54). – С. 33-41.
511. Шарый П.А. Методы моделирования урожайности сельскохозяйственных культур: обзор / П.А. Шарый, Л.С. Шарая, О.В. Рухович, С.И. Шкуркин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2023. – № 2. – С. 62-70.
512. Шарый П.А. Модели действия удобрений: критический обзор /П.А. Шарый, Л.С. Шарая, О.В. Рухович // Проблемы агрохимии и экологии. – 2024. – № 3. – С. 37-45.
513. Шафран С.А. Влияние типа почв и содержания в них подвижных фосфатов на эффективность фосфорных удобрений / С.А. Шафран // Агрохимия. – 2015. – № 3. – С. 26-33.
514. Шевцова Л.К. Влияние длительного применения удобрений на состав, свойства и структурные характеристики гумусовых кислот основных типов почв. Сообщение 1 / Л. К. Шевцова, В. А. Черников, В. Г. Сычев [и др.] // Агрохимия. – 2019. – № 10. – С. 3-15.
515. Шеин Е.В. Агрофизика / Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – 400 с.
516. Шеин Е.В. Теории и методы физики почв / Под ред. Е.В. Шеина и Л.О. Карпачевского. М.: Гриф и К, 2007. – 616 с.
517. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия чернозема. 2-е изд. доп. и перераб / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ООО "Полиграф-ЮГ", 2018. – 308 с.
518. Шеуджен А.Х. Агрохимические основы применения удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2013.–572 с.
519. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозёма / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ОАО «Полиграф-ЮГ», 2015. – 232 с.

520. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 4. Фундаментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2016. – 529 с.
521. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения минеральных удобрений на физико-химические свойства чернозема выщелоченного / А.Х. Шеуджен, М.А. Осипов, И.А. Лебедовский, С.В. Есипенко // Агрохимический вестник. – 2013. – № 6. – С. 2-3.
522. Шеуджен А.Х. Диагностика минерального питания растений / А.Х. Шеуджен, А.В. Загорулько, Л. И. Громова [и др.]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – 298 с.
523. Шеуджен А.Х. Кальций и методы его определения / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, К.П. Азарян, З.Н. Ткаченко. – Майкоп: Адыгея, 2003. – 92 с.
524. Шеуджен А.Х. Органическое вещество почвы и его экологические функции / А.Х. Шеуджен, Н.Н. Нещадим, Л.М. Онищенко. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 202 с.
525. Шеуджен А.Х. Физические, водно-физические и физико-химические показатели чернозема выщелоченного / А. Х. Шеуджен, О.А. Гуторова, Х. Д. Хурум, И.А. Лебедовский, И.А. Осипов, С.В. Есипенко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 4 (58), ч. 1. – С. 166–171.
526. Шеуджен А.Х. Фосфогипс нейтрализованный – высокоэффективное поликомпонентное удобрение на посевах зерновых культур / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, Т.Н. Бондарева, С.В. Есипенко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 52. – С. 144-148.
527. 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.
528. Шилов А.Н. Зависимость урожайности яровой пшеницы от содержания в почве доступных форм фосфора / А.Н. Шилов, А.М. Плотников // Вестник Курганской ГСХА. – 2012. – № 3(3). – С. 40-42.

529. 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.
530. Шильников И.А. Потери элементов питания растений в агробиогеохимическом круговороте веществ и способы их минимизации / И.А. Шильников, В.Г. Сычёв, А.Х. Шеуджен, Н.И. Аканова, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинёк. – М.: ВНИИА, 2012. – 351 с.
531. Шильников И.А. Состояние и эффективность химической мелиорации в земледелии Российской Федерации / И.А. Шильников, В.Г. Сычёв, Н.И. Аканова // Плодородие. – 2013. – № 1(70). – С. 9-13.
532. Шишов Л.Л. Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации / Л.Л. Шишов, Н.В. Комов, А.З. Родин и др. – М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Рос. науч.-исслед. и проект.-изыскат. ин-т земел. ресурсов, 2001. – 258 с.
533. Шишов Л.Л. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв / Л.Л. Шишов, Д.Н. Дурманов, И.И. Карманов, В.В. Ефремов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 304 с.
534. Шпедт А.А. Трансформация органического вещества чернозёмов под влиянием многолетней залежи / А.А. Шпедт, Л.Р. Мукина // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 3. – С. 16-19.
535. Штин С.М. Озерные сапропели и их комплексное освоение / Под ред. И.М. Ялтанца. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2005. – 373 с.
536. Шулико Н.Н. Биологические и агрохимические свойства чернозема выщелоченного при применении удобрений / Н.Н. Шулико, О.Ф. Хамова. – Омск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Омский аграрный научный центр", 2023. – 152 с.
537. Шулико Н.Н. Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность

ячменя / Н.Н. Шулико, О.Ф. Хамова, Н.А. Воронкова [и др.] // Агрохимия. – 2019. – № 2. – С. 13-20.

538. Щербаков А.П. Антропогенная эволюция черноземов / Под ред. А.П. Щербакова и И.И. Васнева. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т., 2000. – 412 с.
539. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв / Отв. ред. В.Н. Кудеяров, И.В. Иванов. – М.: ГЕОС, 2015. – 925 с.
540. Юмашев Х.С. Резервы повышения органического вещества чернозёмных почв / Х.С. Юмашев, И.А. Захарова. – Челябинск: Челябинский государственный университет, 2024. – 144 с.
541. Ягодин Б.А. Агрохимия / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – М.: Мир, 2003. – 584 с.
542. Ягодин Б.А. Практикум по агрохимии / Б.А. Ягодин, И.П. Дерюгин, Ю.П. Жуков и др./ под ред. проф. Б.А. Ягодина. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.
543. Якименко В.Н. Баланс калия, урожайность культур и калийное состояние почвы в длительном полевом опыте в лесостепи Западной Сибири / В.Н. Якименко // Агрохимия. – 2019. – № 10. – С. 16-24.
544. Якименко В.Н. Изменение содержания фтора в почвах лесостепи Западной Сибири при сельскохозяйственном использовании / В.Н. Якименко, Г.А. Конарбаева, В.С. Бойко, А.Ю. Тимохин // Агрохимия. – 2020. – №4. – С. 38-46.
545. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири / В.Н. Якименко. – Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2003. – 231 с.
546. Яковлев А.С. Охрана почв и земель: коллективная монография / под общей редакцией А.С. Яковлева, О.А. Макарова, Н.Г. Рыбальского. – М.: НИА-Природа, 2015. – 550 с.
547. Яковлев А.С. Эколого-экономическая оценка деградации земель / Под редакцией А.С. Яковлева, О.А. Макарова, С.В. Киселева, Э.Н. Молчанова: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 252 с.
548. Яковлев В.А. Влияние химических мелиорантов и удобрений на продуктивность зернопарового севооборота и агрохимические свойства чернозёма вы-

щелоченного / В.А. Яковлев, А.М. Плотников // Аграрный вестник Урала. – 2005. – №2(26). – С. 43-45.

549. Якушев В.П. Роль математического моделирования в управлении современными системами земледелия и опытного дела / В.П. Якушев // Математические модели природных и антропогенных экосистем: сборник статей, посвященный памяти Ратмира Александровича Полуэктова. – СПб.: АФИ, 2014. – С. 5-14.
550. Якушкина Н.И. Физиология растений / Н.И. Якушкина. – М.: Просвещение, 1980. – 303 с.
551. Adcock K.G. Calcium deficiency of wheat grown in acidic sandy soil from Southwestern Australia / K.G. Adcock, J.W. Gartrell, R.F. Brennan // J. Plant Nutr. – 2001. – V.24, № 8. – P. 1217-1227.
552. Askegaard M., Eriksen J. Potassium retention and leaching in an organic crop rotation on loamy sand as affected by contrasting potassium budgets // Soil Use & Management. – 2000. – Vol. 16, N 3. – P. 200-205.
553. Azzam R. Tailoring Polymeric Gels for Soil Reclamation and Hydroponics // Commun. in Soil Sci. Plamt Anal. – 1985. – Vol.16, № 10. – P. 1123-1138.
554. Cadisch G., Giller K. Soil organic matter management: the roles of residue quality in C sequestration and N supply // Sustainable Management of Soil Organic Matter. – N.-Y.: Cabi Publishing, 2001. – P. 97-111.
555. Castillo A.E. Using organic manures as liming materials / A.E. Castillo, S.G. Benito, J.A. Fernandez // Agrochimica. – 2003. – 47, № 1-2. – P. 14-20.
556. Coleman N.T. Liming. In A.G. Norman, ed., Advances in Agronomy / N.T. Coleman, E. J. Kamprath, S.B. Weed, Liming., Academic Press, Inc., New York. – 1958. – 10. – P. 475-522.
557. Gasser J.K.R. An assessment of the importance of some factors causing lime loss from agricultural soils / J.K. Gasser // Experimental Husbandry. – 1973. – № 25. – P. 86-95.
558. Haynes D. Soil acidification – the art to agricultural productivity FSSA J. – 2001. – P. 42-43, 45.

559. Hu Z. Modeling of phosphorus nutrition to obtain maximum yield, high P use efficiency and low P-loss risk for wheat grown in sandy calcareous soils / Hu Z., Ding Z., Al-Yasi, H.M. Ibrahim K.A.M., Hamada, A. // Agronomy. – 2021. – №11(10). – P. 1950.

560. Hyun S. Development of a mobile computing framework to aid decision-making on organic fertilizer management using a crop growth model / Hyun, S., Yang, S.M., Kim, J., Beresford, R.M., Fleisher, D.H. // Computers and Electronics in Agriculture. – 2021. – 181. – 105936.

561. Kleber M., Johnson M.G. Advances in understanding the molecular structure of soil organic matter: Implications for interactions in the environment // Adv. Agron. – 2010. – V. 106. – P. 77-142.

562. Kögel-Knabner I., Ekschmitt K., Flessa H., Guggenberger G., Matzner E., Marschner B., von Lützow M. An integrative approach of organic matter stabilization in temperate soils: Linking chemistry, physics, and biology // J. Plant. Nutr. Soil Sci. – 2008. – V. 171. – № 1. – P. 5-13.

563. Kullman A., Benkenstein H. Organische Gele zur nachhaltigen Verbessering physikaliscer und physikalischchemischer Eigenschaften von Boden und Substraten // Arch. Gartenbau. – 1987. – vol.35, №6/H. – P. 269-272.

564. Mirschel W., Poluektov R.A., Topaj A., Badenko V.L., Terleev V., Wenkel K.-O. Crop growth modeling across different scales – advantages and disadvantages // Математические модели природных и антропогенных экосистем: сборник статей, посвященный памяти Ратмира Александровича Полуэктова. – СПб.: АФИ, 2014. – С. 70-93.

565. N'Dayegamiye A., Tran Thi Sen Effects of green manures on soil organic matter and wheat yields and N nutrition / A. N'Dayegamiye // Can. J. Soil Sci. – 2001. – 81, № 3. – P. 371-382.

566. Naylor D.V., Roy Overstreet. Sodium – calcium Exchange Behavior in Organic Soils // Soil Sci. Soc / D.V. Naylor. Am. Proc. – 1969. – 33. – P. 848-851.

567. Ottman M., Pope N. Nitrogen fertilizer movement in the soil as influenced by nitrogen rate and timing in irrigated wheat // Soil Sci. Soc. Am. J. – 2000. – Vol. 64, N 5. – P. 1883-1892.

568. Pisman T.I., Botvich I.Y., Sidko A.F. Assessment of agroecosystem productivity based on satellite data and a mathematical model Journal of Siberian Federal University // Engineering and Technologies. – 2015. – Т. 8. – № 1. – P. 133-140.

569. Plotnikov A.M., Sozinov A.V. A granulometric composition of the Zauralye black soils // International Conference on Sustainable Development of Cross-Border Regions 19–20 April 2019, Barnaul, Russian Federation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 395, Number 1, 2019. – 012028. doi:10.1088/1755-1315/395/1/012028

570. Plotnikov A.M., Sozinov A.V. Economic efficiency of mineral fertilizers use in grain and steam crop rotation // Conference on Innovations in Agricultural and Rural development 18–19 April 2019, Kurgan, Russian Federation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 341, conference 1, 2019. – 012210. doi:10.1088/1755-1315/341/1/012210

571. Plotnikov A.M., Sukhanova S.F., Sazhina S.V., Sozinov A.V., Postovalov A.A. Economic efficiency of fertilizer system in field crop rotation of the Trans-Urals // 6th International Conference on Agriproducts processing and Farming 17-18 October 2019, Voronezh, Russian Federation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 422 (2020). – 012030. doi:10.1088/1755-1315/422/1/012030.

572. Ravier, C. Decision rules for managing N fertilization based on model simulations and viability assessment / Ravier, C., Sabatier, R., Beillouin, D., Trépos, R., Jeuffroy, M.-H. // European Journal of Agronomy. – 2021. – 125. – 126247.

573. Reuss J.O. Acid Deposition and the Acidification of Soils and Water / J.O. Reuss, D.W. Johnson. Ecologcial Studies. – Volume 59. – New-York: Springer – Verlag, 1986.

574. Saeed M.F. Optimizing Phosphorus Levels in Wheat Grown in a Calcareous Soil with the Use of Adsorption Isotherm Models / Saeed, M.F., Jamal,

A., Muhammad, D., Ihsan, F., Wang, J. // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. – 2021. – 21(1). – P. 81-94.

575. Seidel S.J. Crop response to P fertilizer omission under a changing climate – Experimental and modeling results over 115 years of a long-term fertilizer experiment / Seidel, S.J., Gaiser, T., Ahrends, H.E., Schaaf, G., Ewert, F. // Field Crops Research. – 2021. – 268. – 108174.
576. Shiwei Zhou Ca Saturation Determines Crop Growth in Acidic Ultisols Derived from Different Parent Materials / Shiwei Zhou, Liang, W., Zeng, T., Meng, L., Bi, X. // Eurasian Soil Science. – 2021. – 54(8). – P. 1215-1227.
577. Suray J.N. Effect of wheat, straw incorporation on yield of green gram and wheat soil fertility and microbiota / J.N. Suray, R.B. Puranik, S.D. Zadode, S.D. Deshmukh // Maharashtra Arg. Univ. – 2000. – 25, № 2. – P. 158-160.
578. Von Lützow M., Kögel-Knabner I., Ekschmitt K., Matzner E., Guggenberger G., Marschner B., Flessa H. Stabilization of organic matter in temperate soils: Mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review // Europ. J. Soi Sci. – 2006. – V. 57. – P. 426-445.
579. Von Lützow M., Kögel-Knabner I., Ludwig B., Matzner E., Flessa H., Ekschmitt K., Guggenberger G., Marschner B., Kalbitz K. Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: development and application of a conceptual model // J. Plant Nutr. Soil Sci. – 2008. – V. 171. – P. 111-124.
580. Wershaw R.L. Evaluation of conceptual models of natural organic matter (humus) from a consideration of the chemical and biochemical processes of humification // Sci. Investigat. Rep. 2004-5121. – Virginia: U.S. Geological Survey, Reston, 2004. – 44 p.
581. Whetton R.L Modelling the influence of soil properties on crop yields using a non-linear nfir model and laboratory data / Whetton, R.L., Zhao, Y., Nawar, S., Mouazen, A.M. // Soil Systems. – 2021. – 5(1), 12. – P. 1-15.

Приложение 1

Емкость катионного обмена и состав поглощенных оснований выщелоченных чернозёмов (2007-2009 гг.)

Генетический горизонт	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^{+}	ЕКО		Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^{+}	ЕКО	
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)										
	Р.1 Целина					Р.4 Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	24,1	4,9	3,39	32,4	89,5	19,1	5,2	4,42	28,7	84,7
АВ	20,7	4,8	2,40	27,6	91,0	17,0	4,7	2,63	24,3	89,3
В	18,2	3,7	1,68	23,6	92,8	15,1	4,1	1,22	20,4	94,1
ВС	12,1	2,9	1,02	16,0	93,8	11,3	3,1	0,94	15,3	94,1
	Р.2 Залежь 11 лет					Р.3 Залежь 4 года				
А, $А_{ПАХ}$	22,0	5,0	4,11	31,1	86,8	19,3	5,3	4,42	29,0	84,8
АВ	18,2	4,8	3,17	26,2	87,8	17,0	4,6	2,91	24,5	88,2
В	15,9	3,9	1,56	21,4	92,5	15,2	4,0	1,34	20,5	93,7
ВС	11,0	2,7	0,96	14,7	93,2	11,4	3,3	1,00	15,7	93,6
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)										
	Р.9 Целина					Р.12 Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	22,5	6,7	2,94	32,1	91,0	16,3	2,6	4,88	23,8	79,4
АВ	19,3	6,0	1,60	26,9	94,0	16,7	2,8	3,13	21,8	85,8
В	19,6	5,8	0,59	26,0	97,7	14,2	4,1	1,54	19,8	92,4
ВС	17,1	7,8	0,30	25,2	98,8	12,2	3,7	0,36	16,3	97,5
	Р.10 Залежь 10 лет					Р.11 Залежь 4 года				
А, $А_{ПАХ}$	20,5	6,0	3,00	29,5	89,8	16,6	3,0	4,68	24,3	80,7
АВ	17,1	6,1	1,32	24,5	94,7	16,5	3,1	1,82	21,4	91,6
В	17,0	6,4	0,85	24,3	96,3	13,6	5,4	1,17	20,2	94,0
ВС	16,3	7,6	0,41	24,3	98,4	13,1	6,3	0,40	19,8	98,0
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)										
	Р.17 Целина					Р.19 Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	18,4	3,0	2,91	24,3	88,0	14,2	3,1	5,07	22,4	77,2
АВ	16,2	3,1	2,37	21,7	88,9	13,1	2,1	4,28	19,6	78,1
В	12,3	2,2	1,35	15,9	91,2	10,2	4,2	2,14	16,5	87,3
ВС	10,0	2,1	1,01	13,1	92,4	12,2	2,1	0,68	15,0	95,3
	Р.18 Залежь 8 лет					-				
А, $А_{ПАХ}$	17,3	3,3	3,78	24,4	84,4	–	–	–	–	–
АВ	16,1	3,2	2,69	22,1	87,8	–	–	–	–	–
В	11,2	2,6	1,93	15,7	87,9	–	–	–	–	–
ВС	10,7	4,1	0,82	15,6	94,9	–	–	–	–	–
Чернозем выщелоченный среднесуглинистый (южная зона)										
	Р.20 Целина					Р.21 Многолетние травы				
А, $А_{ПАХ}$	16,0	5,6	3,5	25,1	86,1	14,4	6,8	3,8	25,0	84,4
АВ	14,4	6,2	2,8	23,4	88,0	10,3	7,2	3,0	20,5	85,4
	Р.22 Пашня					-				
А, $А_{ПАХ}$	12,4	6,1	4,2	22,7	81,4	–	–	–	–	–
АВ	10,6	6,9	2,4	19,9	87,9	–	–	–	–	–

Приложение 2

Емкость поглощения и состав поглощенных оснований выщелоченного тяжелосуглинистого чернозёма (северо-западная зона, 2008, 2022 г.)

Генетический горизонт	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^{+}	ЕКО		Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^{+}	ЕКО	
2008 год										
	Р.13 Целина					Р.14 Залежь 10 лет				
А, $А_{ПАХ}$	19,4	7,2	4,87	31,3	84,3	17,7	6,0	6,34	30,0	79,0
АВ	16,3	6,1	3,48	25,9	86,5	15,0	3,4	4,52	22,9	80,3
В	15,2	7,1	2,86	25,2	88,5	13,2	5,2	2,37	20,8	88,5
ВС	12,2	6,2	0,92	19,3	95,3	12,8	5,9	1,25	20,0	93,5
	Р.15 Пашня (отвал. обработка)					Р.16 Пашня (безотвал. обработка)				
А, $А_{ПАХ}$	16,1	2,3	7,54	26,0	71,1	17,3	2,9	7,11	27,3	74,0
АВ	14,4	1,9	5,40	21,7	75,1	16,5	4,9	6,20	27,6	77,5
В	11,1	2,0	2,70	15,8	82,9	14,2	1,1	3,60	18,9	81,0
ВС	9,2	3,1	2,48	14,8	83,1	13,3	3,1	1,80	18,2	90,0
2022 год										
	Р.13 Целина					-				
А, $А_{ПАХ}$	19,5	7,2	4,72	31,4	85,0	-	-	-	-	-
АВ	16,9	6,3	3,70	26,9	86,2	-	-	-	-	-
	Р.15 Пашня (отвал. обработка)					Р.16 Пашня (безотвал. обработка)				
А, $А_{ПАХ}$	15,9	2,4	7,81	26,1	70,1	17,2	2,9	7,27	27,4	73,4
АВ	14,5	2,3	5,65	22,5	74,7	16,1	4,5	6,38	27,0	76,3

Приложение 3

Состав обменных оснований чернозёма обыкновенного (восточная зона, 2007 г.)

Генетический горизонт	Мг-экв. / 100 г почвы				ЕКО	Мг-экв. / 100 г почвы				ЕКО
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	H^{+}		Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	H^{+}	
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый										
	Целина					Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	19,9	6,6	1,6	1,32	29,4	18,4	7,1	2,2	0,72	28,4
АВ	19,4	6,4	2,4	0,54	28,7	16,3	7,0	3,7	0,52	27,5
В	16,3	9,2	4,5	0,45	30,5	12,1	8,4	6,3	0,34	27,1
ВС	13,3	9,1	7,6	0,32	30,3	11,4	8,9	7,7	0,36	28,4
Чернозём обыкновенный солонцеватый карбонатный тяжелосуглинистый										
	Залежь 5 лет					Пашня				
А, $А_{ПАХ}$	23,4	7,2	1,9	0,60	33,1	24,6	6,0	2,1	0,66	33,4
АВ	20,4	5,1	2,9	0,63	29,0	18,4	8,2	3,0	0,74	30,3
В	17,5	5,2	5,2	0,45	28,4	12,2	7,2	5,4	0,45	25,3
ВС	11,2	9,2	6,4	0,41	27,2	11,2	8,0	6,8	0,27	26,3

Приложение 4

Формы кислотности выщелоченного чернозёма

Объект	pH вытяжки		Hг, мг-экв. / 100г почвы	pH вытяжки		Hг, мг-экв. / 100г почвы	pH вытяжки		Hг, мг-экв. / 100г почвы	pH вытяжки		Hг, мг-экв. / 100г почвы
	солевой	водной		солевой	водной		солевой	водной		солевой	водной	
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)												
	Р.1 Целина			Р.2 Залежь 11 лет			Р.3 Залежь 4 года			Р.4 Пашня		
А, $А_{ПАХ}$	5,48	6,65	3,39	5,45	6,62	4,11	5,22	6,54	4,42	5,05	6,42	4,42
АВ	5,59	6,97	2,40	5,48	6,42	3,17	5,12	6,64	2,91	5,45	7,12	2,63
В	5,73	7,28	1,68	5,66	7,22	1,56	5,37	7,17	1,34	5,48	7,21	1,22
ВС	6,05	7,56	1,02	6,22	7,87	0,96	6,07	7,62	1,00	5,56	7,35	0,94
С	7,41	8,55	0,54	7,50	8,61	0,42	7,02	8,70	0,30	7,51	8,56	0,30
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)												
	Р.9 Целина			Р.10 Залежь 10 лет			Р.11 Залежь 4 года			Р.12 Пашня		
А, $А_{ПАХ}$	5,54	6,60	2,94	5,50	6,54	3,00	5,19	6,32	4,68	5,20	6,24	4,88
АВ	5,78	6,90	1,60	5,94	6,81	1,32	5,80	7,00	1,82	5,49	7,34	3,13
В	6,92	8,48	0,59	6,96	8,30	0,85	5,94	7,50	1,17	5,42	7,82	1,54
ВС	7,42	8,93	0,30	7,42	8,62	0,41	7,10	8,46	0,40	7,04	8,42	0,36
С	7,56	6,73	0,24	7,60	8,86	0,30	7,46	8,76	0,22	7,39	8,50	0,26
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)												
	Р.17 Целина			Р.18 Залежь 8 лет			Р.19 Пашня					
А, $А_{ПАХ}$	5,88	6,88	2,91	5,52	6,80	3,78	5,42	6,75	5,07			
АВ	5,98	7,04	2,37	5,56	7,04	2,69	5,45	7,00	4,28			
В	5,96	7,22	1,35	5,80	7,26	1,93	5,63	7,32	2,14			
ВС	5,87	7,45	1,01	6,00	7,82	0,82	6,20	8,50	0,68			
С	7,32	8,37	0,52	7,40	8,54	0,31	7,39	8,71	0,46			

Приложение 5

Формы кислотности чернозёма выщелоченного тяжелосуглинистого (северо-западная зона, 2008, 2022 гг.)

Объект	pH вытяжки		pH вытяжки		pH вытяжки		pH вытяжки	
	сол	водн	сол	водн	сол	водн	сол	водн
	Р.13 Целина		Р.14 Залежь 10 лет		Р.15 Пашня (отвал. обработка)		Р.16 Пашня (безотвал. обработка)	
А, $А_{ПАХ}$	5,75	6,84	5,42	6,70	5,00	6,15	5,38	6,66
АВ	5,66	6,70	5,58	6,72	5,30	6,46	5,28	6,60
В	6,14	6,88	5,90	6,84	5,58	7,04	5,52	7,06
ВС	6,30	7,90	6,46	8,00	6,50	7,98	6,36	8,20
С	7,22	8,76	7,40	8,74	7,30	8,48	7,20	8,60
	Р.13 Целина		-		Р.15 Пашня (отвал. обработка)		Р.16 Пашня (безотвал. обработка)	
А, $А_{ПАХ}$	5,79	6,90	-	-	4,92	6,02	5,40	6,75
АВ	5,71	6,68	-	-	5,20	6,35	5,25	6,62

Приложение 6

Формы кислотности чернозёма выщелоченного тяжелосуглинистого (южная зона, 2009, 2022 г.)

Объект	pH вытяжки		Нг, мг-экв. / 100 г почвы	pH вытяжки		Нг, мг-экв. / 100г почвы	pH вытяжки		Нг, мг-экв. / 100 г почвы
	сол	водн		сол	водн		сол	водн	
2009 г.	Р.20 Целина			Р.21 Мн. травы			Р.22 Пашня		
А, $А_{ПАХ}$	5,98	7,20	3,5	5,76	7,06	3,8	5,73	6,88	4,2
АВ	5,96	7,26	2,8	5,70	7,02	3,0	5,94	7,19	2,4
В	6,02	7,48	1,4	5,80	7,28	1,7	6,30	7,58	1,2
ВС	7,26	8,42	0,5	7,26	8,58	0,5	7,26	8,45	0,5
2022 г.	Р.20 Целина			Р.21 Мн. травы			Р.22 Пашня		
А, $А_{ПАХ}$	6,05	7,05	3,4	5,85	7,12	3,6	5,55	6,73	4,4
АВ	5,92	7,11	2,9	5,72	7,08	3,2	5,73	6,95	2,6

Приложение 7

Валовое содержание азота, фосфора и калия в обыкновенных и выщелоченных чернозёмах, % к абс. сухой почве (2007-2009 гг.)

Объект	Генетический горизонт	N	P_2O_5	K_2O
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)				
Р.1 Целина	А	0,350	0,10	0,55
	АВ	0,256	0,06	0,54
Р.2 Залежь 11 лет	А	0,360	0,09	0,52
	АВ	0,304	0,09	0,52
Р.3 Залежь 4 года	А	0,294	0,10	0,54
	АВ	0,303	0,06	0,52
Р.4 Пашня	$А_{ПАХ}$	0,233	0,05	0,52
	АВ	0,241	0,05	0,54
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)				
Р.9 Целина	А	0,489	0,11	0,90
	АВ	0,373	0,09	0,98
Р.10 Залежь 10 лет	А	0,467	0,08	0,86
	АВ	0,370	0,06	0,86
Р.11 Залежь 4 года	А	0,443	0,10	0,86
	АВ	0,326	0,08	0,64
Р.12 Пашня	$А_{ПАХ}$	0,413	0,09	0,90
	АВ	0,346	0,09	0,76
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона)				
Р.5 Целина	А	0,513	0,10	1,05
	АВ	0,466	0,10	0,98
Р.6 Пашня	А	0,373	0,11	1,07
	АВ	0,256	0,09	1,02
Чернозём обыкновенный солонцеватый карбонатный тяжелосуглинистый (восточная зона)				
Р.7 Залежь 5 лет	$А_{ПАХ}$	0,513	0,13	1,18
	АВ	0,240	0,12	1,12
Р.8 Пашня	$А_{ПАХ}$	0,478	0,13	1,18
	АВ	0,264	0,12	1,13

Приложение 8

Водорастворимые формы элементов питания (2007-2008 гг.)

Объект	Генетический горизонт	Мг.-экв./ 100 г почвы				
		P_2O_5	K_2O	Na	Ca	Mg
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)						
Р.1 Целина	А	0,011	0,044	0,120	0,3	0,2
	АВ	0,007	0,020	0,120	0,4	0,2
Р.2 Залежь 11 лет	А	0,018	0,020	0,096	0,2	0,2
	АВ	0,014	0,014	0,120	0,2	0,1
Р.3 Залежь 4 года	А	0,014	0,020	0,096	0,2	0,1
	АВ	0,011	0,014	0,096	0,3	0,2
Р.4 Пашня	$А_{ПАХ}$	0,014	0,020	0,120	0,2	0,1
	АВ	0,011	0,014	0,144	0,2	0,1
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)						
Р.9 Целина	А	0,028	0,041	0,044	0,3	0,2
	АВ	0,028	0,026	0,070	0,3	0,2
Р.10 Залежь 10 лет	А	0,046	0,020	0,024	0,2	0,2
	АВ	0,021	0,014	0,031	0,1	0,1
Р.11 Залежь 4 года	А	0,056	0,026	0,024	0,2	0,1
	АВ	0,025	0,014	0,020	0,1	0,1
Р.12 Пашня	$А_{ПАХ}$	0,050	0,106	0,024	0,2	0,1
	АВ	0,018	0,044	0,024	0,1	0,1
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона)						
Р.5 Целина	А	0,014	0,060	0,228	0,8	0,3
	АВ	0,014	0,020	0,186	0,4	0,3
Р.6 Пашня	$А_{ПАХ}$	0,025	0,038	0,052	0,8	0,2
	АВ	0,021	0,026	0,044	0,6	0,3
Чернозём обыкновенный солонцеватый карбонатный тяжелосуглинистый (восточная зона)						
Р.7 Залежь 5 лет	А	0,021	0,030	0,120	0,6	0,4
	АВ	0,025	0,008	0,408	0,6	0,3
Р.8 Пашня	$А_{ПАХ}$	0,032	0,038	0,100	0,8	0,2
	АВ	0,024	0,008	0,206	0,6	0,3

Приложение 9

Содержание и запасы фосфора и калия, 0-20 см (2007-2009 гг.)

Объект	Генетич. горизонт	Плотность сложения почвы, г/см^3	Содержание и запас элементов			
			P_2O_5		K_2O	
			мг/кг	кг/га	мг/кг	кг/га
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)						
Р.1 Целина	А	1,05	47	99	166	349
Р.2 Залежь 11 лет	А	1,14	69	157	150	342
Р.3 Залежь 4 года	А	1,20	78	188	134	322
Р.4 Пашня	$А_{ПАХ}$	1,23	80	197	132	325
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)						
Р.9 Целина	А	1,13	127	287	219	495
Р.10 Залежь 10 лет	А	1,20	118	283	180	432
Р.11 Залежь 4 года	А	1,26	112	282	147	370
Р.12 Пашня	$А_{ПАХ}$	1,24	141	349	142	352
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона)						
Р.5 Целина	А	1,09	112	244	310	676
Р.6 Пашня	$А_{ПАХ}$	1,18	63	148	232	547
Чернозём обыкновенный солонцеватый карбонатный тяжелосуглинистый (восточная зона)						
Р.7 Залежь 5 лет	А	1,07	127	272	146	312
Р.8 Пашня	$А_{ПАХ}$	1,12	125	280	152	341
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)						
Р.13 Целина	А	1,01	47	95	173	349
Р.14 Залежь 11 лет	А	1,12	54	121	146	327
Р.15 Пашня (отвал. обработка)	$А_{ПАХ}$	1,36	88	239	134	364
Р.16 Пашня (безотвал. обработка)	$А_{ПАХ}$	1,30	113	294	159	413
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)						
Р.17 Целина	А	1,06	265	562	283	600
Р.18 Залежь 8 лет	А	1,15	86	198	204	550
Р.19 Пашня	$А_{ПАХ}$	1,26	63	159	156	386

Приложение 10

Содержание общего фосфора и калия в фитомассе агроценозов, %

Объект	P_2O_5		K_2O	
	наземная	корневая	наземная	корневая
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)				
Р.1 Целина	0,35	0,13	1,91	0,55
Р.2 Залежь, 11 лет	0,28	0,17	1,87	0,70
Р.3 Залежь, 4 года	0,32	0,16	1,50	0,69
Р.4 Пашня	0,31	0,14	1,07	0,51
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона)				
Р.5 Целина	0,28	0,13	1,68	0,63
Р.6 Пашня	0,41	0,15	1,84	0,73
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)				
Р.17 Целина	0,31	0,15	1,81	0,65
Р.18 Залежь, 8 лет	0,27	0,18	1,77	0,70
Р.19 Пашня	0,33	0,15	1,27	0,61

Приложение 11

Структурно-агрегатный состав чернозёмов (2007-2009 гг.)

