

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский государственный аграрный университет»

На правах рукописи

ЗАРИПОВ ДАЙНИС ФАРИТОВИЧ

**ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ОТ
ПОЧВЕННО-АГРОХИМИЧЕСКИХ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИЙ И УРОВНЯ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
ПРЕДВОЛЖЬЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

4.1.3 Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель –
доктор сельскохозяйственных наук,
Лукманов Анас Ахтямович

Казань – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	10
1.1 Обеспечение продовольственной безопасности страны – главнейшая задача агропромышленного комплекса страны	10
1.2 Почвенно-климатические условия и урожайность сельскохозяйственных культур	15
1.3 Роль агрохимикатов в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур и плодородия почв	21
2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ	34
2.1 Общая характеристика исследуемой зоны	34
2.2 Почвенно-климатические условия зоны исследования	35
2.3 Методология и методы исследований	38
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	40
3.1 Изменчивость агрометеорологических условий за годы проведения исследования	40
3.2 Особенности структуры почвенного покрова Предволжья РТ ...	47
3.3 Временная и пространственная изменчивость уровня применения удобрений и химических мелиорантов	49
3.3.1 Динамика применения минеральных удобрений.....	49
3.3.2 Динамика применения органических удобрений.....	54
3.3.3 Динамика применения химических мелиорантов	58
3.4 Трансформация агрохимических свойств почв в процессе их сельскохозяйственного использования	67
3.4.1 Обеспеченность почв органическим веществом	68
3.4.2 Кисотно-основные свойства почв	82
3.4.3 Обеспеченность почв подвижными формами фосфора и калия	91
3.4.4 Содержание в почвах микроэлементов и тяжелых металлов ...	113

3.5	Зависимость урожайности зерновых культур от почвенно-агрохимических показателей пашни, уровня применения агрохимикатов и агрометеорологический условий	129
3.5.1	<i>Динамика урожайности зерновых культур за годы наблюдений</i>	129
3.5.2	<i>Парная корреляция урожайности зерновых культур от уровня применения агрохимикатов</i>	136
3.5.3	<i>Парная корреляция урожайности зерновых культур от почвенно-агрохимических параметров пашни</i>	144
3.5.4	<i>Парная корреляция урожайности зерновых культур от основных агрометеорологических условий</i>	153
3.6	Баланс гумуса и основных макроэлементов под зерновыми культурами в муниципальных районах Предволжья Республики Татарстан	165
3.7	Оценка агрономической и экономической эффективности применения удобрений на посевах зерновых культур	178
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	183
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	190
	ПРИЛОЖЕНИЯ	214

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Фундаментальным фактором устойчивого функционирования агропромышленного комплекса выступает обеспечение сохранности и расширенного воспроизводства почвенного плодородия при условии рациональной эксплуатации земель сельскохозяйственного назначения. В совокупности с иными природными факторами плодородие пашни формирует специфическую производственную силу почвы, которая напрямую определяет уровень затрат на возделывание культур и производительность труда.

Фундаментальным фактором обеспечения бездефицитного баланса элементов питания и наращивания объемов урожая выступает химизация полей. Это вполне закономерно, поскольку «само функционирование агроценозов основывается на систематическом отчуждении больших количеств биогенных элементов» [Черников, Чекерес, 2000]. Более того, «ведущая роль удобрений для достижения этих задач сохранится и в обозримом будущем, так как внесение удобрений - самое сильное вмешательство человека в круговорот питательных элементов в земледелии, в создании активного баланса в системе почва-удобрение-растение» [Минеев и др., 2017].

Научно-обоснованное применение агрохимикатов интенсифицирует производство за счет роста урожайности и улучшения качественных показателей продукции, а также служит инструментом поддержания почвенного плодородия и обеспечения его расширенного воспроизводства. Однако длительное игнорирование физико-химических свойств удобрений, специфики почвенных показателей и физиологических потребностей растений ведет к обратным результатам: снижению эффективности подкормок, деградации плодородного слоя, ухудшению качества урожая и негативному влиянию на окружающую среду [Муратов, 2015].

Обеспечение устойчивого развития растениеводства, получение высококачественной продукции при одновременном сохранении ресурсного потенциала земель невозможно без непрерывного мониторинга состояния

пашни. Первоочередное значение в этом контексте приобретают многолетние массивы данных региональной агрохимической службы, позволяющие оптимизировать физико-химические свойства грунтов на основе объективных показателей.

Накопленный за десятилетия банк данных по материалам почвенных и агрохимических обследований служит эмпирической базой для решения фундаментальных вопросов питания растений. На наш взгляд, именно ретроспективный анализ таких данных должен служить фундаментом для разработки теоретических положений и практических регламентов интенсификации земледелия. Исходя из этого, целью настоящего исследования стала оценка вектора трансформации агрохимических параметров пахотного горизонта и продуктивности зерновых агрофитоценозов под воздействием пролонгированного применения органических, минеральных удобрений и химических мелиорантов в условиях Предволжской зоны Республики Татарстан (РТ) за период с 1965 по 2022 год. Решение данной задачи позволит верифицировать прогноз изменения плодородия, а также сформулировать научно обоснованные алгоритмы рационального использования средств химизации для расширенного воспроизводства почвенного ресурса.

Состояние изученности темы. Вопросами генезиса зональных почв, изменчивости их плодородия в результате сельскохозяйственного использования занимались многие исследователи с конца 19 века (Рупрехт Ф.И., 1866; Докучаев В.В., 1883; Коржинский С.И., 1887; Р. В. Ризположинский Р.В., 1892) и в течение всего 20 века (Тюрин И.В., 1930; Винокуров М.А., 1934; Шендриков М.Г., 1934; Маданов П.В., 1936; Утэй И.В., 1951, 1968; Фатхуллин А.Ш., 1952, Колоскова А.В., 1956, 1960; Курочкин М.Ф., 1960; Даутов Р.К., 1975; Минибаев В.Г., Даутов Р.К., 1979; Гайнутдинов М.З., 1985; Гайсин И.А., 1989; Гилязова С.М., Балахчев Г.Н., Мельников Л.В., 1995 и др.). Влияние агрохимикатов на плодородие пахотных почв РТ и урожайность сельскохозяйственных культур неплохо освещены в работах Храмова И.Т. (2001); Алиева Ш.А., Шакирова В.З., Нуриева С.Ш (2002, 2005); Муртазиной

С.Г. (2006); Ломако Е.И., Бакирова Н.Б. (2007); Гайсина И.А., Сагитовой Р.Н., Хабибуллина Р.Р. (2010); Лукманова А.А., Нуриева С.Ш., Давлятшина И.Д. (2010); Сулейманова И.Р., Гилязова М.Ю. (2010); Иванова Д.В. (2015); Гаффаровой Л.Г., Муртазиной С.Г., Муртазина М.Г. (2017); Гарафутдиновой К.Р., Рахмановой Г.Ф., Маснавиевой Р.Р. (2022); Лукманова А.А. (2021, 2024). Однако явно в недостаточном объеме имеется информация о влиянии длительного применения агрохимикатов на агрохимические и агроэкологические параметры пахотных земель и урожайность сельскохозяйственных культур в производственных условиях в зависимости от распространенности типов и подтипов зональных почв. Именно данное обстоятельство сделало необходимым проведение наших исследований.

Цель исследования – оценить влияния длительного применения органических, минеральных удобрений и химических мелиорантов на динамику агрохимических свойств пахотных почв и урожайность зерновых культур в условиях Предволжья РТ в 1965-2022 гг.

Задачи исследования:

- оценить характер изменения интенсивности применения органических, минеральных удобрений, химических мелиорантов и агрометеорологических условий за исследуемый период;
- установить динамику изменения основных агрохимических показателей плодородия пахотных почв Предволжья РТ в зависимости от уровня применения агрохимикатов;
- определить зависимость урожайности зерновых культур от уровня применения химических мелиорантов, удобрений, почвенно-агрохимических параметров пахотных земель и агрометеорологических условий;
- рассчитать и оценить баланс гумуса, азота, фосфора и калия под зерновыми культурами исследуемого региона;
- определить агрономическую и экономическую эффективность применения удобрений и химических мелиорантов на посевах зерновых культур.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Многолетняя (1965-2020 гг.) изменчивость агрометеорологических условий, уровня применения удобрений и химических мелиорантов в условиях Предволжья РТ.

2. Трансформация агрохимических свойств пахотных почв исследуемой зоны под влиянием длительного применения минеральных, органических удобрений и химических мелиорантов.

3. Среднегодовой прирост урожайности зерновых в регионе за 55 лет в зависимости от уровня применения удобрений и химических мелиорантов.

4. Урожайность зерновых культур в муниципальных районах региона (*пространственный ряд*) в наибольшей степени обуславливалась обеспеченностью почв гумусом, а по циклам агрохимических обследований по региону (*временной ряд*) - средневзвешенным содержанием подвижных форм фосфора, калия и степенью кислотности почвы. Корреляция урожайности зерновых культур более значимой была от средней температуры воздуха, нежели от величины ГТК и количества осадков.

5. Балансы гумуса, азота, фосфора и калия под зерновыми культурами в исследуемом регионе оказались отрицательными.

6. Применение минеральных и органических удобрений под зерновые культуры в условиях Предволжья РТ является агрономически и экономически эффективным.

Научная новизна исследований. Впервые оценено влияние интенсивности применения химических мелиорантов, удобрений на агрохимические показатели почвенного плодородия в течение 10 туров агрохимического обследования и урожайность зерновых культур в условиях Предволжья РТ. Установлено слабое влияние сложившегося (наблюдаемого) уровня применения агрохимикатов на гумусное состояние пахотных почв региона и главенствующая роль интенсивности известкования в сокращении доли кислых почв в составе пашни ($r=-0,87$). На урожайность зерновых культур в Предволжье по циклам агрохимических обследований (*временной ряд*)

наибольшее влияние оказало средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора ($r=0,65$), калия ($r=0,71$) и степень кислотности почвы ($r=-0,66$). Однако урожайность зерновых культур в отдельных муниципальных районах региона за весь период наблюдений (пространственный ряд) в наибольшей степени обуславливалась обеспеченностью почв гумусом ($r=0,66$). Зафиксирована тенденция к росту как суммы атмосферных осадков, так и средних температур воздуха в течение вегетационного периода, что предположительно обусловлено влиянием микроклиматической зоны Куйбышевского водохранилища. Вопреки ожиданиям, ведущим лимитирующим фактором урожайности зерновых культур выступила средняя температура воздуха, а не величина ГТК и количество осадков. Установлены балансы гумуса, азота, фосфора и калия под зерновыми культурами исследуемого региона и разработаны рекомендации по их оптимизации [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты диссертационной работы расширяют представление о характере действия уровня применения агрохимикатов на урожайность зерновых культур непосредственно (прямо) и косвенно, то есть посредством трансформации агрохимических параметров почвы. Разработанные предложения по результатам исследования приняты управлениями сельского хозяйства продовольствия трёх муниципальных районов (Буинский, Зеленодольский, Тетюшский) РТ для внедрения в производство. Новая информация, полученная нами, используется в образовательных программах по подготовке бакалавров и магистров по направлениям «агрономия» и «агрохимия и агропочвоведение».

Достоверность результатов исследования. Полученные результаты являются достоверными, поскольку обследование сельскохозяйственных земель и агрохимические анализы почв проводились согласно общепринятым методическим указаниям. Значительное количество цифрового материала исследования было обработано статистически с использованием метода дисперсионного анализа и прикладных программ Microsoft Excel. В ходе обсуждения результатов исследования на научных конференциях было получено

множество положительных оценок и отзывов.

Апробация работы. Результаты проведённых исследований были представлены и получили положительную оценку на III Международной научно-практической конференции «Воспроизводство плодородия почв и продовольственная безопасность в современных условиях», посвященной 100-летию со дня рождения Гайнутдинова М.З. – первого заведующего объединенной кафедры агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ (2025), всероссийских (национальных) научно-практических конференциях, посвященных памяти профессора кафедры землеустройства и кадастров Казанского ГАУ Шакирова А. Ш. «Актуальные вопросы рационального использования земельных ресурсов, геодезии и природопользования» (2023, 2024, 2025) и на заседаниях ученого совета Татарского института переподготовки кадров агробизнеса (2022, 2023, 2024).

Публикации. По результатам исследования было опубликовано 7 научных работ, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Личный вклад автора заключается в составлении рабочей программы исследования, сборе и статистической обработке цифрового материала результатов 10 туров агрохимического обследования почв Предволжья РТ, полученных сотрудниками ФГБУ ЦАС «Татарский» в 1965-2022 гг., а также статистических данных по урожайности зерновых культур, применению удобрений и химических мелиорантов за тот же период. Автор лично обобщил и подготовил материалы для публикаций и обсуждения на научных конференциях. Личный вклад соискателя в проведенных исследованиях составляет 80 %, доля участия в опубликованных трудах - 65 %.

Структура и объем диссертационной работы. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Диссертация изложена на 240 страницах печатного текста, содержит 41 таблицу, 21 рисунок, 27 приложений. Список литературы включает 212 источников, в том числе – 16 на иностранном языке.

Благодарности. Автор выражает благодарность за консультации и поддержку научному руководителю Анасу Ахтямовичу Лукманову и многочисленным сотрудникам Татарского филиала ФГБУ «Агрохимическая служба России» за помощь в сборе исходной информации, ценные пожелания и замечания, высказанные в процессе выполнения данной работы.