Агрофон	Горизонт	Содержание агрегатов, % к массе воздушно-сухой почвы			$К_{СТР}$	Оценка оструктуренности по С.И. Долгову, П.У. Бахтину
		глыбистые >10 мм	агрономически ценные, 10-0,25 мм	пылеватые, < 0,25 мм		
1	2	3	4	5	6	7
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)						
Р.1 Целина	А	24,6	72,4	3,0	2,62	Хорошее
	АВ	23,0	73,8	3,2	2,82	Хорошее
Р.2 Залежь 11 лет	А	33,7	63,7	2,6	1,74	Хорошее
	АВ	25,8	67,8	6,4	2,11	Хорошее
Р.3 Залежь 4 года	А	32,5	62,3	5,2	1,65	Хорошее
	АВ	27,0	68,6	4,4	2,18	Хорошее
Р.4 Пашня	$А_{ПАХ}$	39,1	56,4	4,5	1,29	Удовлет-ное
	АВ	31,1	65,7	3,2	1,92	Хорошее
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона)						
Р.5 Целина	А	31,1	67,0	1,9	2,03	Хорошее
	АВ	26,6	69,5	3,9	2,28	Хорошее
Р.6 Пашня	$А_{ПАХ}$	40,0	57,3	2,7	1,34	Удовлет-ное
	АВ	25,3	71,3	3,4	2,48	Хорошее
Чернозём обыкновенный солонцеватый карбонатный тяжелосуглинистый (восточная зона)						
Р.7 Залежь 5 лет	А	27,2	66,1	6,7	1,95	Хорошее
	АВ	7,9	79,6	12,5	3,90	Хорошее
Р.8 Пашня	$А_{ПАХ}$	28,8	62,6	8,6	1,67	Хорошее
	АВ	11,0	78,4	10,6	3,63	Хорошее
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)						
Р.9 Целина	А	28,7	66,1	5,2	1,95	Хорошее
	АВ	25,3	66,3	8,4	1,97	Хорошее
Р.10 Залежь 10 лет	А	31,9	59,5	8,6	1,47	Удовлет-ное
	АВ	22,6	67,8	9,6	2,11	Хорошее
Р.11 Залежь 4 года	А	30,5	60,1	9,4	1,51	Хорошее
	АВ	25,6	65,1	9,3	1,87	Хорошее
Р.12 Пашня	$А_{ПАХ}$	35,4	55,8	8,8	1,26	Удовлет-ное
	АВ	30,1	61,6	8,4	1,60	Хорошее
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)						
Р.13 Целина	А	25,9	73,1	1,0	2,72	Хорошее
	АВ	34,8	64,2	1,0	1,79	Хорошее
Р.14 Залежь 10 лет	А	27,5	71,3	1,2	2,48	Хорошее
	АВ	40,4	59,0	0,6	1,44	Удовлет-ное
Р.15 Отвал. обработка	$А_{ПАХ}$	51,8	46,8	1,4	0,90	Удовлет-ное
	АВ	34,4	63,5	2,1	1,74	Хорошее

1	2	3	4	5	6	7
Р.16 Безотвал. обработка	$А_{ПАХ}$	35,5	62,6	1,9	1,67	Хорошее
	АВ	54,0	44,2	1,8	0,79	Удовлет-ное
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)						
Р.17 Целина	А	28,0	70,3	1,7	2,37	Хорошее
	АВ	32,0	66,9	1,1	2,00	Хорошее
Р.18 Залежь 8 лет	А	34,4	63,4	2,2	1,73	Хорошее
	АВ	36,4	60,6	3,0	1,54	Хорошее
Р.19 Пашня	$А_{ПАХ}$	47,8	50,7	1,5	1,03	Удовлет-ное
	АВ	40,6	57,9	1,5	1,38	Удовлет-ное
Чернозём выщелоченный среднесуглинистый (южная)						
Р.20 Целина	А	20,4	74,8	4,8	3,02	Хорошее
	АВ	27,0	68,6	4,4	2,18	Хорошее
Р.21 Мн. травы, 15 лет	А	24,8	72,5	2,7	2,64	Хорошее
	АВ	28,7	69,0	2,3	2,22	Хорошее
Р.22 Пашня	$А_{ПАХ}$	30,8	64,4	4,8	1,81	Хорошее
	АВ	38,3	57,5	4,2	1,36	Удовлет-ное

Приложение 12

Структурно-агрегатный состав и водопрочность агрегатов чернозёмов лесостепного Зауралья (2007-2009 гг.)

Угодье	Горизонт	Вид	Размер фракции (мм), содержание (%)									$К_{СТР}$	Количество водопрочных агрегатов, %, >0,25 мм
		просеив.	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (Опытное поле КГСХА)													
Р.1 Целина	А	сухое	24,6	10,1	12	14,2	12,7	18,3	2,2	2,9	3,0	2,62	
		мокрое			0,5	1,5	5,8	9,7	14,6	16,9	51,0		49
	АВ	сухое	23	7,3	8,3	11,1	9,7	26,7	4	6,7	3,2	2,82	
		мокрое			0,2	1,2	5,2	10,5	16,1	18,5	48,3		51,7
Р.2 Залежь 11 лет	$А_{ПАХ}$	сухое	33,7	11,2	13,0	14,9	10,3	9,8	1,8	2,7	2,6	1,74	
		мокрое			0,6	1,7	4,3	7,3	13,9	18,1	54,1		45,9
	АВ	сухое	25,8	10	10,7	12,5	9,8	16,3	4,7	3,8	6,4	2,11	
		мокрое				1,7	5,0	10,1	16,6	17,0	49,6		50,4
Р.3 Залежь 4 года	$А_{ПАХ}$	сухое	32,5	9,4	9,7	13	13,4	9,1	3,7	4,0	5,2	1,65	
		мокрое				1,9	2,9	6,8	15,6	13,5	59,3		40,7
	АВ	сухое	27	11,4	9,4	13,2	10,4	17,4	3,7	3,1	4,4	2,18	
		мокрое				1,8	3,2	6,9	15,7	13,9	58,5		41,5
Р.4 Пашня	$А_{ПАХ}$	сухое	39,1	10	10,4	12,4	10,4	9,5	2,2	1,5	4,5	1,29	
		мокрое				1,3	2,5	6,7	14,8	14,4	60,3		39,7
	АВ	сухое	31,1	10,2	10,2	13,6	11,6	15,2	2,5	2,4	3,2	1,92	
		мокрое				1,4	2,3	7,0	11,6	15,9	61,8		38,2
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (Макушинское ОП)													
Р.5 Целина	А	сухое	31,1	11,5	10,3	15,1	11	11,5	3,9	3,7	1,9	2,03	
		мокрое			0,3	2,7	5,9	26,8	28,6	7,7	27,8		72,2
	АВ	сухое	26,6	10,5	11,6	16,1	11,7	13,2	3,7	2,7	3,9	2,28	
		мокрое			2,1	2,3	3,8	23,8	27,8	7,8	32,4		67,6
Р.6 Пашня	$А_{ПАХ}$	сухое	40,0	8,0	9,4	11,7	9,5	14,0	2,9	1,8	2,7	1,34	
		мокрое				0,5	0,7	8,2	27,5	12,2	50,9		49,1
	АВ	сухое	25,3	10,2	11,5	14,6	12,7	16,6	3,1	2,6	3,4	2,48	
		мокрое			0,2	0,6	1,4	7,3	26,3	7,7	56,5		43,5

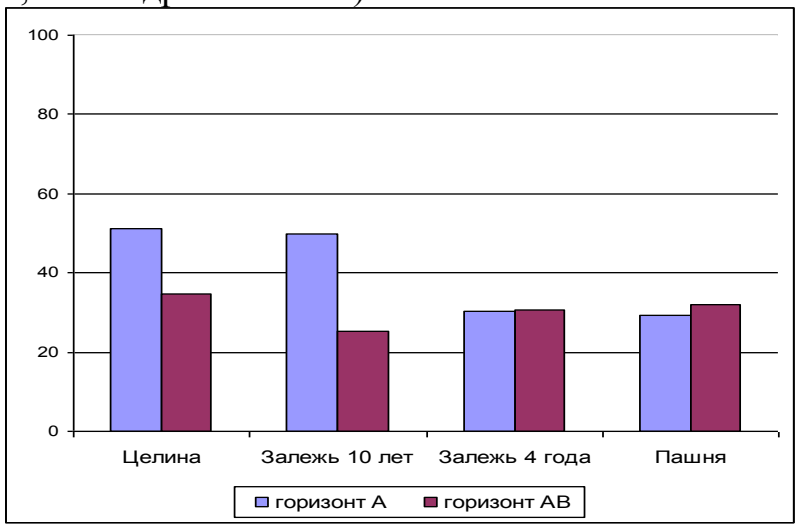
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Чернозём обыкновенный солонцеватый карбонатный тяжелосуглинистый (Макушинское ОП)													
Р.7 Залежь 5 лет	А	сухое	27,2	5,2	5,4	9,0	14,4	24,8	4,0	3,3	6,7	1,95	
		мокрое			1,0	1,4	3,5	6,7	29,5	10,2	47,7		52,3
	АВ	сухое	7,9	6,7	7,6	11,6	11,2	31,8	5,6	5,1	12,5	3,9	
		мокрое			0,3	0,5	4,3	6,9	36,4	15,4	36,2		63,8
Р.8 Пашня	$А_{ПАХ}$	сухое	28,8	8,2	6,6	9,9	8,2	22,4	3,0	4,3	8,6	1,67	
		мокрое			0,3	1,4	3	5,4	28,0	12,7	49,2		50,8
	АВ	сухое	11,0	7,0	6,5	10,9	13,2	33,1	3,6	4,1	10,6	3,63	
		мокрое			0,2	2,1	2,5	7,3	32,7	13,5	41,7		58,5
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (Центральное ОП)													
Р.9 Целина	А	сухое	28,7	13,3	12,8	13,8	9,7	11,2	2,3	3,0	5,2	1,95	
		мокрое			2,6	2,5	2,5	8,2	20,3	15,0	48,9		51,1
	АВ	сухое	25,3	13,6	9,7	12,3	10,7	13,4	3,1	3,5	8,4	1,97	
		мокрое			0,5	1,1	1,3	4,0	10,1	17,6	65,4		34,6
Р.10 Залежь 10 лет	$А_{ПАХ}$	сухое	31,9	9,1	8,5	11	8,8	16,1	2,7	3,3	8,6	1,47	
		мокрое			2,8	3,2	3,6	6,3	22,8	11,1	50,2		49,8
	АВ	сухое	22,6	8,0	8,9	12,0	10,5	22,1	3,0	3,3	9,6	2,11	
		мокрое			0,4	0,9	1,1	2,2	14,0	6,8	74,6		25,4
Р.11 Залежь 4 года	$А_{ПАХ}$	сухое	30,5	9,4	7,8	10,1	10,8	14,2	4,1	3,7	9,4	1,51	
		мокрое			1,7	1,7	1,9	2,8	13,5	8,6	69,8		30,2
	АВ	сухое	25,6	6,5	7,9	12	10,8	20,4	2,6	4,9	9,3	1,87	
		мокрое			1,3	2,7	1,3	2,5	12,7	8,7	70,8		29,2
Р.12 Пашня	$А_{ПАХ}$	сухое	35,4	7,5	7,9	9,1	8,4	16,3	3,0	3,6	8,8	1,26	
		мокрое				1,6	2,0	5,7	14,1	7,2	69,4		30,6
	АВ	сухое	30,1	12,4	8,8	11,4	8,7	13,6	3,1	3,5	8,4	1,6	
		мокрое			1,9	1,4	1,7	4,2	14	8,8	68		32
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (Шадринская опытная станция)													
Р.13 Целина	А	сухое	25,9	7,1	7,7	22,6	16,3	15,8	0,4	3,2	1,0	2,72	
		мокрое			2,5	4,5	10,8	32,4	12,1	5,6	32,1		67,9
	АВ	сухое	34,8	10,9	9,7	14,8	11,1	13,8	0,4	3,5	1,0	1,79	
		мокрое			0,7	2,2	4,8	24,7	11,9	14,6	41,1		58,9
Р.14 Залежь 10 лет	А	сухое	27,5	10,6	9,8	17,5	12,2	16,1	0,3	4,8	1,2	2,48	
		мокрое			2,2	4,5	8,5	30,8	10,9	7,8	35,3		64,7
	АВ	сухое	40,4	12,3	9,4	14,1	8,5	11,2	0,5	3,0	0,6	1,44	
		мокрое			0,5	1,2	3,2	26,3	11,8	9,9	47,0		53

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Р.15 Пашня (отвал.обработка)	$А_{ПАХ}$	сухое	51,8	10,6	10,7	10,4	4,5	7,0	0,4	3,2	1,4	0,9	
		мокрое			0,6	0,7	2,0	12,2	11,4	8,2	64,9		35,1
	АВ	сухое	34,4	11,0	10,0	12,8	9,8	13,8	0,3	5,8	2,1	1,74	
		мокрое			–	–	0,4	18,2	13,7	17,7	50,0		50
Р.16 Пашня (безотвал. обработка)	$А_{ПАХ}$	сухое	35,5	15,8	13,1	14,9	6,0	8,7	0,5	3,6	1,9	1,67	
		мокрое			1,5	1,5	2,7	23,4	14,2	10,9	45,8		54,2
	АВ	сухое	54	11,7	7,8	8,3	4,6	7,5	0,4	3,9	1,8	0,79	
		мокрое			0,6	2,4	2,6	11,2	19,9	15,4	47,9		52,1
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (Шадринское ОП)													
Р.17 Целина	А	сухое	28	11,0	12,1	23,0	10,7	10,2	0,1	3,2	1,7	2,37	
		мокрое			8,0	17,6	10,5	22,6	19,8	5,2	16,3		83,7
	АВ	сухое	32	12,4	13,2	16,4	10	11,2	0,1	3,6	1,1	2,00	
		мокрое			3,1	2,6	4,4	30,4	15,2	15,3	29,0		71
Р.18 Залежь 8 лет	А	сухое	34,4	11,4	10,9	20,1	8,5	9,4	0,1	3,0	2,2	1,73	
		мокрое			6,1	7,3	6,8	18,6	15,3	8,7	37,2		62,8
	АВ	сухое	36,4	13,1	11,3	16,2	7,5	8,9	0,2	3,4	3,0	1,54	
		мокрое			3,0	2,7	3,1	27,2	14,1	15,2	34,7		65,3
Р.19 Пашня	$А_{ПАХ}$	сухое	47,8	11,0	10,0	11,8	7,0	8,4	0,2	2,3	1,5	1,03	
		мокрое			1,4	1,5	6,7	25,6	11,4	11,9	41,5		58,5
	АВ	сухое	40,6	12,7	11,4	13,6	8,1	8,6	0,3	3,2	1,5	1,34	
		мокрое			1,8	2,8	4,6	28,8	13,9	14,1	34,0		66
Чернозём выщелоченный среднесуглинистый (ОПХ "Южное")													
Р.20 Целина	А	сухое	20,4	10,1	12,0	14,2	12,4	18,3	2,2	5,6	4,8	3,03	
		мокрое			1,9	7,8	9,9	16,2	14,6	16,9	32,7		67,3
	АВ	сухое	27,0	6,5	11,5	12,3	14,8	20,2	2,5	0,8	4,4	2,18	
		мокрое			3,7	8,1	9,2	14,7	17,3	12,1	34,9		65,1
Р.21 Многолет. травы, 15 лет	А	сухое	24,8	9,5	12,1	13,6	14,8	15,8	4,8	1,9	2,7	2,64	
		мокрое			2,2	7,5	10,5	15,4	10,6	15,5	38,3		61,7
	АВ	сухое	28,7	8,6	10,9	11,9	16	16,8	2,9	0,9	3,3	2,22	
		мокрое			1,0	5,7	11,3	14,7	17,1	7,5	42,7		57,3
Р.22 Пашня	$А_{ПАХ}$	сухое	30,8	8,1	8,5	13,1	14,3	13,9	2,7	3,8	4,8	1,81	
		мокрое			1,1	2,8	8,7	13,4	15,4	11,4	47,2		52,8
	АВ	сухое	31,3	4,5	7,3	12,5	19,9	17,1	2,6	0,6	4,2	1,82	
		мокрое			1,1	2,8	8,7	13,4	15,2	13,4	45,4		54,6

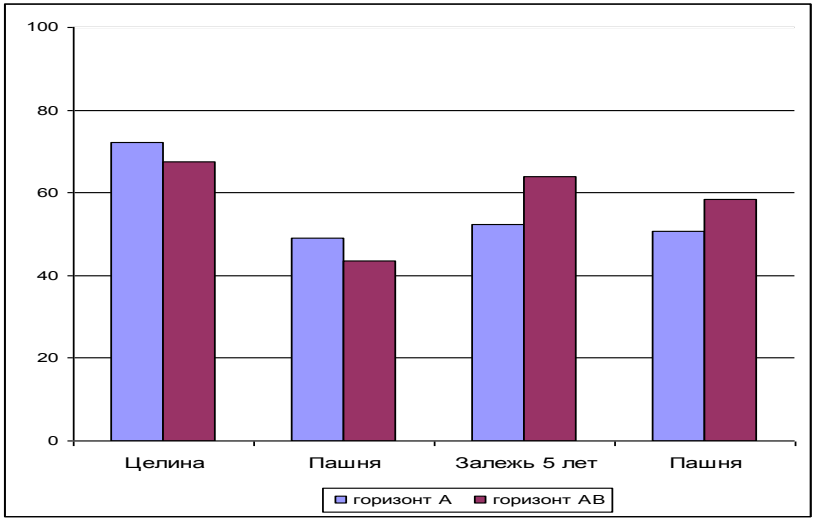
Приложение 13

Количество водопрочных агрегатов >0,25 мм, % (А – Центральное ОП; Б – Макушинское ОП (целина, пашня – чернозём обыкновенный солонцеватый, залежь 5 лет и пашня – чернозём обыкновенный солонцеватый карбонатный); В – Шадринская ОС; Г– Шадринское ОП)

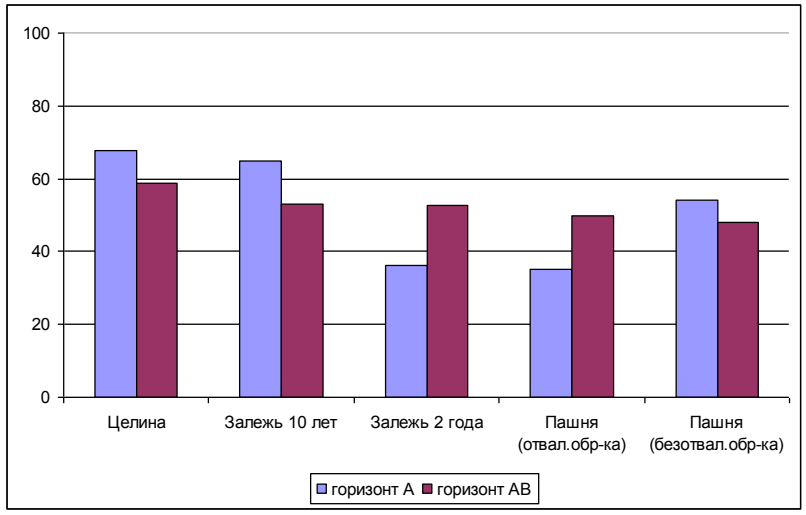
А)



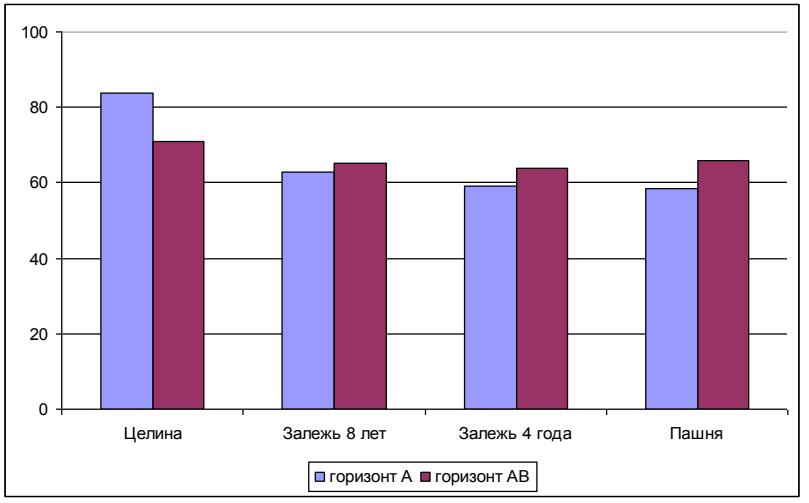
Б)



В)



Г)



Приложение 14

Физические свойства чернозёмов

Угодья	Генетич. горизонт	Глубина образца, см	г/см^3		Общая пористость, %
			плотность почвы	плотность твердой фазы	
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)					
Р.1 Целина	А	4-27	1,05	2,53	58,5
	АВ	27-40	1,13	2,55	55,7
Р.2 Залежь 11 лет	А	2-26	1,14	2,55	55,3
	АВ	26-39	1,27	2,54	50,0
Р.3 Залежь 4 года	А	0-24	1,20	2,54	52,8
	АВ	24-37	1,28	2,58	50,4
Р.4 Пашня	$А_{ПАХ}$	0-24	1,23	2,59	52,5
	АВ	24-37	1,29	2,61	50,6
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)					
Р.9 Целина	А	3-26	1,13	2,50	54,8
	АВ	26-41	1,21	2,56	52,7
Р.10 Залежь 10 лет	А	2-25	1,20	2,59	53,7
	АВ	25-41	1,26	2,60	51,5
Р.11 Залежь 4 года	А	0-24	1,26	2,54	50,4
	АВ	24-40	1,27	2,60	51,1
Р. 12 Пашня	$А_{ПАХ}$	0-24	1,24	2,52	50,8
	АВ	24-40	1,27	2,53	49,8
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона)					
Р.5 Целина	А	5-28	1,09	2,45	55,5
	АВ	28-46	1,11	2,57	56,8
Р.6 Пашня	$А_{ПАХ}$	0-22	1,18	2,49	52,6
	АВ	22-38	1,23	2,52	51,2
Чернозём обыкновенный солонцеватый карбонатный тяжелосуглинистый (восточная зона)					
Р.7 Залежь 5 лет	А	0-24	1,07	2,48	56,5
	АВ	24-46	1,14	2,49	54,2
Р.8 Пашня	$А_{ПАХ}$	0-24	1,12	2,46	54,5
	АВ	24-46	1,27	2,49	49,0
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)					
Р.13 Целина	А	5-27	1,01	2,35	57,0
	АВ	27-42	1,04	2,46	57,7
Р.14 Залежь 10 лет	А	3-25	1,12	2,39	53,1
	АВ	25-34	1,18	2,41	51,0
Р.15 Пашня (отвальная обработка)	$А_{ПАХ}$	0-22	1,36	2,48	45,2
	АВ	22-38	1,39	2,51	44,6
Р. 16 Пашня (безотвальная обработка)	$А_{ПАХ}$	0-34	1,30	2,48	47,6
	АВ	34-40	1,32	2,55	48,2
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)					
Р.17 Целина	А	3-28	1,06	2,39	55,6
	АВ	28-43	1,20	2,49	51,8
Р.18 Залежь 8 лет	А	2-24	1,15	2,44	52,9
	АВ	24-40	1,30	2,53	48,6
Р.19 Пашня	$А_{ПАХ}$	0-22	1,26	2,48	49,2
	АВ	22-40	1,42	2,50	43,2

Приложение 15

Гранулометрический состав чернозёмов выщелоченных и обыкновенных лесостепного Зауралья

Место расположения разреза	Горизонт, глубина взятия образца, см	Содержание гранулометрических фракций, % к массе почвы						
		крупный и средний песок 1-0,25	мелкий песок 0,25-0,05	крупная пыль 0,05-0,01	средняя пыль 0,01-0,005	мелкая пыль 0,005-0,001	ил менее 0,001	физическая глина, менее 0,01
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)								
Р.1 Целина	А (4-27)	8,0	49,9	13,6	6,9	9,3	12,3	28,5
	АВ (27-40)	8,2	49,5	12,1	7,0	7,1	16,1	30,2
	В (40-62)	6,3	45,7	10,6	9,2	7,5	20,7	37,4
	ВС (62-89)	10,0	49,3	11,4	4,7	7,3	17,3	29,3
	С (89-120)	11,4	56,4	8,9	2,3	7,8	13,2	23,3
Р.4 Пашня	$А_{ПАХ}$ (0-24)	6,2	57,2	5,6	2,9	10,5	17,6	31,0
	АВ (24-37)	4,6	54,5	5,6	1,7	9,6	24,0	35,3
	В (37-60)	5,3	55,0	5,5	1,6	8,7	23,9	34,2
	ВС (60-85)	5,5	64,7	3,7	1,3	6,0	18,8	26,1
	С (85-120)	12,0	57,5	10,1	1,8	5,9	12,7	20,4
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)								
Р.9 Целина	А (3-26)	6,4	43,3	27,7	2,4	8,7	11,5	22,6
	АВ (26-41)	5,5	37,6	37,5	1,5	7,5	10,4	19,4
	В (41-68)	8,9	24,8	41,8	1,0	7,5	16,0	24,5
	ВС (68-102)	8,4	20,0	33,8	3,5	14,5	19,8	37,8
	С (102-120)	8,3	20,5	43,6	1,4	13,5	12,7	27,6
Р.12 Пашня	$А_{ПАХ}$ (0-24)	8,5	49,9	9,9	4,2	14,9	12,6	31,7
	АВ (24-40)	11,6	49,5	5,4	6,6	13,5	13,4	33,5
	В (40-66)	9,0	44,9	4,6	4,6	15,6	21,3	40,5
	ВС (66-100)	6,2	52,8	3,8	1,1	12,7	23,4	37,2
	С (100-120)	7,9	51,2	6,3	1,6	16,3	16,7	34,6
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона)								
Р.5 Целина	А (5-28)	5,1	19,4	30,8	8,1	11,7	24,9	44,7
	АВ (28-46)	6,2	24,1	28,0	6,6	11,7	23,4	41,7
	В (46-68)	2,7	22,3	23,6	8,1	12,1	31,2	51,4
	ВС (68-80)	4,3	16,4	16,3	8,4	16,1	38,5	63,0
	С (80-120)	7,7	27,6	12,8	2,2	10,9	38,8	51,9
Р.6 Пашня	$А_{ПАХ}$ (0-22)	3,5	26,1	22,1	9,8	11,9	26,6	48,3
	АВ (22-38)	5,3	28,6	21,7	6,9	13,0	24,5	44,4
	В (38-62)	5,4	20,5	22,2	6,1	11,9	33,9	51,9
	ВС (62-78)	6,1	21,6	10,1	8,4	14,3	39,5	62,2
	С (78-120)	4,0	28,3	5,6	6,0	14,9	41,2	62,1
Чернозём выщелоченный среднесуглинистый (южная зона)								
Р.20 Целина	А (3-24)	6,3	47,6	15,6	5,8	10,4	14,3	30,5
	АВ (24-37)	6,7	41,6	15,7	3,5	7,8	24,7	36
	В (37-61)	7,6	47,9	13,2	0,8	6,3	24,2	31,3
	ВС (61-105)	5,6	46,8	14,6	4,6	7,5	20,9	33,0
	С (105-120)	6,7	42,0	12,3	3,9	18,1	17,0	39,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Р. 23 Пашня	Апах (0-22)	6,3	47,1	15,4	5,1	10,9	15,2	31,2
	АВ (22-34)	4,8	45,8	13,3	6,5	4,7	24,9	36,1
	В (34-60)	5,7	49,4	11,0	7,9	4,2	21,8	33,9
	Вк (60-75)	4,5	39,1	15,4	5,7	9,5	25,8	41,0
	ВС (75-108)	7,5	46,3	16,5	0,1	13,6	16,0	29,7
	С (108-120)	4,5	50,4	10,9	3,2	18,6	12,4	34,2
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)								
Р.15 Отваль-ная обр-ка	Апах (0-22)	14,7	21,5	17,9	8,1	15,2	22,6	45,9
	АВ (22-38)	13,0	24,5	12,5	10,8	17,6	21,6	50,0
	В (38-68)	16,2	27,6	13,4	7,5	7,5	27,8	42,8
	ВС (68-95)	15,5	36,3	7,7	1,8	8,1	30,6	40,5
	С (95-110)	17,7	33,6	6,8	5,2	7,2	29,5	41,9
Р.16 Безот-вальная обр-ка	Апах (0-34)	12,2	17,6	21,0	7,4	17,2	24,6	49,2
	АВ (34-40)	12,5	24,3	14,2	6,9	15,3	26,8	49,0
	В (40-70)	14,9	27,1	8,1	8,7	10,2	31,0	49,9
	ВС (70-94)	11,6	30,4	12,9	4,9	8,8	31,4	45,1
	С (94-110)	9,6	39,8	8,1	3,3	12,0	27,2	42,5
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)								
Р.17 Целина	А (3-28)	2,4	29,4	21,1	8,5	14,9	23,7	47,1
	АВ (28-43)	2,3	30,3	20,5	5,5	15,1	26,3	46,9
	В (43-68)	1,7	30,8	17,0	8,7	8,5	33,3	50,5
	ВС (68-90)	2,3	35,5	15,4	7,4	9,7	29,7	46,8
	С (90-120)	1,9	37,6	17,5	6,2	9,0	27,8	43,0
Р.19 Пашня	А (0-22)	3,0	26,6	21,4	12,9	12,1	24,0	49,0
	АВ (22-40)	2,1	27,2	23,4	10,3	9,4	27,6	47,3
	В (38-65)	2,3	29,4	17,4	6,4	10,2	34,3	50,9
	ВС (65-88)	2,8	31,5	15,5	10,9	5,3	34,0	50,2
	С (88-120)	2,5	28,4	18,4	9,6	14,1	27,0	50,7

Приложение 16

Накопление биомассы в разных агроклиматических зонах лесостепного Зауралья

Вид растительной массы		Среднее, т/га			
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)					
Объект		Р.1 Целина	Р.2 Залежь 11 лет	Р.3 Залежь 4 года	Р.4 Пашня
надземная		4,97	3,68	2,33	5,35
корневая	0-20	6,50	8,07	5,78	2,75
	20-40	3,88	8,70	0,82	1,15
	0-40	10,38	8,94	6,60	3,90
Всего		15,35	12,62	8,93	9,25
$НСР_{05}$ (надземная масса) = 0,96 т/га; $НСР_{05}$ (корневая масса) = 1,67 т/га; $НСР_{05}$ (общая масса) = 1,75 т/га					
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)					
Объект		Р.9 Целина	Р.10 Залежь 10 лет	Р.11 Залежь 4 года	Р.12 Пашня
надземная		4,19	4,30	3,45	4,63
корневая	0-20	19,98	8,58	6,62	1,17
	20-40	2,85	1,47	1,61	0,79
	0-40	22,83	10,05	8,23	1,96
Всего		27,02	14,35	11,68	6,59
$НСР_{05}$ (надземная масса) = 0,74 т/га; $НСР_{05}$ (корневая масса) = 3,35 т/га; $НСР_{05}$ (общая масса) = 3,00 т/га					
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона)					
Объект		Р.5 Целина	Р.6 Пашня	Р.7 Залежь 5 лет	Р.8 Пашня
надземная		4,49	3,52	4,10	2,95
корневая	0-20	12,32	3,75	5,84	3,34
	20-40	2,93	0,67	1,27	0,66
	0-40	15,25	4,42	7,11	4,00
Всего		19,74	7,94	11,21	6,95
$НСР_{05}$ (надземная масса) = 0,56 т/га; $НСР_{05}$ (корневая масса) = 2,55 т/га; $НСР_{05}$ (общая масса) = 2,37 т/га					
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)					
Объект		Р.13 Целина	Р.14 Залежь 10 лет	Р.15 Пашня, отвальная обр-ка	Р.16 Пашня, безотвальная обр-ка
надземная		9,08	4,00	5,24	5,13
корневая	0-20	33,62	8,11	1,60	2,44
	20-40	1,44	0,38	0,25	0,24
	0-40	35,06	8,49	1,85	2,68
Всего		44,14	12,49	7,09	7,81
$НСР_{05}$ (надземная масса) = 0,98 т/га; $НСР_{05}$ (корневая масса) = 3,63 т/га; $НСР_{05}$ (общая масса) = 4,29 т/га					

Продолжение приложения 17

Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)				
Объект		Р.17 Целина	Р.18 Залежь 8 лет	Р.19 Пашня
надземная		8,72	4,23	5,82
корневая	0-20	23,46	12,50	2,53
	20-40	1,37	0,60	0,61
	0-40	24,83	13,10	3,14
Всего		33,55	17,33	8,96
$НСР_{05}$ (надземная масса) = 1,13 т/га; $НСР_{05}$ (корневая масса) = 5,13 т/га; $НСР_{05}$ (общая масса) = 5,64 т/га				

Чернозём выщелоченный среднесуглинистый (южная зона)					
Объект		Р.20 Целина	Р.21 Мн. травы	Р.22 Пашня (одн. травы)	Р.23 Пашня, (пшеница)
надземная		5,6	2,8	3,8	5,7
корневая	0-20	30,6	12,2	6,6	3,8
	20-40	5,5	2,8	1,2	1,2
	0-40	36,1	15,0	7,8	5,0
Всего		41,7	17,8	11,6	10,7
$НСР_{05}$ (надземная масса) = 0,49 т/га; $НСР_{05}$ (корневая масса) = 3,67 т/га; $НСР_{05}$ (общая масса) = 4,6 т/га					

Приложение 17

Содержание и запасы гумуса в различных агроценозах, 2008 г

Объект	Гумус		N	
	%	т/га	%	т/га
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)				
Р.1 Целина	5,49	112,3	0,35	7,34
Р.4 Пашня	3,61	88,0	0,23	6,01
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)				
Р.9 Целина	5,17	114,9	0,49	11,06
Р.12 Пашня	3,82	94,8	0,41	10,23
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона)				
Р.5 Целина	5,70	124,3	0,51	11,17
Р.6 Пашня	4,68	110,4	0,37	8,80

Приложение 18

Содержание гумуса в различных агрофонах, % (n=6) (2007-2008 гг.)

Объект	Глубина взятия образца, см	Результаты вариационной обработки			
		$\bar{x}$	V, %	$S_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm t_{0,95} \cdot Sx$
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)					
Р.1 Целина	0-10	5,71	3,1	0,07	5,53-5,89
	10-20	5,26	4,3	0,09	5,03-5,49
	20-30	4,38	3,8	0,07	4,28-4,48
	30-40	3,37	5,6	0,08	3,16-3,58
Р.2 Залежь 11 лет	0-10	4,35	5,2	0,09	4,12-4,58
	10-20	4,05	5,1	0,08	3,84-4,26
	20-30	3,78	6,5	0,10	3,52-4,04
	30-40	3,20	4,6	0,06	3,05-3,35
Р.3 Залежь 4 года	0-10	3,72	5,3	0,08	3,51-3,93
	10-20	3,60	4,1	0,06	3,44-3,76
	20-30	3,18	4,1	0,05	3,05-3,31
	30-40	2,66	5,0	0,05	2,53-2,79
Р.4 Пашня	0-10	3,65	4,3	0,06	3,50-3,80
	10-20	3,57	3,5	0,05	3,38-3,64
	20-30	2,42	6,3	0,06	2,27-2,57
	30-40	1,83	6,5	0,05	1,70-1,96
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона)					
Р.5 Целина	0-10	6,18	4,1	0,10	5,92-6,44
	10-20	5,22	4,9	0,11	5,16-5,52
	20-30	4,51	6,0	0,11	4,23-4,79
	30-40	3,62	4,8	0,07	3,44-3,80
Р.6 Пашня	0-10	5,03	3,6	0,07	4,84-5,21
	10-20	4,33	2,9	0,05	4,25-4,61
	20-30	3,71	7,3	0,11	3,43-3,99
	30-40	2,12	8,1	0,07	1,94-2,30
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)					
Р.17 Целина	0-10	8,25	2,2	0,08	8,21-8,63
	10-20	6,63	4,2	0,11	6,35-6,91
	20-30	5,39	4,6	0,10	5,13-5,65
	30-40	3,25	4,9	0,07	3,07-3,43
Р.18 Залежь 8 лет	0-10	6,04	2,6	0,06	5,89-6,19
	10-20	5,57	4,0	0,09	5,34-5,80
	20-30	4,41	4,8	0,09	4,18-4,64
	30-40	3,12	7,0	0,09	2,89-3,35
Р.19 Пашня	0-10	5,46	4,3	0,10	5,20-5,72
	10-20	5,18	3,0	0,06	5,03-5,33
	20-30	3,92	4,6	0,07	3,74-4,10
	30-40	3,00	4,4	0,05	3,87-3,13

Приложение 19

Содержание и запасы гумуса в различных агроценозах (северо-западная зона, 2008 г.)

Агроценоз	Генетич. горизонт	Мощность горизонта, см	Плотность, г/см^3	Содержание гумуса, %	Запасы гумуса, т/га	Оценка гумусного состояния (по Д.С, Орлову, А.А. Гришиной) в слое 0-20 см
Р.13 Целина	А	0-10	0,96	9,58	92,0	177,5 (высокое)
		10-20	1,02	8,38	85,5	
		20-30	1,04	7,70	80,1	
	АВ	30-40	1,09	6,83	74,4	
		0-40	–	–	332,0	
Р.14 Залежь 10 лет	А	0-10	1,10	6,67	73,4	148,1 (среднее)
		10-20	1,14	6,55	74,7	
		20-30	1,17	5,78	67,6	
	АВ	30-40	1,21	3,67	44,4	
		0-40	–	–	260,1	
Р.15 Отвал. обработка (20-22 см)	Апах	0-10	1,34	5,16	69,1	129,1 (среднее)
		10-20	1,38	4,35	60,0	
	А	20-30	1,39	4,16	57,8	
	АВ	30-40	1,42	2,61	37,1	
		0-40	–	–	224,0	
Р.16 Безотвал. обработка (0-34 см)	Апах	0-10	1,32	5,48	72,3	138,7 (среднее)
		10-20	1,30	5,11	66,4	
		20-30	1,32	3,70	48,8	
	АВ	30-40	1,37	2,39	32,7	
		0-40	–	–	220,2	

Приложение 20

Запасы гумуса на опытных полях Курганский НИИСХ – филиал ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН (0-40 см)

Объект	Фитомасса, т/га		Запасы гумуса, т/га	Оценка гумусного состояния (по Д.С, Орлову, А.А. Гришиной) в слое 0-20 см	Отношение гумус /корневые остатки
	наземная	корневая			
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)					
Р.1 Целина	4,97	10,38	200,1	112,3(средние)	19,3
Р.2 Залежь 11 лет	3,68	8,94	181,2	94,9(низкие)	20,3
Р.3 Залежь 4 года	2,33	6,60	160,7	87,5 (низкие)	24,3
Р.4 Пашня	5,35	3,90	142,8	88,0 (низкие)	36,6
Чернозём выщелоченный легкосуглинистый (центральная зона)					
Р.9 Целина	4,19	22,83	194,2	114,9 (средние)	8,5
Р.10 Залежь 10 лет	4,30	10,05	176,5	98,8 (низкие)	17,6
Р.11 Залежь 4 года	3,45	8,23	169,2	92,8(низкие)	20,6
Р.12 Пашня	4,63	1,96	161,2	94,8 (низкие)	82,2
Чернозём обыкновенный солонцеватый тяжелосуглинистый (восточная зона)					
Р.5 Целина	4,49	15,25	224,4	124,3(средние)	14,7
Р.6 Пашня	3,52	4,42	183,3	110,4 (средние)	41,5
Р.7 Залежь 5 лет	4,10	7,11	234,8	145,8(средние)	33,0
Р.8 Пашня	2,95	4,00	237,4	150,5(средние)	59,4
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)					
Р.13 Целина	9,08	35,06	332,0	177,5 (высокие)	9,5
Р.14 Залежь 10 лет	4,00	8,49	260,1	148,1 (средние)	30,6
Р.15 Пашня (отвал.)	5,24	1,85	224,0	129,1 (средние)	121,1
Р.16 Пашня (безотвал.)	5,13	2,68	220,2	138,7 (средние)	82,2
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый (северо-западная зона)					
Р.17 Целина	8,72	24,83	261,4	158,6(высокие)	10,5
Р.18 Залежь 8 лет	4,23	13,10	227,2	131,8(средние)	17,3
Р.19 Пашня	5,82	3,14	225,4	130,0(средние)	71,8
Чернозём выщелоченный среднесуглинистый (южная зона)					
Р.20 Целина	5,6	36,1	169,7	142,8 (средние)	4,7
Р.21 Мн. травы 15 лет	2,8	15,0	117,0	94,7 (низкие)	7,8
Р.22 Пашня (одн. травы)	3,8	7,8	109,2	92,1 (низкие)	14,0
Р.23 Пашня (яр. пшеница)	5,7	5,0	112,0	91,5 (низкие)	22,4

Приложение 21

Влияние органических, минеральных удобрений и мелиорантов на содержание P_2O_5 в черноземе выщелоченном (0-25 см), мг/кг (опыт 2)

Вариант	Подвижный фосфор				Отклонение от контроля	
	пшеница по пару	вторая пшеница	ячмень	среднее	мг/кг	%
1. Без удобрений (контроль)	78	75	74	76	–	
2. $N_{175}P_{140}$ *	98	93	96	96	20	26,3
3. Навоз 40 т/га	123	114	106	114	38	50,0
4. Навоз + NP	139	136	127	134	58	76,3
5. Солома 5 т/га	98	90	91	93	17	22,4
6. Солома + NP	105	112	104	107	31	40,8
7. Сидераты 38,6 т/га	97	98	98	98	22	28,9
8. Сидераты + NP	126	122	108	119	43	56,6
r_{05} по блоку орг. и минер. удобр.	0,70	0,78	0,65	–		
9. Известь 3 т/га – фон 1	78	74	75	76	–	0,0
10. Фон 1 + NP	85	98	100	94	18	23,7
11. Фон 1 + навоз	126	128	112	122	46	60,5
12. Фон 1 + навоз + NP	136	132	120	129	53	69,7
13. Фон 1 + солома	90	97	86	91	15	19,7
14. Фон 1 + солома + NP	108	125	124	119	43	56,6
15. Фон 1 + сидераты	106	100	93	100	24	31,6
16. Фон 1 + сидераты + NP	119	124	111	118	42	55,3
r_{05} по блоку орг. и минер. удобр. на фоне извести	0,68	0,79	0,83			
17. Фосфоритная мука 1 т/га – фон 2	120	128	121	123	47	61,8
18. Фон 2 + NP	134	143	129	135	59	77,6
19. Фон 2 + навоз	142	150	132	141	65	85,5
20. Фон 2 + навоз + NP	151	174	170	165	89	117,1
21. Фон 2 + солома	110	118	115	114	38	50,0
22. Фон 2 + солома + NP	119	134	149	134	58	76,3
23. Фон 2 + сидераты	121	128	116	122	46	60,5
24. Фон 2 + сидераты + NP	130	142	137	136	60	78,9
r_{05} по блоку орг. и минер. удобр. на фоне фосфоритной муки	0,96	0,54	0,76			
25. Гипс 3 т/га – $фон_3$	85	91	73	83	7	9,2
26. Фон 3 + NP	105	116	105	109	33	43,4
27. Фон 3 + навоз	119	119	95	111	35	46,1
28. Фон 3 + навоз + NP	123	138	120	127	51	67,1
29. Фон 3 + солома	96	102	90	96	20	26,3
30. Фон 3 + солома + NP	112	118	102	111	35	46,1
31. Фон 3 + сидераты	120	120	104	115	39	51,3
32. Фон 3 + сидераты + NP	128	130	109	122	46	60,5
r_{05} по блоку орг. и минер. удобр. на фоне гипса	0,44	0,75	0,72			
$НСР_{05}$	12	15	13			
Коэффициент корреляции с урожайностью в целом по опыту (r_{05})	0,57	0,62	0,62			

Приложение 22

Влияние системы удобрения на содержание в почве фосфора в слое 0-20 см, мг/кг

2010 год						
Вариант	Подвижный фосфор			Водорастворимый фосфор		
	без гидрогеля	20 кг/га	40 кг/га	без гидрогеля	20 кг/га	40 кг/га
1. Контроль (без удобр.)	114	122	119	0,6	0,8	1,3
2. N_{30}	106	120	116	0,6	0,7	1,2
3. N_{60}	107	123	106	0,7	0,8	1,1
4. P_{20}	118	137	110	0,8	1,0	1,2
5. P_{40}	123	139	112	0,7	1,1	0,9
6. $N_{30}P_{20}$	118	137	102	0,7	0,8	1,0
7. $N_{30}P_{40}$	130	140	106	0,7	0,9	1,0
8. $N_{60}P_{20}$	132	141	112	0,8	0,8	1,0
9. $N_{60}P_{40}$	142	151	109	0,8	0,9	1,0
Уравнение регрессии	r=0,66, y=0,72+0,01x			r=0,79, y=1,04+1,146x		
Уравнение регрессии	r=0,11, y=0,00x+1,07					
2011 год						
Вариант	Подвижный фосфор			Водорастворимый фосфор		
	без гидрогеля	20 кг/га	40 кг/га	без гидрогеля	20 кг/га	40 кг/га
1. Контроль (без удобр.)	85	92	122	1,9	2,5	2,8
2. N_{30}	82	107	113	2,0	3,3	3,8
3. N_{60}	82	129	110	2,5	3,2	3,5
4. P_{20}	114	143	148	3,1	3,8	4,7
5. P_{40}	152	129	158	4,6	4,5	5,0
6. $N_{30}P_{20}$	112	113	128	3,6	3,1	4,6
7. $N_{30}P_{40}$	154	113	139	5,1	4,0	4,0
8. $N_{60}P_{20}$	128	119	164	2,7	3,5	4,6
9. $N_{60}P_{40}$	118	120	133	3,4	4,5	5,2
Уравнение регрессии	r=0,46, y=51,48x -37,38			r=0,64, y=3,02x +5,65		
Уравнение регрессии	r=0,81, y=0,03x +0,52					
2012 год						
Вариант	Подвижный фосфор			Водорастворимый		
	без гидрогеля	20 кг/га	40 кг/га	без гидрогеля	20 кг/га	40 кг/га
1. Контроль (без удобр.)	99	112	130	0,7	0,8	1,0
2. N_{30}	103	131	136	0,7	1,1	1,0
3. N_{60}	106	132	138	0,7	1,2	0,9
4. P_{20}	120	135	142	1,0	1,3	1,0
5. P_{40}	127	135	139	0,9	1,2	1,1
6. $N_{30}P_{20}$	130	125	121	1,2	1,1	0,9
7. $N_{30}P_{40}$	120	122	123	1,0	0,8	1,1
8. $N_{60}P_{20}$	117	117	126	1,1	0,7	0,9
9. $N_{60}P_{40}$	131	124	128	1,2	0,8	0,9
Уравнение регрессии	r=0,54, y=0,01x +0,62			r=0,23, y=0,14x +1,14		
Уравнение регрессии	r=0,68, y=0,01x +0,41					

Приложение 23

Влияние органических, минеральных удобрений и мелиорантов на содержание K_2O в черноземе выщелоченном (0-25 см), мг/кг (опыт 2)

Вариант	Калий подвижный				Отклонение от контроля	
	пшеница по пару	вторая пшеница	ячмень	среднее	мг/кг	%
1. Без удобрений (контроль)	133	130	124	129	–	
2. $N_{175}P_{140}$ *	138	134	133	135	6	4,7
3. Навоз 40 т/га	212	172	152	179	50	38,8
4. Навоз + NP	240	184	156	193	64	49,6
5. Солома 5 т/га	147	134	136	139	10	7,8
6. Солома + NP	168	142	140	150	21	16,3
7. Сидераты	165	146	144	152	23	17,8
8. Сидераты + NP	194	203	160	186	57	44,2
9. Известь 3 т/га – фон 1	158	135	130	141	12	9,3
10. Фон 1 + NP	152	140	130	141	12	9,3
11. Фон 1 + навоз	160	184	150	165	36	27,9
12. Фон 1 + навоз + NP	178	190	175	181	52	40,3
13. Фон 1 + солома	154	150	142	149	20	15,5
14. Фон 1 + солома + NP	149	150	140	146	17	13,2
15. Фон 1 + сидераты	149	146	146	147	18	14
16. Фон 1 + сидераты + NP	146	144	140	143	14	10,9
17. Фосфоритная мука 1 т/га –фон 2	140	132	129	134	5	3,9
18. Фон 2 + NP	161	146	140	149	20	15,5
19. Фон 2 + навоз	184	178	150	171	42	32,6
20. Фон 2 + навоз + NP	184	168	149	167	38	29,5
21. Фон 2 + солома	178	152	138	156	27	20,9
22. Фон 2 + солома + NP	178	154	141	158	29	22,5
23. Фон 2 + сидераты	152	154	143	150	21	16,3
24. Фон 2 + сидераты + NP	160	148	139	149	20	15,5
25. Гипс 3 т/га – $фон_3$	150	136	132	139	10	7,8
26. Фон 3 + NP	142	134	130	135	6	4,7
27. Фон 3 + навоз	181	164	150	165	36	27,9
28. Фон 3 + навоз + NP	196	164	146	169	40	31
29. Фон 3 + солома	171	156	142	156	27	20,9
30. Фон 3 + солома + NP	185	178	151	171	42	32,6
31. Фон 3 + сидераты	162	150	139	150	21	16,3
32. Фон 3 + сидераты + NP	164	146	136	149	20	15,5
$НСР_{05}$	12	16	13			

Приложение 24

Запасы питательных веществ и влаги в чернозёме выщелоченном (Опытное поле Курганской ГСХА, 2014-2016 гг.)

Глубина, см	Питательные вещества, кг/га			Влага, мм		Питательные вещества, кг/га			Влага, мм		Питательные вещества, кг/га			Влага, мм	
	$N\text{-}NO_3$	P_2O_5	K_2O	общая	дост.	$N\text{-}NO_3$	P_2O_5	K_2O	общая	дост.	$N\text{-}NO_3$	P_2O_5	K_2O	общая	дост.
2014 год (яр. пшеница)															
	29 мая (до посева)					12 июля (фаза колошения)					5 сентября (фаза восковой спелости)				
0-20	35,8	168	298	30,7	11.8	11,7	156	287	25,0	9,2	10,1	160	301	25,1	11,0
20-40	21,8	135	232	28,6	8,6	9,9	134	241	22,2	7,4	9,0	139	252	18,3	0,6
40-60	17,5	-	-	26,9	3,2	6,1	-	-	23,1	3,6	6,7	-	-	21,0	0,8
60-80	15,7	-	-	27,2	9,2	2,0	-	-	21,2	4,0	4,9	-	-	21,3	2,3
80-100	12,1	-	-	20,8	5,0	-	-	-	17,8	2,0	3,6	-	-	16,9	0,2
0-40	57,6	303	530	59,3	20,0	21,6	290	528	47,2	16,6	19,1	299	553	43,4	11,6
0-100	102,9	-	-	134,2	37,8	29,7	-	-	109,3	26,2	39,2	-	-	102,6	14,9
2015 год (яр. пшеница)															
	1 июня (до посева)					14 июля (фаза колошения)					7 сентября (фаза восковой спелости)				
0-20	26,4	165	292	36,5	16,7	16,5	148	279	30,2	15,1	17,6	152	285	39,9	21,2
20-40	21,0	149	269	31,2	11,1	15,4	129	259	31,2	15,8	16,1	139	263	38,2	19,3
40-60	19,2	-	-	30,3	10,5	12,1	-	-	25,9	12,0	13,9	-	-	33,0	13,7
60-80	15,3	-	-	32,0	13,2	9,9	-	-	26,8	12,8	12,5	-	-	28,9	9,9
80-100	11,4	-	-	31,2	14,1	9,1	-	-	26,9	12,9	7,8	-	-	27,1	8,1
0-40	47,4	314	561	67,7	27,8	31,9	277	538	61,4	30,9	33,7	291	548	78,1	40,5
0-100	93,3	-	-	161,2	65,6	63,0	-	-	141,0	68,6	67,9	-	-	167,1	72,2
2016 год (яр. ячмень)															
	26 мая (до посева)					12 июля (фаза цветения)					27 августа (после уборки)				
0-20	18,3	157	275	26,9	8,5	11,2	137	264	36,0	17,0	11,0	139	279	16,6	-
20-40	16,6	141	273	28,2	9,6	9,6	122	249	37,8	17,6	8,2	124	266	15,2	-
40-60	12,2	-	-	26,3	8,1	8,4	-	-	31,2	11,2	6,3	-	-	17,9	0,3
60-80	8,9	-	-	29,5	10,8	6,7	-	-	29,6	7,6	5,0	-	-	17,6	0,2
80-100	9,9	-	-	27,1	9,6	2,1	-	-	25,3	5,3	сл.	-	-	14,9	-
0-40	34,9	298	548	55,1	18,1	20,8	259	513	73,8	34,6	19,2	263	545	31,8	-
0-100	65,9	-	-	138,0	46,6	38,0	-	-	159,9	58,7	30,5	-	-	82,2	0,5

Приложение 25

Влияние различных систем удобрений на физико-химические свойства чернозёма выщелоченного после ротации зернопарового севооборота, 0-25 см

Вариант	мг-экв. / 100 г почвы				V, %	$pH_в$	$pH_{сол}$
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^+	ЕКО			
1 Контроль (без удобрений)	14,4	4,8	5,4	24,6	78,0	5,75	5,08
2. P_{40}	14,2	4,9	5,5	24,6	77,6	5,80	5,00
3. P_{80}	14,2	4,9	5,5	24,6	77,6	5,80	5,04
4. $N_{40}K_{40}$	14,1	4,9	5,6	24,6	77,2	5,65	4,95
5. $N_{40}P_{40}K_{40}$	14,1	4,8	5,6	24,5	77,1	5,67	4,92
6. $N_{40}P_{80}K_{40}$	14,1	4,8	5,6	24,5	77,1	5,74	4,96
$НСР_{05}$	0,2	0,1	0,1	-	-	0,08	0,07

Приложение 26

Изменение структурно-агрегатного состава чернозёма выщелоченного при использовании органических удобрений в зернопаровых севооборотах

Варианты	Размер фракции, мм									$К_{СТР}$
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	
1 Без удобрений (контроль)	29,4	10,5	8,2	11,3	7,4	13,8	3,3	6	10,1	1,53
2 Навоз, 40 т/га	21,1	8,1	8,5	14,5	10,6	17,6	3,5	8,8	7,3	2,52
3 Солома, 5 т/га	26,7	9,6	9	11,2	8,5	16,1	3,7	5,5	9,7	1,75
4 Сидераты	24,9	8,9	8,8	13,4	8,9	16,7	3,6	6,5	8,3	2,01
5 Сапропель 20 т/га	27	10,6	9,5	11,4	7,8	14,7	3,7	5,8	9,5	1,74
6 Гусиный помет, 10 т/га	27,2	10,1	8,7	11,9	7,8	14,9	3,9	6,1	9,4	1,73

Приложение 27

Баланс элементов питания растений и разностные коэффициенты использования питательных элементов за ротацию севооборота (2001-2003 гг.)

Вариант	Вынос, кг/га				Поступление, кг/га				Баланс ±, кг/га				Коэффициент использования, %			
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	N	P_2O_5	K_2O	CaO	N	P_2O_5	K_2O	CaO	N	P_2O_5	K_2O	CaO
1. Без удобрений (контроль)	173	68	177	62	–	–	–	–	-173	-68	-177	-62	–	–	–	–
2. $N_{175}P_{140}$*	250	97	260	85	175	140	–	72	-75	43	-260	-13	44	21	–	32
3. Навоз 40 т/га	208	85	221	70	200	100	240	160	-8	15	19	90	18	17	18	5
4. Навоз + NP	285	112	286	89	375	240	240	232	90	128	-46	143	30	18	45	12
5. Известь 3 т/га – $фон_1$	199	81	215	69	–	–	–	1410	-199	-81	-215	1341	–	–	–	0,5
6. $Фон_1$ + NP	273	106	263	85	175	140	–	1482	-98	34	-263	1397	57	27	–	2
7. $Фон_1$ + навоз	236	93	251	80	200	100	240	1570	-36	7	-11	1490	32	25	31	1
8. $Фон_1$ + навоз + NP	331	127	332	110	375	240	240	1642	44	113	-92	1532	42	25	65	3
9. Фосфоритная мука 1 т/га – $фон_2$	201	80	215	68	–	250	–	100	-201	170	-215	32	–	5	–	6
10. $Фон_2$ +NP	268	103	266	85	175	390	–	172	-93	287	-266	87	54	9	–	13
11. $Фон_2$ + навоз	237	97	255	84	200	350	240	260	-37	253	-15	176	32	8	33	8
12. $Фон_2$ + навоз +NP	324	124	324	106	375	490	240	332	51	366	-84	226	40	11	61	13
13. Гипс 3 т/га – $фон_3$	197	79	212	69	–	–	–	720	-197	-79	-212	651	–	–	–	1
14. $Фон_3$ + NP	272	104	274	89	175	140	–	792	-97	36	-274	703	57	26	–	3
15. $Фон_3$ + навоз	253	98	266	84	200	100	240	880	-35	2	-26	796	40	30	37	3
16. $Фон_3$ + навоз + NP	330	121	327	104	375	240	240	952	45	119	-87	848	42	22	63	4

Приложение 28

Баланс элементов питания в зернопаровом севообороте (2010-2012 гг.)

Вариант	Вынос зерном всего, кг/га			Вынос всего соломой, кг/га			Всего вынос, кг/га			Поступление с удобрениями			Баланс			КИУ	
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P
1. Контроль (без удобр.)	117,4	47,2	40,3	59,4	14,3	97,2	176,8	61,6	137,5				-176,8	-61,6	-137,5		
2. N_{30}	138,5	49,2	45,9	62,8	13,6	117,1	201,4	62,7	163,1	90,0			-111,4	-62,7	-163,1	0,273	
3. N_{60}	151,7	49,6	45,0	71,1	15,9	105,3	222,8	65,5	150,3	180,0			-42,8	-65,5	-150,3	0,256	
4. P_{20}	128,6	52,6	45,4	52,8	16,4	119,3	181,4	69,0	164,8		60,0		-181,4	-9,0	-164,8		0,124
5. P_{40}	138,8	54,5	48,0	69,5	17,1	122,3	208,4	71,5	170,4		120,0		-208,4	48,5	-170,4		0,083
6. $N_{30}P_{20}$	143,9	50,7	45,7	70,4	17,3	118,7	214,3	68,0	164,3	90,0	60,0		-124,3	-8,0	-164,3	0,417	0,108
7. $N_{30}P_{40}$	158,0	54,8	41,8	66,8	20,4	108,7	224,8	75,2	150,5	90,0	120,0		-134,8	44,8	-150,5	0,533	0,114
8. $N_{60}P_{20}$	157,5	54,4	45,8	91,5	22,9	115,2	249,0	77,3	161,0	180,0	60,0		-69,0	-17,3	-161,0	0,401	0,263
9. $N_{60}P_{40}$	166,4	53,4	44,5	83,4	20,8	124,0	249,8	74,1	168,5	180,0	120,0		-69,8	45,9	-168,5	0,406	0,105
10. $Фон_1$ – 20 кг/га	143,1	47,3	42,7	66,7	17,5	116,5	209,8	64,7	159,2			4	-209,8	-64,7	-155,2		
11. $Фон_1 + N_{30}$	159,2	54,7	53,4	79,7	21,9	153,3	238,9	76,5	206,7	90,0		4	-148,9	-76,5	-202,7	0,417	
12. $Фон_1 + N_{60}$	167,0	60,6	56,0	96,3	20,5	141,7	263,3	81,2	197,6	180,0		4	-83,3	-81,2	-193,6	0,481	
13. $Фон_1 + P_{20}$	147,7	58,4	49,3	83,8	21,7	128,1	231,5	80,1	177,4		60,0	4	-231,5	-20,1	-173,4		0,309
14. $Фон_1 + P_{40}$	161,1	60,9	56,8	76,2	18,0	132,1	237,2	79,0	188,9		120,0	4	-237,2	41,0	-184,9		0,145
15. $Фон_1 + N_{30}P_{20}$	150,0	58,2	49,1	69,8	19,2	122,9	219,8	77,4	172,1	90,0	60,0	4	-129,8	-17,4	-168,1	0,478	0,263
16. $Фон_1 + N_{30}P_{40}$	167,4	59,1	48,8	76,7	19,5	108,9	244,0	78,6	157,7	90,0	120,0	4	-154,0	41,4	-153,7	0,748	0,142
17. $Фон_1 + N_{60}P_{20}$	178,2	59,4	56,8	85,9	20,6	149,4	264,1	80,0	206,2	180,0	60,0	4	-84,1	-20,0	-202,2	0,485	0,308
18. $Фон_1 + N_{60}P_{40}$	175,0	58,8	52,5	88,4	24,8	129,5	263,4	83,6	182,1	180,0	120,0	4	-83,4	36,4	-178,1	0,481	0,184
19. $Фон_2$ + 40 кг/га	135,2	51,1	40,6	73,1	19,6	102,0	208,3	70,8	142,6			8	-208,3	-70,8	-134,6		
20. $Фон_2 + N_{30}$	150,4	58,0	56,0	82,7	17,4	152,6	233,1	75,4	208,7	90,0		8	-143,1	-75,4	-200,7	0,626	
21. $Фон_2 + N_{60}$	154,8	58,1	54,0	82,0	17,2	151,4	236,8	75,3	205,4	180,0		8	-56,8	-75,3	-197,4	0,333	
22. $Фон_2 + P_{20}$	146,7	70,7	56,3	61,9	26,5	152,3	208,6	97,2	208,6		60,0	8	-208,6	-37,2	-200,6		0,594
23. $Фон_2 + P_{40}$	157,7	65,6	59,7	74,9	30,6	145,1	232,6	96,2	204,7		120,0	8	-232,6	23,8	-196,7		0,289
24. $Фон_2 + N_{30}P_{20}$	171,2	57,9	56,6	69,1	26,9	163,4	240,2	84,8	220,1	90,0	60,0	8	-150,2	-24,8	-212,1	0,705	0,387
25. $Фон_2 + N_{30}P_{40}$	176,1	58,5	55,5	71,0	25,4	159,9	247,1	83,9	215,3	90,0	120,0	8	-157,1	36,1	-207,3	0,781	0,186
26. $Фон_2 + N_{60}P_{20}$	169,8	57,7	52,8	83,6	27,2	143,1	253,4	84,9	195,9	180,0	60,0	8	-73,4	-24,9	-187,9	0,426	0,389
27. $Фон_2 + N_{60}P_{40}$	178,5	58,6	56,1	76,8	22,8	122,4	255,3	81,4	178,5	180,0	120,0	8	-75,3	38,6	-170,5	0,436	0,165

Приложение 29

Баланс азота в севообороте и коэффициент использования из удобрений (разностный метод) (2012-2014 гг.)