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Обеспечение продовольственной безопасности страны – главнейшая задача агропромышленного комплекса страны

Согласно демографическим оценкам Организации Объединенных Наций, в ноябре 2022 года численность населения планеты преодолела отметку в 8 миллиардов человек. Примечательно, что интервал между достижением очередных миллиардных порогов продолжает сокращаться: для прироста с 7 до 8 миллиардов потребовалось всего 11 лет. Такой быстрый прирост объясняется двумя основными факторами: с одной стороны – увеличением продолжительности жизни, связанного с прогрессом в области медицины и здравоохранения, с другой – сохранением в ряде стран высокого уровня рождаемости [<https://lenta.ru/brief/2022/11/15/billions/>].

В современных условиях первостепенное значение приобретает глобальная продовольственная проблема, обусловленная необходимостью обеспечения растущего населения планеты продуктами питания. Парадоксальным образом, в начале XXI века масштабы недоедания продолжают увеличиваться. Согласно официальным данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), «в 2020 году от голода страдало от 720 до 811 миллионов человек. Если отталкиваться от среднего значения этого показателя (768 миллионов), то в 2020 году от голода страдали на 118 миллионов человек больше, чем в 2019 году» [<https://www.fao.org/documents/card/ru/c/cb4474ru>].

Приведенный доклад детализирует региональную структуру продовольственного кризиса. Согласно представленным данным за 2020 год,

география распространения недоедания характеризуется выраженной асимметрией: на долю Азии приходится более половины от общемирового показателя (418 млн человек), тогда как Африка аккумулирует свыше трети (282 млн). Доля Латинской Америки и Карибского бассейна составляет около 8% (60 млн человек). При этом ретроспективный анализ выявляет негативную динамику по всем ключевым макрорегионам в сравнении с 2019 годом: прирост числа голодающих в Африке составил 46 миллионов, в Азии – почти 57 миллионов, а в странах Латинской Америки и Карибского бассейна – порядка 14 миллионов человек [<https://www.fao.org/documents/card/ru/c/cb4474ru>].

Из причин, лимитирующих глобальную продовольственную безопасность в современных условиях, ключевое место занимает демографическое давление. Опережающий рост численности населения планеты на фоне прогрессирующего сокращения площади пашни, приходящейся на душу населения, формирует острейший ресурсный дефицит. При этом именно почвенный покров обеспечивает около 90% мирового объема продуктов питания [Добровольский, 2008; Кирюшин, 2010; Давлятшин и др., 2013].

Если исторически экстенсивное развитие земледелия основывалось на вовлечении в оборот новых территорий, то в настоящее время резервы целинных земель практически исчерпаны. В связи с этим единственным резервом становится последовательная интенсификация производственных процессов и повышение генетического потенциала продуктивности агрокультур [Гилязов, Лукманов, Муратов, 2016].

Таким образом, важнейшей проблемой 21 века остается обеспечение растущего населения Земли продовольствием. Данная проблема обостряется не только в связи с «демографическим взрывом», но и с одновременным сокращением сельскохозяйственных земель. По данным В.И. Кирюшина (2010), в мире ежегодно земельные ресурсы уменьшаются на 6-7 млн. га. На этом фоне главным фактором обеспечения населения планеты продовольствием становится постоянный рост урожайности сельскохозяйственных культур, ибо около 93 % продовольствия дает сельское хозяйство и лишь 7 % мировой океан,

покрывающий 2/3 поверхности Земли [Добровольский, 1998].

Обеспечение населения продовольствием – важнейшая задача любой страны и одновременно оно представляется одним из главных условий обеспечения безопасности любого государства [Доктрина продовольственной безопасности, 2020].

В «Большой российской энциклопедии» указано, что «Продовольственная безопасность, состояние экономики государства и его экономической безопасности, при котором независимо от влияния конъюнктуры мировых рынков и других внешних факторов жителям на всей территории страны гарантируется доступ к продовольствию в объёме поддержания необходимого качества жизни, а также создаются социально-экономические условия для потребления рационального разнообразия основных продуктов питания».

В итоговом документе Генеральной ассамблеи ООН «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» (2015), содержащем 17 глобальных целей и 169 соответствующих задач, в качестве цели № 2 определены «Ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания, и содействие устойчивому развитию сельского хозяйства» [<https://bigenc.ru/c/prodovolstvennaia-bezopasnost-50dc1a>].

Как отмечает исполнительный директор всемирной продовольственной программы Дэвид Бисли, «дорога к миру начинается с продовольственной безопасности» [https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.0ce3e77e-683ade4e-4ec2fbd0-74722d776562/https/www.npr.org/2023/04/01/1167582922/un-david-beasley-billions-dollars-avert-starvation-unrest].

Продовольственная нестабильность сегодня вызвана комплексом взаимосвязанных социально-экономических и геополитических факторов. Во-первых, сохраняется критическая роль вооруженных конфликтов: в 2019 году они спровоцировали десять из тринадцати крупнейших продовольственных кризисов на планете. Это привело к тому, что около 60%

лиц, страдающих от недоедания, оказались сконцентрированы непосредственно в зонах ведения боевых действий. При этом наблюдается прямая корреляция между дефицитом питания и миграционными процессами: увеличение доли голодающего населения на один процент провоцирует почти двукратный (около 2%) рост числа беженцев из этих регионов. Параллельно этому макроэкономические прогнозы указывают на недостижимость целевых показателей ФАО по ликвидации голода к 2030 году. Для миллиардов людей качественный рацион остается экономически недоступным по причине высокой стоимости, что особенно характерно для государств Азии [<https://bigenc.ru/c/prodovol-stvennaia-bezopasnost-50dc1a>].

Стратегическое планирование в агропромышленном комплексе базируется на признании продовольственной безопасности ключевым элементом национального суверенитета. Нормативно-правовая база формируется как на национальном, так и на интеграционном уровнях.

На внутригосударственном уровне она представлена доктринальными документами РФ (Доктрина 2020 г.), Беларуси (до 2030 г.) и законодательными актами Киргизии (Закон 2008 г.). На наднациональном уровне координация осуществляется в рамках СНГ (Концепция 2010 г.) и Евразийского экономического союза. Примечательно, что обновленная Концепция коллективной продовольственной безопасности ЕАЭС (проект 2019 г.) не только декларирует общие цели, но и впервые предлагает унифицированную методику оценки текущего состояния рынков продовольствия стран-участниц, а также четкий организационный алгоритм совместных действий [<https://bigenc.ru/c/prodovol-stvennaia-bezopasnost-50dc1a>].

Обеспечение продовольственной безопасности государства подвержено влиянию комплекса рисков и угроз как внутреннего, так и внешнего генезиса. В Российской Федерации перечень данных факторов нормативно закреплён в Доктрине продовольственной безопасности. К ним отнесены экономические, технологические, климатические,

агроэкологические, ветеринарные, фитосанитарные и санитарно-эпидемиологические риски, а также угрозы внешнеполитического характера. Аналогичный подход реализован в Республике Беларусь. Согласно их Доктрине, ключевыми экзогенными факторами, снижающими устойчивость аграрной сферы, являются: концентрация и монополизация производства и экспорта сельскохозяйственной продукции экономически развитыми государствами, сопровождающаяся их доминированием на мировом рынке; использование протекционистских мер в международной торговле; обострение конкурентной борьбы в рамках региональных и глобальных торгово-экономических объединений [<https://bigenc.ru/c/prodovol-stvennaia-bezo-pasnost-50dc1a>].

Продовольственная безопасность, являясь главным компонентом системы национальной безопасности государства, тесно связана с экономической устойчивостью, демографическими показателями и миграционным балансом. Гарантированный доступ населения к качественным продуктам питания выступает не только инструментом сохранения государственного суверенитета, но и базовым условием поддержания социальной стабильности и реализации человеческого потенциала.

В соответствии с Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20, под продовольственной независимостью понимается уровень самообеспечения страны основными видами продукции. Данный показатель рассчитывается как процентное соотношение объема отечественного производства к объему внутреннего потребления. Для зернового хозяйства этим нормативным актом установлен минимальный пороговый показатель: доля собственного зерна в структуре внутреннего потребления должна составлять не менее 95%.

На фоне постоянно растущего населения планеты и отсутствия новых земель для сельскохозяйственного освоения, обеспечение населения планеты продовольствием остается актуальнейшей проблемой современности, и острота

данной проблемы с каждым годом только будет расти. Речь может идти не столько о расширении площадей нынешних сельскохозяйственных земель, а столько о сохранении имеющихся площадей.

Согласно прогнозам ООН, к 2050 году численность населения планеты превысит 9 млрд. человек. На этом фоне наблюдается устойчивая тенденция к сокращению площади пахотных земель, приходящихся на одного жителя: если в первой половине XX века мировой показатель обеспеченности зерновыми угодьями снизился с 0,23 га до 0,12 га, то к середине XXI столетия он достигнет критической отметки в 0,07 га [Добровольский, 2008].

В этих условиях главным направлением обеспечения растущего населения планеты становится постоянное повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

1.2 Почвенно-климатические условия и урожайность сельскохозяйственных культур

Почва – это верхний плодородный слой земной коры, образовавшееся в результате длительного взаимодействия живых организмов, горных пород и окружающей среды. Он представляет собой природный ресурс для всех отраслей сельскохозяйственного производства и главным предметом труда, так как имеет способность производить урожаи растений, необходимые для полноценного существования общества [Добровольский, 2015; Кирюшин, 2010].

Экологическая функция почвы в биосфере основана на двух основных свойствах. Во-первых, почва служит средой обитания и физической поддержкой для огромного количества организмов. Во-вторых, почва является необходимым и незаменимым звеном и регулятором всех биогеохимических циклов.

Экологическая функция почвы это: обеспечение жизни на Земле посредством концентрации необходимых для организмов элементов в доступных формах химических соединений; регулирование всех потоков веществ в биосфере; глобальное регулирование состава атмосферы и гидросферы; накопление гумуса и связанной с ним химической энергии; защита

нижележащих слоев литосферы; генерирование и сохранение биологического разнообразия [Лыков, 2005].

По мнению большинства ученых и экспертов, человечество сталкивается с серьезной проблемой сильного загрязнения почвы. Все это связано с нарастанием антропогенного загрязнения почвенного покрова. Поначалу «человек неосознанно воздействовал на почву, и влияние было совсем незначительным, не нёс глобальный характер». Но со временем «причиняемый вред перестал быть неосознанным и случайным, а увеличиваясь, он несет все больше вреда в погоне за материальной выгодой» [Осипов, 2021].

К прямым факторам антропогенной нагрузки относятся сельскохозяйственная деятельность, добыча природных ресурсов, строительство и эксплуатация объектов инфраструктуры, а также функционирование транспортного комплекса. Косвенное воздействие обусловлено выбросами загрязняющих веществ промышленными предприятиями. Следствием антропогенной нагрузки является деградация почв, сопровождающаяся снижением урожайности земель, токсическим влиянием на растительный покров и почвенную микробиоту, а также вторичным загрязнением компонентов окружающей среды за счёт миграции поллютантов с водными потоками.

Негативные свойства распространяются на биоту и человека: ухудшается качество сельскохозяйственной продукции, утрачиваются её потребительские и питательные свойства, возрастает риск загрязнения пищевых цепей. Особую уязвимость демонстрируют дети, чей иммунный статус находится в стадии формирования и имеет повышенную чувствительность к воздействию токсикантов. Накопление вредных веществ в организмах растений, животных и человека происходит по трофическим уровням, формируя долгосрочные риски для здоровья населения [Филиппова, Акимова, 2022].

Почвенный покров – «важнейший компонент биосферы, от благосостояния и здоровья которого зависит благосостояние каждого человека, продовольственная и экологическая безопасность любой страны» [Кирюшин, 2010].

Значение почвенного покрова для общества выходит далеко за рамки аграрного производства. Его ценность обусловлена не только ключевой ролью в обеспечении продовольственной безопасности - на долю сельскохозяйственных земель приходится свыше 90 % производимого продовольствия, - но и важнейшей экологической функцией. Почвы выступают естественным буфером в биосфере: они способны аккумулировать, трансформировать и нейтрализовать значительную часть загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду от промышленных, сельскохозяйственных объектов и сектора жилищно-коммунального хозяйства. [Сычев, 2019].

Почва - главное средство производства в сельском и лесном хозяйстве. Плодородие почвенного покрова отражает его особые функциональные свойства: оно проявляется в способности системы «почва - растение» улавливать и накапливать солнечную энергию в форме фитомассы - основы для гетеротрофных организмов, включая человека. Состояние почв сельскохозяйственных угодий напрямую определяет не только уровень продуктивности культур и качественные характеристики урожая, но и экономическую устойчивость производителей сельскохозяйственной продукции [Панников, 2003; Стифеев, Бессонова, Никитина, 2019].

Устойчивое развитие аграрного производства неразрывно связано с рациональным использованием почвенного ресурса. Согласно Сычеву (2018), достижение стабильно высоких урожаев, отвечающих одновременно экономическим и экологическим критериям, а также обеспечение воспроизводства почвенного плодородия в долгосрочной перспективе возможны исключительно при условии комплексной оценки агрономических и агроэкологических характеристик каждого земельного участка.

При рациональном использовании почва способна сохранять продуктивную функцию долгие годы за счёт поддержания и воспроизводства плодородия. Для этого необходима комплексная характеристика почвенных режимов и протекающих в почве процессов, а также точная оценка потребностей сельскохозяйственных культур в условиях внешней среды.

При планировании высоких урожаев сельскохозяйственных культур необходимо учесть максимальное количество агрохимических и физических свойств почвы. Игнорирование даже второстепенных характеристик почвенного плодородия способно нивелировать эффект от всех предшествующих агротехнических мероприятий. Поэтому безусловным требованием к системе земледелия является строгая реализация последовательных фаз технологического процесса [Ефимов, Донских, Царенко, 2002; Гилязов, 2021].