Вариант	Вынос				Внесено за 3 года	Баланс	КИУ, %
	2012	2013	2014	всего			
	кг/га						
1. Контроль (без удобрений)	39,5	58,6	62,4	160,5	–	-160,5	–
2. N_{40}	47,1	72,8	92,6	212,5	120,0	-92,5	43,3
3. N_{80}	44,4	83,2	88,8	216,4	240,0	23,6	23,3
4. P_{40} (в запас на 3 года всего P_{120})	47,8	68,8	72,5	189,1	–	-189,1	–
5. $N_{40}P_{40}$	47,9	78,5	96,0	222,4	120,0	-102,4	51,6
6. $N_{80}P_{40}$	41,9	83,9	90,5	216,3	240,0	23,7	23,2
7. Фосфогипс 0,5 т/га – фон 1	39,7	59,9	71,8	171,4	–	-171,4	–
8. Фон 1 +N_{40}	44,4	80,2	89,3	213,9	120,0	-93,9	44,5
9. Фон 1 +N_{80}	44,3	78,8	98,0	221,1	240,0	18,9	25,3
10. Фон 1 +P_{40}	42,9	65,3	69,3	177,5	–	-177,5	–
11. Фон 1 +$N_{40}P_{40}$	45,2	78,9	93,8	217,9	120,0	-97,9	47,8
12. Фон 1 +$N_{80}P_{40}$	46,0	85,0	103,8	234,8	240,0	5,2	31,0
13. Фосфогипс 1,0 т/га – фон 2	45,4	59,3	78,4	183,1	–	-183,1	–
14. Фон 2 +N_{40}	43,4	78,4	91,4	213,2	120,0	-93,2	43,9
15. Фон 2 +N_{80}	47,2	77,9	95,8	220,9	240,0	19,1	25,2
16. Фон 2 +P_{40}	46,0	67,9	84,3	198,2	–	-198,2	–
17. Фон 2 +$N_{40}P_{40}$	50,0	84,7	100,7	235,4	120,0	-115,4	62,4
18. Фон 2 +$N_{80}P_{40}$	47,2	81,3	97,7	226,2	240,0	13,8	27,4

Приложение 30

Вынос и баланс фосфора в зернопаровом севообороте (2012-2014 гг.)

Вариант	Вынос фосфора, кг/га				Внесено P_2O_5 за 3 года	Баланс, кг/га	Интенсивность баланса, %
	2012 год	2013 год	2014 год	вынос всего			
1. Контроль (без удобрений)	8,1	15,8	22,4	46,3	–	-46,3	–
2. N_{40}	9,8	19,2	24,6	53,6	–	-53,6	–
3. N_{80}	9,2	18,1	26,5	53,8	–	-53,8	–
4. P_{40} (в запас на 3 года всего P_{120})	8,6	21,3	24,1	54,0	120,0	66,0	222
5. $N_{40}P_{40}$	9,2	20,4	29,2	58,8	120,0	61,2	204
6. $N_{80}P_{40}$	8,3	21,5	28,3	58,1	120,0	61,9	207
7. Фосфогипс 0,5 т/га – фон 1	7,9	16,7	26,1	50,7	10,0	-40,7	20
8. Фон 1 +N_{40}	8,1	19,3	32,8	60,2	10,0	-50,2	17
9. Фон 1 +N_{80}	8,6	19,3	31,1	59,0	10,0	-49,0	17
10. Фон 1 +P_{40}	8,8	18,0	26,3	53,1	130,0	76,9	245
11. Фон 1 +$N_{40}P_{40}$	9,8	19,6	29,8	59,2	130,0	70,8	220
12. Фон 1 +$N_{80}P_{40}$	9,7	20,1	30,9	60,7	130,0	69,3	214
13. Фосфогипс 1,0 т/га – фон 2	10,5	17,1	25,5	53,1	20,0	-33,1	38
14. Фон 2 +N_{40}	8,1	20,6	30,5	59,2	20,0	-39,2	34
15. Фон 2 +N_{80}	8,7	18,0	29,4	56,1	20,0	-36,1	36
16. Фон 2 +P_{40}	8,3	17,7	33,5	59,5	140,0	80,5	235
17. Фон 2 +$N_{40}P_{40}$	8,4	18,7	33,5	60,6	140,0	79,4	231
18. Фон 2 +$N_{80}P_{40}$	8,9	19,1	31,6	59,6	140,0	80,4	235

Приложение 31

Вынос и поступление элементов питания растений за ротацию севооборота (2017-2019 гг.)

Вариант	Поступление с удобрениями, кг/га			Суммарный вынос за ротацию, кг/га		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1. Контроль (без удобрений)	-	-	-	104,4	52,0	118,2
2. $N_{20}P_{20}$	60,0	60,0	-	124,0	62,7	132,0
3. $N_{40}P_{40}$	120,0	120,0	-	131,2	68,0	137,1
4. Гусиный помет, 5 т/га	60,2	28,5	20,6	130,6	62,5	132,9
5. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{20}P_{20}$	120,2	88,5	20,6	150,2	71,3	141,8
6. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{40}P_{40}$	180,2	148,5	20,6	166,0	78,6	151,2
7. Гусиный помет, 10 т/га	120,4	57,0	41,2	153,8	69,3	149,4
8. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{20}P_{20}$	180,4	117,0	41,2	174,2	82,4	161,6
9. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{40}P_{40}$	240,4	177,0	41,2	165,7	78,3	161,0

Приложение 32

Вынос макроэлементов 1 т основной продукции с учетом побочной в зависимости от применяемых удобрений (2010-2012 гг.)

Вариант	Пшеница, среднее			Ячмень		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1 Без удобрений (контроль)	31,9	10,3	24,4	36,6	16,0	30,1
2. N_{30}	33,1	9,6	26,7	40,3	15,3	33,2
3. N_{60}	36,3	9,8	23,4	40,0	15,6	31,9
4. P_{20}	29,3	10,3	25,3	34,7	16,7	36,7
5. P_{40}	33,0	10,1	26,7	38,3	17,9	32,5
6. $N_{30}P_{20}$	34,5	9,8	24,7	36,4	16,2	34,7
7. $N_{30}P_{40}$	36,4	11,4	22,0	37,1	15,9	35,0
8. $N_{60}P_{20}$	39,0	11,3	25,4	43,6	16,9	27,3
9. $N_{60}P_{40}$	39,9	11,0	24,1	42,8	16,4	40,8
10. Гидрогель-20 кг/га– фон 1	36,4	9,8	25,6	37,5	17,2	36,1
11. фон 1 + N_{30}	38,8	11,1	31,0	38,0	17,4	42,7
12. фон 1 + N_{60}	39,1	10,7	29,1	45,6	19,8	35,0
13. фон 1 + P_{20}	37,0	11,2	28,1	38,7	19,6	30,7
14. фон 1 + P_{40}	34,2	10,2	25,8	35,6	16,7	34,1
15. фон 1 + $N_{30}P_{20}$	33,6	10,3	24,7	35,0	17,9	33,2
16. фон 1 + $N_{30}P_{40}$	34,6	9,9	21,5	41,9	18,4	30,5
17. фон 1 + $N_{60}P_{20}$	37,5	10,3	28,7	41,8	17,4	35,0
18. фон 1+ $N_{60}P_{40}$	37,7	11,0	26,0	42,1	17,5	29,4
19. Гидрогель-40 кг/га– фон 2	34,6	10,4	23,2	45,7	20,5	32,9
20. фон 2 + N_{30}	35,2	10,3	32,1	41,8	18,1	35,0
21. фон 2 + N_{60}	38,0	10,5	32,3	36,4	18,0	34,4
22. фон 2 + P_{20}	32,0	12,1	28,9	33,2	26,0	44,7
23. фон 2 + P_{40}	34,7	13,4	29,5	35,8	18,1	35,2
24. фон 2 + $N_{30}P_{20}$	34,5	10,9	30,6	37,3	17,9	37,9
25. фон 2 + $N_{30}P_{40}$	37,9	11,9	30,3	36,5	15,9	42,1
26. фон 2 + $N_{60}P_{20}$	36,8	12,0	28,3	44,6	16,4	34,9
27. фон 2 + $N_{60}P_{40}$	37,5	10,9	27,0	39,6	16,5	24,9

Приложение 33

Урожайность яровой пшеницы в зернопаровом севообороте, т/га (Опытное поле КГСХА, 2001 г.)

Удобрение		Мелиоранты (С)				Среднее по удобрениям
органическое (А)	минеральное (В)	Контроль	Известь	Фосф. мука	Гипс	
0	0	2,51	2,82	3,06	3,11	2,87
	NP	2,87	3,18	3,26	3,49	3,20
	Среднее без учета минер. уд.	2,69	3,00	3,16	3,30	3,03
Навоз	0	2,87	3,08	3,28	3,68	3,23
	NP	3,39	3,35	3,46	3,95	3,54
	Среднее без учета минер. уд.	3,13	3,22	3,37	3,82	3,39
Среднее по мелиорантам без учета действия удобрений		2,91	3,11	3,27	3,56	

	Sx	Sd	$НСР_{0,95}$
Для частных различий	0,11	0,15	0,31
Для фактора А	0,04	0,05	0,11
Для фактора В	0,04	0,05	0,11
Для фактора С	0,05	0,08	0,15

Таблица анализа средних показателей по факторам А, В, С

Варианты опыта	Фактор А		Фактор В		Фактор С	+/- к контролю
	0	Навоз	0	NP		
Контроль	3,03	3,39	3,05	3,37	2,91	–
Известь					3,11	0,20
Фосф. мука					3,27	0,36
Гипс					3,56	0,65

$НСР_{0,05}$ по фактору А 0,11 т/га по фактору В 0,11 т/га по фактору С 0,15 т/га

Приложение 34

Урожайность яровой пшеницы в зернопаровом севообороте, т/га (Опытное поле КГСХА, 2002 г.)

Удобрение		Мелиоранты (С)				Среднее по удобрениям
органическое (А)	минеральное (В)	Контроль	Известь	Фосф. мука	Гипс	
0	0	1,73	2,08	1,83	1,89	1,88
	NP	2,61	2,77	2,73	2,79	2,73
	Среднее без учета минер. уд.	2,17	2,43	2,28	2,34	2,30
Навоз	0	2,22	2,40	2,50	2,63	2,44
	NP	2,80	3,55	3,16	3,27	3,20
	Среднее без учета минер. уд.	2,51	2,98	2,83	2,95	2,82
Среднее по мелиорантам без учета действия удобрений		2,34	2,71	2,56	2,65	

	Sx	Sd	$НСР_{0,95}$
Для частных различий	0,10	0,14	0,29
Для фактора А	0,04	0,05	0,10
Для фактора В	0,04	0,05	0,10
Для фактора С	0,05	0,07	0,15

Таблица анализа средних показателей по факторам А, В, С

Варианты опыта	Фактор А		Фактор В		Фактор С	+/- к контролю
	0	Навоз	0	NP		
Контроль	2,30	2,82	2,16	2,97	2,34	–
Известь					2,71	0,37
Фосф. мука					2,56	0,22
Гипс					2,65	0,31

$НСР_{0,05}$ по фактору А 0,10 т/га по фактору В 0,10 т/га по фактору С 0,15 т/га

Приложение 35

Урожайность ярового ячменя в зернопаровом севообороте, т/га (Опытное поле КГСХА, 2003 г.)

Удобрение		Мелиоранты (С)				Среднее по удобрениям
органическое (А)	минеральное (В)	Контроль	Известь	Фосф. мука	Гипс	
0	0	2,08	2,41	2,31	2,12	2,23
	NP	2,94	3,82	3,70	3,26	3,43
	Среднее без учета минер. уд.	2,51	3,12	2,71	2,69	2,83
Навоз	0	2,33	2,70	2,58	2,44	2,51
	NP	3,94	4,85	4,77	3,98	4,39
	Среднее без учета минер. уд.	3,13	3,78	3,68	3,21	3,45
Среднее по мелиорантам без учета действия удобрений		2,82	3,45	3,20	2,95	

	Sx	Sd	$НСР_{0,95}$
Для частных различий	0,09	0,12	0,25
Для фактора А	0,03	0,04	0,09
Для фактора В	0,03	0,04	0,09
Для фактора С	0,04	0,06	0,12
Для взаимодействия АВ	0,04	0,06	0,12
Для взаимодействия ВС	0,06	0,09	0,18

Таблица анализа средних показателей по факторам А, В, С

Варианты опыта	Фактор А		Фактор В		Фактор С	+/- к контролю
	0	Навоз	0	NP		
Контроль	2,83	3,45	2,37	3,91	2,82	–
Известь					3,45	0,63
Фосф. мука					3,20	0,38
Гипс					2,95	0,13

$НСР_{0,05}$ по фактору А 0,09 т/га по фактору В 0,09 т/га по фактору С 0,12 т/га

Приложение 36

Урожайность яровой пшеницы в зернопаровом севообороте, т/га (Опытное поле КГСХА, 2002)

Удобрения		Мелиоранты (С)				Среднее по органическим удобрениям
Минеральные (А)	Органические (В)	Контроль	Известь	Фосф. мука	Гипс	
0	0	2,87	3,00	3,11	3,27	3,06
	Навоз	3,08	3,69	3,50	3,30	3,39
	Солома	2,57	2,79	2,85	2,77	2,75
	Сидераты	2,92	2,96	3,03	3,12	3,01
	среднее без учёта орган. уд.	2,86	3,11	3,12	3,12	3,05
$N_{35}P_{50}$	0	3,24	3,56	3,38	3,72	3,47
	Навоз	3,55	4,16	3,76	3,93	3,85
	Солома	3,20	3,21	3,24	3,33	3,25
	Сидераты	3,25	3,25	3,38	3,54	3,36
	среднее без учёта орган. уд.	3,31	3,55	3,44	3,63	3,48
Среднее по мелиорантам без учета действия удобрений		3,08	3,33	3,28	3,38	

	Sx	Sd	$НСР_{0,95}$
Для частных различий	0,08	0,11	0,23
Для фактора А	0,02	0,03	0,07
Для фактора В	0,03	0,04	0,08
Для фактора С	0,03	0,05	0,09
Для взаимодействия ВС	0,06	0,08	0,16

Таблица анализа средних показателей по факторам А, В, С

Варианты опыта	Фактор А		Фактор В				Фактор С	+/- к контролю
	0	$N_{35}P_{50}$	0	Навоз	Солома	Сидераты		
Контроль	3,05	3,48	3,26	3,62	3,00	3,19	3,08	-
Известь							3,33	0,25
Фосф. мука							3,28	0,20
Гипс							3,38	0,30

$НСР_{0,05}$ по фактору А 0,07 т/га по фактору В 0,08т/га по фактору С 0,09 т/га

Приложение 37

Урожайность яровой пшеницы в зернопаровом севообороте, т/га (Опытное поле КГСХА, 2003)

Удобрения		Мелиоранты (С)				Среднее по органическим удобрениям
минеральные (А)	органические (В)	Контроль	Известь	Фосф. мука	Гипс	
0	0	1,22	1,38	1,39	1,30	1,32
	Навоз	1,43	1,74	1,54	1,51	1,56
	Солома	1,44	1,63	1,62	1,57	1,57
	Сидераты	1,55	1,62	1,65	1,59	1,60
	среднее без учёта орган. уд.	1,41	1,59	1,55	1,49	1,51
$N_{70}P_{50}$	0	1,83	1,99	2,11	1,93	1,96
	Навоз	2,18	2,54	2,44	2,20	2,34
	Солома	2,11	2,42	2,42	2,30	2,31
	Сидераты	2,23	2,49	2,38	2,24	2,34
	среднее без учёта орган. уд.	2,09	2,36	2,34	2,17	2,24
Среднее по мелиорантам без учета действия удобрений		1,75	1,98	1,95	1,83	

	Sx	Sd	$НСР_{0,95}$
Для частных различий	0,07	0,10	0,20
Для фактора А	0,02	0,03	0,06
Для фактора В	0,03	0,04	0,07
Для фактора С	0,03	0,04	0,08

Таблица анализа средних показателей по факторам А, В, С

Варианты опыта	Фактор А		Фактор В				Фактор С	+/- к контролю
	0	$N_{70}P_{50}$	0	Навоз	Солома	Сидераты		
Контроль	1,51	2,24	1,64	1,95	1,94	1,97	1,75	–
Известь							1,98	0,23
Фосф. мука							1,95	0,20
Гипс							1,83	0,08

$НСР_{0,05}$ по фактору А 0,06 т/га по фактору В 0,07т/га по фактору С 0,08 т/га

Приложение 38

Урожайность ярового ячменя в зернопаровом севообороте, т/га (Опытное поле КГСХА, 2004)

Удобрения		Мелиоранты (С)				Среднее по органическим удобрениям
Минеральные (А)	Органические (В)	Контроль	Известь	Фосф. мука	Гипс	
0	0	1,27	1,38	1,53	1,33	1,38
	Навоз	1,35	1,67	1,66	1,37	1,51
	Солома	1,29	1,57	1,59	1,42	1,47
	Сидераты	1,28	1,53	1,59	1,45	1,46
	среднее без учёта орган. уд.	1,30	1,54	1,59	1,39	1,45
$N_{70}P_{40}$	0	1,75	2,05	1,96	1,89	1,91
	Навоз	1,84	2,10	1,98	1,93	1,96
	Солома	1,83	2,10	2,00	2,06	2,00
	Сидераты	1,82	2,07	1,98	1,93	1,95
	среднее без учёта орган. уд.	1,81	2,08	1,98	1,95	1,96
Среднее по мелиорантам без учета действия удобрений		1,55	1,81	1,79	1,67	

	Sx	Sd	$НСР_{0,95}$
Для частных различий	0,07	0,11	0,21
Для фактора А	0,02	0,03	0,06
Для фактора В	0,03	0,04	0,07
Для фактора С	0,03	0,04	0,09

Таблица анализа средних показателей по факторам А, В, С

Варианты опыта	Фактор А		Фактор В				Фактор С	+/- к контролю
	0	$N_{70}P_{40}$	0	Навоз	Солома	Сидераты		
Контроль	1,45	1,96	1,64	1,74	1,74	1,71	1,55	–
Известь							1,81	0,26
Фосф. мука							1,79	0,24
Гипс							1,67	0,12

$НСР_{0,05}$ по фактору А 0,06 т/га по фактору В 0,07т/га по фактору С 0,09 т/га

Приложение 39

Продуктивность севооборота (Опытное поле КГСХА, 2010-2012 гг.)

Вариант	2010 г.		2011 г.		2012 г.		суммарная продуктив-ность севооборота	
	т/га	откл.	т/га	откл.	т/га	откл.	т/га	откл.
1.Контроль (без удобр.)	1,62	–	2,67	-	1,09		5,38	-
2. N_{30}	1,77	0,15	2,89	0,22	1,17	0,08	5,83	0,45
3. N_{60}	1,90	0,28	3,00	0,33	1,12	0,03	6,02	0,64
4. P_{20}	1,85	0,23	2,97	0,30	1,16	0,07	5,98	0,60
5. P_{40}	1,88	0,26	3,03	0,36	1,21	0,12	6,12	0,74
6. $N_{30}P_{20}$	1,79	0,17	3,10	0,43	1,25	0,16	6,14	0,76
7. $N_{30}P_{40}$	1,81	0,19	3,17	0,20	1,17	0,08	6,15	0,77
8. $N_{60}P_{20}$	1,94	0,32	3,12	0,45	1,18	0,09	6,24	0,86
9. $N_{60}P_{40}$	1,84	0,22	3,14	0,47	1,19	0,10	6,17	0,79
10. Гидрогель 20 кг/га ($фон_2$)	1,84	0,22	2,71	0,04	1,18	0,09	5,73	0,35
11. $Фон_2+N_{30}$	1,85	0,23	3,06	0,39	1,27	0,18	6,18	0,80
12. $Фон_2+N_{60}$	2,03	0,41	3,26	0,59	1,24	0,15	6,53	1,15
13. $Фон_2+ P_{20}$	1,91	0,29	3,00	0,33	1,28	0,19	6,19	0,81
14. $Фон_2+ P_{40}$	2,38	0,76	3,14	0,47	1,36	0,27	6,88	1,50
15. $Фон_2+ N_{30}P_{20}$	2,01	0,39	3,11	0,44	1,37	0,28	6,49	1,11
16. $Фон_2+ N_{30}P_{40}$	2,22	0,60	3,18	0,51	1,36	0,27	6,76	1,38
17. $Фон_2+ N_{60}P_{20}$	2,17	0,55	3,42	0,75	1,30	0,21	6,89	1,51
18. $Фон_2+N_{60}P_{40}$	2,13	0,51	3,38	0,71	1,32	0,23	6,83	1,45
19. Гидрогель 40 кг/га ($фон_3$)	1,74	0,12	2,70	0,03	1,20	0,11	5,64	0,26
20. $Фон_3+N_{30}$	2,06	0,44	3,08	0,41	1,25	0,16	6,39	1,01
21. $Фон_3+N_{60}$	1,85	0,23	3,16	0,49	1,27	0,18	6,28	0,90
22. $Фон_3+ P_{20}$	2,02	0,40	3,08	0,41	1,37	0,28	6,47	1,09
23. $Фон_3+ P_{40}$	1,98	0,36	3,17	0,50	1,50	0,41	6,65	1,27
24. $Фон_3+ N_{30}P_{20}$	1,98	0,36	3,43	0,76	1,44	0,35	6,85	1,47
25. $Фон_3+ N_{30}P_{40}$	1,81	0,19	3,36	0,69	1,40	0,31	6,57	1,19
26. $Фон_3+ N_{60}P_{20}$	1,99	0,37	3,21	0,54	1,39	0,30	6,59	1,21
27. $Фон_3+N_{60}P_{40}$	2,08	0,46	3,26	0,59	1,39	0,30	6,73	1,35
Для частных различий		0,25		0,26		0,12		
Для фактора А (гидрогель)		0,08		0,09		0,04		
Для фактора В (азотн. удобрений)		Fф< Fт		0,09		Fф< Fт		
Для фактора С (фосф. удобрений)		0,08		0,09		0,04		
Для взаимодействия АВ		Fф< Fт		0,15		Fф< Fт		
Для взаимодействия АС		0,14		Fф< Fт		Fф< Fт		
Для взаимодействия ВС		0,14		Fф< Fт		0,07		

Приложение 40

Регрессионная зависимость урожайности зерновых культур (Y) в т/га от доз гидрогеля (Г) в кг/га, азотных (N) и фосфорных (Р) удобрений в кг д.в./га (Курганская ГСХА.)

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической урожайностью Y
2010 г. (пшеница по пару)		
Линейная парная	$Y = 0.003083Г + 1,88$	0,31
	$Y = 0.001315N + 1,90$	0,20
	$Y = 0.004083Р + 1,86$	0,43
Нелинейная парная	$Y = 1,822 + 0.0207Г – 0.00044Г^2$	0,60
	$Y = 1,913 - 0.000722N + 0.000034N^2$	0,22
	$Y = 1,851 + 0.00703Р – 0.000074Р^2$	0,42
Линейная множественная	$Y = 1,759815 + 0,004083Р + 0,003083Г + 0,001315N$	0,56
Нелинейная множественная	$Y = 1,723482 + 0,025719Г^{0,5} + 0,025644Р^{0,5} + 0,000023N^2$	0,64
	$Y = 1,622305 – 0.018175Г + 0,132837Г^{0,5} +0.003774N + 0.003001N^{0.5} + 0.000529Р + 0,04109Р^{0,5} – 0.000769(ГN)^{0,5} + 0.00139(ГР)^{0,5} - 0,005357(NР)^{0,5}$	0,83
	$Y = 1,623148 + 0.021403Г – 0,000441Г^2 + 0,001833N + 0.000034N^2 + 0.010319Р – 0.000074Р^2 – 0.000021ГN - 0,000004ГР – 0,000107NР$	0,82
2011 г. (пшеница по пшенице)		
Линейная парная	$Y = 0.003778Г + 3,03$	0,32
	$Y = 0.004593N + 2,97$	0,58
	$Y = 0.006389Р + 2,98$	0,53
Нелинейная парная	$Y = 3,01 + 0.00922Г – 0.000136Г^2$	0,34
	$Y = 2,941 + 0.00956N – 0.000083N^2$	0,60
	$Y = 2,948 + 0.0148Р – 0.000211Р^2$	0,57
Линейная множественная	$Y = 2,762593 + 0,006389Р + 0,004593N + 0,003778Г$	0,85
Нелинейная множественная	$Y = 2,704787 + 0,024849Г^{0,5} + 0,03616N^{0,5} + 0,041709Р^{0,5}$	0,89
	$Y = 2.631867 – 0.002794Г + 0,031659Г^{0,5} - 0.001398N + 0.06106N^{0.5} - 0.003804Р + 0,089554Р^{0,5} + 0.001933(ГN)^{0,5} + 0.000385(ГР)^{0,5} - 0,006005(NР)^{0,5}$	0,94
	$Y = 2.629815 + 0.008556Г – 0,000136Г^2 + 0,011806N - 0.000083N^2 + 0.018292Р – 0.000211Р^2 + 0.000013ГN + 0,000015ГР – 0,000125NР$	0,94
2012 г. (ячмень по пшенице)		
Линейная парная	$Y = 0,004639Г + 1,18$	0,74
	$Y = 0,000093N + 1,27$	0,02
	$Y = 0,003083Р + 1,21$	0,49
Нелинейная парная	$Y = 1,171 + 0.00803Г – 0.000085Г^2$	0,75
	$Y = 1,26111 + 0.00235N – 0.000038N^2$	0,16
	$Y = 1,199 + 0.00747Р – 0.00011Р^2$	0,53
Линейная множественная	$Y = 1,117963 + 0,004639Г + 0,003083Р + 0,000093N$	0,88
Нелинейная множественная	$Y = 1,089337 + 0,029151Г^{0,5} + 0,0020258Р^{0,5} + 0,001821N^{0,5}$	0,92
	$Y = 1,01871 + 0.000548Г + 0,016981Г^{0,5} - 0.002635N + 0.030097N^{0.5} - 0.002215Р + 0,032538Р^{0,5} - 0.000348(ГN)^{0,5} + 0.002896(ГР)^{0,5} - 0,002145(NР)^{0,5}$	0,97
	$Y = 1,080741 + 0.006653Г – 0,000085Г^2 + 0,003407N - 0.000038N^2 + 0.007264Р – 0.00011Р^2 - 0.000007ГN + 0,000079ГР – 0,000046NР$	0,97

Приложение 41

Результаты регрессионного анализа в опыте с полимерным гидрогелем и минеральными удобрениями

Регрессионный анализ линейной зависимости продуктивности севооборота Y от доз гидрогеля Г

ВЫВОД ИТОГОВ

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,476489
R-квадрат	0,227042
Нормированный R-квадрат	0,196124
Стандартная ошибка	0,360097
Наблюдения	27

Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	0,9522	0,9522	7,343277	0,011981771
Остаток	25	3,241741	0,12967		
Итого	26	4,193941			

	Коэффициенты	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 95,0%*	*Верхние 95,0%*
Y-пересечение	6,091481	0,109574	55,59243	1,01E-27	5,865809738	6,317153	5,86581	6,317153
Гидрогель, кг/га	0,0115	0,004244	2,709848	0,011982	0,002759771	0,02024	0,00276	0,02024

Регрессионный анализ линейной зависимости продуктивности севооборота Y от доз азота N

ВЫВОД ИТОГОВ

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,372904
R-квадрат	0,139058
Нормированный R-квадрат	0,10462
Стандартная ошибка	0,380039
Наблюдения	27

Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	0,5832	0,5832	4,037953	0,05539923
Остаток	25	3,610741	0,14443		
Итого	26	4,193941			

	Коэффициенты	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 95,0%*	*Верхние 95,0%*
Y-пересечение	6,141481	0,115642	53,10762	3,15E-27	5,903311953	6,379651	5,903312	6,379651
N, кг/га	0,006	0,002986	2,009466	0,055399	-0,000149511	0,01215	-0,00015	0,01215

Регрессионный анализ линейной зависимости продуктивности севооборота Y от доз фосфора P

ВЫВОД ИТОГОВ

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,561659
R-квадрат	0,31546
Нормированный R-квадрат	0,288079
Стандартная ошибка	0,338876
Наблюдения	27

Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	1,323022	1,323022	11,5209	0,002299539
Остаток	25	2,870919	0,114837		
Итого	26	4,193941			

	Коэффициенты	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 95,0%*	*Верхние 95,0%*
Y-пересечение	6,05037	0,103117	58,67504	2,65E-28	5,837997774	6,262743	5,837998	6,262743
P, кг/га	0,013556	0,003994	3,394245	0,0023	0,0053304	0,021781	0,00533	0,021781

Нелинейная парная регрессия продуктивности севооборота, т/га от доз гидрогеля, кг/га

N=27	Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet1) R= ,57191556 R?= ,32708740 Adjusted R?= ,27101135 F(2,24)=5,8329 p<,00862 Std.Error of estimate: ,34291					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(24)	p-value
Intercept			6,003333	0,114305	52,52050	0,000000
Г	1,57218	0,603734	0,037944	0,014571	2,60410	0,015559
V1**2	-1,14044	0,603734	-0,000661	0,000350	-1,88897	0,071039

Нелинейная парная регрессия продуктивности севооборота, т/га от доз азота, кг/га

N=27	Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet10) R= ,38433347 R?= ,14771222 Adjusted R?= ,07668824 F(2,24)=2,0798 p<,14690 Std.Error of estimate: ,38592					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(24)	p-value
Intercept			6,115556	0,128640	47,53993	0,000000
N	0,695168	0,679453	0,011185	0,010932	1,02313	0,316450
V2**2	-0,335422	0,679453	-0,000086	0,000175	-0,49367	0,626030

Нелинейная парная регрессия продуктивности севооборота, т/га от доз фосфора, кг/га

N=27	Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet10) R= ,59251531 R?= ,35107439 Adjusted R?= ,29699726 F(2,24)=6,4921 p<,00558 Std.Error of estimate: ,33675					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(24)	p-value
Intercept			5,997778	0,112249	53,43289	0,000000
P	1,215392	0,592876	0,029333	0,014309	2,05000	0,051442
V3**2	-0,680428	0,592876	-0,000394	0,000344	-1,14767	0,262415

Линейная множественная регрессия продуктивности севооборота, т/га от доз гидрогеля, азота и фосфора, кг/га

N=27	Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet10) R= ,82556647 R?= ,68155999 Adjusted R?= ,64002434 F(3,23)=16,409 p<,00001 Std.Error of estimate: ,24097					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(23)	p-value
Intercept			5,640370	0,108758	51,86174	0,000000
Г	0,476489	0,117666	0,011500	0,002840	4,04952	0,000497
N	0,372904	0,117666	0,006000	0,001893	3,16919	0,004282
P	0,561659	0,117666	0,013556	0,002840	4,77334	0,000082

Нелинейная множественная регрессия продуктивности севооборота, т/га от доз гидрогеля, азота и фосфора, кг/га

N=27	Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet10) R= ,88562449 R?= ,78433073 Adjusted R?= ,75619996 F(3,23)=27,882 p<,00000 Std.Error of estimate: ,19831					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(23)	p-value
Intercept			5,513945	0,097399	56,61196	0,000000
SQRV1	0,536989	0,096835	0,079719	0,014376	5,54543	0,000012
SQRV2	0,384315	0,096835	0,046584	0,011738	3,96878	0,000608
SQRV3	0,590149	0,096835	0,087611	0,014376	6,09440	0,000003

Нелинейная множественная регрессия продуктивности севооборота, т/га от доз гидрогеля, азота и фосфора, кг/га

N=27	Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet10) R= ,95952921 R?= ,92069631 Adjusted R?= ,87871201 F(9,17)=21,930 p<,00000 Std.Error of estimate: ,13987					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(17)	p-value
Intercept			5,332882	0,111416	47,86439	0,000000
Г	-0,846131	0,293654	-0,020421	0,007087	-2,88139	0,010363
N	-0,016102	0,293654	-0,000259	0,004725	-0,05483	0,956912
P	-0,227468	0,293654	-0,005490	0,007087	-0,77461	0,449209
$Г^{0,5}$	1,222435	0,321524	0,181478	0,047732	3,80200	0,001425
$N^{0,5}$	0,776789	0,321524	0,094158	0,038973	2,41596	0,027232
$P^{0,5}$	1,099192	0,321524	0,163182	0,047732	3,41869	0,003273
$(ГN)^{0,5}$	0,038665	0,147684	0,000816	0,003118	0,26181	0,796615
$(ГP)^{0,5}$	0,180623	0,147684	0,004671	0,003819	1,22304	0,237999
$(NP)^{0,5}$	-0,639699	0,147684	-0,013508	0,003118	-4,33155	0,000453

Нелинейная множественная регрессия продуктивности севооборота, т/га от доз гидрогеля, азота и фосфора, кг/га

N=27	Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet10) R= ,95355552 R?= ,90926813 Adjusted R?= ,86123361 F(9,17)=18,929 p<,00000 Std.Error of estimate: ,14961					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(17)	p-value
Intercept			5,333704	0,106767	49,95659	0,000000
Г	1,51694	0,292224	0,036611	0,007053	5,19102	0,000074
N	1,05944	0,292224	0,017046	0,004702	3,62544	0,002090
P	1,48644	0,292224	0,035875	0,007053	5,08665	0,000091
$Г^2$	-1,14044	0,263407	-0,000661	0,000153	-4,32956	0,000455
N^2	-0,33542	0,263407	-0,000086	0,000068	-1,27340	0,220014
P^2	-0,68043	0,263407	-0,000394	0,000153	-2,58318	0,019341
ГN	-0,03101	0,146112	-0,000015	0,000072	-0,21224	0,834441
ГP	0,12123	0,146112	0,000090	0,000108	0,82968	0,418218
NP	-0,56384	0,146112	-0,000278	0,000072	-3,85898	0,001259

Приложение 42

Влияние фосфогипса и минеральных удобрений на урожайность зерновых культур, т/га з.е. (2012-2014 гг.)