Адаптивный потенциал сорта или гибрида является определяющим условием их эффективного использования в конкретных почвенно-климатических условиях. Помимо этого, посевной материал в обязательном порядке должен соответствовать посевным стандартам, а также проходить полный цикл инокуляции и протравливания с применением пестицидов, хелатных микроудобрений и регуляторов ростовых процессов. Эта процедура, должна учитывать не только биологические особенности культуры, но и почвенные условия [Кидин, Торшин, 2016].

Продуктивность сельскохозяйственных культур, качество урожая и эффективность удобрений в большей степени обуславливаются свойствами почвенного покрова. Только с учетом особенностей каждого земельного участка можно добиться высокой окупаемости удобрений. Первостепенное значение для правильного установления необходимых норм и доз удобрений имеет содержание в почве доступных форм питательных элементов, ибо на почвах, имеющих высокую обеспеченность, как правило, окупаемость удобрений резко снижается. Правда, и на очень низко обеспеченных почвах отдача от удобрений так же бывает низкой [Ефремов, Донских, Царенко, 2002; Минеев и др., 2017].

Необходимо также иметь в виду, что почвенный покров отличается огромной пестротой плодородия: даже на одном поле небольшого размера агрохимические показатели могут принадлежать к различным группам обеспеченности. Пестрота почвенного плодородия в свою очередь опять же может быть причиной низкой окупаемости удобрений [Муравин, Титова, 2009].

Уровень урожайности сельскохозяйственных культур находится в прямой зависимости от стартовой обеспеченности почв доступными формами макро- и микроэлементов. При этом, на почвах с высоким и повышенным содержанием питательных веществ возврат от агрохимикатов существенно ниже, нежели на фонах со средним и низким уровнем обеспеченности [Фатыхов, 2002; Капеев и др., 2010].

Помимо свойств почв, на продуктивность и качество урожая сельскохозяйственных культур разностороннее влияние оказывают погодные условия, хотя характер действия отдельных показателей агрометеорологических условий на рост и развитие растений остается неоднозначным [Макаров, 2016, Павлова, Карачёнова, 2020; Переведенцев и др., 2020; Ормели, 2021; Соболев и др., 2021].

В последние десятилетия наблюдается учащение гидрометеорологических аномалий - почвенных и атмосферных засух, ливневых паводков, экстремальных температурных пиков (как положительных, так и отрицательных). Масштаб ущерба для сельского хозяйства определяется их кумулятивным эффектом: совокупно они провоцируют эрозионную деградацию почв, недобор фитомассы в полевых севооборотах и падение продуктивности животноводства. Параллельно с этим возрастает активизация популяций фитопатогенов и вредителей, что в комплексе делает агроэкосистемы более уязвимыми [Дмитриев, Леднев, 2015; Султыгова Х. А., 2023].

Во многих случаях «потепление климата ассоциируется с повышением количества в атмосфере парниковых газов, и в первую очередь, углекислого газа, аридизацией и негативными последствиями для роста и развития большинства сельскохозяйственных культур» [Устойчивое развитие сельского хозяйства в условиях глобальных рисков, 2016; Логинов В.Ф., Лысенко С.А., Мельник В.И., 2020; П.Б. Акмаров, О.П. Князева, И.И. Рысин, 2022]. Так, в Оренбургском Зауралье Митрофановым Д.В. установлено, что «...за вегетационный период температура воздуха составила 19,6 °С при норме 17,6 °С, осадков выпало 100

мм при среднемноголетнем показателе 156 мм, в результате это привело к снижению урожайности зерновых культур» [3].

Н.А. Максютов и др. отмечают, что ограничивающим фактором продуктивности яровых зерновых и крупяных культур в степной зоне Оренбуржья выступает термический стресс в весенний период вкупе с острым дефицитом атмосферных осадков в мае и в течение вегетации [4]. В то же время есть публикации о том, что спутниковый мониторинг фиксирует устойчивый тренд к увеличению вегетационного индекса и фитомассы, что связывается с пролонгацией активного роста растений на фоне возрастающей концентрации CO_2 в атмосфере (Chen et al., 2019; Liu et al., 2015; Zhu et al., 2016)

Наряду с метеорологическими факторами, уровень почвенного плодородия выступает в роли стратегического фактора, определяющего траекторию устойчивого развития растениеводства. При этом плодородие не сводится лишь к обеспечению растений элементами питания, а трактуется как основной показатель, отражающий продукционный потенциал различных типов почв [Зайцева Г.А., Ряскова О.М., 2013].

Плодородие почвы – свойство не только естественно-природное, но и антропогенное. Оно определяется многими условиями, в том числе степенью обеспеченности элементами питания в усвояемой растениями форме, обеспеченностью водой и температурой, благоприятной почвенной структурой, отсутствием соединений, вредных для растений и т. д. [Федотов В.И., 2015].

Почвенно-климатические условия оказывают влияние не только на величину, но и на качество урожая. Так, по данным зарубежных исследователей размер семян, их вес и химический состав трёх масличных культур из Буркина-Фасо (*Balanites aegyptiaca*, *Sclerocarya birrea* и *Lannea microcarpa*) значительно различались в зависимости от почвенно-климатической зоны произрастания. Также были выявлены значимые корреляции между размером семян, их весом, содержанием золы, а также содержанием масла и влажностью. Анализ главных компонент (РСА) показал, что увеличение размера семян и общего содержания золы связано с районами с большим количеством осадков и низкой

температурой, в то время как увеличение содержания масла в семенах связано с районами с малым количеством осадков и высокой температурой [Sama, H., Traore, D.C., Genne, S., et al., 2022].

1.3 Роль агрохимикатов в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур и плодородия почв

В современных агроэкологических условиях интенсификация растениеводства базируется на системном подходе. Применение минеральных удобрений и химических мелиорантов выступает одним из важнейших факторов повышения продуктивности выращиваемых культур, наряду с генетическим потенциалом интенсивных сортов, мелиоративными мероприятиями и индустриализацией технологических процессов [Муратов, 2015].

Основатель советской агрохимии Д. Н. Прянишников доказал, что использование удобрений – основное средство вмешательства человека в круговорот веществ в земледелии. Но, оказывая химическое воздействие на растения, удобрения в то же время влияют на почву и населяющие ее микробы. Удобрения применяют для улучшения свойств почвы, усиления в ней энергии биологических процессов, повышения ее плодородия. Однако при неумелом внесении удобрений можно и ухудшить свойства почвы, например, повысить ее кислотность. Поэтому химические вещества нужно применять не вслепую и не по шаблону, а умело и сознательно, с дифференцированным подходом к каждому полювому участку, с учетом биологии удобряемых культур [Прянишников, 1963].

Обосновывая необходимость применения удобрений, ряд исследователей отмечают, что их внесение призвано компенсировать питательные вещества, которые отчуждаются с хозяйственной частью урожая. В этой связи интенсификация растениеводства неразрывно связана с адекватным наращиванием объемов применения агрохимикатов, попытки отказаться от них неизбежно спровоцируют деградацию почвенного плодородия даже на самых

плодородных землях [Ефимов, Донских, Царенко, 2002; Минеев, 2004; Кидин, Торшин, 2016; Гилязов, 2016, 2018].

По данным ряда авторов, «человечество за счет применения удобрений получает около половины прироста урожайности сельскохозяйственных культур» [Ягодин, Жуков, Кобзаренко, 2016; Минеев и др., 2017]. При этом следует помнить, что повышение количества и улучшение качества урожая в большей степени определяется корректностью выбора форм, норм, дозировок и сроков внесения удобрений с учетом рельефа, агрохимического фона конкретного участка и текущих метеорологических условий [Донских, 2004; Муравин, Титова, 2009].

Согласно Федеральному закону «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» от 19.07.1997 г. № 109-ФЗ, «агрохимикаты – это удобрения, химические мелиоранты, кормовые добавки, предназначенные для питания растений, регулирования плодородия почв и подкормки животных». Среди агрохимикатов наиболее широко используются и наибольшее влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур оказывают удобрения – органические и минеральные, в том числе известковые, предназначенные для нейтрализации кислых почв, и часто выделяемые как химические мелиоранты или косвенные удобрения [Биккинина и др., 2014].

Агрономическая наука едина во мнении, что в современных условиях около половины всего объема производимой в мире растениеводческой продукции является следствием применения удобрений. Таким образом, химизация почв выступает важнейшим фактором поддержания глобальной и региональной продовольственной стабильности [Jenkinson, Smith, 1989; Нечаева, Быкова, 2014; Кидин, Торшин, 2016; Осипов, 2022; Ягодин и др., 2023].

Удобрения возвращают биогенные элементы, отчуждаемые в составе урожая. Следовательно, достижение высоких показателей продуктивности требует соразмерного увеличения доз минеральных и органических удобрений для предотвращения отрицательного баланса питательных веществ в системе

почва-растение. Игнорирование данного принципа ведет к постепенному агрохимическому истощению даже самых плодородных почв [Гилязов, 2018].

Зерновое производство, в том числе для РФ, является фундаментом продовольственной безопасности. Структура валового сбора традиционно формируется за счет тройки лидеров – пшеницы, кукурузы и риса. Для Российской Федерации стратегическое значение имеет именно пшеница [Водяникова и др., 2013; Сержанов, Шайхутдинов, 2013; Алтухов, 2018; Зимняков и др., 2020; <https://www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskoho-zajistvennyh-tovarov/proizvodstvo-zerna-v-rossii-2020-struktura-posevnyh-ploschadei-i-urozhainost.html>; William Liefert, Olga Liefert, Gary Vocke, and Ed Allen., 2010; Olga Liefert, William Liefert, and Eric Luebehusen, 2013].

Производство зерна – важнейшая задача растениеводческой отрасли, поэтому большую часть пахотных земель занимают зерновые культуры – яровая и озимая пшеница, кукуруза на зерно, рис, озимая рожь, ячмень, овес, просо и т. д. Для обеспечения продовольственной безопасности в расчете на каждого человека необходимо производить около 1 тонны зерна, значительная часть которого используется в животноводстве [Положение дел в области продовольственной..., 2023].

Пшеница (*Triticum* L.) представляет собой однолетнее травянистое растение семейства Злаки (*Poaceae*) и представлена двумя биологическими формами - озимой и яровой. При этом их географическое распределение обусловлено почвенно-климатическими условиями. Так, на территории Нечерноземной зоны РФ, где доминируют дерново-подзолистые и серые лесные почвы, в структуре посевных площадей преобладают яровые сорта [Неттевич, 1976; Сержанов, Шайхутдинов, 2013].

Пшеница лидирует в мире среди зерновых культур по площади посевов и валовому сбору, являясь основой рациона питания для более половины человечества. Для России эта культура стратегически важна, так как зерно мягких и твердых сортов служит главным сырьем для хлебопекарной,

кондитерской, макаронной и крупяной промышленности [Амиров и др., 2018; Зимняков и др., 2020].

Технологические свойства пшеницы в качестве сырья для хлебопечения напрямую зависят от концентрации белка и количества клейковины. При благоприятной агротехнике зерно яровых сортов способно накапливать до 18–24% белка, при этом доля клейковины может достигать 28–40%. Белковый комплекс зерна представлен несколькими фракциями – альбуминами, глобулинами и запасными проламинами (глиадинами), которые в совокупности формируют клейковинный каркас теста [Посыпанов, 2017; Амиров и др., 2018]. Стоит отметить, что сам скелет клейковины помимо азотистых соединений включает связанные полисахариды, жиры и сахара.

Хлебобулочные изделия служат важным источником жизненно важных для человека макро- и микронутриентов, а также витаминного комплекса. Зерно пшеницы обогащает конечный продукт минеральными веществами: среди макроэлементов преобладают кальций, калий, натрий, магний, сера и фосфор, а микроэлементный состав представлен железом, цинком, медью и марганцем, кобальтом, йодом, селеном. Кроме того, содержатся витамины группы В (тиамин, рибофлавин, ниацин), токоферол (витамин Е) и фолиевая кислота (В9) [<https://fitaudit.ru/food/141641>].

Значительный интерес представляют побочные продукты мукомольного производства - пшеничные отруби. Выход отрубей при получении сортовой муки может достигать 25–30% от массы исходного зерна. С биохимической точки зрения отруби характеризуются высокой концентрацией питательных веществ: содержание сырого протеина достигает 160–165 г/кг, обменной энергии – 9,9 МДж/кг. Кроме того, они являются богатым источником незаменимых аминокислот, витаминов группы В, токоферолов и трудноперевариваемой клетчатки, состоящей преимущественно из плодовых и семенных оболочек [Нормы и рационы кормления, 2003].

«Основные страны-производители пшеницы в мире – Российская Федерация, США, Канада, Франция, Индия. На долю пшеницы в мире приходится 35 % общего производства зерна» [Водяников и др., 2013].

В российском земледелии пшеница является безусловным лидером среди продовольственных культур. Согласно данным А.И. Алтухова (2018), в период 2016–2017 гг. доля этой культуры составляла 58,7% от общей площади посевов зерновых и 62,2% от их валового сбора. При этом внутри группы именно продовольственных культур удельный вес пшеницы еще выше: она занимает 89% площадей и обеспечивает 93,1% объема продукции в данном сегменте.

В период с 2008 по 2018 год при незначительном расширении посевных площадей пшеницы в РФ на 616 тыс. га (всего +2,3%), валовой сбор зерна увеличился на 13% (около 8,3 млн тонн). Это свидетельствует о том, что рост производственных показателей был достигнут преимущественно за счет интенсификации земледелия - повышения урожайности культуры [Зимняков и др., 2020].

Достижение высоких показателей урожайности зерновых культур основывается на комплексе мероприятий, где ведущую роль наряду с внедрением новых сортов, совершенствованием обработки почвы и защиты растений играет рациональная система применения удобрений [Ефимов и др. 2002; Донских, 2004; Минеев и др., 2017].