Вариант	2012	2013	2014	Сумма	Среднее	Прибавка	%
	год						
1. Контроль (без удобрений)	1,06	1,76	2,54	5,36	1,79	–	–
2. N_{40}	1,21	1,97	3,28	6,46	2,15	0,36	20,3
3. N_{80}	1,12	2,19	3,17	6,48	2,16	0,37	20,7
4. P_{40} (в запас на 3 года всего P_{120})	1,16	2,03	2,78	5,97	1,99	0,20	11,2
5. $N_{40}P_{40}$	1,13	2,18	3,52	6,83	2,28	0,49	27,2
6. $N_{80}P_{40}$	1,14	2,22	3,39	6,75	2,25	0,46	25,7
7. Фосфогипс 0,5 т/га – фон 1	1,09	1,83	2,79	5,71	1,90	0,11	6,3
8. Фон 1 +N_{40}	1,21	2,15	3,5	6,86	2,29	0,50	27,7
9. Фон 1 +N_{80}	1,15	2,3	3,26	6,71	2,24	0,45	25,0
10. Фон 1 +P_{40}	1,14	2,09	2,84	6,07	2,02	0,23	13,0
11. Фон 1 +$N_{40}P_{40}$	1,22	2,29	3,6	7,11	2,37	0,58	32,4
12. Фон 1 +$N_{80}P_{40}$	1,16	2,31	3,69	7,16	2,39	0,60	33,3
13. Фосфогипс 1,0 т/га – фон 2	1,16	1,86	2,7	5,72	1,91	0,12	6,5
14. Фон 2 +N_{40}	1,16	2,23	3,36	6,75	2,25	0,46	25,7
15. Фон 2 +N_{80}	1,22	2,26	3,41	6,89	2,30	0,51	28,3
16. Фон 2 +P_{40}	1,16	2,13	3,22	6,51	2,17	0,38	21,2
17. Фон 2 +$N_{40}P_{40}$	1,23	2,33	3,63	7,19	2,40	0,61	33,9
18. Фон 2 +$N_{80}P_{40}$	1,24	2,3	3,64	7,18	2,39	0,60	33,7
19. Фосфогипс 1,0 т/га (Кол. пол-в)	1,12	1,93	2,72	5,77	1,92	0,13	7,4
Для частных различий	0,07	0,14	0,15				
Для фактора А (фосфогипс)	0,03	0,06	0,06				
Для фактора В (фосф. уд)	Fф< Fт	0,05	0,05				
Для фактора С (азотн. уд)	0,03	0,06	0,06				
Для взаимодействия АВ	Fф< Fт	Fф< Fт	Fф< Fт				
Для взаимодействия АС	0,05	Fф< Fт	0,11				
Для взаимодействия ВС	Fф< Fт	0,08	Fф< Fт				

Приложение 43

Регрессионная зависимость урожайности зерновых культур (Y) в т/га от доз фосфогипса (Г) в кг/га, азотных (N) и фосфорных (Р) удобрений в кг д.в./га (Курганская ГСХА, 2012 г.)

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической урожайностью Y
2012 г. (пшеница по пару)		
Линейная парная	$Y = 0.06Ф + 1,14$	0,50
	$Y = 0.000528P + 1,15$	0,22
	$Y = 0.000563N + 1,14$	0,38
Нелинейная парная	$Y = 1,137 + 0.04Ф + 0.02Ф^2$	0,51
	-	-
	$Y = 1,128 + 0.00269N – 0.000027N^2$	0,56
Линейная множественная	$Y = 1,101944 + 0,06Ф + 0,000528P + 0,000563N$	0,67
Нелинейная множественная	$Y = 1,093906 + 0,06Ф + 0,006N^{0,5} + 0,000528P$	0,72
	$Y = 1,092735 + 0,075758Ф - 0,04387Ф^{0,5} – 0,000861P + 0,011873P^{0.5} – 0,001972N + 0,022746N^{0,5} + 0,002275(ФР)^{0,5} + 0,00411(ФN)^{0,5} - 0,000825(PN)^{0,5}$	0,82
2013 г. (пшеница по пшенице)		
Линейная парная	$Y = 0.126667Ф + 2,07$	0,30
	$Y = 0.003694P + 2,06$	0,43
	$Y = 0.003917N + 1,98$	0,74
Нелинейная парная	$Y = 2,058 + 0,287Ф - 0.16Ф^2$	0,32
	-	-
	$Y = 1,95 + 0.00817N – 0.000053N^2$	0,78
Линейная множественная	$Y = 1,841111 + 0,126667Ф + 0,003694P + 0,003917N$	0,91
Нелинейная множественная	$Y = 1,805701 + 0,130263*Ф^{0,5} + 0,035619N^{0,5} + 0,003694P$	0,94
	$Y = 1,728357 - 0.09727Ф + 0,232659Ф^{0,5} + 0.001425P + 0.039535P^{0.5} - 0.001101N + 0,056729N^{0,5} - 0.005147(ФР)^{0,5} + 0.001484(ФN)^{0,5} - 0,004241(PN)^{0,5}$	0,99
2014 г. (ячмень по пшенице)		
Линейная парная	$Y = 0.213333Ф + 3.13$	0,25
	$Y = 0.006389P + 3.11$	0,36
	$Y = 0.007688N + 2.93$	0,72
Нелинейная парная	$Y = 3,113 + 0.453Ф - 0.24Ф^2$	0,26
	-	-
	$Y = 2.812 + 0.0258N – 0.000227N^2$	0,87
Линейная множественная	$Y = 2.698056 + 0,213333Ф + 0,006389P + 0,007688N$	0,84
	$Y = 2.603572 + 0,217465Ф^{0,5} +0.006389P + 0,075626N^{0,5}$	0,92
	$Y = 2.53769 - 0.296737Ф + 0,522791Ф^{0,5} - 0.002323P + 0.059576P^{0.5} - 0.013385N + 0,195807N^{0,5} + 0.015868(ФР)^{0,5} - 0.012359(ФN)^{0,5} - 0,001709(PN)^{0,5}$	0,97

Приложение 44

Результаты регрессионного анализа в опыте с фосфогипсом и минеральными удобрениями

Регрессионный анализ линейной зависимости продуктивности севооборота Y от доз фосфогипса

ВЫВОД ИТОГОВ

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,300889
R-квадрат	0,090534
Нормированный R-квадрат	0,033693
Стандартная ошибка	0,182989
Наблюдения	18

Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	0,053333	0,053333	1,59275	0,225021084
Остаток	16	0,535761	0,033485		
Итого	17	0,589094			

	Коэффициенты	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 95,0%*	*Верхние 95,0%*
Y-пересечение	2,113889	0,068196	30,99722	1,02E-15	1,969319677	2,258458	1,96932	2,258458
Фосфогипс, т/га	0,133333	0,105649	1,262042	0,225021	-0,090632327	0,357299	-0,09063	0,357299

Регрессионный анализ линейной зависимости продуктивности севооборота Y от доз азота

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,733418
R-квадрат	0,537902
Нормированный R-квадрат	0,509021
Стандартная ошибка	0,130437
Наблюдения	18

Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	0,316875	0,316875	18,62468	0,000533016
Остаток	16	0,272219	0,017014		
Итого	17	0,589094			

	Коэффициенты	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 95,0%*	*Верхние 95,0%*
Y-пересечение	2,018056	0,048611	41,5145	1,01E-17	1,915005129	2,121106	1,915005	2,121106
N, кг/га	0,004063	0,000941	4,315632	0,000533	0,002066937	0,006058	0,002067	0,006058

Регрессионный анализ линейной зависимости продуктивности севооборота Y от доз фосфора

ВЫВОД ИТОГОВ

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,390009
R-квадрат	0,152107
Нормированный R-квадрат	0,099114
Стандартная ошибка	0,176686
Наблюдения	18

Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	0,089606	0,089606	2,870312	0,109600177
Остаток	16	0,499489	0,031218		
Итого	17	0,589094			

	Коэффициенты	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 95,0%*	*Верхние 95,0%*
Y-пересечение	2,11	0,058895	35,8262	1,04E-16	1,985147245	2,234853	1,985147	2,234853
P, кг/га	0,003528	0,002082	1,694199	0,1096	-0,000886434	0,007942	-0,00089	0,007942

Нелинейная парная регрессия продуктивности севооборота, т/га и доз фосфогипса, т/га (2012-2014 гг.)

Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet11.sta)
R= ,31199901 R?= ,09734338 Adjusted R?= -----
F(2,15)=,80881 p<,46389 Std.Error of estimate: ,18828

N=18	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(15)	p-value
Intercept			2,103333	0,076866	27,36375	0,000000
Φ	0,586734	0,884479	0,260000	0,391940	0,66337	0,517161
V1**2	-0,297517	0,884479	-0,126667	0,376563	-0,33638	0,741247

Нелинейная парная регрессия продуктивности севооборота, т/га и доз азота, т/га (2012-2014 гг.)

Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet11.sta)
R= ,84905789 R?= ,72089931 Adjusted R?= ,68368588
F(2,15)=19,372 p<,00007 Std.Error of estimate: ,10470

N=18	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(15)	p-value
Intercept			1,963333	0,042742	45,93486	0,000000
N	2,21530	0,491820	0,012271	0,002724	4,50428	0,000420
V2**2	-1,54239	0,491820	-0,000103	0,000033	-3,13608	0,006797

Линейная множественная регрессия продуктивности севооборота, т/га и доз фосфогипса, азота и фосфора, т/га (2012-2014 гг.)

Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet11.sta)
R= ,88348378 R?= ,78054358 Adjusted R?= ,73351721
F(3,14)=16,598 p<,00007 Std.Error of estimate: ,09610

N=18	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(14)	p-value
Intercept			1,880833	0,050647	37,13633	0,000000
Φ	0,300889	0,125202	0,133333	0,055481	2,40324	0,030678
N	0,733418	0,125202	0,004063	0,000694	5,85789	0,000042
P	0,390009	0,125202	0,003528	0,001132	3,11505	0,007602

Нелинейная множественная регрессия продуктивности севооборота, т/га и доз фосфогипса, азота и фосфора, т/га (2012-2014 гг.)

N=18	Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet11.sta) R= ,95393441 R?= ,90999085 Adjusted R?= ,89070318 F(3,14)=47,180 p<,00000 Std.Error of estimate: ,06154					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(14)	p-value
Intercept			1,834193	0,034557	53,07753	0,000000
P	0,390009	0,080182	0,003528	0,000725	4,86402	0,000251
SQRV1	0,311830	0,080182	0,134392	0,034557	3,88900	0,001637
SQRV2	0,812801	0,080182	0,039165	0,003864	10,13690	0,000000

Нелинейная множественная регрессия продуктивности севооборота, т/га и доз фосфогипса, азота и фосфора, т/га (2012-2014 гг.)

N=18	Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet11.sta) R= ,99057312 R?= ,98123511 Adjusted R?= ,96012461 F(9,8)=46,481 p<,00001 Std.Error of estimate: ,03717					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(8)	p-value
Intercept			1,792738	0,031850	56,28607	0,000000
Φ	-0,044156	0,208229	-0,019567	0,092273	-0,21205	0,837367
N	-0,976875	0,294480	-0,005411	0,001631	-3,31729	0,010583
P	-0,059058	0,156667	-0,000582	0,001544	-0,37696	0,716003
$Φ^{0,5}$	0,341345	0,223641	0,147112	0,096384	1,52631	0,165448
$N^{0,5}$	1,907200	0,245089	0,091898	0,011810	7,78166	0,000053
$P^{0,5}$	0,574096	0,217162	0,032843	0,012423	2,64363	0,029547
$(Φ*N)^{0,5}$	-0,007533	0,104722	-0,000400	0,005560	-0,07193	0,944421
$(Φ*P)^{0,5}$	0,035561	0,094878	0,002474	0,006601	0,37481	0,717545
$(N*P)^{0,5}$	-0,235704	0,137961	-0,001833	0,001073	-1,70849	0,125924

Приложение 45

Урожайность зерновых культур и продуктивность зернопарового севооборота под влиянием удобрений, з.е. т/га (2014-2016 гг.)

Вариант	Пшеница		Яч-мень	Средняя урожай-жай-ность	Суммар-ный сбор зерновых единиц	Отклоне-ние от контроля	
	2014 г.	2015 г.	2016 г.			т/га	%
1. Без удобрений (контроль)	1,68	1,44	2,13	1,75	5,25	-	-
2. Сапропель 1, 20 т/га	1,87	1,49	2,23	1,86	5,59	0,34	6,5
3. Сапропель 2, 20 т/га	1,82	1,48	2,06	1,79	5,36	0,11	2,1
4. $N_{30}P_{30}$	2,03	1,54	2,56	2,04	6,13	0,88	16,8
5. $N_{30}P_{30}$ + сапропель 1, 20 т/га	1,91	1,70	2,64	2,08	6,25	1,00	19
6. $N_{30}P_{30}$ + сапропель 2, 20 т/га	1,93	1,63	2,61	2,06	6,17	0,92	17,5
7. Известь, 2 т/га - фон	1,76	1,49	2,20	1,82	5,45	0,20	3,8
8. Фон + сапропель 1, 20 т/га	1,98	1,56	2,37	1,97	5,91	0,66	12,6
9. Фон + сапропель 2, 20 т/га	1,86	1,52	2,33	1,90	5,71	0,46	8,8
10 Фон + $N_{30}P_{30}$	1,91	1,68	2,62	2,07	6,21	0,96	18,3
11. Фон + $N_{30}P_{30}$ + сапропель 1, 20 т/га	2,01	1,80	2,60	2,14	6,41	1,16	22,1
12. Фон + $N_{30}P_{30}$ + сапропель 2, 20 т/га	1,91	1,72	2,59	2,07	6,22	0,97	18,5
	$НСР_{0,95}$	$НСР_{0,95}$	$НСР_{0,95}$				
Для частных различий	0,16	0,14	0,12				
Для фактора А (известь)	Fф< Fт	0,06	0,05				
Для фактора В (мин. удобрения)	0,06	0,06	0,05				
Для фактора С (сапропель)	0,08	0,07	0,06				
Для взаимодействия АВ	Fф< Fт	Fф< Fт	0,07				
Для взаимодействия АС	Fф< Fт	Fф< Fт	Fф< Fт				
Для взаимодействия ВС	0,11	Fф< Fт	Fф< Fт				

Приложение 46

Регрессионная зависимость урожайности зерновых культур (Y) в т/га от доз сапропеля (С) в кг/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 урожайностью Y
2014 г (пшеница по пару)		
Линейная парная	Y = 0.015833И + 1,87	0,16
	Y = 0.002028NP + 1,83	0,63
	Y = 0.004875С(1) + 1,85	0,43
	Y = 0.00175С(2) + 1,85	0,17
Линейная множественная	Y = 1,7525 + 0,02125И + 0,002375NP + 0,004875С(1)	0,78
	Y = 1,765 - 0,0025И + 0,00275NP + 0,00175С(2)	0,83
2015 г. (пшеница по пшенице)		
Линейная парная	Y = 0.040833И + 1,55	0,37
	Y = 0.003028NP + 1,50	0,83
	Y = 0.005С(1) + 1,54	0,43
	Y = 0.0025С(2) + 1,54	0,26
Линейная множественная	Y = 1,40 + 0,045И + 0,003083NP + 0,005С(1)	0,98
	Y = 1,4175 + 0,04И + 0,002667NP + 0,0025С(2)	0,98
2016 г. (ячмень по пшенице)		
Линейная парная	Y = 0.04И + 2,37	0,19
	Y = 0.006389NP + 2,22	0,93
	Y = 0.004125С(1) + 2,38	0,21
	Y = 0.001С(2) + 2,38	0,05
Линейная множественная	Y = 2,1625 + 0,02875И + 0,006208NP + 0,004125С(1)	0,98
	Y = 2,1225 + 0,0475И + 0,006917NP + 0,001С(2)	0,97

Приложение 47

Результаты регрессионного анализа в опыте с сапропелем и минеральными удобрениями

Регрессионный анализ линейной зависимости продуктивности севооборота Y от доз извести

ВЫВОД ИТОГОВ

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,255855
R-квадрат	0,065462
Нормированный R-квадрат	-0,02799
Стандартная ошибка	0,134518
Наблюдения	12

Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	0,012675	0,012675	0,70047	0,422176129
Остаток	10	0,18095	0,018095		
Итого	11	0,193625			

	Коэффициенты	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 95,0%*	*Верхние 95,0%*
Y-пересечение	1,93	0,054917	35,1442	8,25E-12	1,807638182	2,052362	1,807638	2,052362
Известь, т/га	0,0325	0,038832	0,836941	0,422176	-0,054022871	0,119023	-0,05402	0,119023

Регрессионный анализ линейной зависимости продуктивности севооборота Y от доз NP

ВЫВОД ИТОГОВ

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,898771
R-квадрат	0,80779
Нормированный R-квадрат	0,788569
Стандартная ошибка	0,061005
Наблюдения	12

Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	0,156408	0,156408	42,02642	7,04775E-05
Остаток	10	0,037217	0,003722		
Итого	11	0,193625			

	Коэффициенты	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 95,0%*	*Верхние 95,0%*
Y-пересечение	1,848333	0,024905	74,21423	4,82E-15	1,792840696	1,903826	1,792841	1,903826
NP, кг/га	0,003806	0,000587	6,482779	7,05E-05	0,002497582	0,005114	0,002498	0,005114

Регрессионный анализ линейной зависимости продуктивности севооборота Y от доз Сапропеля 1
ВЫВОД ИТОГОВ

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,351141
R-квадрат	0,1233
Нормированный R-квадрат	-0,02282
Стандартная ошибка	0,142405
Наблюдения	8

Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	0,017113	0,017113	0,843846	0,393728334
Остаток	6	0,121675	0,020279		
Итого	7	0,138788			

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	1,92	0,071202	26,96536	1,72E-07	1,745773833	2,094226	1,745774	2,094226
Сапропель 1, т/га	0,004625	0,005035	0,918611	0,393728	-0,00769465	0,016945	-0,00769	0,016945

Регрессионный анализ линейной зависимости продуктивности севооборота Y от доз Сапропеля 2
ВЫВОД ИТОГОВ

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,135852
R-квадрат	0,018456
Нормированный R-квадрат	-0,14513
Стандартная ошибка	0,147366
Наблюдения	8

Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	0,00245	0,00245	0,112817	0,74839436
Остаток	6	0,1303	0,021717		
Итого	7	0,13275			

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	1,92	0,073683	26,05761	2,11E-07	1,73970449	2,100296	1,739704	2,100296
Сапропель 2, т/га	0,00175	0,00521	0,335882	0,748394	-0,010998818	0,014499	-0,011	0,014499

Линейная множественная регрессия продуктивности севооборота Y от доз извести, азотно-фосфорного удобрения и сапропеля 1

	Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet12.sta) R= ,98383769 R?= ,96793659 Adjusted R?= ,94388904 F(3,4)=40,251 p<,00191 Std.Error of estimate: ,03335					
N=8	**b***	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(4)	p-value
Intercept			1,770000	0,023585	75,04785	0,000000
И	0,256238	0,089531	0,033750	0,011792	2,86199	0,045837
NP	0,882598	0,089531	0,003875	0,000393	9,85798	0,000594
C1	0,351141	0,089531	0,004625	0,001179	3,92199	0,017219

Линейная множественная регрессия продуктивности севооборота Y от доз извести, азотно-фосфорного удобрения и сапропеля 2

	Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet12.sta) R= ,98405365 R?= ,96836158 Adjusted R?= ,94463277 F(3,4)=40,810 p<,00186 Std.Error of estimate: ,03240					
N=8	**b***	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(4)	p-value
Intercept			1,770000	0,022913	77,24913	0,000000
И	0,213482	0,088936	0,027500	0,011456	2,40040	0,074324
NP	0,950963	0,088936	0,004083	0,000382	10,69268	0,000433
C2	0,135852	0,088936	0,001750	0,001146	1,52753	0,201346

Приложение 48

Влияние минеральных удобрений на урожайность зерновых культур (2014-2016 гг.)

Вариант	Урожайность, з.е., т/га		
	2014 г.	2015 г	2016 г.
1. Контроль (без удобрений)	1,61	1,43	2,10
2. P_{40}	1,81	1,52	2,16
3. P_{80}	1,77	1,51	2,22
4. $N_{40}K_{40}$	1,79	1,50	2,35
5. $N_{40}P_{40}K_{40}$	1,85	1,62	2,34
6. $N_{40}P_{80}K_{40}$	1,83	1,69	2,43
$НСР_{05}$ для частных различий	0,12	0,10	0,11
$НСР_{05}$ для фактора А (азотно-калийные удобрения)	0,07	0,06	0,06
$НСР_{05}$ для фактора В (фосф. уд)	0,09	0,07	0,08
$НСР_{05}$ для взаимодействия АВ	Fф< Fт	Fф< Fт	Fф< Fт

Приложение 49

Влияние удобрений на урожайность зерновых культур в севообороте (2017-19 гг.)

Вариант	2017 г.		2018 г.		2019 г.		Зерновые единицы, т/га			%
	т/га	откл.	т/га	откл.	т/га	откл.	всего	сред.	откл.	
1 Без удобрений (контроль)	1,57	-	1,50	-	1,72	–	4,45	1,48	–	–
2 $N_{20}P_{20}$	1,84	0,27	1,71	0,21	1,92	0,20	5,09	1,70	0,22	14,9
3 $N_{40}P_{40}$	1,94	0,37	1,85	0,35	1,96	0,24	5,36	1,79	0,31	21,0
4. Гусиный помет, 5 т/га	2,03	0,46	1,57	0,07	1,76	0,04	5,01	1,67	0,19	12,8
5. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{20}P_{20}$	2,22	0,65	1,67	0,17	2,16	0,44	5,62	1,87	0,39	26,4
6. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{40}P_{40}$	2,46	0,89	1,96	0,46	2,22	0,50	6,20	2,07	0,59	40,0
7. Гусиный помет, 10 т/га	2,11	0,54	1,63	0,13	1,85	0,13	5,22	1,74	0,26	17,6
8. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{20}P_{20}$	2,35	0,78	2,23	0,73	2,35	0,63	6,46	2,15	0,67	45,3
9. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{40}P_{40}$	2,43	0,86	2,19	0,69	2,38	0,66	6,52	2,17	0,69	46,6
$НСР_{05}$ для частных различий	–	0,13	–	0,07		0,10		–	–	
$НСР_{0,95}$ для фактора А (азотно-фосфорные удобрения)		0,08		0,04		0,08				
$НСР_{0,95}$ для фактора В (птичий помет)		0,08		0,04		0,08				
$НСР_{0,95}$ для взаимодействия АВ		Fф< Fт		0,04		0,08				

Приложение 50

Верификация уравнения регрессии

Вариант	X_1	X_2	$Y_{факт.}$	$Y_{расч.}$	Отклонение	
					т/га	%
1. Без удобрений (контроль)	47	155	1,48	1,47	-0,01	0,39
2. $N_{20}P_{20}$	54	152	1,70	1,64	-0,06	3,70
3. $N_{40}P_{40}$	56	156	1,79	1,75	-0,04	2,31
4. Гусиный помет, 5 т/га	55	157	1,67	1,73	0,06	3,78
5. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{20}P_{20}$	62	162	1,87	2,00	0,13	7,12
6. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{40}P_{40}$	61	164	2,07	2,00	-0,07	3,34
7. Гусиный помет, 10 т/га	58	164	1,74	1,91	0,17	9,99
8. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{20}P_{20}$	61	167	2,15	2,04	-0,11	5,07
9. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{40}P_{40}$	53	169	2,17	1,84	-0,33	15,4

Приложение 51

Верификация уравнения регрессии (2)

Вариант	X_1	X_2	$Y_{факт.}$	$Y_{расч.}$	Отклонение	
					т/га	%
1. Без удобрений (контроль)	0	0	4,45	4,43	-0,02	0,42
2. $N_{20}P_{20}$	120	0	5,09	5,00	-0.09	1,86
3. $N_{40}P_{40}$	240	0	5,36	5,56	0,20	3,71
4. Гусиный помет, 5 т/га	0	109,3	5,01	4,98	-0,03	0,65
5. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{20}P_{20}$	120	109,3	5,62	5,54	-0,08	1,40
6. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{40}P_{40}$	240	109,3	6,20	6,11	-0,09	1,52
7. Гусиный помет, 10 т/га	0	218,6	5,22	5,52	0,30	5,83
8. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{20}P_{20}$	120	218,6	6,46	6,09	-0,37	5,76
9. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{40}P_{40}$	240	218,6	6,52	6,65	0,13	2,03

Приложение 52

Регрессионная зависимость урожайности пшеницы (Y) от доз гусиного помета (П) в т/га и азотно-фосфорного (NP) удобрения в кг д.в./га (2017 г.)

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической урожайностью Y
Линейная парная	$Y = 0.051333П + 1,85$	0,76
	$Y = 0.004667NP + 1,92$	0,55
Нелинейная парная	$Y = 1,783 + 0.13П – 0.00787П^2$	0,83
	$Y = 1,903 + 0.007NP – 0.000029NP^2$	0,55
Линейная множественная	$Y = 1,662222 + 0,051333П + 0,004667NP$	0,93
Нелинейная множественная	$Y = 1,592137 + 0,169793П^{0,5} + 0,040845NP^{0,5}$	0,98
График поверхности	$Y = 1,5686 + 0.1325П + 0,0073NP – 0.0079П^2 - 2,9167*10^{-5}NP^2 -6,25*10^{-5}П*NP$	0,99
Квадратичная множественная	$Y = 1.570651 - 0,043626П + 0,3061П^{0,5}+ 0,00185NP + 0.027248NP^{0,5} - 0.001142(П*NP)^{0,5}$	0,99
Параболическая множественная или полиномиальная второй степени	$Y = 1,568611 + 0,1325П – 0,007867П^2 + 0,007312NP - 0,000029NP^2 - 0,000062П*NP$	0,99

Приложение 53

Регрессионная зависимость урожайности 2-й пшеницы (Y) от доз гусиного помета (П) в т/га и азотно-фосфорного (NP) удобрения в кг д.в./га (2018 г.)

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической урожайностью Y
Линейная парная	$Y = 0.033П + 1,65$	0,54
	$Y = 0.005417NP + 1,60$	0,71
Нелинейная парная	$Y = 1,687 - 0.0143П + 0.00473П^2$	0,58
	$Y = 1,567 + 0.00975NP - 0.000054NP^2$	0,73
Линейная множественная	$Y = 1,430556 + 0,033П + 0,005417NP$	0,89
Нелинейная множественная	$Y = 1,424004 + 0,00341П^2 + 0,048358NP^{0,5}$	0,93
График поверхности	$Y = 1.4936 - 0.0248П + 0,0084NP + 0.0047П^2 – 0.000054167NP^2 + 0.0003П*NP$	0,94
Квадратичная множественная	$Y = 1.513532 + 0,090136П - 0,220927П^{0,5} + 0,000186NP + 0.032557NP^{0,5} + 0.007908(П*NP)^{0,5}$	0,95
Параболическая множественная или полиномиальная второй степени	$Y = 1,493611 - 0,024833П + 0,004733П^2 + 0,008437NP - 0,000054NP^2 + 0,000263П*NP$	0,94

Приложение 54

Регрессионная зависимость овса (Y) от доз гусиного помета (П) в т/га и азотно-фосфорного (NP) удобрения в кг д.в./га (2019 г.)

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической урожайностью Y
Линейная парная	$Y = 0.032667П + 1,87$	0,57
	$Y = 0.005125NP + 1,83$	0,71
Нелинейная парная	$Y = 1,867 + 0.0393П - 0.000667П^2$	0,57
	$Y = 1,777 + 0.0132NP - 0.000101NP^2$	0,78
Линейная множественная	$Y = 1,667222 + 0,032667П + 0,005125NP$	0,91
Нелинейная множественная	$Y = 1,62751 + 0,032667П + 0,048081NP^{0,5}$	0,96
График поверхности	$Y = 1.6803 + 0.0248П + 0,0114NP - 0.0007П^2 – 0.0001NP^2 + 0.0004П*NP$	0,99
Квадратичная множественная	$Y = 1.710472 + 0,024619П - 0,031622П^{0,5} - 0,004632NP + 0.067096NP^{0,5} + 0.011213(П*NP)^{0,5}$	0,99
Параболическая множественная или полиномиальная второй степени	$Y = 1,680278 + 0,024833П - 0,000667П^2 + 0,011396NP - 0,000101NP^2 + 0,000363П*NP$	0,99

Приложение 55

Результаты регрессионного анализа в опыте с гусиным пометом и минеральными удобрениями

Регрессионный анализ линейной зависимости продуктивности севооборота Y от доз птичьего помета

ВЫВОД ИТОГОВ

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,664321
R-квадрат	0,441323
Нормированный R-квадрат	0,361512
Стандартная ошибка	0,189236
Наблюдения	9

Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	0,198017	0,198017	5,529598	0,050974106
Остаток	7	0,250672	0,03581		
Итого	8	0,448689			

	Коэффициенты	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 95,0%*	*Верхние 95,0%*
Y-пересечение	1,667222	0,099736	16,71632	6,7E-07	1,431383575	1,903061	1,431384	1,903061
Птичий помет, т/га	0,036333	0,015451	2,35151	0,050974	-0,000202633	0,072869	-0,0002	0,072869

Регрессионный анализ линейной зависимости продуктивности севооборота Y от доз NP

ВЫВОД ИТОГОВ

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,694795
R-квадрат	0,48274
Нормированный R-квадрат	0,408846
Стандартная ошибка	0,182087
Наблюдения	9

Дисперсионный анализ

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	0,2166	0,2166	6,532842	0,03777458
Остаток	7	0,232089	0,033156		
Итого	8	0,448689			

	Коэффициенты	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 95,0%*	*Верхние 95,0%*
Y-пересечение	1,658889	0,095968	17,28584	5,33E-07	1,431960388	1,885817	1,43196	1,885817
NP, кг/га	0,00475	0,001858	2,555942	0,037775	0,000355548	0,009144	0,000356	0,009144

Нелинейная парная регрессия продуктивности севооборота от доз птичьего помета, т/га

N=9	Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet13.sta) R= ,66767708 R?= ,44579268 Adjusted R?= ,26105691 F(2,6)=2,4131 p<,17022 Std.Error of estimate: ,20358					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(6)	p-value
Intercept			1,656667	0,117536	14,09492	0,000008
П	0,895920	1,095802	0,049000	0,059932	0,81759	0,444836
V1**2	-0,241055	1,095802	-0,001267	0,005758	-0,21998	0,833180

Нелинейная парная регрессия продуктивности севооборота от доз NP, т/га

Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet13.sta)
R= ,71848458 R?= ,51622010 Adjusted R?= ,35496013
F(2,6)=3,2012 p<,11323 Std.Error of estimate: ,19020

N=9	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(6)	p-value
Intercept			1,630000	0,109815	14,84319	0,000006
NP	1,328643	1,023811	0,009083	0,006999	1,29774	0,242031
V2**2	-0,659730	1,023811	-0,000054	0,000084	-0,64439	0,543159

Линейная множественная регрессия продуктивности севооборота от доз птичьего помета, т/га и доз NP, т/га

Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet13.sta)
R= ,96128180 R?= ,92406270 Adjusted R?= ,89875027
F(2,6)=36,506 p<,00044 Std.Error of estimate: ,07536

N=9	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(6)	p-value
Intercept			1,477222	0,050238	29,40441	0,000000
П	0,664321	0,112500	0,036333	0,006153	5,90509	0,001049
NP	0,694795	0,112500	0,004750	0,000769	6,17596	0,000828

Нелинейная множественная регрессия продуктивности севооборота от доз птичьего помета, т/га и доз NP, т/га

Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet13.sta)
R= ,97840452 R?= ,95727540 Adjusted R?= ,94303387
F(2,6)=67,217 p<,00008 Std.Error of estimate: ,05652

N=9	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(6)	p-value
Intercept			1,449805	0,039241	36,94575	0,000000
П	0,664321	0,084385	0,036333	0,004615	7,87254	0,000222
SQRV2	0,718298	0,084385	0,042718	0,005018	8,51219	0,000144

Нелинейная множественная регрессия продуктивности севооборота от доз птичьего помета, т/га и доз NP, т/га

Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet13.sta)
R= ,98685220 R?= ,97387727 Adjusted R?= ,93033937
F(5,3)=22,368 p<,01400 Std.Error of estimate: ,06251

N=9	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(3)	p-value
Intercept			1,482472	0,060304	24,58316	0,000148
П	0,384758	0,401201	0,021043	0,021943	0,95901	0,408299
NP	-0,070327	0,401201	-0,000481	0,002743	-0,17529	0,872014
$П^{0,5}$	0,139787	0,420671	0,023513	0,070761	0,33230	0,761530
$NP^{0,5}$	0,639037	0,420671	0,038004	0,025018	1,51909	0,226051
$(П*NP)^{0,5}$	0,235524	0,201771	0,004880	0,004181	1,16728	0,327438

Нелинейная множественная регрессия продуктивности севооборота от доз птичьего помета, т/га и доз NP, т/га

Regression Summary for Dependent Variable: Y (Spreadsheet13.sta)
R= ,98490413 R?= ,97003615 Adjusted R?= ,92009641
F(5,3)=19,424 p<,01714 Std.Error of estimate: ,06694

N=9	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(3)	p-value
Intercept			1,467778	0,060084	24,42878	0,000150
П	0,786215	0,380559	0,043000	0,020814	2,06595	0,130749
NP	1,218938	0,380559	0,008333	0,002602	3,20302	0,049218
$П^2$	-0,241055	0,360338	-0,001267	0,001893	-0,66897	0,551391
NP^2	-0,659730	0,360338	-0,000054	0,000030	-1,83086	0,164528
П*NP	0,179147	0,199879	0,000150	0,000167	0,89627	0,436153

Приложение 56

Корреляционно-регрессионный анализ зависимости урожайности зерновых культур от показателей погодных условий вегетационного периода (2001-2019 гг.)