Удобрения классифицируются прежде всего на минеральные и органические вещества, содержащие элементы питания, необходимые для роста и развития растений. Наряду с ними выделяют отдельную категорию биологических препаратов, основу которых составляют активные штаммы микроорганизмов. Их функция заключается в биологическом обогащении почвы азотом (азотфиксация) и в переводе труднодоступных соединений элементов в мобильные формы [Сержанов и др., 2013].

Яровая пшеница предъявляет высокие требования к уровню почвенного плодородия и обеспеченности факторами внешней среды. Исторически это ограничивало её распространение в Нечерноземной зоне РФ, включая

Предкамскую зону Республики Татарстан. Ключевыми ограничивающими факторами для возделывания культуры на местных серых лесных почвах выступают повышенная кислотность и низкая обеспеченность подвижными формами основных элементов питания – азота, фосфора и калия [Муравин, Титова, 2009; Давлятшин, и др., 2013; Амиров и др., 2018].

В связи с этим повышение урожайности яровой пшеницы неразрывно связано с оптимизацией минерального питания, где рациональное применение удобрений выступает главным рычагом управления урожайностью [Панников, 2003; Минеев, 2004; Кидин, Торшин, 2016]. Высокая требовательность культуры к уровню обеспеченности элементами питания подтверждается значительными показателями биологического выноса: на формирование 1 т зерна и соответствующего количества соломы растения потребляют около 35 кг азота, 12 кг фосфора и 25 кг калия, что заметно превышает потребности многих других зерновых культур [Гилязов, 2011].

Растения яровой пшеницы характеризуются высоким уровнем потребления азота, что физиологически обусловлено его ключевой ролью в биосинтезе белков и формировании вегетативной массы. О фундаментальном значении этого элемента Д.Н. Прянишников писал: «Если не говорить о воде, именно азот является самым могущественным двигателем в процессах развития, роста и творчества природы. Его уловить, им овладеть – вот в чем задача; его сберечь – вот в чем ключ к экономии; подчинить себе его источник, бьющий с неистощимой энергией, – вот в чем тайна благосостояния» (1963).

«Особенно часто недостаток азота становится лимитирующим фактором роста продуктивности яровой пшеницы в нечерноземных почвах» [Неттевич, 1976, Кореньков, 1999; Минеев и др., 2017].

Обширные отечественные и зарубежные исследования подтверждают высокую эффективность азотных удобрений в формировании урожая и качества зерна яровой пшеницы. Действенным агротехническим приемом является поздняя некорневая подкормка раствором мочевины, проводимая в период колошения - начала налива зерна. В этот период растение активно реутилизирует

азотные соединения из вегетативных органов, направляя их на синтез запасных белков в зерне, что существенно повышает содержание клейковины [Ефимов, Донских, Царенко, 2002; Ягодин и др., 2003; Минеев и др., 2017]. Как отмечает В.Г. Минеев (2004), при остром дефиците влаги в период вегетации (гидротермический коэффициент $< 0,4$) урожайность культуры снижается, но концентрация белка в зерне закономерно возрастает до 14–17% за счет стрессовой мобилизации ресурсов. В таких засушливых условиях проведение листовых диагностик и дополнительных подкормок экономически нецелесообразно. Максимальная отдача от некорневого внесения азота достигается при благоприятном водном режиме в первой половине вегетации (ГТК от всходов до колошения 0,8–1,4), когда ассимиляционный аппарат способен обеспечить полноценный приток пластических веществ к колосу.

Высокая требовательность яровой пшеницы к уровню минерального питания объясняется её сжатым вегетационным циклом, который существенно короче, чем у озимых форм. Суточная интенсивность поглощения элементов питания данной культурой превышает аналогичный показатель для озимой пшеницы более чем вдвое. Максимальная потребность совпадает с критической фазой развития - от начала выхода в трубку до колошения.

Вместе с тем именно в начальный этап онтогенеза (всходы - кущение) растения проявляют наивысшую чувствительность к дефициту подвижных форм фосфора и азота. Дефицит фосфора вызывает замедление закладки генеративных органов. При этом возникший в фазу кущения недостаток макроэлементов невозможно компенсировать последующими подкормками, какими бы высокими ни были дозы внесения. Данная необратимость последствий определяет статус данного этапа как критического периода в питании культуры [Минеева, 2004].

Наиболее интенсивный вынос калия наблюдается в период активного вегетативного роста – от фазы стеблевания до колошения. По завершении формирования генеративных органов поступление элементов питания из корневой системы резко замедляется, и на поздних этапах созревания (налив и

созревание зерна) доминирующим процессом становится реутилизация: происходит перераспределение ранее накопленного калия за счет оттока из вегетативных органов (стеблей и листьев) непосредственно в зерновку [Ефимов, Донских, Царенко, 2002; Посыпанов, 2017].

Фосфорные и калийные удобрения, в отличие от азотных удобрений, характеризующихся высокой растворимостью и подвижностью в почвенном профиле, обычно менее эффективны в качестве подкормок в условиях богары. Лишь в условиях орошения послепосевное внесение фосфорно-калийных удобрений становится рентабельным на посевах яровой пшеницы [Минеев, 2004].

Невозможно представить современное земледелие без широкого использования агрохимикатов. К негативным последствиям их нерационального применения относят деградационные изменения физико-химических свойств почвы (вторичное засоление, изменение реакции среды pH, угнетение почвенной микрофлоры), а также снижение пищевой безопасности продукции вследствие накопления нитратов и тяжелых металлов. Помимо этого, высокая энергоемкость производства, особенно азотных и фосфорных туков, приводит к повышению издержек в структуре себестоимости растениеводческой продукции [Базилинская, 1989; Ягодин, Жуков, Кобзаренко, 2003; Vissey, 2003; Валиуллин, Гилязов, 2010].

Как отмечает В.И. Кирюшин (2010), переход к адаптивно-ландшафтным системам земледелия продиктован прежде всего необходимостью повышения отдачи с каждого гектара при невозможности расширения пашни. Согласно данным мониторинга почвенных ресурсов (Сычев, 2019), площадь резервов для нового сельскохозяйственного освоения неуклонно сокращается.

Применение удобрений способствует росту урожайности зерновых культур и качественному улучшению урожая, что выражается в повышении содержания белка, натурной массы зерна и выравненности [Железнов, Еряшев, Еряшев, 2019].

Внесение органических удобрений непосредственно под яровую ячмень является редкой практикой. Это объясняется как общим дефицитом органики в агропромышленном комплексе, так и биологическими особенностями культуры - её коротким вегетационным периодом. Вследствие этого ячмень эффективнее усваивает элементы питания не из прямого внесения, а из последствия навоза, запаханного под предшествующую культуру [Васильев, Филиппова, 1988; Мёрзлая, 1996, 2015; Лукин, 2009]. По мнению А.С. Башкова (2014), прямое внесение навоза под ячмень целесообразно лишь на малоплодородных почвах в регионах с высокой концентрацией животноводства, где наблюдается избыток данного вида удобрения.

Помимо оптимизации азотного, фосфорного и калийного питания, существует проблема оптимизации микроэлементного состава посевов. Данная потребность становится лимитирующей при планировании высоких уровней урожайности, а также на почвах с низким и средним содержанием подвижных форм микроэлементов [Ягодин и др., 2002; Гайсин, Хисамеева, 2007; Федотова, 2016; Александрова и др., 2019; Галаветдинов, Гилязов, Лукманов, 2021].

Многие исследователи отмечают, что использование хелатных соединений позволяет пролонгировать доступность микроэлементов и снизить риск их фиксации в почве [Гайсин и др., 2000; Капеев и др., 2010; Пахомова, Гайсин, 2019]. Как показывают опыты И.А. Капеева и соавторов (2010 г), предпосевная обработка семян растворами меди и бора обеспечивает достоверную прибавку урожайности ячменя на уровне 0,35–0,63 т/га за счет усиления продуктивной кустистости и увеличения массы 1000 зерен. Высокая отзывчивость культуры на данные микроэлементы объясняется её видовой спецификой. Ягодин Б.Я. и др., (2002) считали, что среди зерновых культур именно ячмень характеризуется повышенной потребностью в меди и боре для нормального протекания процессов цветения и формирования зерна.

Перед будущими специалистами в области агрономии стоит задача разработать эффективные приемы оптимального применения имеющихся в хозяйствах удобрительных средств с учетом агрометеорологических условий,

биологических особенностей культуры, почвенно-агрохимических свойств земельных участков и организационно-хозяйственных условий предприятия.

Важнейшим мерилом рационального использования удобрительных средств, сохранения и повышения плодородия сельскохозяйственных земель представляется баланса питательных элементов и гумуса в земледелии. Изучение баланса питательных элементов относится к числу важнейших задач агрохимии, поскольку оно напрямую связано с решением глобальной проблемы регулирования обмена веществ в системе «почва – растение – человек».

Баланс питательных веществ представляет собой количественный учет изменения содержания элементов питания на единице площади за определенный период времени. Данный показатель рассчитывается как разность между всеми источниками поступления (атмосферные осадки, фиксация азота, внесение органических и минеральных удобрений) и статьями расхода (биологический вынос урожаем, потери от вымывания, газообразования и эрозии) [Минеев, 2004].

В агрономической практике различают биологический и хозяйственный балансы питательных веществ в зависимости от полноты учитываемых статей. Биологический подход предполагает анализ полного круговорота элементов, включая поступление азота и зольных компонентов с корневыми и пожнивными остатками. В отличие от него, хозяйственный баланс ограничивается учетом выноса элементов урожаем и их компенсации внесением органических и минеральных удобрений [Гилязов, Лукманов, Муратов, 2016]. Для решения прикладных задач оптимизации системы питания растений чаще всего используют именно показатели хозяйственного баланса. Как отмечают отечественные исследователи, такой подход позволяет дать объективную агроэкономическую оценку эффективности применения удобрений на уровне конкретного хозяйства, природной зоны или региона в целом [Донских, 2004; Минеев, 2011].

Современная агрохимия рассматривает баланс питательных элементов с двух взаимодополняющих позиций: теоретической (экспериментальной) и

прикладной (производственной) [Ефимов и др., 2002; Муратов, 2015].

Первое направление базируется на полевых и лизиметрических опытах, часто с применением изотопных индикаторов (меченых атомов). Целью его является изучение механизмов трансформации веществ для развития теории питания растений. Второе направление опирается на статистическую обработку производственных данных конкретных хозяйств и регионов, и расчет баланса служит инструментом для оптимизации систем удобрения, повышения продуктивности пашни и прогнозирования динамики плодородия.

Именно региональный аспект приобретает решающее значение при решении практических задач воспроизводства почвенного ресурса. Как отмечают Э.А. Ломако и Э.К. Алиев (2002), особую диагностическую ценность имеет мониторинг баланса за более длительные временные ряды, позволяющий нивелировать влияние случайных погодных флуктуаций отдельного года.

Подводя итог обзору литературы, следует отметить, что плодородие почв и продуктивность пашни решающим образом определяются их агрохимическими свойствами. К важнейшим показателям относятся запасы и фракционно-групповой состав гумуса, кислотно-основные показатели, а также содержание подвижных форм основных элементов питания (азота, фосфора, калия) и необходимых микроэлементов.

Гумус выступает интегральным показателем почвенного плодородия, поскольку определяет интенсивность большинства биохимических процессов. Именно количество и качественный состав органического вещества определяют физико-химические характеристики почвы: её буферную емкость, поглотительную способность и обеспеченность растений элементами питания (прежде всего азотом и фосфором).

Наряду с этим, огромное значение для продуктивности культур имеют кислотно-основные свойства. Для пахотных земель Республики Татарстан актуальной проблемой является подкисление почв. Повышенная кислотность ($\text{pH} < 5,5$) оказывает лимитирующее воздействие на рост корневой системы и

метаболизм большинства сельскохозяйственных растений, снижая эффективность использования удобрений.

Дефицит доступных форм основных элементов минерального питания (азота, фосфора, калия) и микроэлементов зачастую является главным лимитирующим фактором урожайности сельскохозяйственных культур. Данные параметры плодородия подвержены существенной трансформации под влиянием как отчуждения веществ с урожаем, так и применения органических, минеральных удобрений и мелиорантов. Многочисленные исследования подтверждают, что длительное использование пашни без компенсации выноса ведет к истощению почвенных резервов и развитию почвоутomления. Установление баланса питательных веществ является научной основой эффективного применения удобрений, целенаправленного регулирования и прогнозирования динамики плодородия и предотвращения экологического риска, связанного с миграцией агрохимикатов за пределы корнеобитаемого слоя [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2024].

Таким образом, стратегическим приоритетом агропромышленного комплекса страны выступает обеспечение населения страны продовольствием, что невозможно без последовательного наращивания продуктивности растениеводства, особенно зерновых ибо в современных условиях интенсивный путь, то есть за счет расширения площадей сельскохозяйственных земель, невозможен. Как показывают результаты многочисленных исследований и мировой опыт, важнейшим рычагом повышения урожайности сельскохозяйственных культур, сохранения и повышения плодородия сельскохозяйственных земель, улучшения качества растениеводческой продукции является применение органических, минеральных удобрений и химических мелиорантов. Очень важно то, что все агрохимикаты должны быть использованы строго соблюдая научно-практические рекомендации, основанные на данных систематического мониторинга плодородия сельскохозяйственных земель, который проводится агрохимической службой страны. В связи с этим особую ценность приобретают многолетние материалы агрохимических

обследований земель каждого сельскохозяйственного предприятия и региона, обобщение и статистическая обработка которых должно быть положено в основу любых агрохимических и агротехнических приемов возделывания сельскохозяйственных культур и воспроизводства плодородия почв.

Целью настоящего исследования, исходя из вышеизложенного, стала комплексная оценка воздействия агрометеорологических условий, а также длительного применения органических, минеральных удобрений и химических мелиорантов на динамику агрохимических свойств пахотного горизонта и урожайность зерновых культур в почвенно-климатических условиях Предволжской зоны Республики Татарстан за период с 1965 по 2022 год [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2023].

2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Общая характеристика исследуемой зоны

Республика Татарстан расположена по среднему течению р. Волги и нижнему течению р. Камы, в степной и лесостепной зонах восточной части Русской равнины.

Географическое положение республики определяется координатами 53°58' - 56°39' с. ш. и 47°15' - 54° 18' в. д. [Мустафин, Хузеев, 1994].

Общая площадь Республики 6783,7 тыс. га. Наибольшая протяженность с запада по восток оставляет 460 км, с севера на юг – 270 км.

Реки Волга и Кама делят территорию Татарстана на три четко обособленные природно-географические части, получивших названия Предволжье (к западу и югу от долины Волги), Предкамье (севернее долин Камы и Волги), Закамье (к югу от долины Камы).

Объектом нашего исследования явились пахотные земли муниципальных районов Предволжья Республики Татарстан, расположенные на правом берегу р. Волга. Данный регион занимает северо-восточную часть Приволжской возвышенности с преобладающими абсолютными высотами водоразделов 180–230 м. Территория Предволжья занимает 1014,3 тыс. га, что составляет около 15 % площади Республики. От общей площади земель региона сельскохозяйственные угодья занимают 739,2 тыс. га или 72,9 %. Из них на долю пашни приходится 565,3 тыс. га или 55,7 %, пастбищ -15,1 %, сенокосов - 1,4 %, многолетних насаждений - 0,6 %.

В состав Предволжья входят 8 муниципальных районов: Апастовский, Буинский, Верхнеуслонский, Дрожжановский, Зеленодольский, Кайбицкий, Камско-Устьинский и Тетюшский. Доля сельскохозяйственных угодий от общей площади в муниципальных районах колеблется в пределах от 56,8 % (Зеленодольский района) до 89,1 % (Дрожжановский район). Наиболее крупными как по общей площади, так и по сельскохозяйственным угодьям являются Тетюшский и Буинский муниципальные районы. Они же имеют

наибольшие площади пахотных земель: 102,6 тыс. га (Буинский район) и 85,4 тыс. га (Тетюшский район). Особенно велика доля пашни в составе сельхозугодий Апастовского (84,2 %) и Дрожжановского (79,2 %) муниципальных районов. Наименьшая распаханность (39,7 %) характерна для сельскохозяйственных земель Зеленодольского муниципального района.

По предложению И.В. Утэя и др. (1968), исследуемый регион с позиций природно-климатического районирования подразделяется на две самостоятельные агропочвенные единицы: зону Высокого Предволжья и зону Юго-Западного Предволжья.

Высокое Предволжье непосредственно примыкает к правобережью Волги. Южная граница зоны проходит по рекам Була и Свияга, а в правобережье р. Свияга – по водоразделу рек Улема и Кильна. Восточная часть зоны, заключенная между Волгой и Свиягой и её притоком р. Улемой, имеет холмисто-широковолнистый рельеф. В западной части зоны рельеф более спокойный – волнистый. Таким образом, Высокое Предволжье занимает основную часть Приволжской возвышенности, простирающейся в Республике Татарстан до широты г. Тетюши. Площадь данной зоны 6648 кв. км, что составляет около 10 % общей территории Республики.

Юго-Западное Предволжье занимает небольшую площадь – всего 2960 кв. км или около 4,4 % территории РТ. Эта зона представляет собой слабоволнистую равнину. Возвышенные места расположены в крайней, юго-западной части зоны на водоразделе рек Суры-Свияги. Местность прорезана долинами притоков р. Свияги – р. Цильни, Гельцы, Карлы, Булы, Кильни и притоков р. Суры – р. Бездны, Малой Яклы и Большой Яклы.

2.2 Почвенно-климатические условия зоны исследования

Преобладающими почвообразующими породами Высокого Предволжья являются делювиальные и лессовидные суглинки, то есть продукты выветривания верхнепермских отложений. Генезис почвенного покрова Предволжья напрямую связан с особенностями подстилающих пород,

дифференцированных по геоморфологическим элементам. Для всхолмленных форм рельефа с экспозицией склонов на юг и юго-запад (охватывающих около 11 % территории) характерно залегание красно-бурых глин, мергелей и дезинтегрированных известняков, относящихся к татарскому ярусу пермской системы. В условиях пойменного режима доминирующую роль играют голоценовые аллювиальные отложения. Помимо этого, в пределах надпойменных террас, тяготеющих к долинам Свияги и Кубни, распространены древнеаллювиальные пески и супесчаные разности.

На Юго-Западной части Поволжья присутствуют юрские элювиальные глины, тогда как восточная часть региона характеризуется делювиальными суглинками; при этом на террасах Свияги и Карлы фиксируются древнеаллювиальные супеси, а в поймах – современные речные наносы [Агропроизводственная характеристика почв, 1968].

Сложность и неоднородность почвенного покрова исследуемой территории обусловлены значительным разнообразием физико-географических параметров. Поскольку регион располагается в переходной зоне, связующей таежно-лесные и степные ландшафты, в его пределах закономерно сочетаются серые лесные почвы и лесостепные черноземы.

Особенно контрастна эта картина для Высокого Предволжья, где чередование форм рельефа и литологических разностей создает наибольшую пестроту. Анализ структуры сельхозугодий показывает, что доминантные позиции занимают серые и темно-серые лесные почвы - 37,7 %, тогда как на долю их светло-серых разновидностей приходится 9,6 %, в самостоятельную группу выделяются коричнево-серые почвы (7,3 %). Черноземный ряд представлен: выщелоченный подтип - 24,9 %, оподзоленный - 2,1 %. Дерново-подзолистые и дерново-карбонатные типы почвы составляют 2,4 и 2,2 % соответственно.

Почвенный покров Юго-Западного Предволжья отличается относительной однородностью. Преобладающую часть земельного фонда района (81,0 %) составляют почвы чернозёмного типа, в структуре которых доминируют

выщелоченные чернозёмы (76,0 %), тогда как доля типичных чернозёмов не превышает 5,0 %. Серые и тёмно-серые почвы занимают 5,9 % площади, а светло-серые, коричнево-серые и коричневые - лишь 1,7 %. Оставшиеся 9,7 % приходятся на пойменные, болотные и полуболотные почвы [Лукманов, 2011].

Согласно данным Давлятшина и соавторов (2013), структура земель сельхозназначения в Предволжье РТ характеризуется выраженным доминированием почв тяжелого гранулометрического состава. Их площадь достигает 479,9 тыс. га, что соответствует 67,5 %. Меншей распространенностью отличаются среднесуглинистые почвы, занимающие 115,5 тыс. га (16,2 %), а также глинистые разновидности с площадью 66,4 тыс. га (9,3 %). Что касается легких по механическому составу почв, то их присутствие в почвенном покрове незначительно: легкосуглинистые почвы составляют лишь 4,1 %, тогда как доля супесчаных и песчаных типов находится на минимальном уровне – 1,7 % и 0,4 % соответственно.

Климатические условия Предволжья характеризуются как достаточно благоприятные для сельскохозяйственного производства. Сумма среднесуточных температур воздуха за период с температурой выше 10 °С составляет 2150–2250 С. Летний сезон отличается относительно высокой влажностью и умеренным теплом, зимний - прохладой и умеренным снегонакоплением. По многолетним данным, средняя температура января варьирует от –13 °С (западные районы) до –13,6 °С (юго-восточные районы), июля - от 18,9 °С (запад) до 19,6 °С (восток). Экстремальные значения температур зафиксированы на уровне –48 °С (абсолютный минимум, 1942 г., Буинск) и 39 °С (абсолютный максимум, 1971 г., Буинск). Продолжительность безморозного периода изменяется в диапазоне 125-146 дней (соответственно запад - восток). Завершение последних весенних заморозков в воздухе, как правило, приходится на вторую декаду мая; первые осенние заморозки обычно регистрируются в третьей декаде ноября [Лукманов, 2011].

Территория отличается достаточной влагообеспеченностью, необходимой для возделывания сельскохозяйственных культур: годовое количество осадков в

среднем составляет 500–540 мм, причём основная их часть 340–360 мм выпадает в тёплый сезон. Критически важный для формирования продуктивности озимых период - с температурой выше 10 °С - сопровождается выпадением 210–230 мм осадков. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова (150-155 дней) и его высота (32-43 см) формируют защитный термический режим для зимующих культур. В результате условия перезимовки оцениваются как благоприятные, а массовая гибель озимых отмечается только в отдельные неблагоприятные годы [Лукманов, 2011].

2.3 Методология и методы исследований

Исследования выполнены на базе Татарского филиала ФГБУ «Агροхимическая служба России». Учреждение располагает массивом уникальных данных полевых агрохимических обследований, систематически накапливаемых с 1965 года, включая сведения о применении удобрений, химических мелиорантов и урожайности сельскохозяйственных культур на обследованных территориях.

Все исследовательские работы выполнены в соответствии с «Методическими указаниями по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения (Минсельхоз России, РАСХН, 2003). Полевое агрохимическое обследование пахотных почв проводилось по стандартизированной схеме: с площади 20 га отбиралась объединённая почвенная проба, формируемая из 20-40 индивидуальных проб, отобранных тростевым буром с глубины пахотного слоя (до 20 см) (Данная методика соответствует требованиям ГОСТ 28168-89).

Лабораторные исследования почвенных образцов проводились в соответствии с действующими государственными стандартами: гумус по ГОСТ 26213-91); pH солевой вытяжки по ГОСТ 26483-85; подвижные соединения фосфора и обменного калия по ГОСТ 26207-91 (для дерново-подзолистых и серых лесных почв), ГОСТ 26204-91 (для некарбонатных черноземов), ГОСТ 26205-91 (для карбонатных почв). Определение подвижных форм

микроэлементов проводились по ГОСТ Р 50682-94 (Mn), ГОСТ Р 50686-94 (Zn), ГОСТ Р 50684-94 (Cu), ГОСТ Р 50687-94 (Co), ГОСТ Р 50689-94 (Mo), ГОСТ Р 50688-94 (B). Определение тяжелых металлов проведено согласно «Методическим указаниям по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства, Москва, 1992». Для оценки почв по обеспеченности питательными элементами, которые были перечислены выше, использованы группировки почв в модификации ЦИНАО.

Статистический анализ данных выполнен с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2020 и пакета STATISTICA 7.0. В ходе обработки рассчитаны базовые статистические характеристики: среднее значение (M), стандартная ошибка среднего (m) и коэффициент вариации (V). Для выявления взаимосвязей между показателями был проведен корреляционно-регрессионный анализ, направленный на установление зависимости агрохимических свойств почв и урожайности сельскохозяйственных культур от доз применяемых удобрений и химических мелиорантов. Оценка силы корреляционной связи между изучаемыми параметрами проведена по шкале Чеддока: очень слабая корреляция ($r < 0,30$), слабая ($r = 0,31-0,50$), средняя ($r = 0,51-0,70$), сильная ($r = 0,71-0,90$), очень сильная ($r = 0,91-1,00$) [Муратов, 2015; Баврина, Борисов, 2021].

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Изменчивость агрометеорологических условий за годы проведения исследования

По мнению ряда исследователей, за последние полвека в планетарном масштабе наблюдается достаточно заметное изменение климата в сторону потепления [Устойчивое развитие..., 2016; Логинов, Лысенко, Мельник, 2020; Акмаров, Князева, Рысин, 2022; Султыгов, 2023]. Так, в исследованиях И.В. Лысковой и др. в условиях Кировской области установлено, что «...два десятилетия – с 2001 по 2020 – отмечены как самые теплые за последние 50 лет, когда среднегодовая температура была выше нормы на 0,7...2,6 °С. Б.А. Гольдварг и др. указывают, что «... в центральной зоне Республики Калмыкия среднегодовая температура воздуха в среднем за 20 лет превысила на 1,3 °С климатическую норму, количество осадков за летний период уменьшилось на 25,6 % от нормы». Исследования, проведенные в Предкамской зоне Татарстана, показали наличие «определенного тренда повышения среднегодовой температуры воздуха во временном ряду, главным образом, за счет потепления ноября, марта, сентября и октября месяцев» [Гилязов, Лукманов, Муратов, 2016].

Основными агрометеорологическими показателями, используемыми для характеристики погодных условий территории, являются сумма осадков (мм), средняя температура воздуха (°С) и гидротермический коэффициент (ГТК) за определенный период (год, период вегетации, месяц, декаду и т.д.). Для характеристики агрометеорологический условий зоны исследования мы использовали результаты наблюдений четырёх метеорологических станций, расположенных на территории Предволжья РТ, которые любезно были представлены кафедрой метеорологии, климатологии и экологии атмосферы К(П)ФУ (заведующий кафедрой Ю.П. Переведенцев, д. г. н., профессор).

На рисунках 1 и 2 представлены графики, показывающие изменчивость атмосферных осадков и средней температуры воздуха в период вегетации (май-сентябрь) в 1966-2021 гг.