Фон	Коэффициент корреляции $r_{0,05}$	Значение критерия Стьюдента		Уравнение регрессии
		фактическое $t_ф$	табличное $t_{0,05}$	
Гидротермический коэффициент				
Без удобрений	0,48*	2,37	2,09	Y=0,573641X+1,22
Мин. удобрения	0,54*	2,80	2,09	Y=0,795431X+1,37
Орг. удобрения	0,51	1,89	2,23	Y=0,667557X+1,23
Мелиоранты	0,47	1,67	2,23	Y=0,642711X+1,34
Полимер. г/гель	0,92	2,26	12,71	Y=1,195988X+1,05
Мин. и орг. удобр.	0,38	1,30	2,23	Y=0,682395X+1,74
Мин. уд. + мелиор.	0,51	1,87	2,23	Y=0,855683X+1,60
Мин. уд. + г/гель	0,93	2,47	12,71	Y=1,886206X+1,13
Орг. уд. + мелиор.	0,44	1,28	2,36	Y=0,666529X+1,47
Мин. и орг. уд. + мелиор.	0,36	1,01	2,36	Y=0,757995X+1,93
Все варианты	0,48*	5,76	1,98	Y=0,774196X+1,38
Сумма осадков за май-август, мм				
Без удобрений	0,62*	3,40	2,09	Y=0,004870X+0,77
Мин. удобрения	0,66*	3,80	2,09	Y=0,006373X+0,82
Орг. удобрения	0,65*	2,68	2,23	Y=0,006668X+0,47
Мелиоранты	0,61*	2,46	2,23	Y=0,006227X+0,65
Полимер. г/гель	0,92	2,27	12,71	Y=0,006437X+0,94
Мин. и орг. удобр.	0,45	1,60	2,23	Y=0,006403X+1,06
Мин. уд. + мелиор.	0,62*	2,50	2,23	Y=0,007688X+0,83
Мин. уд. + г/гель	0,93	2,48	12,71	Y=0,008116X+0,99
Орг. уд. + мелиор.	0,56	1,80	2,36	Y=0,007075X+0,59
Мин. и орг. уд. + мелиор.	0,39	1,11	2,36	Y=0,006764X+1,24
Все варианты	0,57*	7,33	1,98	Y=0,006455X+0,79
Сумма температур > 10°С за май-август, °С				
Без удобрений	-0,20	0,90	2,09	Y=-0,000259X+2,38
Мин. удобрения	-0,29	1,31	2,09	Y=-0,000449X+3,17
Орг. удобрения	-0,12	0,37	2,23	Y=-0,000202X+2,41
Мелиоранты	-0,22	0,73	2,23	Y=-0,000363X+2,83
Полимер. г/гель	-0,89	1,98	12,71	Y=-0,002716X+9,42
Мин. и орг. удобр.	-0,16	0,50	2,23	Y=-0,000372X+3,29
Мин. уд. + мелиор.	-0,36	1,20	2,23	Y=-0,000706X+4,08
Мин. уд. + г/гель	-0,91	2,15	12,71	Y=-0,003432X+11,70
Орг. уд. + мелиор.	-0,11	0,30	2,36	Y=-0,000237X+2,76
Мин. и орг. уд. + мелиор.	-0,24	0,65	2,36	Y=-0,000690X+4,27
Все варианты	-0,28*	3,03	1,98	Y=-0,000508X+3,31

* - коэффициент корреляции достоверен на 95% уровне значимости

Приложение 57

Химический состав зерна яровой пшеницы (опыт 2, 2002 г.)

Вариант	Содержание, %			Сырая клейковина, %
	N	P_2O_5	K_2O	
1. Контроль (без удобрений)	1,83	0,61	1,01	21,0
2. $N_{35}P_{50}$	2,28	0,65	1,02	26,4
3. Навоз 40 т/га	2,25	0,68	1,17	26,6
4. Навоз + NP	2,31	0,75	1,23	29,6
5. Солома 5 т/га	1,54	0,66	1,22	18,3
6. Солома + NP	1,83	0,73	1,19	25,6
7. Сидераты 38,6 т/га	1,66	0,62	1,15	19,4
8. Сидераты + NP	1,84	0,60	1,20	22,5
9. Известь 3 т/га – $фон_1$	1,86	0,63	1,03	21,6
10. $Фон_1$ + NP	1,94	0,64	1,09	24,9
11. $Фон_1$ + навоз	2,33	0,66	1,12	30,3
12. $Фон_1$ + навоз + NP	2,39	0,72	1,30	31,0
13. $Фон_1$ + солома	1,63	0,69	1,20	20,5
14. $Фон_1$ + солома + NP	1,75	0,70	1,22	19,1
15. $Фон_1$ + сидераты	1,68	0,62	1,23	18,0
16. $Фон_1$ + сидераты + NP	1,78	0,60	1,18	18,6
17. Фосфоритная мука 1 т/га - $фон_2$	1,96	0,69	1,17	24,3
18. $Фон_2$ + NP	2,17	0,74	1,22	26,1
19. $Фон_2$ + навоз	2,02	0,72	1,21	25,5
20. $Фон_2$ + навоз + NP	2,33	0,70	1,06	30,2
21. $Фон_2$ + солома	1,52	0,68	1,14	18,1
22. $Фон_2$ + солома + NP	1,76	0,69	1,09	19,6
23. $Фон_2$ + сидераты	1,88	0,62	1,17	18,2
24. $Фон_2$ + сидераты + NP	1,90	0,66	1,09	20,0
25. Гипс 3 т/га – $фон_3$	1,82	0,67	1,20	20,9
26. $Фон_3$ + NP	2,09	0,65	1,13	25,0
27. $Фон_3$ + навоз	2,08	0,73	1,25	28,6
28. $Фон_3$ + навоз + NP	2,19	0,69	1,25	29,4
29. $Фон_3$ + солома	1,66	0,72	1,15	18,0
30. $Фон_3$ + солома + NP	1,70	0,70	1,14	20,9
31. $Фон_3$ + сидераты	1,72	0,58	1,24	20,6
32. $Фон_3$ + сидераты + NP	1,83	0,63	1,18	21,0
$НСР_{05}$				2,2

Приложение 58

Действие удобрений и мелиорантов на химический состав зерна яровой пшеницы (опыт 2, 2003 г.)

Вариант	Содержание, %			Сырая клейковина, %
	N	P_2O_5	K_2O	
1. Контроль (без удобрений)	1,61	0,66	0,84	18,3
2. $N_{70}P_{50}$	2,06	0,65	0,73	26,0
3. Навоз 40 т/га	1,83	0,62	0,83	23,1
4. Навоз + NP	2,28	0,61	0,78	30,3
5. Солома 5 т/га	1,60	0,63	0,88	18,1
6. Солома + NP	1,87	0,60	0,81	24,3
7. Сидераты 38,6 т/га	1,70	0,63	0,86	22,0
8. Сидераты + NP	1,96	0,58	0,81	28,3
9. Известь 3 т/га – $фон_1$	1,76	0,67	0,83	18,7
10. $Фон_1$ + NP	2,12	0,60	0,73	26,4
11. $Фон_1$ + навоз	1,83	0,65	0,86	25,6
12. $Фон_1$ + навоз + NP	2,20	0,64	0,86	29,4
13. $Фон_1$ + солома	1,62	0,69	0,85	18,8
14. $Фон_1$ + солома + NP	2,39	0,65	0,82	31,1
15. $Фон_1$ + сидераты	1,73	0,62	0,82	22,2
16. $Фон_1$ + сидераты + NP	2,25	0,59	0,78	30,4
17. Фосфоритная мука 1 т/га - $фон_2$	1,76	0,64	0,83	20,0
18. $Фон_2$ + NP	1,84	0,63	0,78	26,2
19. $Фон_2$ + навоз	1,81	0,64	0,88	25,3
20. $Фон_2$ + навоз + NP	2,29	0,60	0,78	31,7
21. $Фон_2$ + солома	1,74	0,68	0,81	21,8
22. $Фон_2$ + солома + NP	1,80	0,65	0,77	23,4
23. $Фон_2$ + сидераты	1,71	0,63	0,80	21,1
24. $Фон_2$ + сидераты + NP	1,93	0,61	0,75	27,4
25. Гипс 3 т/га – $фон_3$	1,59	0,67	0,83	18,4
26. $Фон_3$ + NP	1,68	0,57	0,73	24,8
27. $Фон_3$ + навоз	1,59	0,64	0,83	20,6
28. $Фон_3$ + навоз + NP	2,02	0,58	0,73	27,2
29. $Фон_3$ + солома	1,62	0,62	0,85	19,4
30. $Фон_3$ + солома + NP	1,93	0,61	0,80	25,0
31. $Фон_3$ + сидераты	1,69	0,65	0,84	19,8
32. $Фон_3$ + сидераты + NP	1,82	0,59	0,76	24,3
$НСР_{05}$				2,9

Приложение 59

Качество зерна ячменя под влиянием удобрений и мелиорантов (2003 г.)

Вариант	Содержание, %			Масса 1000 зерен, г
	N	P_2O_5	K_2O	
1. Контроль (без удобрений)	1,54	0,49	0,79	48,1
2. $N_{70}P_{40}$	1,76	0,52	0,74	48,7
3. Навоз 40 т/га (последействие)	1,91	0,51	0,90	49,4
4. Навоз + NP	2,14	0,57	1,02	49,2
5. Солома 5 т/га	1,55	0,52	0,82	47,6
6. Солома + NP	1,65	0,50	0,95	48,4
7. Сидераты 38,6 т/га	1,74	0,52	1,05	47,3
8. Сидераты + NP	1,92	0,51	1,02	47,9
9. Известь 3 т/га – $фон_1$	1,55	0,49	0,87	47,9
10. $Фон_1$ + NP	1,77	0,50	0,81	48,6
11. $Фон_1$ + навоз	1,98	0,62	1,13	48,0
12. $Фон_1$ + навоз + NP	2,04	0,57	0,99	49,1
13. $Фон_1$ + солома	1,99	0,56	1,05	48,6
14. $Фон_1$ + солома + NP	1,76	0,59	1,12	49,6
15. $Фон_1$ + сидераты	1,57	0,57	1,18	47,9
16. $Фон_1$ + сидераты + NP	1,68	0,54	1,10	49,0
17. Фосфоритная мука 1 т/га - $фон_2$	1,69	0,54	0,98	47,2
18. $Фон_2$ + NP	1,89	0,50	0,83	48,7
19. $Фон_2$ + навоз	1,78	0,57	1,04	46,9
20. $Фон_2$ + навоз + NP	2,11	0,51	0,93	48,6
21. $Фон_2$ + солома	1,83	0,58	1,02	48,4
22. $Фон_2$ + солома + NP	1,89	0,51	0,90	48,9
23. $Фон_2$ + сидераты	1,77	0,58	1,15	47,5
24. $Фон_2$ + сидераты + NP	1,87	0,53	1,06	47,9
25. Гипс 3 т/га – $фон_3$	1,56	0,53	0,99	47,6
26. $Фон_3$ + NP	1,64	0,52	0,91	50,8
27. $Фон_3$ + навоз	1,63	0,55	1,18	49,3
28. $Фон_3$ + навоз + NP	1,74	0,50	1,11	49,0
29. $Фон_3$ + солома	1,75	0,53	0,83	49,7
30. $Фон_3$ + солома + NP	1,61	0,51	0,99	48,8
31. $Фон_3$ + сидераты	1,72	0,53	1,13	49,4
32. $Фон_3$ + сидераты + NP	1,80	0,52	1,01	49,2
$НСР_{05}$				0,9

Приложение 60

Содержание элементов питания в яровой пшенице

Вариант	пшеница, 2010 год														
	зерно				вынос зерном, кг/га			солома				вынос соломой, кг/га			отношение зерно:солома
	т/га	N	P	K	N	P	K	т/га	N	P	K	N	P	K	
1. Контроль (без удобр.)	1,62	2,16	0,48	0,78	35,0	7,8	12,6	2,81	0,46	0,06	1,00	12,9	1,7	28,1	1,73
2. N_{30}	1,77	2,36	0,45	0,6	41,8	8,0	10,6	2,81	0,39	0,04	0,92	11,0	1,1	25,9	1,59
3. N_{60}	1,90	2,68	0,45	0,59	50,9	8,6	11,2	3,3	0,27	0,04	0,84	8,9	1,3	27,7	1,74
4. P_{20}	1,85	2,12	0,48	0,54	39,2	8,9	10,0	3,2	0,22	0,03	0,92	7,0	1,0	29,4	1,73
5. P_{40}	1,88	2,22	0,48	0,6	41,7	9,0	11,3	3,12	0,53	0,04	0,9	16,5	1,2	28,1	1,66
6. $N_{30}P_{20}$	1,79	2,31	0,47	0,6	41,3	8,4	10,7	3,21	0,43	0,06	1,08	13,8	1,9	34,7	1,79
7. $N_{30}P_{40}$	1,81	2,78	0,5	0,59	50,3	9,1	10,7	3,37	0,31	0,04	0,94	10,4	1,3	31,7	1,86
8. $N_{60}P_{20}$	1,94	2,5	0,48	0,58	48,5	9,3	11,3	3,29	0,33	0,05	0,84	10,9	1,6	27,6	1,70
9. $N_{60}P_{40}$	1,84	2,65	0,49	0,59	48,8	9,0	10,9	3,11	0,33	0,05	0,82	10,3	1,6	25,5	1,69
10. $Фон_1$ – 20 кг/га	1,84	2,81	0,49	0,64	51,7	9,0	11,8	3,34	0,37	0,06	1,01	12,4	2,0	33,7	1,82
11. $Фон_1 + N_{30}$	1,85	2,69	0,49	0,73	49,8	9,1	13,5	3,43	0,36	0,06	1,00	12,3	2,1	34,3	1,85
12. $Фон_1 + N_{60}$	2,03	2,56	0,57	0,76	52,0	11,6	15,4	3,42	0,41	0,05	0,99	14,0	1,7	33,9	1,68
13. $Фон_1 + P_{20}$	1,91	2,57	0,53	0,74	49,1	10,1	14,1	3,14	0,37	0,07	1,16	11,6	2,2	36,4	1,64
14. $Фон_1 + P_{40}$	2,38	2,46	0,56	0,72	58,5	13,3	17,1	3,32	0,45	0,06	1,12	14,9	2,0	37,2	1,39
15. $Фон_1 + N_{30}P_{20}$	2,01	1,98	0,56	0,72	39,8	11,3	14,5	2,92	0,53	0,04	0,83	15,5	1,2	24,2	1,45
16. $Фон_1 + N_{30}P_{40}$	2,22	2,25	0,5	0,66	50,0	11,1	14,7	3,16	0,42	0,03	0,8	13,3	0,9	25,3	1,42
17. $Фон_1 + N_{60}P_{20}$	2,17	2,5	0,47	0,6	54,3	10,2	13,0	3,28	0,45	0,03	0,92	14,8	1,0	30,2	1,51
18. $Фон_1 + N_{60}P_{40}$	2,13	2,24	0,49	0,64	47,7	10,4	13,6	3,25	0,21	0,03	0,66	6,8	1,0	21,5	1,53
19. $Фон_2$ + 40 кг/га	1,74	2,61	0,49	0,63	45,4	8,5	11,0	3,21	0,34	0,03	0,82	10,9	1,0	26,3	1,84
20. $Фон_2 + N_{30}$	2,06	2,11	0,51	0,71	43,5	10,5	14,6	3,17	0,24	0,04	0,99	7,6	1,3	31,4	1,54
21. $Фон_2 + N_{60}$	1,85	2,27	0,43	0,75	42,0	8,0	13,9	3,28	0,24	0,03	0,85	7,9	1,0	27,9	1,77
22. $Фон_2 + P_{20}$	2,02	2,4	0,54	0,92	48,5	10,9	18,6	3,48	0,13	0,02	0,94	4,5	0,7	32,7	1,72
23. $Фон_2 + P_{40}$	1,98	2,47	0,55	0,98	48,9	10,9	19,4	3,55	0,36	0,04	0,88	12,8	1,4	31,2	1,79
24. $Фон_2 + N_{30}P_{20}$	1,98	2,51	0,46	0,88	49,7	9,1	17,4	3,32	0,23	0,03	1,24	7,6	1,0	41,2	1,68
25. $Фон_2 + N_{30}P_{40}$	1,81	2,64	0,45	0,84	47,8	8,1	15,2	3,24	0,38	0,03	1,11	12,3	1,0	36,0	1,79
26. $Фон_2 + N_{60}P_{20}$	1,99	2,37	0,42	0,86	47,2	8,4	17,1	3,19	0,33	0,02	0,93	10,5	0,6	29,7	1,60
27. $Фон_2 + N_{60}P_{40}$	2,08	2,43	0,49	0,99	50,5	10,2	20,6	3,17	0,2	0,02	0,86	6,3	0,6	27,3	1,52

Приложение 61

Содержание и вынос элементов питания яровой пшеницей

Вариант	пшеница, 2011 год														
	зерно				вынос зерном, кг/га			солома				вынос соломой, кг/га			отношение зерно:солома
	т/га	N	P	K	N	P	K	т/га	N	P	K	N	P	K	
1. Контроль (без удобр.)	2,67	2,11	1,02	0,72	56,3	27,2	19,2	4,66	0,7	0,16	0,96	32,6	7,5	44,7	1,75
2. N_{30}	2,89	2,32	0,98	0,91	67,0	28,3	26,3	4,66	0,74	0,16	1,32	34,5	7,5	61,5	1,61
3. N_{60}	3,00	2,34	0,97	0,82	70,2	29,1	24,6	5,05	0,95	0,18	1,01	48,0	9,1	51,0	1,68
4. P_{20}	2,97	2,08	1,01	0,85	61,8	30,0	25,2	5,18	0,64	0,19	1,11	33,2	9,8	57,5	1,74
5. P_{40}	3,03	2,23	1,02	0,87	67,6	30,9	26,4	5,40	0,67	0,16	1,21	36,2	8,6	65,3	1,78
6. $N_{30}P_{20}$	3,10	2,30	0,90	0,78	71,3	27,9	24,2	5,58	0,76	0,17	0,92	42,4	9,5	51,3	1,80
7. $N_{30}P_{40}$	3,17	2,43	1,03	0,69	77,0	32,7	21,9	5,66	0,77	0,24	0,80	43,6	13,6	45,3	1,79
8. $N_{60}P_{20}$	3,12	2,46	1,03	0,83	76,8	32,1	25,9	6,21	0,99	0,23	1,03	61,5	14,3	64,0	1,99
9. $N_{60}P_{40}$	3,14	2,67	0,98	0,78	83,8	30,8	24,5	6,29	0,89	0,21	0,94	56,0	13,2	59,1	2,00
10. $Фон_1$ – 20 кг/га	2,71	2,21	0,88	0,79	59,9	23,8	21,4	5,02	0,83	0,19	0,99	41,7	9,5	49,7	1,85
11. $Фон_1 + N_{30}$	3,06	2,56	1,00	0,95	78,3	30,6	29,1	6,04	0,83	0,21	1,25	50,1	12,7	75,5	1,97
12. $Фон_1 + N_{60}$	3,26	2,47	1,03	0,92	80,5	33,6	30,0	6,09	0,99	0,16	1,23	60,3	9,7	74,9	1,87
13. $Фон_1 + P_{20}$	3,00	2,25	1,08	0,81	67,5	32,4	24,3	6,03	0,89	0,17	1,05	53,7	10,3	63,3	2,01
14. $Фон_1 + P_{40}$	3,14	2,23	1,04	0,9	70,0	32,7	28,3	5,21	0,87	0,16	1,15	45,3	8,3	59,9	1,66
15. $Фон_1 + N_{30}P_{20}$	3,11	2,46	0,98	0,74	76,5	30,5	23,0	6,17	0,65	0,16	1,05	40,1	9,9	64,8	1,98
16. $Фон_1 + N_{30}P_{40}$	3,18	2,58	0,98	0,72	82,0	31,2	22,9	5,80	0,72	0,18	0,92	41,8	10,4	53,4	1,82
17. $Фон_1 + N_{60}P_{20}$	3,42	2,59	1,01	0,98	88,6	34,5	33,5	6,51	0,8	0,18	1,29	52,1	11,7	84,0	1,90
18. $Фон_1 + N_{60}P_{40}$	3,38	2,73	1,00	0,87	92,3	33,8	29,4	6,62	0,92	0,23	1,19	60,9	15,2	78,8	1,96
19. $Фон_2$ + 40 кг/га	2,70	2,16	1,00	0,73	58,3	27,0	19,7	4,85	0,80	0,20	0,95	38,8	9,7	46,1	1,80
20. $Фон_2 + N_{30}$	3,08	2,47	1,05	1,02	76,1	32,3	31,4	5,37	1,00	0,16	1,63	53,7	8,6	87,5	1,74
21. $Фон_2 + N_{60}$	3,16	2,66	1,09	0,96	84,1	34,4	30,3	6,02	0,94	0,15	1,49	56,6	9,0	89,7	1,91
22. $Фон_2 + P_{20}$	3,08	2,12	1,12	0,85	65,3	34,5	26,2	5,97	0,75	0,26	1,17	44,8	15,5	69,8	1,94
23. $Фон_2 + P_{40}$	3,17	2,33	1,14	0,91	73,9	36,1	28,8	5,71	0,76	0,36	1,27	43,4	20,6	72,5	1,80
24. $Фон_2 + N_{30}P_{20}$	3,43	2,5	0,91	0,82	85,8	31,2	28,1	6,30	0,69	0,28	1,25	43,5	17,6	78,8	1,84
25. $Фон_2 + N_{30}P_{40}$	3,36	2,76	1,04	0,89	92,7	34,9	29,9	5,84	0,74	0,3	1,29	43,2	17,5	75,3	1,74
26. $Фон_2 + N_{60}P_{20}$	3,21	2,57	1,06	0,79	82,5	34,0	25,4	6,17	0,83	0,31	1,22	51,2	19,1	75,3	1,92
27. $Фон_2 + N_{60}P_{40}$	3,26	2,79	0,99	0,8	91,0	32,3	26,1	5,69	0,92	0,27	1,23	52,3	15,4	70,0	1,75

Приложение 62

Содержание и вынос элементов питания ячменя

Вариант	ячмень, 2012 год														
	зерно				вынос зерном, кг/га			солома				вынос соломой, кг/га			отношение зерно:солома
	т/га	N	P	K	N	P	K	т/га	N	P	K	N	P	K	
1. Контроль (без удобр.)	1,09	2,39	1,12	0,77	26,1	12,2	8,4	1,73	0,8	0,3	1,41	13,8	5,2	24,4	1,59
2. N_{30}	1,17	2,54	1,10	0,77	29,7	12,9	9,0	1,85	0,94	0,27	1,61	17,4	5,0	29,8	1,58
3. N_{60}	1,12	2,73	1,07	0,82	30,6	12,0	9,2	1,82	0,78	0,30	1,46	14,2	5,5	26,6	1,63
4. P_{20}	1,16	2,38	1,18	0,88	27,6	13,7	10,2	1,94	0,65	0,29	1,67	12,6	5,6	32,4	1,67
5. P_{40}	1,21	2,44	1,20	0,86	29,5	14,5	10,4	2,05	0,82	0,35	1,41	16,8	7,2	28,9	1,69
6. $N_{30}P_{20}$	1,25	2,50	1,15	0,86	31,3	14,4	10,8	2,12	0,67	0,28	1,54	14,2	5,9	32,6	1,70
7. $N_{30}P_{40}$	1,17	2,62	1,12	0,79	30,7	13,1	9,2	2,02	0,63	0,27	1,57	12,7	5,5	31,7	1,73
8. $N_{60}P_{20}$	1,18	2,73	1,10	0,73	32,2	13,0	8,6	2,11	0,91	0,33	1,12	19,2	7,0	23,6	1,79
9. $N_{60}P_{40}$	1,19	2,84	1,14	0,77	33,8	13,6	9,2	2,07	0,83	0,29	1,90	17,2	6,0	39,3	1,74
10. $Фон_1$ – 20 кг/га	1,18	2,67	1,22	0,81	31,5	14,4	9,6	2,12	0,6	0,28	1,56	12,7	5,9	33,1	1,80
11. $Фон_1 + N_{30}$	1,27	2,45	1,18	0,85	31,1	15,0	10,8	2,23	0,77	0,32	1,95	17,2	7,1	43,5	1,76
12. $Фон_1 + N_{60}$	1,24	2,78	1,25	0,85	34,5	15,5	10,5	2,27	0,97	0,40	1,45	22,0	9,1	32,9	1,83
13. $Фон_1 + P_{20}$	1,28	2,43	1,24	0,85	31,1	15,9	10,9	2,15	0,86	0,43	1,32	18,5	9,2	28,4	1,68
14. $Фон_1 + P_{40}$	1,36	2,39	1,10	0,84	32,5	15,0	11,4	2,27	0,70	0,34	1,54	15,9	7,7	35,0	1,67
15. $Фон_1 + N_{30}P_{20}$	1,37	2,46	1,20	0,85	33,7	16,4	11,6	2,26	0,63	0,36	1,50	14,2	8,1	33,9	1,65
16. $Фон_1 + N_{30}P_{40}$	1,36	2,60	1,24	0,83	35,4	16,9	11,3	2,38	0,91	0,34	1,27	21,7	8,1	30,2	1,75
17. $Фон_1 + N_{60}P_{20}$	1,30	2,72	1,13	0,79	35,4	14,7	10,3	2,32	0,82	0,34	1,52	19,0	7,9	35,3	1,78
18. $Фон_1 + N_{60}P_{40}$	1,32	2,65	1,10	0,72	35,0	14,5	9,5	2,27	0,91	0,38	1,29	20,7	8,6	29,3	1,72
19. $Фон_2$ + 40 кг/га	1,20	2,62	1,30	0,83	31,4	15,6	10,0	2,19	1,07	0,41	1,35	23,4	9,0	29,6	1,83
20. $Фон_2 + N_{30}$	1,25	2,47	1,21	0,8	30,9	15,1	10,0	2,16	0,99	0,35	1,56	21,4	7,6	33,7	1,73
21. $Фон_2 + N_{60}$	1,27	2,26	1,24	0,77	28,7	15,7	9,8	2,17	0,81	0,33	1,56	17,6	7,2	33,9	1,71
22. $Фон_2 + P_{20}$	1,37	2,40	1,85	0,84	32,9	25,3	11,5	2,38	0,53	0,43	2,09	12,6	10,2	49,7	1,74
23. $Фон_2 + P_{40}$	1,50	2,33	1,24	0,76	35,0	18,6	11,4	2,46	0,76	0,35	1,68	18,7	8,6	41,3	1,64
24. $Фон_2 + N_{30}P_{20}$	1,44	2,48	1,22	0,77	35,7	17,6	11,1	2,43	0,74	0,34	1,79	18,0	8,3	43,5	1,69
25. $Фон_2 + N_{30}P_{40}$	1,40	2,54	1,10	0,74	35,6	15,4	10,4	2,38	0,65	0,29	2,04	15,5	6,9	48,6	1,70
26. $Фон_2 + N_{60}P_{20}$	1,39	2,89	1,10	0,74	40,2	15,3	10,3	2,40	0,91	0,31	1,59	21,8	7,4	38,2	1,73
27. $Фон_2 + N_{60}P_{40}$	1,39	2,66	1,16	0,68	37,0	16,1	9,5	2,35	0,77	0,29	1,07	18,1	6,8	25,1	1,69

Приложение 63

Качество зерна яровой пшеницы после пара (2010-2011 гг.)