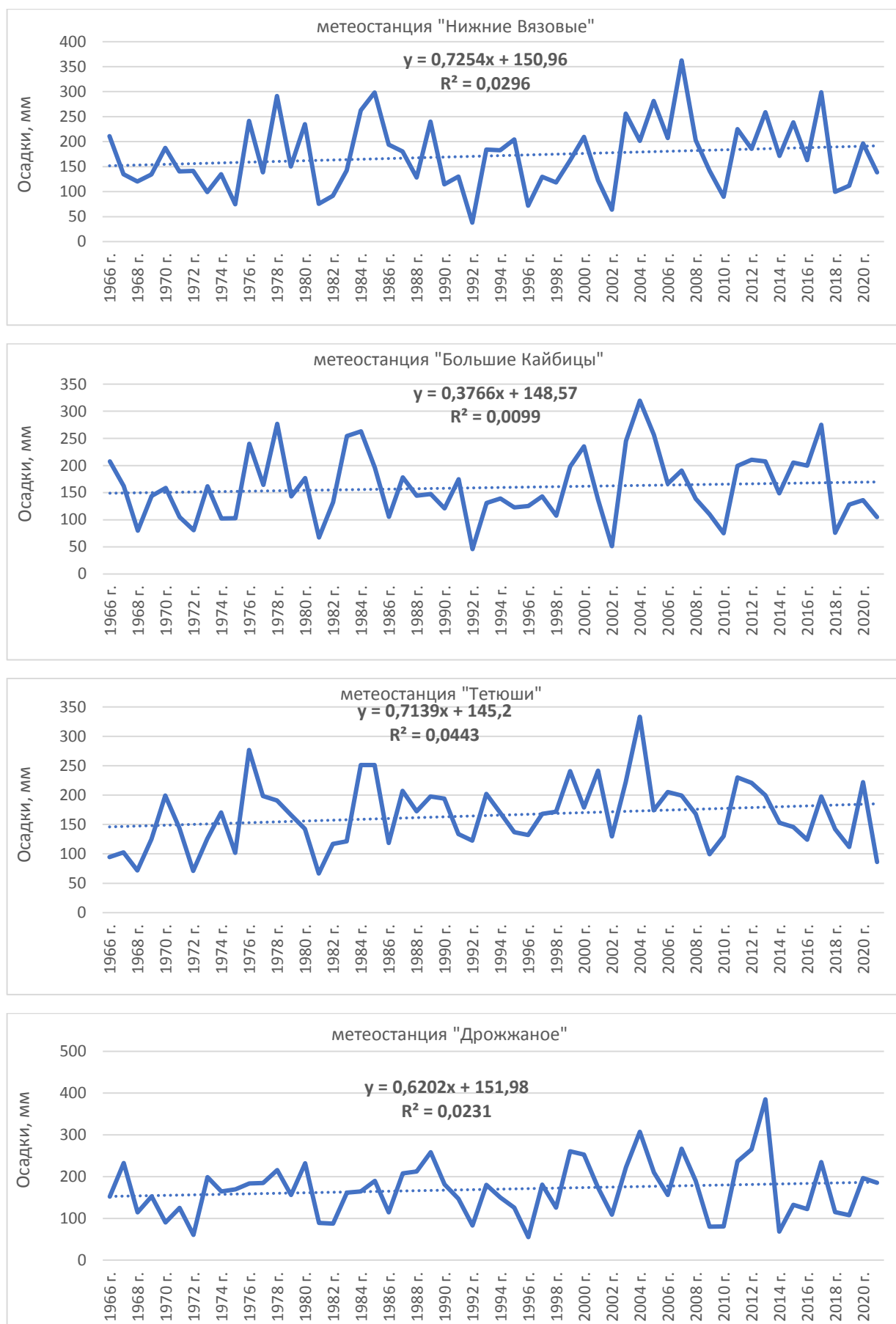


Рис. 1 - Изменчивость суммарного количества атмосферных осадков за период вегетации (май-сентябрь) в годы проведения исследования

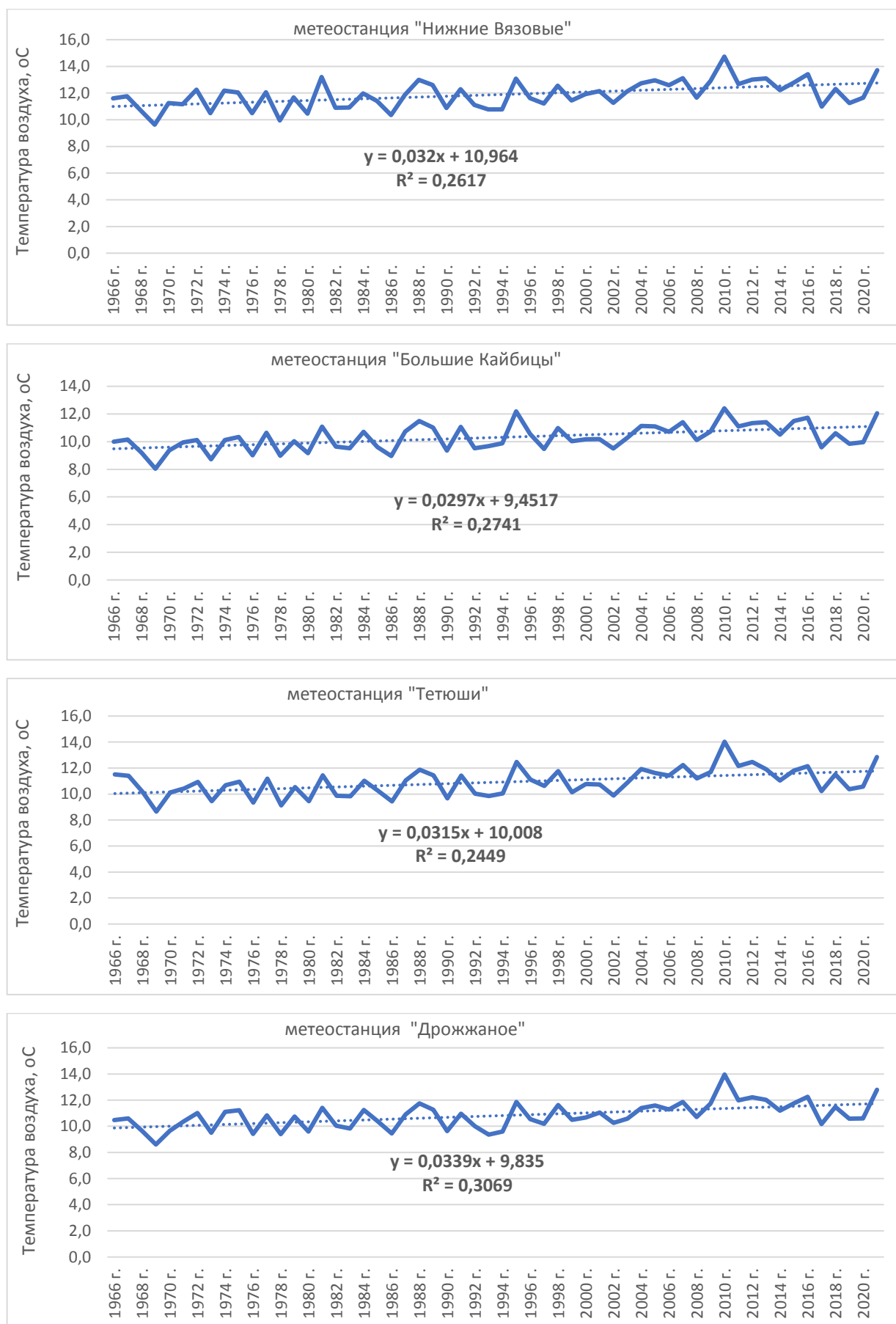


Рис. 2 - Изменчивость средней температуры воздуха за период вегетации (май-сентябрь) в годы проведения исследования

По всем четырём метеостанциям наблюдалась тенденция скачкообразного роста количества осадков, хотя, судя по величине коэффициентов детерминации ($R^2=0,0099\div0,0443$), зависимость величины осадков от временного фактора оказалась статистически не существенной.

В отличие от данного показателя, динамика среднемесячной температуры воздуха в период вегетации имела более выраженную положительную тенденцию во времени, что подтверждается коэффициентами детерминации в диапазоне $R^2= 0,2449\div0,3069$.

Для оценки темпов роста суммы атмосферных осадков и средней температуры воздуха в вегетационный период в течение 56 лет (1966-2021 гг.) были рассчитаны средние показатели за 10 лет в начале и в конце наблюдаемого срока (табл. 1). В начале наблюдений (1966-1975 гг.) суммарное количество атмосферных осадков за период вегетации варьировало от 120,6 до 145,9 мм. В последнем десятилетии наблюдаемого срока (2012-2021 гг.) количества осадков по отдельным метеостанциям выросли до 160,3-186,2 мм. Как видно, за весь период наблюдений количество атмосферных осадков вегетационного периода выросло на 35,3-48,3 мм. Интересно то, что максимальный рост количества атмосферных осадков (48,3 мм или 35 % к исходному уровню) был зафиксирован в метеостанции «Нижние Вязовые», расположенной максимально близко к берегу Волги (Куйбышевского водохранилища) на территории Зеленодольского муниципального района, а минимальный рост (35,3 мм или 24 % к исходному уровню) - в метеостанции «Дрожжаное», максимально удаленной от водохранилища (примерно 55 км). Среднегодовой рост количества атмосферных осадков, выпадающих в вегетационный период (май-сентябрь) за весь наблюдаемый период составил от 0,65 (метеостанция «Дрожжаное») до 0,86 мм (метеостанция «Нижние Вязовые») или в среднем около 0,72 мм по четырём пунктам наблюдения. Одновременно обнаружился тренд постепенного повышения средней температуры воздуха за период вегетации, правда масштабы роста оказались более скромными. За весь период мониторинга, в зависимости

от пункта наблюдения, рост средней температуры воздуха в вегетационный период составил от 1,1 до 1,3 °С.

Таблица 1 - Количество атмосферных осадков и средняя температура воздуха за период вегетации (май-сентябрь) в начале и конце наблюдений по данным метеорологических станций, расположенных на территории Предволжья РТ

Годы	Метеорологические станции			
	«Нижние Вязовые» (Зеленодольский м. р., пгт Нижние Вязовые)	«Большие Кайбицы» (Кайбицкий м. р., с. Большие Кайбицы)	«Тетюши» (Тетюшский м. р., г. Тетюши)	«Дрожжаное» (Дрожжановский м. р., с. Старое Дрожжаное)
<i>Атмосферные осадки, мм</i>				
1966-1975	137,9	130,5	120,6	145,9
2012-2021	186,2	169,3	160,3	181,2
Изменение за 1966-2021 гг.	+48,3	+38,8	+39,7	+35,3
<i>Средняя температура воздуха, °С</i>				
1966-1975	11,3	9,6	10,4	10,2
2012-2021	12,4	10,9	11,5	11,5
Изменение за 1966-2021 гг.	+1,1	+1,3	+1,1	+1,3

Максимальные размеры прироста средней температуры воздуха были установлены на метеостанциях «Дрожжаное» и «Большие Кайбицы», расположенных на наибольшем удалении от берегов Куйбышевского водохранилища (примерно 45-55 км). В сравнении с базовым периодом 1966–1975 гг. среднемесячная температура воздуха за вегетацию возросла на 10–13 %. В абсолютном выражении накопление тепла характеризуется увеличением

суммы активных температур ($\sum t > 10^{\circ}\text{C}$) за весь период наблюдений на $168\text{--}199^{\circ}\text{C}$. На рис. 3 приведена изменчивость гидротермического коэффициента (ГТК), рассчитанного по формуле Г.Т. Селянинова (1):

$$\text{ГТК} = \frac{R \times 10}{\sum t}, \quad (1)$$

где R – сумма осадков в миллиметрах за период с температурами выше $+10^{\circ}\text{C}$;
 $\sum t$ – сумма температур в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) за то же время.

Как известно, данный коэффициент, предложенный отечественным ученым Г.Т. Селяниновым (1977), нашел широкое распространение в агрономической науке и практике как комплексный показатель для общей оценки тепло- и влагообеспеченности территории [Макаров, 2016; Губанова, Губанов, 2021; Акмаров, Князева, Рысин, 2022].

В условиях исследуемой зоны величины ГТК вегетационных периодов подвержены сильным колебаниям, однако линии трендов за 56 лет (1966-2021 гг.) в четырёх метеостанциях оказались разнонаправленными и не показали заметного роста или снижения. Это вполне объяснимо, так как гидротермические коэффициенты (ГТК), определяемые как результирующая величина двух переменных – количества осадков и средней температуры воздуха по формуле Г.Т. Селянинова (1), за исследуемый период повышались одновременно.

Таким образом, за весь период наблюдений (1966-2021 гг.) по всем четырём наблюдательным пунктам наблюдалось сопряженное увеличение суммарного количества атмосферных осадков на $35,3\text{--}48,3$ мм и рост средней температуры воздуха на $1,1\text{--}1,3$ $^{\circ}\text{C}$ в течение вегетации (май–сентябрь). В относительном выражении прирост осадков составил $24\text{--}35$ %, а температурный фон повысился на $10\text{--}13$ % по сравнению со среднемноголетними значениями исходного периода (1966–1975 гг.).