Вариант	Сырая клейковина, %			Масса 1000 зерен, г		
	фон-0 кг/га	фон-20 кг/га	фон-40 кг/га	фон-0 кг/га	фон-20 кг/га	фон-40 кг/га
2010 год						
1 Без удобрений (контроль)	28,2	36,4	34,1	31,5	32,7	30,8
2 N_{30}	30,8	35,3	27,6	33,1	32,1	32,6
3 N_{60}	38,5	33,5	29,5	32,5	33,3	31,5
4 P_{20}	28,1	33,4	31,2	32,6	32,5	32,1
5 P_{40}	29,0	32,1	32,1	33,4	34,8	32,0
6 $N_{30}P_{20}$	30,2	28,5	32,6	30,2	35,4	33,3
7 $N_{30}P_{40}$	36,5	29,3	34,2	30,8	33,2	33,7
8 $N_{60}P_{20}$	32,7	32,6	30,9	31,5	32,9	33,6
9 $N_{60}P_{40}$	34,6	29,4	31,5	31,8	33,1	33,1
2011 год						
1 Без удобрений (контроль)	27,0	29,0	28,8	38,3	40,7	36,6
2 N_{30}	29,8	32,6	32,0	37,9	39,0	39,9
3 N_{60}	31,2	33,0	34,7	35,1	37,3	38,1
4 P_{20}	27,6	30,4	28,2	40,3	40,7	37,6
5 P_{40}	30,4	30,2	30,6	39,7	39,4	37,8
6 $N_{30}P_{20}$	31,8	32,2	33,8	40,0	39,4	39,3
7 $N_{30}P_{40}$	32,4	33,2	35,8	39,2	38,9	37,1
8 $N_{60}P_{20}$	33,4	33,8	34,6	37,6	36,8	36,4
9 $N_{60}P_{40}$	35,2	35,8	36,6	37,8	37,2	38,5

Приложение 64

Регрессионная зависимость содержания сырой клейковины в зерне яровой пшеницы (Y) в % 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 клейковиной Y
пшеница по пару		
Линейная парная	$Y = 32,228 - 0,0136Г$	0,08
	$Y = 31,478 + 0,0159N$	0,14
	$Y = 32,244 - 0,0144P$	0,08
Нелинейная парная	$Y = 32,067 + 0,0347Г – 0,0012Г^2$	0,11
	$Y = 31,622 – 0,013N + 0,0005N^2$	0,16
	$Y = 32,656 – 0,1378P + 0,0031P^2$	0,22
Линейная множественная	$Y = 32,03889 – 0,01361Г + 0,01593N - 0,01444P$	0,18
Нелинейная множественная	$Y = 32,29815 – 0,00041Г^2 + 0,00028N^2 - 0,13735P^{0,5}$	0,23
	$Y = 29,81873 – 0,07195Г + 1,17273Г^{0,5} +0,05080N + 0,34466N^{0.5} + 0,13443P – 1.04525P^{0,5} – 0.18835(ГN)^{0,5} + 0,00735(ГР)^{0,5} + 0,01752(NP)^{0,5}$	0,66
	$Y = 30,55833 + 0,12639Г – 0,00121Г^2 + 0,06065N + 0,00048N^2 – 0,15236P + 0,00308P^2 – 0,00361ГN + 0,00083ГР – 0,00007NP$	0,60
пшеница по пшенице		
Линейная парная	$Y = 31,098 + 0,0453Г$	0,29
	$Y = 29,443 + 0,0854N$	0,81
	$Y = 30,776 + 0,0614P$	0,39
Нелинейная парная	$Y = 30,978 + 0,0814Г – 0,0009Г^2$	0,29
	$Y = 29,133 + 0,1472N – 0,001N^2$	0,83
	$Y = 30,900 + 0,0242P + 0,0009P^2$	0,40
Линейная множественная	$Y = 27,30926 + 0,04528Г + 0,08537N + 0,06139P$	0,94
Нелинейная множественная	$Y = 27,08808 + 0,28578Г^{0,5} + 0,65679N^{0,5} + 0,00149P^2$	0,96
	$Y = 27,14134 + 0,00169Г + 0,30080Г^{0,5} + 0,01071N + 0,45394N^{0.5} + 0,10632P – 0,23343P^{0,5} + 0,02019(ГN)^{0,5} – 0,03170(ГР)^{0,5} + 0,01437(NP)^{0,5}$	0,97
	$Y = 27,27870 + 0,07722Г – 0,00090Г^2 + 0,13111N – 0,00103N^2 + 0,02500P + 0,00093P^2 + 0,00049ГN – 0,00052ГР + 0,00032NP$	0,97

Приложение 65

Регрессионная зависимость массы 1000 зерен зерновых культур (Y) 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 массой 1000 зерен Y
пшеница по пару		
Линейная парная	$Y = 32,302 + 0,0147Г$	0,21
	$Y = 32,546 + 0,0017N$	0,04
	$Y = 32,274 + 0,0161P$	0,23
Нелинейная парная	$Y = 31,933 + 0,1253Г – 0,0028Г^2$	0,50
	$Y = 32,489 + 0,0131N – 0,0002N^2$	0,08
	$Y = 32,233 + 0,0283P – 0,0003P^2$	0,24
Линейная множественная	$Y = 31,92963 + 0,01472Г + 0,00167N + 0,01611P$	0,32
Нелинейная множественная	$Y = 31,67054 + 0,13373Г^{0,5} + 0,01802N^{0,5} + 0,10143P^{0,5}$	0,39
	$Y = 32,22586 – 0,11873Г + 0,49665Г^{0,5} – 0,01219N + 0,08221N^{0.5} + 0,00136P + 0,04751P^{0,5} + 0,03770(ГN)^{0,5} + 0,05034(ГР)^{0,5} – 0,03072(NP)^{0,5}$	0,74
	$Y = 31,92130 + 0,08361Г – 0,00276Г^2 + 0,01176N – 0,00019N^2 + 0,02625P – 0,00031P^2 + 0,00069ГN + 0,00104ГР – 0,00063NP$	0,69
пшеница по пшенице		
Линейная парная	$Y = 38,648 – 0,0128Г$	0,15
	$Y = 39,298 – 0,0302N$	0,53
	$Y = 38,243 + 0,0075P$	0,09
Нелинейная парная	$Y = 38,433 + 0,0517Г – 0,0016Г^2$	0,27
	$Y = 39,011 + 0,0272N – 0,001N^2$	0,61
	$Y = 38,100 + 0,0503P – 0,0011P^2$	0,17
Линейная множественная	$Y = 39,40370 – 0,01278Г – 0,03019N + 0,00750P$	0,56
Нелинейная множественная	$Y = 39,25372 – 0,00042Г^2 – 0,00054N^2 + 0,06254P^{0,5}$	0,64
	$Y = 38,58313 – 0,09057Г + 0,53681Г^{0,5} – 0,09948N + 0,38093N^{0.5} – 0,04414P + 0,57052P^{0,5} + 0,04424(ГN)^{0,5} – 0,06663(ГР)^{0,5} – 0,00094(NP)^{0,5}$	0,81
	$Y = 39,08426 + 0,04250Г – 0,00161Г^2 – 0,00194N – 0,00096N^2 + 0,07069P – 0,00107P^2 + 0,00122ГN – 0,00137ГР + 0,00024NP$	0,82
ячмень по пшенице		
Линейная парная	$Y = 21,072 + 0,0336Г$	0,54
	$Y = 21,967 – 0,0074N$	0,18
	$Y = 21,556 + 0,0094P$	0,15
Нелинейная парная	$Y = 20,867 + 0,0953Г – 0,0015Г^2$	0,61
	$Y = 21,722 + 0,0415N – 0,0008N^2$	0,38
	$Y = 21,567 + 0,0061P + 0,00008P^2$	0,15
Линейная множественная	$Y = 21,10556 + 0,03361Г – 0,00741N + 0,00944P$	0,59
Нелинейная множественная	$Y = 21,00520 + 0,22654Г^{0,5} – 0,00018N^2 + 0,00944P$	0,66
	$Y = 20,13203 – 0,04083Г + 0,43588Г^{0,5} – 0,06642N + 0,63734N^{0.5} + 0,01347P + 0,08585P^{0,5} – 0,00845(ГN)^{0,5} + 0,02005(ГР)^{0,5} – 0,04162(NP)^{0,5}$	0,83
	$Y = 20,07500 + 0,09444Г – 0,00154Г^2 + 0,06843N – 0,00081N^2 + 0,02569P + 0,00008P^2 – 0,00033ГN + 0,00054ГР – 0,00101NP$	0,86

Приложение 66

Качество зерна яровой пшеницы при использовании фосфогипса и минеральных удобрений (20212-2013 гг.)

Вариант	Сырая клейковина, %				Масса 1000 зерен, г				Натура зерна, г			
	2012 г.	2013 г.	ср.	откл.	2012 г.	2013 г.	ср.	откл.	2012 г.	2013 г.	ср.	откл.
1. Контроль (без удобрений)	34,6	30,6	32,6	–	30,0	32,4	31,2	-	769	716	743	-
2. N_{40}	36,7	34,3	35,5	2,9	30,7	34,4	32,6	1,4	771	722	747	4
3. N_{80}	37,7	35,1	36,4	3,8	30,2	33,6	31,9	0,7	767	716	742	-1
4. P_{40} (в запас на 3 года всего P_{120})	38,3	31,1	34,7	2,1	26,7	33,2	30,0	-1,2	772	723	748	5
5. $N_{40}P_{40}$	39,7	34,3	37,0	4,4	30,8	33,7	32,3	0,1	767	721	744	1
6. $N_{80}P_{40}$	35,0	35,4	35,2	2,6	29,5	34,4	32,0	0,8	771	723	747	4
7. Фосфогипс 0,5 т/га – фон 1	34,0	30,4	32,2	-0,4	29,8	32,0	30,9	-0,3	768	714	741	-2
8. Фон 1 +N_{40}	34,2	34,4	34,3	1,7	30,1	33,0	31,6	0,4	768	720	744	1
9. Фон 1 +N_{80}	36,4	31,6	34,0	1,4	30,0	34,0	32,0	0,8	757	721	739	-4
10. Фон 1 +P_{40}	34,9	28,9	31,9	-0,7	30,9	32,9	31,9	0,7	771	716	744	1
11. Фон 1 +$N_{40}P_{40}$	34,7	30,7	32,7	0,1	31,2	33,7	32,5	1,3	757	718	738	-5
12. Фон 1 +$N_{80}P_{40}$	38,1	35,3	36,7	4,1	26,2	35,0	30,6	-0,6	769	723	746	2
13. Фосфогипс 1,0 т/га – фон 2	37,3	29,1	33,2	0,6	28,3	33,2	30,8	-0,4	773	721	747	4
14. Фон 2 +N_{40}	36,2	30,6	33,4	0,8	30,0	33,2	31,6	0,4	769	713	741	-2
15. Фон 2 +N_{80}	37,1	30,3	33,7	1,1	27,3	35,1	31,2	0	764	723	744	1
16. Фон 2 +P_{40}	37,7	29,7	33,7	1,1	30,4	33,1	31,8	0,6	766	710	738	-5
17. Фон 2 +$N_{40}P_{40}$	38,5	34,1	36,3	3,7	29,1	34,1	31,6	0,4	765	722	744	1
18. Фон 2 +$N_{80}P_{40}$	34,9	33,7	34,3	1,7	28,7	35,1	31,9	0,7	770	714	742	-1

Приложение 67

Регрессионная зависимость содержания сырой клейковины в зерне яровой пшеницы (Y) в % 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 клейковиной Y
пшеница по пару		
Линейная парная	$Y = 36{,}469 – 0{,}05Ф$	0,01
	$Y = 36{,}022 + 0{,}0211P$	0,25
	$Y = 36{,}244 + 0{,}005N$	0,10
Нелинейная парная	$Y = 37{,}000 – 6{,}4167Ф + 6{,}3667Ф^2$	0,45
	$Y = 36{,}133 + 0{,}0217N – 0{,}0002N^2$	0,14
Линейная множественная	$Y = 35{,}84722 – 0{,}05000Ф + 0{,}00500N + 0{,}02111P$	0,27
Нелинейная множественная	$Y = 36{,}02087 – 0{,}46304Ф^{0,5} + 0{,}05204N^{0,5} + 0{,}02111P$	0,30
пшеница по пшенице		
Линейная парная	$Y = 33{,}308 – 2{,}2167Ф$	0,40
	$Y = 31{,}822 + 0{,}0189P$	0,17
	$Y = 30{,}400 + 0{,}045N$	0,66
Нелинейная парная	$Y = 33{,}467 – 4{,}1167Ф + 1{,}900Ф^2$	0,42
	$Y = 29{,}967 + 0{,}1100N – 0{,}0008N^2$	0,71
Линейная множественная	$Y = 31{,}13056 – 2{,}21667Ф + 0{,}04500N + 0{,}01889P$	0,79
Нелинейная множественная	$Y = 30{,}95502 – 2{,}22082Ф^{0,5} + 0{,}41868N^{0,5} + 0{,}01889P$	0,83

Приложение 68

Регрессионная зависимость массы 1000 зерен зерновых культур (Y) в г 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 массой 1000 зерен Y
пшеница по пару		
Линейная парная	$Y = 29{,}781 – 0{,}6833Ф$	0,20
	$Y = 29{,}600 – 0{,}0081P$	0,11
	$Y = 29{,}789 – 0{,}0088N$	0,20
Нелинейная парная	$Y = 29{,}650 + 0{,}8833Ф – 1{,}5667Ф^2$	0,24
	$Y = 29{,}350 + 0{,}0571N – 0{,}0008N^2$	0,48
Линейная множественная	$Y = 30{,}29167 – 0{,}68333Ф – 0{,}00875N – 0{,}00806P$	0,30
Нелинейная множественная	$Y = 30{,}35107 – 0{,}75128Ф^2 – 0{,}00016N^2 – 0{,}00806P$	0,40
пшеница по пшенице		
Линейная парная	$Y = 33{,}497 + 0{,}3500Ф$	0,16
	$Y = 33{,}433 + 0{,}0119P$	0,27
	$Y = 32{,}806 + 0{,}0217N$	0,81
Нелинейная парная	$Y = 33{,}617 – 0{,}1{,}0833Ф + 1{,}4333Ф^2$	0,25
	$Y = 32{,}800 + 0{,}0225N – 0{,}00001N^2$	0,81
Линейная множественная	$Y = 32{,}39167 + 0{,}35000Ф + 0{,}02167N + 0{,}01194P$	0,87
Нелинейная множественная	$Y = 32{,}38611 + 0{,}43333Ф^2 + 0{,}02167N + 0{,}01194P$	0,88
ячмень по пшенице		
Линейная парная	$Y = 42{,}961 + 1{,}20Ф$	0,44
	$Y = 42{,}911 + 0{,}0325P$	0,58
	$Y = 43{,}378 + 0{,}0046N$	0,13
Нелинейная парная	$Y = 43{,}083 – 0{,}2667Ф + 1{,}4667Ф^2$	0,46
	$Y = 43{,}133 + 0{,}0412N – 0{,}0005N^2$	0,34
Линейная множественная	$Y = 42{,}12778 + 1{,}20000Ф + 0{,}00458N + 0{,}03250P$	0,74
	$Y = 42{,}09621 + 1{,}22051Ф^2 + 0{,}06019N^{0{,}5} + 0{,}03250P$	0,77

Приложение 69

Содержание элементов питания в основной и побочной продукции, % (2017-2019 гг.)

Варианты	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
	зерно			солома		
Пшеница по пару						
1. Без удобрений (контроль)	2,32	0,87	0,47	0,62	0,11	1,05
2. Сапропель 20 т/га (1)	2,66	0,76	0,54	0,65	0,13	1,12
3. Сапропель 20 т/га (2)	2,17	0,88	0,59	0,60	0,13	1,10
4. $N_{30}P_{30}$	2,16	0,90	0,45	0,67	0,21	1,16
5. Сапропель 20 т/га (1)+$N_{30}P_{30}$	2,57	1,12	0,55	0,69	0,18	1,14
6. Сапропель 20 т/га (2)+$N_{30}P_{30}$	2,60	1,10	0,50	0,68	0,15	1,16
7. Известь, 0,5 г.к.- фон	2,52	0,97	0,47	0,65	0,13	1,07
8. Фон + сапропель 20 т/га (1)	2,24	0,78	0,5	0,68	0,16	1,15
9. Фон + сапропель 20 т/га (2)	2,77	0,96	0,58	0,64	0,16	1,15
10 Фон +$N_{30}P_{30}$	2,08	1,06	0,46	0,71	0,23	1,10
11. Фон + сапропель 20 т/га (1)+$N_{30}P_{30}$	2,29	1,00	0,42	0,68	0,20	1,07
12. Фон + сапропель 20 т/га (2)+$N_{30}P_{30}$	2,13	0,92	0,44	0,66	0,18	1,08
Пшеница по пшенице						
1. Без удобрений (контроль)	1,51	0,78	0,60	0,52	0,09	0,82
2. Сапропель 20 т/га (1)	1,47	0,84	0,60	0,50	0,11	0,85
3. Сапропель 20 т/га (2)	1,53	0,84	0,63	0,50	0,10	0,83
4. $N_{30}P_{30}$	1,55	0,80	0,57	0,55	0,16	0,90
5. Сапропель 20 т/га (1)+$N_{30}P_{30}$	1,68	0,82	0,62	0,58	0,14	0,93
6. Сапропель 20 т/га (2)+$N_{30}P_{30}$	1,61	0,79	0,59	0,57	0,14	0,96
7. Известь, 0,5 г.к.- фон	1,63	0,89	0,65	0,54	0,11	0,86
8. Фон + сапропель 20 т/га (1)	1,54	0,90	0,67	0,58	0,13	0,96
9. Фон + сапропель 20 т/га (2)	1,58	0,87	0,62	0,54	0,12	0,95
10 Фон +$N_{30}P_{30}$	1,60	0,76	0,60	0,60	0,18	0,98
11. Фон + сапропель 20 т/га (1)+$N_{30}P_{30}$	1,66	0,76	0,57	0,62	0,20	0,92
12. Фон + сапропель 20 т/га (2)+$N_{30}P_{30}$	1,65	0,83	0,60	0,60	0,18	0,92
Ячмень						
1. Без удобрений (контроль)	1,67	0,58	0,52	0,39	0,18	0,96
2. Сапропель 20 т/га (1)	1,62	0,62	0,52	0,43	0,22	1,06
3. Сапропель 20 т/га (2)	1,65	0,6	0,54	0,43	0,20	1,02
4. $N_{30}P_{30}$	1,74	0,68	0,47	0,49	0,32	1,10
5. Сапропель 20 т/га (1)+$N_{30}P_{30}$	1,86	0,67	0,49	0,48	0,32	1,13
6. Сапропель 20 т/га (2)+$N_{30}P_{30}$	1,77	0,69	0,49	0,46	0,35	1,11
7. Известь, 0,5 г.к.- фон	1,76	0,62	0,51	0,43	0,22	1,02
8. Фон + сапропель 20 т/га (1)	1,66	0,65	0,49	0,49	0,28	1,16
9. Фон + сапропель 20 т/га (2)	1,69	0,62	0,48	0,46	0,26	1,08
10 Фон +$N_{30}P_{30}$	2,04	0,6	0,48	0,54	0,36	1,11
11. Фон + сапропель 20 т/га (1)+$N_{30}P_{30}$	1,73	0,65	0,44	0,52	0,32	1,09
12. Фон + сапропель 20 т/га (2)+$N_{30}P_{30}$	1,68	0,62	0,49	0,54	0,34	1,07

Приложение 70

Регрессионная зависимость содержания сырой клейковины в зерне пшеницы (Y) в % от доз сапропелей (С(1) и С(2)) в т/га, доз извести (И) в т/га и азотно-фосфорных (NP) удобрений в кг д.в./га

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической клейковиной Y
пшеница по пару		
Линейная парная	Y = 31,283 – 0,5833И	0,21
	Y = 31,517 – 0,0272NP	0,29
	Y = 29,225 + 0,1263С(1)	0,48
	Y = 29,225 + 0,0950С(2)	0,34
Линейная множественная	Y = 31,125 – 0,88750И – 0,03375NP + 0,12625С(1)	0,70
	Y = 30,000 + 0,35000И – 0,03750NP + 0,09500С(2)	0,54
пшеница по пшенице		
Линейная парная	Y = 21,517 + 0,4167И	0,45
	Y = 21,367 + 0,0189NP	0,62
	Y = 21,725 + 0,0150С(1)	0,15
	Y = 21,725 + 0,0163С(2)	0,23
Линейная множественная	Y = 20,700 + 0,42500И + 0,02000NP + 0,01500С(1)	0,73
	Y = 20,925 + 0,53750И + 0,00875NP + 0,01625С(2)	0,89

Приложение 71

Регрессионная зависимость массы 1000 зерен зерновых культур (Y) в г 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	Математическая модель	r между прогнозируемой и фактической массой 1000 зерен Y
пшеница по пару		
Линейная парная	Y = 31,667 + 0,1667И	0,15
	Y = 31,583 + 0,0083NP	0,23
	Y = 31,65 + 0,0588С(1)	0,57
	Y = 31,65 – 0,0313С(2)	0,32
Линейная множественная	Y = 31,40 – 0,06250И + 0,01042NP + 0,05875С(1)	0,64
	Y = 30,90 + 0,18750И + 0,01875NP – 0,03125С(2)	0,68
пшеница по пшенице		
Линейная парная	Y = 33,783 – 0,0667И	0,11
	Y = 33,317 + 0,0133NP	0,66
	Y = 33,4 + 0,0250С(1)	0,39
	Y = 33,4 + 0,0225С(2)	0,46
Линейная множественная	Y = 33,000 – 0,10000И + 0,01667NP + 0,02500С(1)	0,88
	Y = 33,075 + 0,05000И + 0,00917NP + 0,02250С(2)	0,73
ячмень по пшенице		
Линейная парная	Y = 45,417 + 0,3667И	0,33
	Y = 44,917 + 0,0289NP	0,77
	Y = 45,425 + 0,0312С(1)	0,28
	Y = 45,425 + 0,0225С(2)	0,18
Линейная множественная	Y = 44,275 + 0,13750И + 0,03375NP + 0,03125С(1)	0,95
	Y = 44,025 + 0,45000И + 0,03167NP + 0,02250С(2)	0,86

Приложение 72

Влияние минеральных удобрений на химический состав зерновых культур в севообороте

Вариант	Пшеница по пару		Пшеница по пшенице		Ячмень	
	азот					
	зерно	солома	зерно	солома	зерно	солома
1. Контроль (без удобрений)	1,73	0,50	1,38	0,41	1,30	0,38
2. P_{40}	1,71	0,54	1,44	0,40	1,33	0,42
3. P_{80}	1,63	0,54	1,45	0,43	1,36	0,44
4. $N_{40}K_{40}$	1,65	0,58	1,69	0,48	1,41	0,39
5. $N_{40}P_{40}K_{40}$	1,78	0,61	1,67	0,50	1,46	0,50
6. $N_{40}P_{80}K_{40}$	2,05	0,62	1,79	0,50	1,47	0,48
	фосфор					
1. Контроль (без удобр.)	1,05	0,16	0,82	0,18	0,37	0,19
2. P_{40}	1,05	0,19	0,83	0,18	0,38	0,21
3. P_{80}	1,06	0,19	0,90	0,19	0,37	0,23
4. $N_{40}K_{40}$	0,99	0,17	0,80	0,17	0,36	0,22
5. $N_{40}P_{40}K_{40}$	1,03	0,18	0,81	0,21	0,36	0,24
6. $N_{40}P_{80}K_{40}$	1,08	0,18	0,9	0,21	0,38	0,24
	калий					
1. Контроль (без удобр.)	0,47	0,53	0,60	0,64	0,72	0,76
2. P_{40}	0,41	0,54	0,59	0,60	0,72	0,72
3. P_{80}	0,46	0,54	0,65	0,62	0,69	0,72
4. $N_{40}K_{40}$	0,45	0,60	0,60	0,65	0,67	0,78
5. $N_{40}P_{40}K_{40}$	0,47	0,59	0,57	0,67	0,68	0,81
6. $N_{40}P_{80}K_{40}$	0,47	0,57	0,63	0,68	0,70	0,80

Приложение 73

Регрессионная зависимость содержания сырой клейковины в зерне яровой пшеницы (Y) в % от доз азотных (N) в кг/га, фосфорных (P) и калийных (K) удобрений в кг д.в./га

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической клейковиной Y
пшеница по пару		
Линейная парная	$Y = 21,9 + 0,0483N$	0,53
	$Y = 21,767 + 0,0275P$	0,49
	$Y = 21,9 + 0,0483K$	0,53
	$Y = 21,85 + 0,015P + 0,0002P^2$	0,50
Линейная множественная	$Y = 20,80 + 0,04833N + 0,02750P$	0,72
пшеница по пшенице		
Линейная парная	$Y = 19,133 + 0,0975N$	0,96
	$Y = 20,533 + 0,0138P$	0,22
	$Y = 19,133 + 0,0975K$	0,96
	$Y = 20,65 – 0,0038P + 0,0002P^2$	0,24
Линейная множественная	$Y = 18,58333 + 0,09750N + 0,01375P$	0,99

Приложение 74

Регрессионная зависимость массы 1000 зерен зерновых культур (Y) в г от доз азотных (N) в кг/га, фосфорных (P) и калийных (K) удобрений в кг д.в./га

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической массой 1000 зерен Y
пшеница по пшенице		
Линейная парная	Y = 30,633 + 0,0042N	0,16
	Y = 30,867 – 0,0038P	0,24
	Y = 30,633 + 0,0042K	0,16
Нелинейная парная	-	-
	$Y = 30,65 + 0,0288P – 0,0004P^2$	0,64
	-	
Линейная множественная	Y = 30,78333 + 0,00417N – 0,00375P	0,29
пшеница по пшенице		
Линейная парная	Y = 33,167 + 0,075N	0,71
	Y = 33,517 + 0,0288P	0,45
	Y = 33,167 + 0,075K	0,71
Нелинейная парная	-	-
	$Y = 33,15 + 0,0837P – 0,0007P^2$	0,51
	-	
Линейная множественная	Y = 32,01667 + 0,07500N + 0,02875P	0,84
ячмень по пшенице		
Линейная парная	Y = 44,90 + 0,0733N	0,89
	Y = 45,542 + 0,0206P	0,41
	Y = 44,90 + 0,0733K	0,89
Нелинейная парная	-	-
	$Y = 45,6 + 0,0119P + 0,0001P^2$	0,41
	-	
Линейная множественная	Y = 44,075 + 0,07333N + 0,02063P	0,98

Приложение 75

Влияние минеральных удобрений на натуру зерна культур в севообороте (2014-2016 гг.)

Вариант	Натура зерна, г/л		
	первая пшеница	вторая пшеница	завершающее поле зернопарвого севооборота, ячмень
1. Контроль (без удобрений)	637	645	570
2. P_{40}	648	644	565
3. P_{80}	637	653	575
4. $N_{40}K_{40}$	642	650	583
5. $N_{40}P_{40}K_{40}$	641	667	590
6. $N_{40}P_{80}K_{40}$	644	648	588
$НСР_{05}$	5	6	8

Приложение 76

Содержание элементов питания в основной и побочной продукции, % (2017-2019 гг.)

Вариант	2017 г. пшеница		2018 г. пшеница		2019 г. овес	
	азот					
	зерно	солома	зерно	солома	зерно	солома
1. Контроль (без удобрений)	1,31	0,47	1,42	0,46	1,30	0,45
2. $N_{20}P_{20}$	1,41	0,52	1,44	0,46	1,33	0,52
3. $N_{40}P_{40}$	1,44	0,54	1,45	0,48	1,36	0,56
4. Гусиный помет, 5 т/га	1,38	0,54	1,69	0,51	1,41	0,59
5. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{20}P_{20}$	1,58	0,57	1,67	0,53	1,46	0,61
6. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{40}P_{40}$	1,63	0,59	1,79	0,53	1,47	0,61
7. Гусиный помет, 10 т/га	1,74	0,61	1,81	0,57	1,54	0,63
8. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{20}P_{20}$	1,72	0,54	1,75	0,55	1,57	0,63
9. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{40}P_{40}$	1,50	0,52	1,67	0,54	1,50	0,60
	фосфор					
1. Контроль (без удобрений)	0,86	0,14	0,84	0,16	0,65	0,21
2. $N_{20}P_{20}$	0,92	0,16	0,85	0,17	0,69	0,24
3. $N_{40}P_{40}$	0,94	0,17	0,93	0,19	0,67	0,26
4. Гусиный помет, 5 т/га	0,93	0,16	0,88	0,18	0,65	0,25
5. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{20}P_{20}$	0,93	0,18	0,86	0,21	0,67	0,28
6. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{40}P_{40}$	0,95	0,18	0,92	0,21	0,64	0,30
7. Гусиный помет, 10 т/га	0,98	0,17	0,92	0,22	0,69	0,26
8. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{20}P_{20}$	0,98	0,22	0,88	0,23	0,67	0,27
9. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{40}P_{40}$	0,92	0,18	0,86	0,20	0,62	0,28
	калий					
1. Контроль (без удобрений)	0,70	0,88	0,72	0,82	0,52	1,33
2. $N_{20}P_{20}$	0,73	0,94	0,82	0,80	0,50	1,27
3. $N_{40}P_{40}$	0,74	0,95	0,85	0,82	0,46	1,35
4. Гусиный помет, 5 т/га	0,70	0,85	0,80	0,85	0,45	1,44
5. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{20}P_{20}$	0,74	0,92	0,78	0,82	0,48	1,42
6. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{40}P_{40}$	0,76	0,91	0,80	0,84	0,50	1,42
7. Гусиный помет, 10 т/га	0,79	0,96	0,86	0,92	0,58	1,49
8. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{20}P_{20}$	0,80	0,94	0,84	0,90	0,57	1,48
9. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{40}P_{40}$	0,76	0,90	0,82	0,90	0,56	1,48

Приложение 77

Регрессионная зависимость содержания клейковины в зерне пшеницы (Y) в % от доз гусиного помета (П) в т/га и азотно-фосфорного (NP) удобрения в кг д.в./га

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической клейковиной Y
пшеница по пару		
Линейная парная	$Y = 19,417 + 0,2233П$	0,46
	$Y = 20,767 – 0,0058NP$	0,10
Нелинейная парная	$Y = 18,833 + 0,9233П – 0,07П^2$	0,63
	$Y = 20,567 + 0,0242NP – 0,0004NP^2$	0,17
Линейная множественная	$Y = 19,650 + 0,22333П – 0,00583NP$	0,48
Нелинейная множественная	$Y = 19,32754 + 0,81259П^{0,5} – 0,00010NP^2$	0,57
График поверхности	$Y = 16,9667 + 1,3033П + 0,0717NP – 0,07П^2 – 0,0004NP^2 – 0,0095П*NP$	0,62
Нелинейная множественная	$Y = 17,05078 – 0,62164П + 3,68118П^{0,5} – 0,04205NP + 0,68068NP^{0,5} – 0,19827(П*NP)^{0,5}$	0,82
	$Y = 16,96667 + 1,30333П – 0,07000П^2 + 0,07167NP – 0,00037NP^2 – 0,00950П*NP$	0,92
пшеница по пшенице		
Линейная парная	$Y = 20,75 + 0,2367П$	0,79
	$Y = 21,25 + 0,0171NP$	0,46
Нелинейная парная	$Y = 20,633 + 0,3767П – 0,014П^2$	0,80
	$Y = 21,133 + 0,0346NP – 0,0002NP^2$	0,48
Линейная множественная	$Y = 20,06667 + 0,23667П + 0,01708NP$	0,91
Нелинейная множественная	$Y = 19,81981 + 0,73683П^{0,5} + 0,15475NP^{0,5}$	0,93
График поверхности	$Y = 19,2833 + 0,4867П + 0,0483NP – 0,014П^2 – 0,0002NP^2 – 0,0027П*NP$	0,94
Нелинейная множественная	$Y = 19,3339 + 0,06767П + 0,81195П^{0,5} – 0,00404NP + 0,28707NP^{0,5} – 0,05453(П*NP)^{0,5}$	0,96
	$Y = 19,28333 + 0,48667П – 0,01400П^2 + 0,04833NP – 0,00022NP^2 – 0,00275П*NP$	0,98

Приложение 78

Влияние удобрений на массу 1000 зерен зерновых культур, г

Вариант	Первая пшеница	Вторая пшеница	Среднее в звене сево-оборота	Овес
1. Контроль (без удобрений)	25,1	28,6	26,9	34,2
2. $N_{20}P_{20}$	26,9	29,7	28,3	37,2
3. $N_{40}P_{40}$	28,0	31,1	29,6	37,5
4. Гусиный помет, 5 т/га	27,3	29,1	28,2	34,5
5. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{20}P_{20}$	27,2	29,4	28,3	37,2
6. Гусиный помет, 5 т/га+ $N_{40}P_{40}$	27,0	32,4	29,7	38,0
7. Гусиный помет, 10 т/га	27,5	29,8	28,7	37,8
8. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{20}P_{20}$	27,6	29,2	28,4	38,9
9. Гусиный помет, 10 т/га+ $N_{40}P_{40}$	27,8	29,1	28,5	38,3
$НСР_{05}$ для частных различий	0,4	0,3	–	0,6
Коэффициент корреляции (r_{05}) с урожайностью	0,64	0,21	–	0,80

Приложение 79

Регрессионная зависимость массы 1000 зерен зерновых культур (Y) от доз гусиного помета (П) в т/га и азотно-фосфорного (NP) удобрения в кг д.в./га

Форма зависимости	Уравнение регрессии	r между прогнозируемой и фактической массой 1000 зерен Y
пшеница по пару		
Линейная парная	$Y = 26,672 + 0,0967П$	0,49
	$Y = 26,672 + 0,0121NP$	0,49
Нелинейная парная	$Y = 26,667 + 0,1033П – 0,0007П^2$	0,49
	$Y = 26,633 + 0,0179NP – 0,00007NP^2$	0,50
Линейная множественная	$Y = 26,18889 + 0,09667П + 0,01208NP$	0,70
Нелинейная множественная	$Y = 26,13457 + 0,09667П + 0,10564NP^{0,5}$	0,70
График поверхности	$Y = 25,4944 + 0,2333П + 0,0342NP – 0,0007П^2 – 1,2917*10^{-5}*NP^2 – 0,0032П*NP$	0,78
Нелинейная множественная	$Y = 25,20497 + 0,08862П + 0,54754П^{0,5} + 0,00504NP + 0,24757NP^{0,5} – 0,10258(П*NP)^{0,5}$	0,95
	$Y = 25,49444 + 0,23333П – 0,00067П^2 + 0,03417NP – 0,00007NP^2 – 0,00325П*NP$	0,88
пшеница по пшенице		
Линейная парная	$Y = 30,039 – 0,0433П$	0,16
	$Y = 28,972 + 0,0212NP$	0,62
Нелинейная парная	$Y = 29,8 + 0,2433П – 0,0287П^2$	0,34
	$Y = 29,167 – 0,0079NP + 0,0004NP^2$	0,66
Линейная множественная	$Y = 29,18889 – 0,04333П + 0,02125NP$	0,64
Нелинейная множественная	$Y = 29,35214 – 0,00621П^2 + 0,00027NP^2$	0,70
График поверхности	$Y = 28,3444 + 0,4033П + 0,0121NP – 0,0287П^2 + 0,0004NP^2 – 0,004П*NP$	0,76
Нелинейная множественная	$Y = 28,37595 – 0,38937П + 1,52134П^{0,5} + 0,05646NP – 0,16391NP^{0,5} – 0,08391(П*NP)^{0,5}$	0,83
	$Y = 28,34444 + 0,40333П – 0,02867П^2 + 0,01208NP + 0,00036NP^2 – 0,00400П*NP$	0,88
овес по пшенице		
Линейная парная	$Y = 36,05 + 0,2033П$	0,54
	$Y = 35,85 + 0,0304NP$	0,65
Нелинейная парная	$Y = 36,3 – 0,0967П + 0,03П^2$	0,59
	$Y = 35,5 + 0,0829NP – 0,0007NP^2$	0,72
Линейная множественная	$Y = 34,83333 + 0,20333П + 0,03042NP$	0,84
Нелинейная множественная	$Y = 34,72265 + 0,02108П^2 + 0,28800NP^{0,5}$	0,91
График поверхности	$Y = 34,0333 + 0,0433П + 0,1004NP + 0,03П^2 – 0,0007NP^2 – 0,0035П*NP$	0,95
Нелинейная множественная	$Y = 34,03333 + 0,40333П + 0,03000П^2 + 0,10042NP + 0,00066NP^2 – 0,0035П*NP$	0,98

Приложения 80

Метеорологические данные за вегетационный период (Курганская метеостанция)

Год	Май				Июнь				Июль				Август				Ср. t°
	декады месяца																
	1	2	3	cpt°, ∑ос.,	1	2	3	cpt°, ∑ос.,	1	2	3	cpt°, ∑ос.,	1	2	3	cpt°, ∑ос.,	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
температура воздуха, С°																	
2001	14,5	13,7	18,6	15,6	14,6	16,9	16,5	16,0	16,0	18,7	18,9	17,9	20,1	18,3	12,6	17,0	16,6
2002	10,9	11,5	11,2	11,2	12,4	17,6	16,2	15,4	21,0	15,6	19,8	18,8	17,0	13,8	13,0	14,6	15,0
2003	12,2	16,8	15,6	14,9	13,8	16,7	20,5	17,0	22,0	16,8	16,8	18,5	22,1	23,3	21,5	22,3	18,2
2004	11,7	21,7	17,2	16,9	18,4	19,4	19,7	19,2	19,4	23,3	22,3	21,7	17,9	17,2	16,7	17,3	18,7
2010	15,0	13,9	14,9	14,6	19,2	20,5	20,4	20,0	18,4	20,0	22,0	20,1	23,3	19,7	18,5	20,5	18,8
2011	12,2	11,5	15,0	12,9	18,0	16,0	18,3	17,4	19,0	17,5	20,4	19,0	16,5	19,0	11,8	15,7	16,3
2012	8,4	15,6	17,9	14,1	21,2	20,2	20,2	20,5	21,2	27,5	19,4	22,6	21,7	19,7	15,5	18,8	19,0
2013	9,4	9,8	15,1	11,4	14,1	19,6	21,0	18,2	19,0	18,2	21,1	19,4	19,1	19,3	14,8	17,7	16,7
2014	13,7	17,7	13,2	14,8	15,8	19,3	21,1	18,7	19,7	13,4	13,6	15,5	20,0	18,9	18,0	18,9	17,0
2015	11,8	13,3	16,5	13,9	20,4	19,2	23,9	21,2	15,3	19,8	18,7	17,9	16,2	16,2	10,8	14,4	16,8
2016	9,5	11,4	18,0	13,1	16,4	18,2	18,6	17,7	20,0	19,7	19,2	19,6	23,1	22,7	18,4	21,3	17,9
2017	12,2	9,9	14,5	12,2	15,6	19,2	19,8	18,2	18,0	17,9	20,2	18,5	19,3	16,4	20,8	18,8	17,0
2018	7,7	9,6	11,9	9,7	14,5	14,5	18,3	15,8	22,0	21,0	19,6	20,8	19,2	17,0	14,8	17,0	15,8
2019	16,5	11,7	14,0	14,1	16,4	16,1	18,0	16,9	19,4	24,6	19,6	21,1	17,2	20,5	14,5	17,3	17,4
2020	14,0	16,3	18,2	16,2	17,2	17,2	13,7	16,0	21,2	26,8	19,5	22,4	25,1	15,0	18,1	19,3	18,5
2021	15,0	20,3	22,1	19,2	15,3	20,6	20,4	18,8	22,8	16,4	19,8	19,6	21,3	19,8	20,1	20,4	19,5
2022	10,8	14,1	14,9	13,3	16,2	18,9	16,8	17,3	17,9	23,0	20,6	20,5	20,1	16,3	19,1	18,5	17,4
Среднемно-голетние	10,6	12,7	14,9	12,7	15,6	18,3	18,7	17,5	20,1	19,6	19,1	19,6	17,7	16,7	14,9	16,4	16,6
				13,4				18,2				19,7				17,4	17,2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
осадки, мм																	∑осад.
2001	5,0	6,0	11,0	22,0	48,0	8,0	53,0	109,0	14,0	23,0	1,0	38,0	35,0	27,0	15,0	77,0	246,0
2002	2,0	18,0	40,0	60,0	27,0	25,0	70,0	122,0	16,0	5,0	16,0	37,0	17,0	45,0	34,0	96,0	315,0
2003	40,0	12,0	32,0	84,0	45,0	8,0	4,0	57,0	26,0	25,0	9,0	60,0	5,0	15,0	0,0	20,0	221,0
2004	6,0	2,0	10,0	18,0	7,0	18,0	29,0	54,0	1,0	0,0	15,0	16,0	0,0	34,0	17,0	51,0	139,0
2010	0,0	2,0	5,2	7,2	9,9	13,3	23,2	46,4	7,0	2,9	0,0	9,9	11,0	5,7	4,8	21,5	85,0
2011	1,0	4,0	7,6	12,6	66,3	16,1	43,0	125,4	9,0	49,8	50,8	109,6	5,0	0,7	19,9	25,6	273,2
2012	17,3	2,3	1,4	21,0	5,0	6,3	12,7	24,0	0,0	0,0	22,0	22,0	11,0	7,0	2,0	20,0	87,0
2013	6,4	8,5	34,3	49,2	0,0	11,0	9,0	20,0	20,8	19,6	18,0	58,4	23,6	11,0	7,3	41,9	169,5
2014	0,3	5,0	7,1	12,4	3,1	11,3	2,3	16,7	60,3	37,8	43,5	141,6	22,3	43,4	0,8	66,5	237,2
2015	33,6	20,6	5,2	59,4	14,3	6,8	3,0	24,1	62,4	15,0	13,6	91,0	11,3	18,3	41,5	71,1	245,6
2016	6,0	6,0	0	12,0	14,5	34,5	17,0	66,0	27,1	60,9	44,0	132,0	0,0	0,0	2,3	2,0	212,3
2017	4,3	9,0	34,0	47,3	10,8	42,2	1,8	54,8	25,4	5,0	19,1	49,5	32,3	27,0	1,1	60,4	212,3
2018	16,1	0,0	38,8	54,9	2,3	16,3	24,4	43,0	1,1	14,8	20,0	35,9	8,8	21,1	11,5	41,4	175,2
2019	0,8	6,7	15,1	22,6	14,0	8,7	26,1	48,8	15,3	0	20,9	36,2	19,8	12,0	69,0	100,8	208,4
2020	3,0	35,4	5,5	43,9	2,8	6,2	7,0	16,0	1,0	9,9	9,7	20,6	5,8	31,2	0,5	37,5	118,0
2021	0,0	0,0	0,5	0,5	3,5	3,0	7,2	13,7	3,3	47,3	26,1	76,7	2,5	1,2	4,7	8,4	99,3
2022	0,0	14,5	10,7	25,2	7,7	23,0	20,2	50,9	5,8	23,5	6,3	35,6	2,8	13,8	0,5	17,1	128,8
Среднемно-голетние	7,0	12,0	9,0	28,0	21,0	17,0	21,0	59,0	21,0	18,0	21,0	60,0	15,0	16,0	15,0	46,0	193,0
				38				51				54				54	197,0

Приложение 81

ГТК по Г.Т. Селянинову

Год	Май				Июнь				Июль				Август				Среднее за период
	декады месяца																
	1	2	3	ср.	1	2	3	ср.	1	2	3	ср.	1	2	3	ср.	
2001	0	0,1	0,2	0,1	2,5	0,4	4,0	2,2	0,5	1,2	0,1	0,6	1,1	1,0	1,1	1,1	1,01
2002	0	2,1	5,1	4,5	2,0	1,4	4,3	2,6	0,7	0,3	0,8	0,7	1,0	3,2	2,3	0,7	1,93
2003	3,6	1,7	1,4	2,1	2,0	0,8	0,1	0,9	1,0	0,8	0,5	0,8	0,7	0,4	0	0,3	1,08
2004	0,5	0	0,6	0,3	0,4	0,9	1,4	0,9	0	0	0,8	0,3	0	2,0	0,9	1,0	0,63
2010	0	0,1	0,3	0,2	0,4	0,5	0,9	0,6	0,3	0,1	0	0,1	0,4	0,2	0,2	0,3	0,29
2011	0,1	0,2	0,4	0,2	2,8	0,8	1,9	1,8	0,4	2,3	2,0	1,6	0,2	0,02	1,4	0,5	1,10
2012	1,4	0,1	0,1	0,5	0,2	0,3	0,5	0,3	0	0	0,9	0,3	0,4	0,3	0,1	0,3	0,30
2013	0,5	0,6	1,7	0,9	0	0,4	0,3	1,1	0,9	0,9	0,7	0,8	1,0	0,5	0,4	0,6	0,66
2014	0	0,2	0,4	0,2	0,1	0,5	0,1	0,3	2,5	2,3	2,7	2,9	0,9	2,0	0,04	1,0	0,92
2015	3,7	1,6	0,3	1,5	0,7	0,4	0,1	0,4	4,1	0,8	0,7	1,6	0,7	1,1	4,8	1,7	1,32
2016	1,2	0,8	0	0,8	0,9	1,9	0,9	1,3	1,4	3,1	2,1	2,2	0	0	0,1	0	1,07
2017	0,3	0,7	2,4	1,2	0,7	2,2	0,1	1,0	1,4	0,3	0,8	0,9	1,7	1,7	0	1,1	1,03
2018	2,0	0	2,9	1,8	0,2	1,2	1,1	0,8	0,0	0,7	0,9	0,6	0,5	1,2	0,7	0,8	0,95
2019	0,1	0,1	0,6	0,1	0,8	0,3	1,4	0,9	0,8	0	1,0	0,5	1,1	0,6	3,7	1,7	0,88
2020	0,21	2,17	0,28	0,87	0,16	0,36	0,51	0,33	0,05	0,37	0,45	0,30	0,23	2,09	0,03	0,63	0,52
2021	0	0	0,02	0,01	0,23	0,15	0,35	0,24	0,14	2,89	1,20	1,26	0,12	0,06	0,21	0,13	0,41
2022	0	1,03	0,65	0,71	0,47	1,22	1,21	0,98	032	1,02	0,28	0,56	0,14	0,85	0,02	0,30	0,60

Приложение 82

Экономическая эффективность применения химических мелиорантов в полевом севообороте (опыт 1, 2001- 2003 гг.)

Вариант	Суммарная продуктив-ность, т з.е.	Производственные затраты, руб.		Стоимость продукции 1 га, руб.	Условный чистый доход, руб.		Рентабель-ность, %
		на 1 га	на 1 т		на 1 га	на 1 т	
1. Контроль (без удобрений)	6,32	10164	1608	18060	7896	1249	78
2. $N_{175}P_{140}$	8,42	15871	1885	23924	8053	956	51
3. Навоз 40 т/га	7,42	11478	1547	21500	10022	1351	87
4. Навоз + NP	10,13	16904	1669	28138	11234	1109	66
5. Известь 3 т/га – $фон_1$	7,31	14613	1999	20998	6385	873	44
6. $Фон_1$ + NP	9,77	19934	2040	27105	7171	734	34
7. $Фон_1$ + навоз 40 т/га	8,18	15837	1936	23492	7655	936	48
8. $Фон_1$ + навоз + NP	11,75	21511	1831	32190	10679	909	50
9. Фосфоритная мука 1 т/га- $фон_2$	7,20	13831	1921	20784	6953	966	50
10. $Фон_2$ + NP	9,69	19108	1972	27029	7921	817	42
11. $Фон_2$ + навоз	8,36	15136	1810	24296	9160	1096	61
12. $Фон_2$ + навоз + NP	11,39	20690	1817	31094	10404	913	50
13. Гипс 3 т/га – $фон_3$	7,12	14663	2059	20816	6153	864	42
14. $Фон_3$ + NP	9,54	20081	2105	27220	7139	748	36
15. $Фон_3$ + навоз	8,75	15960	1824	25846	9886	1129	62
16. $Фон_3$ + навоз + NP	11,20	21385	1909	31774	10389	928	49

Приложение 83

Экономическая эффективность применения химических мелиорантов в полевом севообороте (опыт 2, 2001- 2004 гг.)

Вариант	Суммарная продуктивность, т з.е.	Производ водственные на 1 га всего за ротацию	Стоимость продукции 1 га, руб.	Условный чистый доход, руб. на 1 га, всего за ротацию	Рентабельность, %
1. Контроль (без удобрений)	5,36	34950	68072	33122	95
2. $N_{175}P_{140}$	6,82	51613	86614	35001	68
3. Навоз 40 т/га	5,86	39950	74422	34472	86
4. Навоз + NP	7,57	56613	96139	39526	70
5. Солома 5 т/га	5,3	35950	67310	31360	87
6. Солома + NP	7,14	52613	90678	38065	72
7. Сидераты 38,6 т/га	5,75	37450	73025	35575	95
8. Сидераты + NP	7,3	54114	92710	38596	71
9. Известь 3 т/га – $фон_1$	5,76	37950	73152	35202	93
10. Известь + NP	7,6	54614	96520	41906	77
11. Известь + навоз	7,1	42950	90170	47220	110
12. Известь + навоз + NP	8,8	59614	111760	52146	87
13. Фосфоритная мука + навоз + NP	8,18	65614	103886	38272	58
14. Гипс + навоз + NP	8,06	60314	102362	42048	70

Приложение 84

Патент на изобретение



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2667159

ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЕ УДОБРЕНИЕ

Патентообладатели: ***Башмакова Екатерина Олеговна (RU), Плотников Алексей Михайлович (RU)***

Авторы: ***Башмакова Екатерина Олеговна (RU), Плотников Алексей Михайлович (RU), Постовалов Алексей Александрович (RU), Созинов Андрей Викторович (RU)***

Заявка № **2017131310**
Приоритет изобретения **05 сентября 2017 г.**
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **17 сентября 2018 г.**
Срок действия исключительного права на изобретение истекает **05 сентября 2037 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Приложение 85

Акт внедрения результатов НИР (ООО «Агро-Клевер»)

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ООО «АГРО-КЛЕВЕР»
Шадринского района
_____Сусляков В.В.
10 декабря 2021 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
результатов научно-исследовательской работы

Заказчик – ООО «АГРО-КЛЕВЕР» Шадринского района Курганской области.

Настоящим актом подтверждается, что результаты научной работы «Действие минеральных удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур в полевом севообороте», были внедрены в 2021 году при проведении производственных испытаний в хозяйстве ООО «АГРО-КЛЕВЕР» Шадринского района Курганской области.

1. Характеристика внедренных результатов. В производство внедрены технологические элементы возделывания яровой пшеницы, включающие почвенно-агрохимическое обследование, интерпретацию полученных результатов и на основании их выбор и расчет дозы внесения удобрений. Рекомендации по усовершенствованию существующей системы удобрения пшеницы, разработанные, доцентами Плотниковым А.М. и Созиновым А.В. способствовали в 2021 г. повышению урожайности в среднем на 0,56 т/га, при этом обеспечивается увеличение содержание сырой клейковины на 4,7 %.

2. Объем внедрения. ООО «АГРО-КЛЕВЕР» с. Мальцево, Шадринского района Курганской области. Результаты НИР внедрены на площади 48 га.

3. Новизна результатов научно-исследовательской работы. Показано преимущество расчетных доз минеральных удобрений в технологии возделывания пшеницы в производственных условиях конкретного хозяйства.

4. Годовой экономический эффект от внедрения составил 1880 руб / га.

5. Научно-технический эффект: внедрение предложенной системы применения удобрений под пшеницу в хозяйстве обеспечивает не только повышение урожайности, но и способствует сохранению плодородия чернозёмной почвы.

от исполнителя
_____/ А.М. Плотников
_____/ А.В. Созинов

от заказчика
_____/ Мальцев С.Н

Приложение 86

Акт внедрения результатов НИР (ООО «Пичугино»)

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ООО «Пичугино»
Варгашинского муниципального
округа Курганской области
_____П.А. Мухин
_____ 2022 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
результатов научно-исследовательской работы

Заказчик - ООО «Пичугино» Варгашинского муниципального округа Курганской области.
Настоящим актом подтверждается, что результаты научной работы «Действие минеральных удобрений на урожайность пшеницы в полевом севообороте лесостепного Зауралья», были внедрены в 2022 году при проведении производственных испытаний в хозяйстве ООО «Пичугино» Варгашинского муниципального округа Курганской области.
Характеристика внедренных результатов. В производство внедрены технологические элементы возделывания зерновых культур, включающие почвенно-агрохимическое обследование, интерпретацию полученных результатов и на основании их выбор и расчет дозы внесения удобрений. Рекомендации по усовершенствованию существующей системы удобрения яровой пшеницы, разработанные доцентом Плотниковым А.М. способствовали в 2022 году повышению урожайности в среднем на 0,56 т/га, при этом обеспечивалось увеличение содержание сырой клейковины на 4,5 %.
Объем внедрения. ООО «Пичугино, с. Пичугино, Варгашинского муниципального округа. Курганской области. Результаты НИР внедрены на площади 945 га.
Новизна результатов научно-исследовательской работы. Показана эффективность минеральных удобрений в технологии возделывания пшеницы в производственных условиях конкретного хозяйства.
Годовой экономический эффект от внедрения составил 2710 руб / га.
Научно-технический эффект: внедрение предложенной системы применения удобрений под пшеницу в хозяйстве обеспечивает не только повышение урожайности, но и способствует снижению дефицита элементов питания.

от исполнителя _____ А.М. Плотников

от заказчика _____

Приложение 87

Акт внедрения результатов НИР (АО «Долговское»)

«УТВЕРЖДАЮ»
Управляющий АО «Долговское»
Каргапольского муниципального
округа _____А.Т. Куандыков
_____2023 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательской работы

Заказчик – АО «Долговское» Каргапольского муниципального округа Курганской области.

Настоящим актом подтверждается, что результаты научной работы «Действие минеральных удобрений на продуктивность зерновых культур в полевом севообороте», были внедрены в 2023 году при проведении производственных испытаний в хозяйстве АО «Долговское» Каргапольского муниципального округа Курганской области.

1. Характеристика внедренных результатов. В производство внедрены технологические элементы возделывания яровой пшеницы, включающие почвенно-агрохимическое обследование, интерпретацию полученных результатов и на основании их выбор и расчет доз внесения азотных и фосфорных удобрений. Рекомендации по усовершенствованию существующей системы удобрения пшеницы, разработанные доцентом Плотниковым А.М. способствовали в 2023 г. повышению урожайности в среднем на 0,45 т/га, при этом обеспечивалось увеличение в зерне содержание сырой клейковины на 3,3 %.

2. Объем внедрения. АО «Долговское» с. Долговское, Каргапольского муниципального округа Курганской области. Результаты НИР внедрены на площади 586 га.

3. Новизна результатов научно-исследовательской работы. Показано преимущество расчетных доз минеральных удобрений в технологии возделывания пшеницы в производственных условиях хозяйства.

4. Годовой экономический эффект от внедрения составил 1620 руб / га.

5. Научно-технический эффект: внедрение предложенной системы применения удобрений под пшеницу в хозяйстве обеспечивает не только повышение урожайности, но и способствует сохранению плодородия чернозёмной почвы.

от исполнителя _____/ А.М. Плотников

от заказчика _____/ _А.Т. Куандыков

Приложение 88

Акт внедрения результатов НИР (Глава КФХ Межин А.Ю.)

«УТВЕРЖДАЮ»
Глава КФХ Межин А.Ю.
Далматовского муниципального
округа _____А.Ю. Межин
_____2023 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательской работы

Заказчик – Глава КФХ Межин А.Ю., Далматовского муниципального округа Курганской области.

Настоящим актом подтверждается, что результаты научной работы «Действие и последействие удобрений и известкования чернозёма на урожайность культур в зернопаровом севообороте в Далматовском муниципальном округе Курганской области», были внедрены в 2022-2023 годах при проведении производственных испытаний в хозяйстве Глава КФХ Межин А.Ю. Далматовского муниципального округа Курганской области.

1. Характеристика внедренных результатов. При производстве зерновых культур внедрены технологические приемы возделывания растений, включающие комплексное агрохимическое обследование, анализ и интерпретацию полученных результатов. На основании этого определен выбор и проведены расчеты доз внесения минеральных удобрений и известкого материала. Рекомендации по усовершенствованию существующей системы удобрения зерновых культур, разработанные кандидатом сельскохозяйственных наук Плотниковым А.М. способствовали снижению избыточной кислотности: обменной (pH) с 5,4 до 5,8 ед., и гидролитической на 0,6 мг.-экв./ 100 г почвы. Также в 2022 году отмечалось увеличение на производственных участках урожайности пшеницы на 0,31 т/га, в 2023 г. в среднем на 0,48 т/га, при этом обеспечивалось увеличение в зерне содержание клейковины на 3,2 %.

2. Объем внедрения. Глава КФХ Межин А.Ю. Далматовского муниципального округа Курганской области. Результаты НИР внедрены на площади 661 га.

3. Новизна результатов научно-исследовательской работы. Отражено преимущество расчетных доз минеральных удобрений и известкого материал в технологии возделывания пшеницы в производственных условиях хозяйства.

4. Годовой экономический эффект от внедрения составил 2360 руб / га.

5. Научно-технический эффект: внедрение предложенной системы применения удобрений под пшеницу в хозяйстве обеспечивает не только повышение урожайности, но и способствует снижению кислотности чернозёма выщелоченного тяжелосуглинистого.

от исполнителя _____ / А.М. Плотников

от заказчика _____ / А.Ю. Межин

Приложение 89

Акт внедрения результатов НИР (ООО «Волна»)

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ООО «Волна»
Шадринского муниципального
округа _____А.В. Савельев
_____2023 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательской работы

Заказчик – ООО «Волна» Шадринского муниципального округа Курганской области.

Настоящим актом подтверждается, что результаты научной работы «Действие и последействие удобрений и извести на продуктивность культур в зернопаровом севообороте», были внедрены в 2022-2023 годах при проведении производственных испытаний в хозяйстве ООО «Волна» Шадринского муниципального округа Курганской области.

1. Характеристика внедренных результатов. В производство внедрены технологические элементы возделывания зерновых культур, включающие почвенно-агрохимическое обследование, интерпретацию полученных результатов и на основании их выбор и расчет доз внесения минеральных удобрений и извести. Рекомендации по усовершенствованию существующей системы удобрения зерновых культур, разработанные доцентом Плотниковым А.М. способствовали снижению избыточной обменной кислотности (pH) с 5,5 до 5,7 ед., в 2022 году увеличению урожайности пшеницы на 0,24 т/га, в 2023 г. повышению урожайности в среднем на 0,40 т/га, при этом обеспечивалось увеличение в зерне содержание сырой клейковины на 2,5 %.

2. Объем внедрения. ООО «Волна» Шадринского муниципального округа Курганской области. Результаты НИР внедрены на площади 438 га.

3. Новизна результатов научно-исследовательской работы. Показано преимущество расчетных доз минеральных удобрений и извести в технологии возделывания пшеницы в производственных условиях хозяйства.

4. Годовой экономический эффект от внедрения составил 2150 руб / га.

5. Научно-технический эффект: внедрение предложенной системы применения удобрений под пшеницу в хозяйстве обеспечивает не только повышение урожайности, но и способствует сохранению плодородия чернозёма выщелоченного.

от исполнителя _____/ А.М. Плотников

от заказчика _____/ А.В. Савельев

Приложение 90

Акт внедрения результатов НИР (ООО «Агрокомплекс «Кургансемена»)

«УТВЕРЖДАЮ»
ООО «Агрокомплекс «Кургансемена»
Кетовского муниципального округа
_____ М.В. Нестеров
30 ноября 2023 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
результатов научно-исследовательской работы

Заказчик – ООО «Агрокомплекс «Кургансемена», Кетовского муниципального округа Курганской области.

Настоящим актом подтверждается, что результаты научной работы «Влияние минеральных удобрений и известкования чернозёма выщелоченного на урожайность зерновых культур в севообороте» в Кетовском муниципальном округе Курганской области, были внедрены в 2021-23 гг. при проведении производственных испытаний в хозяйстве ООО «Агрокомплекс «Кургансемена» Кетовского муниципального округа Курганской области.

1. *Характеристика внедренных результатов.* При возделывании зерновых культур внедрены агрохимические приемы (минеральные удобрения и известкование), обобщение, анализ и интерпретация полученных результатов.

На основании полевых результатов определен выбор и проведены расчеты доз внесения минеральных удобрений и известковой муки. Рекомендации по усовершенствованию существующей системы удобрения зерновых культур, разработанные кандидатом сельскохозяйственных наук Плотниковым А.М. способствовали снижению кислотности чернозёма (снижение обменной кислотности после внесения извести в норме 3 т/га (0,75 г.к.) составило 0,45 ед., с 5,2 до 5,65 ед., гидролитической на 1,1 мг.-экв. /100 г почвы до 2,7 мг.-экв. /100 г почвы.

Наблюдался в 2021 г. рост урожайности пшеницы на 0,35 т/га, в 2022 году увеличение урожайности второй пшеницы составило 0,53 т/га, в 2023 году ячменя – на 0,42 т/га

2. *Объем внедрения.* Результаты НИР внедрены на площади 2243 га.

3. *Новизна результатов научно-исследовательской работы.* Отражено преимущество расчетных доз минеральных удобрений и извести в технологии возделывания зерновых культур в севообороте в производственных условиях хозяйства.

4. *Годовой экономический эффект* от внедрения составил 4730 руб. / га.

5. *Научно-технический эффект:* внедрение предложенной системы применения азотно-фосфорных удобрений и извести под зерновые культуры в хозяйстве обеспечивает повышение их урожайности и снижение кислотности чернозёма выщелоченного легкосуглинистого.

от исполнителя _____ / А.М. Плотников

от заказчика _____ / С.А. Слободчиков

Приложение 91

Акт внедрения результатов НИР (ООО «Яровит»)

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ООО «Яровит»
г. Далматово Курганской области
_____ А.А. Сюсин
_____ 2023 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Заказчик – ООО «Яровит», г. Далматово Курганской области.

Настоящим актом подтверждается, что результаты научно-исследовательской работы: «Влияние азотных удобрений и фосфоритование чернозёма выщелоченного на урожайность пшеницы в звене зернопарового севооборота в Далматовском муниципальном округе Курганской области», были внедрены в 2022-2023 годах при проведении производственных испытаний в хозяйстве ООО «Яровит», Курганской области.

1. Характеристика внедренных результатов. При возделывании яровой пшеницы внедрены технологические приемы, включающие агрохимическое обследование производственных участков, обобщение исходных данных, анализ и интерпретацию полученных результатов.

На основании полевых результатов определен выбор и проведены расчеты доз внесения азотных удобрений и фосфоритной муки. Рекомендации по усовершенствованию существующей системы удобрения зерновых культур, разработанные кандидатом сельскохозяйственных наук Плотниковым А.М. способствовали улучшению фосфатного режима чернозёма (содержание подвижного фосфора на второй год после внесения фосфоритной муки в норме 800 кг/га увеличилось на 22-37 мг/ кг почвы).

В 2022 году наблюдался рост урожайности пшеницы на 28 %, в 2023 г. в среднем на 42 %, увеличение в зерне содержания сырой клейковины на 4,6 %.

2. Объем внедрения. ООО «Яровит», г. Далматово, Курганской области. Результаты НИР внедрены на площади 297 га.

3. Новизна результатов научно-исследовательской работы. Отражено преимущество расчетных доз минеральных удобрений и фосфоритной муки в технологии возделывания пшеницы в производственных условиях хозяйства.

4. Годовой экономический эффект от внедрения составил 3460 руб / га.

5. Научно-технический эффект: внедрение предложенной системы удобрения под пшеницу в хозяйстве обеспечивает повышение урожайности и способствует улучшению фосфатного режима чернозёма выщелоченного среднесуглинистого.

от исполнителя _____ / А.М. Плотников

от заказчика _____ / А.С. Лихота

Приложение 92

Акт внедрения результатов НИР (АО «Новая Пятилетка»)

«УТВЕРЖДАЮ»
Управляющий АО «Новая Пятилетка»
Мишкинского муниципального округа
Курганской области
_____ Р.И. Шлегель
_____ 2023 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательской работы

Заказчик – АО «Новая Пятилетка» Мишкинского муниципального округа района Курганской области.

Настоящим актом подтверждается, что результаты научной работы **«Эффект применения извести, минеральных удобрений на плодородие чернозёма выщелоченного и продуктивность пшеницы лесостепного Зауралья»**, были внедрены в 2022-2023 годах при проведении производственных испытаний в хозяйстве АО «Новая Пятилетка» Мишкинского муниципального округа Курганской области.

1. Характеристика внедренных результатов. При возделывании яровой пшеницы в звене севооборота проведены почвенно-агрохимическое обследование, обобщение и анализ исходных данных, интерпретированы полученные результаты и на основании их сделан выбор и расчет дозы внесения минеральных удобрений.

Разработанные доцентом А.М. Плотниковым рекомендации по усовершенствованию существующей системы удобрения яровой пшеницы, способствовали снижению обменной кислотности (pHсол) чернозёма на 0,3 ед. (до 5,4 ед). Отмечалось повышение урожайности в 2022 году на 0,38 т/га, в 2023 году на фоне последействия извести (2,0 т/га.) и применения на этом фоне азотно-фосфорного удобрения на 0,64 т/га

2. Объем внедрения. АО «Новая Пятилетка, р.п. Мишкино, Мишкинского муниципального Курганской области. Результаты НИР внедрены на площади 2364 га.

3. Новизна результатов научно-исследовательской работы. Показано преимущество расчетных доз минеральных удобрений на фоне известкования почвы в технологии возделывания пшеницы в производственных условиях конкретного хозяйства.

4. Годовой экономический эффект от внедрения составил 3170 руб / га.

5. Научно-технический эффект: внедрение предложенной системы применения мелиоранта и удобрений под пшеницу в хозяйстве обеспечивает повышение урожайности и способствует сохранению плодородия чернозёмной почвы.

от исполнителя _____ А.М. Плотников

от заказчика _____

Приложение 93

Акт внедрения результатов НИР в учебный процесс

«УТВЕРЖДАЮ»
Врио директора Лесниковского
филиала ФГБОУ ВО «Курганский
государственный университет»
_____Сажина С.В.
16.02_____2024 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
результатов научной работы в учебный процесс

Результаты научных исследований Плотникова А.М. по теме «Формирование плодородия чернозёма при длительном использовании в агроландшафтах лесостепного Зауралья» внедрены и используются в учебном процессе Курганской государственной сельскохозяйственной академии имени Т.С. Мальцева – филиале ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет» при подготовке студентов по направлениям 35.03.04 Агрономия, 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение, 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение, а также при проведении научных исследованиях кафедры землеустройства, земледелия, агрохимии и почвоведения.

Результаты исследований реализованы при разработке агротехнологических приемов сохранения плодородия чернозема и систем удобрения в лесостепной зоне Зауралья и используются в преподавании дисциплин «Агропочвоведение» и «Агрохимия». Установлены изменения параметров плодородия чернозёмов при длительном сельскохозяйственном использовании, количественные показатели баланса азота, фосфора, калия, кальция в агроландшафтах, связи основных свойств почвы и потребности растений в элементах питания с эффективностью удобрений, урожайностью зерновых культур, что является теоретической основой построения систем удобрения, обеспечивающих воспроизводство почв, получение планируемых урожаев.

Применение органоминеральных систем удобрения с использование математического моделирования элементов продукционного процесса позволяет увеличить урожайность зерновых культур на 20-30 %, получить продукцию высокого качества, поддержать плодородие старопахотных почв.

Материалы рассмотрены на Собрании института инженерии и агрономии «15» февраля 2024 г., протокол № 3.

Руководитель института инженерии и агрономии С.В. Сажина