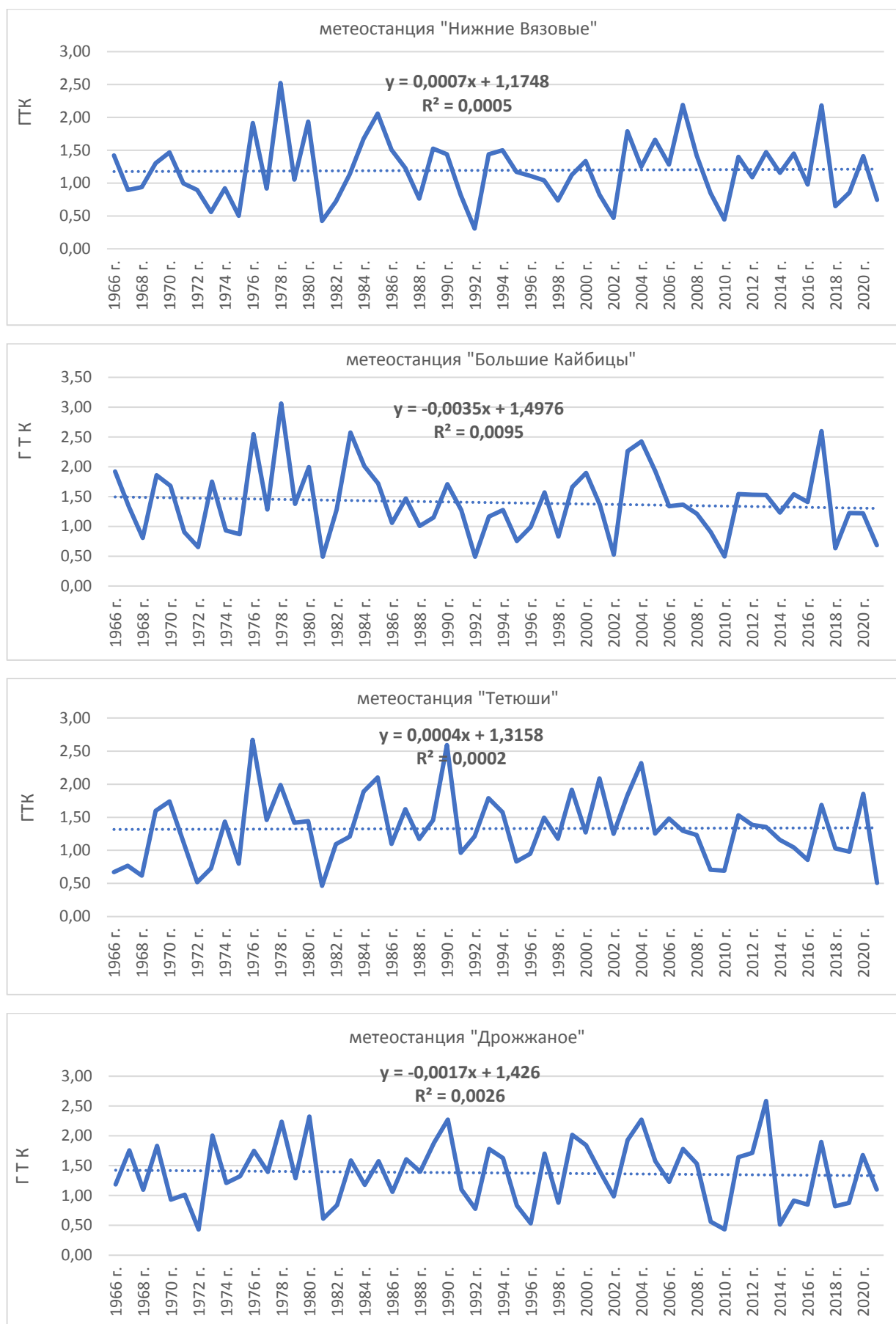


Рис. 3. Изменчивость гидротермического коэффициента (ГТК) за период вегетации (май-сентябрь) в годы проведения исследования

Максимальное повышение атмосферных осадков обнаружилось на метеостанциях, максимально близко расположенных к Куйбышевскому водохранилищу (меньше 1 км), в то время как на наиболее удаленных от водохранилища (45-55 км) метеостанциях – максимальное повышение средней температуры воздуха за вегетационный период.

3.2 Особенности структуры почвенного покрова Предволжья

Материалы табл. 2 показывают распространенность различных типов и подтипов почв по сельскохозяйственным угодьям муниципальных районов Предволжья РТ.

В 6 районах из 8 преобладающими являются серые лесные почвы, и лишь в Буинском и Дрожжановском районах - черноземные почвы. Среди районов, на сельскохозяйственных угодьях которых доминируют серые лесные почвы, субдоминантами представлены либо дерново-подзолистые (Зеленодольский район), либо дерново-карбонатные (Верхнеуслонский, Камско-Устьинский районы), либо черноземные почвы (Кайбицкий, Апастовский, Тетюшский районы).

В Зеленодольском муниципальном районе субдоминант – дерново-подзолистые почвы занимают достаточно весомую долю – 23,5 %. В других районах Предволжья распространенность данного типа почв весьма скромная - колеблется в пределах от 0,2 (Тетюшский район) до 7,8 % (Верхнеуслонский район).

Дерново-карбонатные почвы, оказавшиеся субдоминантом в двух районах (Верхнеуслонский 10,8; Камско-Устьинский 13,3 %), в остальных районах встречаются редко (0,3- 3,8 %).

Серые лесные почвы в роли субдоминанта (4,2 и 10,9 %) фигурируют в Юго-Западной зоне Предволжья – в Дрожжановском и Буинском районах.

Относительно значимую долю (15,5-35,0 %) занимают в качестве субдоминанта оподзоленные, выщелоченные и типичные черноземы в Кайбицком, Апастовском и Тетюшском районах.

Таблица 2 - Почвенный покров сельскохозяйственных угодий Предволжья
Республики Татарстан

Районы	Площадь сельхозугодий	Типы и подтипы почв*				
		П ^д ₁₋₂₋₃	Д ^{оп,в,т} _к	Л ₁₋₂₋₃	Ч ^{оп,в,т}	прочие
Доминант – серые лесные почвы, субдоминант – дерново-подзолистые почвы						
Зеленодольский	<u>76,5**</u> 100	<u>18,0</u> 23,5	<u>2,0</u> 2,6	<u>37,8</u> 49,4	<u>7,7</u> 10,1	<u>11,0</u> 14,4
Доминант – серые лесные почвы, субдоминант – дерново-карбонатные почвы						
Верхнеуслонский	<u>83,0</u> 100	<u>6,5</u> 7,8	<u>9,0</u> 10,8	<u>64,2</u> 77,4	<u>1,8</u> 2,2	<u>1,5</u> 1,8
Камско- Устьинский	<u>75,3</u> 100	<u>1,3</u> 1,7	<u>10,0</u> 13,3	<u>54,4</u> 72,2	<u>7,0</u> 9,3	<u>2,6</u> 3,5
Доминант – серые лесные почвы, субдоминант – черноземы лесостепные						
Кайбицкий	<u>72,5</u> 100	<u>0,9</u> 1,2	<u>1,6</u> 2,2	<u>50,8</u> 70,1	<u>11,2</u> 15,5	<u>8,0</u> 11,0
Апастовский	<u>84,3</u> 100	<u>1,1</u> 1,3	<u>3,2</u> 3,8	<u>43,0</u> 51,0	<u>22,2</u> 26,3	<u>14,8</u> 17,6
Тетюшский	<u>106,2</u> 100	<u>0,2</u> 0,2	<u>1,8</u> 1,7	<u>62,5</u> 58,9	<u>37,2</u> 35,0	<u>4,5</u> 4,2
Доминант - черноземы лесостепные, субдоминант – серые лесные почвы						
Буинский	<u>127,3</u> 100	<u>0,8</u> 0,6	<u>0,4</u> 0,3	<u>13,8</u> 10,9	<u>99,6</u> 78,2	<u>12,7</u> 10,0
Дрожжановский	<u>87,8</u> 100	<u>0,3</u> 0,3	<u>1,9</u> 2,2	<u>3,7</u> 4,2	<u>75,4</u> 85,9	<u>6,5</u> 7,4
Доминант – серые лесные почвы, субдоминант – черноземы лесостепные	Предволжье					
	<u>712,9</u> 100	<u>29,1</u> 4,1	<u>29,9</u> 4,2	<u>330,2</u> 46,3	<u>262,1</u> 36,8	<u>61,6</u> 8,6
	Республика Татарстан					
	<u>4361,1</u> 100	<u>292,1</u> 6,7	<u>126,9</u> 2,9	<u>1908,9</u> 43,8	<u>1731,2</u> 39,7	<u>302,0</u> 6,9

Прим.: * дерново-подзолистые (П^д₁₋₂₋₃); дерново-карбонатные (Д^{оп,в,т}_к); серые лесные (Л₁₋₂₋₃); черноземные (Ч^{оп,в,т}); ** в числителе - тысяч га; в знаменателе – проценты.

В целом в Предволжье Республики Татарстан наибольшее распространение в общей площади сельскохозяйственных угодий получили серые лесные почвы, занимающие площадь 330,2 тыс. га или 46,3 %.

Второе место по распространению в почвенном покрове Предволжья занимают черноземные почвы. Их площадь составляет 262,1 тыс. га или 36,8 %. Дерново-подзолистые и дерново-карбонатные почвы занимают, соответственно 29,1 и 29,9 тыс. га или 4,1 и 4,2 % от общей площади сельскохозяйственных угодий. Оставшуюся площадь, равную 61,6 тыс. га (8,6 %), почвенного покрова занимают пойменные, болотные и другие почвы, которые играют подчиненную роль.

Таким образом, в почвенном покрове двух муниципальных районов (Буинский и Дрожжановский) преобладают высокоплодородные черноземы, а в остальных шести районах - серые лесные почвы. Сравнение распространенности основных типов почв в Предволжье и в целом в Республике показывает, что исследуемый нами регион представляется миниатюрной копией Татарстана. Как видно, в обоих случаях доминантными являются серые лесные почвы, а субдоминантными – черноземы [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2023].

3.3 Временная и пространственная изменчивость уровня применения удобрений и химических мелиорантов

На современном этапе развития общества повышение продуктивности сельскохозяйственных земель обеспечивается комплексом факторов интенсификации, где ведущая роль отводится химизации наряду с селекцией интенсивных сортов, мелиорацией и индустриализацией технологий. Применение минеральных удобрений и других агрохимикатов – важнейший фактор интенсификации.

3.3.1 Динамика применения минеральных удобрений

Минеральные удобрения представляют собой промышленные неорганические соединения, содержащие необходимые для роста и развития растений элементы питания.

В экономически развитых странах доля вклада минеральных удобрений в формирование прибавки урожая оценивается в 50–60 %, что составляет 25–30 % от общего объема валовой продукции растениеводства. Мировая практика подтверждает, что ведение земледелия по экстенсивному типу без компенсации выноса элементов питания неизбежно приводит к истощению почвенных резервов и стагнации продуктивности культур. Если дефицит азота может быть частично компенсирован за счет биологической фиксации, органических удобрений и применения промышленных туков, то восполнение запасов фосфора и калия возможно исключительно за счет внесения соответствующих минеральных форм, так как других источников этих элементов не существует [Ефимов и др., 2002].

Показателем уровня интенсификации выбрана среднегодовая насыщенность пашни минеральными удобрениями, определяемая как сумма доз внесения азота, фосфора и калия в действующем веществе на один гектар.

Анализ динамики применения минеральных удобрений в Предволжье за исследуемый период показывает существенные колебания интенсивности химизации (рис. 4).

На протяжении первых пяти циклов агрохимического обследования (с 1965–1970 по 1991–1995 гг.) наблюдалась устойчивая тенденция роста насыщенности пашни минеральными удобрениями. За указанный период объем внесения действующего вещества NPK увеличился с 13,8 до 119,6 кг/га, то есть практически в 9 раз.

Однако начиная с шестого цикла (1996–2000 гг.) динамика сменилась на противоположную: за пятилетний интервал насыщенность пашни сократилась почти вдвое и составила 60,3 кг д.в./га. Правда, по результатам следующего 7-ого цикла применение удобрений выросло до 77,1 кг д. в./га и примерно на таком уровне продержался ещё пять лет.

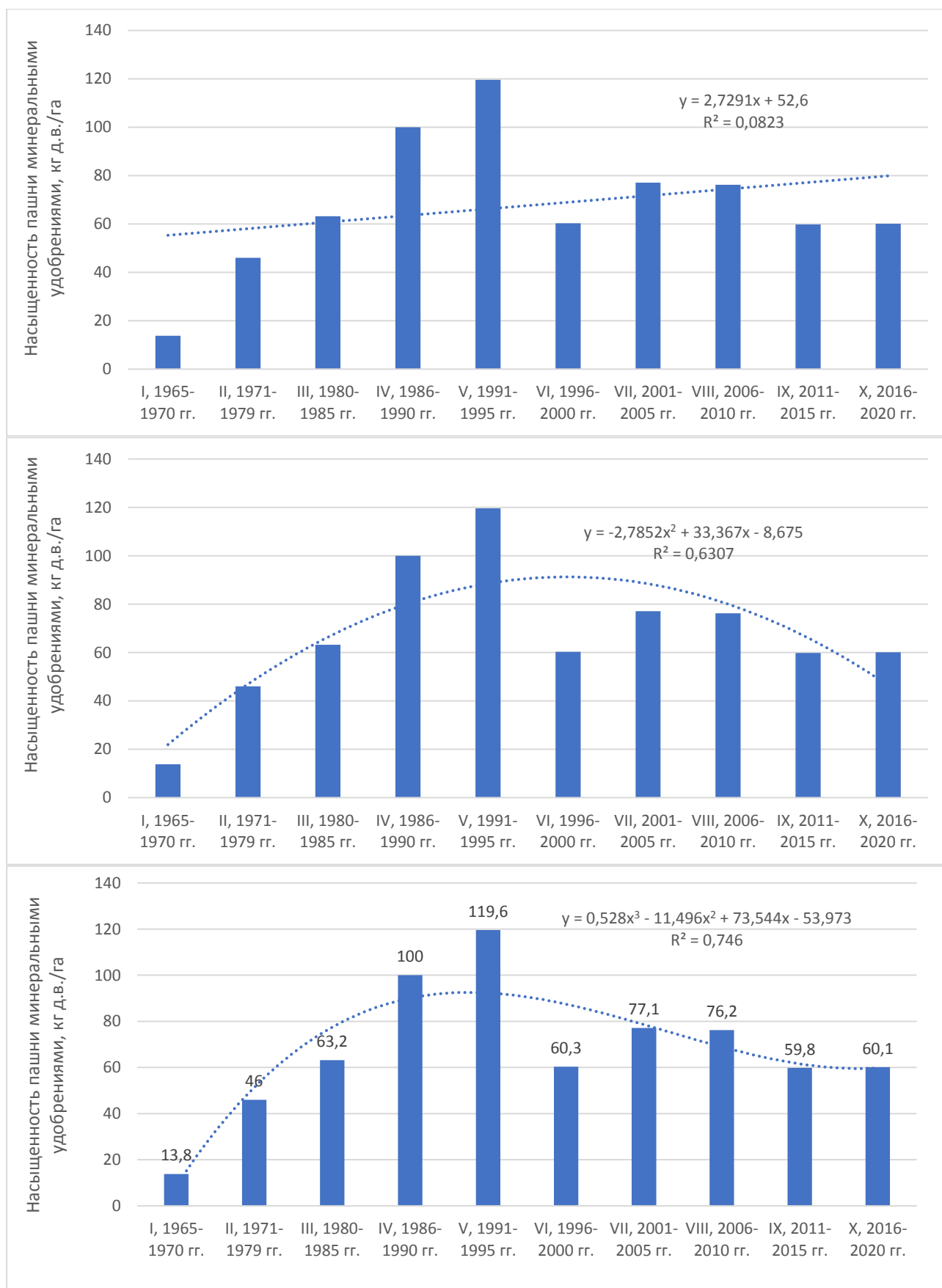


Рис. 4 - Динамика насыщенности пашни минеральными удобрениями по циклам агрохимического обследования почв Предволжья РТ

К сожалению, в течение последнего десятилетия интенсивность применения минеральных удобрений сохраняется на низком уровне, не превышая 60 кг д.в./га. В среднем за 55 лет наблюдений насыщенность пашни минеральными удобрениями в Предволжье составила 67,6 кг д. в./га, что чуть ниже среднереспубликанского показателя (70,9 кг д. в./га).

Графическое изображение динамики насыщенности пашни минеральными удобрениями показывает волнообразный характер её изменчивости во временном ряду. Для описания зависимости величины насыщенности пашни минеральными удобрениями от временного фактора за весь период наблюдений лучше подходило полиномиальное уравнение третьей степени ($R^2 = 0,746$).

Если же общую динамику изменения насыщенности пашни удобрениями за 10 циклов агрохимического обследования рассматривать, разделив на два периода, то получаются две разные картины (рис. 5).

В течение первых пяти циклов (1965-1995 гг.) рост насыщенности пашни минеральными удобрениями в зависимости от временного фактора описывался линейным уравнением, и эта связь оказалась весьма тесной ($R^2 = 0,9894$). За указанный период насыщенность пашни минеральными удобрениями выросла с 13,8 до 119,6 кг д. в./га, то есть 8,7 раза [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

В последующих пяти циклах (1996-2020 гг.), как уже отмечалось, уровень применения минеральных удобрений колебался в незначительных пределах (60-77 кг д. в./га) и зависимость его от временного фактора оказалась весьма слабой ($R^2 = 0,0948$), можно было уловить лишь слабую тенденцию его снижения к последнему сроку наблюдения.

За весь период наблюдений (1965-2020 гг.) средняя насыщенность пашни минеральными удобрениями в муниципальных районах варьировала от 57,6 до 79,4 кг д. в./га (рис. 6). Относительно малое количество удобрений (до 60 кг д. в./га) было использовано на полях Камско-Устьинского, Тетюшского и Верхнеуслонского районов. Средняя насыщенность пашни удобрениями в трёх районах (Апастовский, Кайбицкий и Дрожжановский) не превышало 70 кг д.

в./га. Лидерами по уровню применения минеральных удобрений оказались Зеленодольский и Буинский муниципальные районы, где данный показатель приблизился к 80 кг д. в./га [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

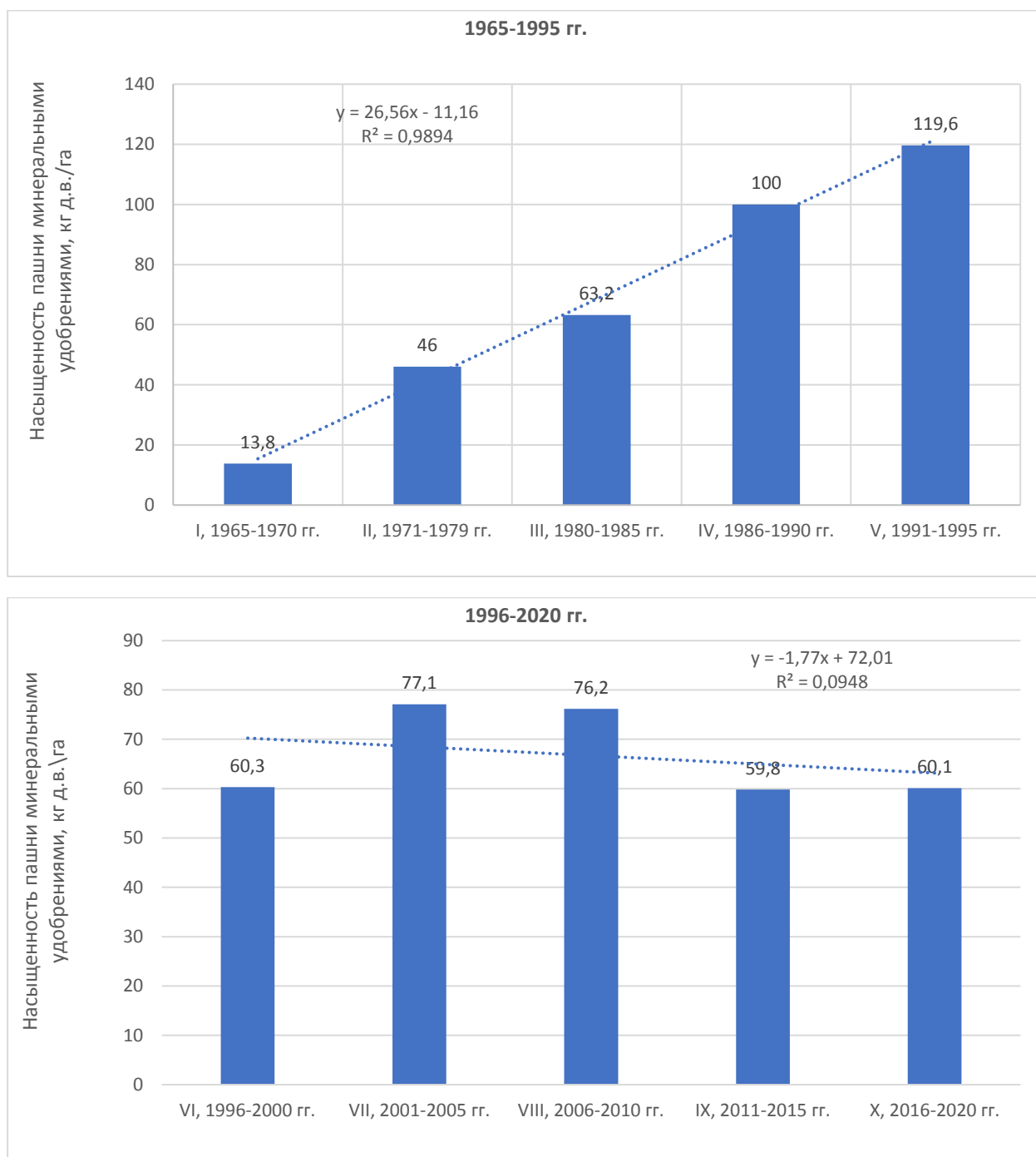


Рис. 5 - Динамика насыщенности пашни минеральными удобрениями за I-V и VI-X циклы агрохимического обследования почв Предволжья РТ

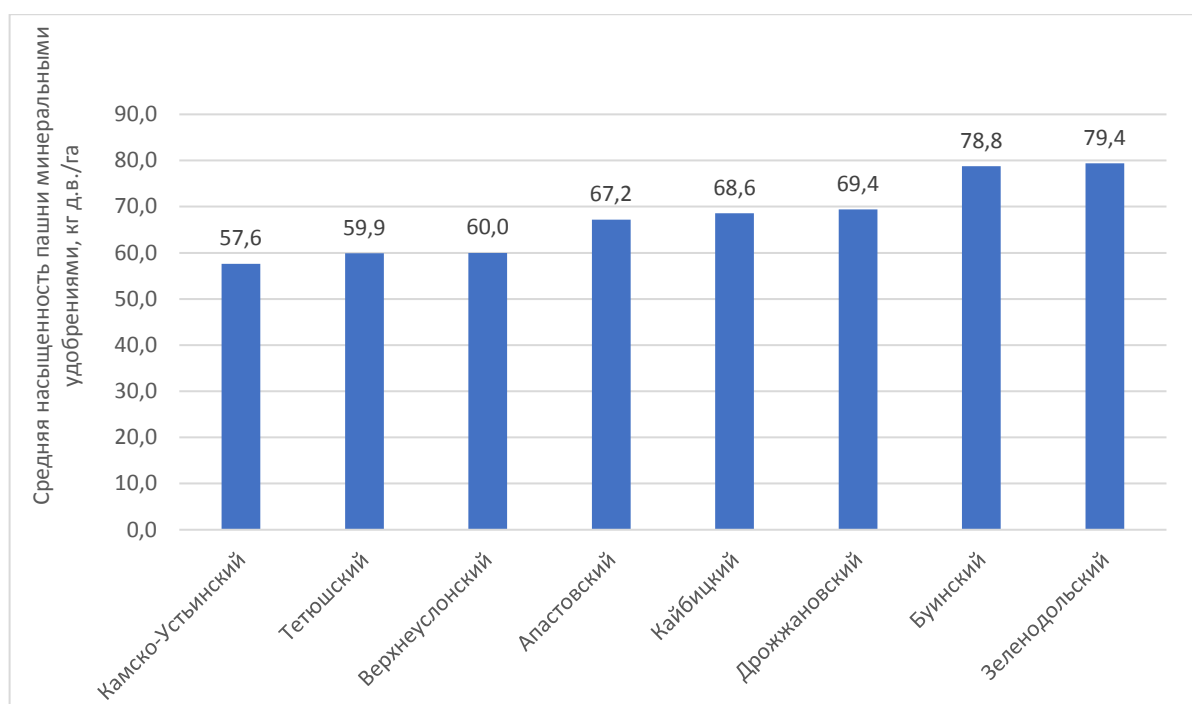


Рис. 6 - Средняя насыщенность пашни муниципальных районов Предволжья РТ минеральными удобрениями в 1965-2020 гг.

Завершая данный подраздел отметим, что в 2021-2025 гг. уровень применения минеральных удобрений в регионе варьировала в пределах от 45 до 91 кг д.в./га при среднем показателе 73,8 кг д. в./га. Сопоставление этих данных с данными за предыдущие два срока наблюдений (2011-2015 и 2016-2020 гг.) позволило приблизительно прогнозировать возможную направленность и темпы изменения уровня применения минеральных удобрений на ближайшую перспективу (прил. 1). Как видно, к 2030 г. насыщенность пашни минеральными удобрениями увеличится по отношению к уровню 2016-2020 гг. примерно в 1,3 раза составит чуть более 78 кг д. в./га.

3.3.2 Динамика применения органических удобрений

Несмотря на развитие индустрии производства минеральных удобрений, значимость органических удобрений в агроэкосистемах остается неоспоримой. Как отмечал Д.Н. Прянишников (1963), роль навоза как главного источника органического вещества не может быть замещена полностью даже при высоком уровне химизации.

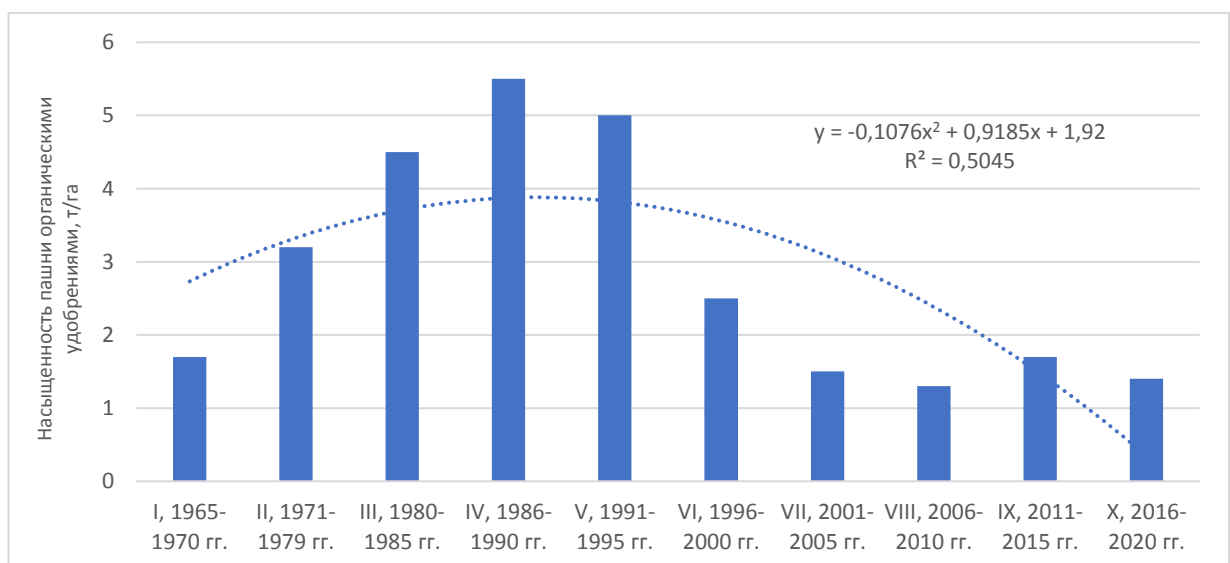
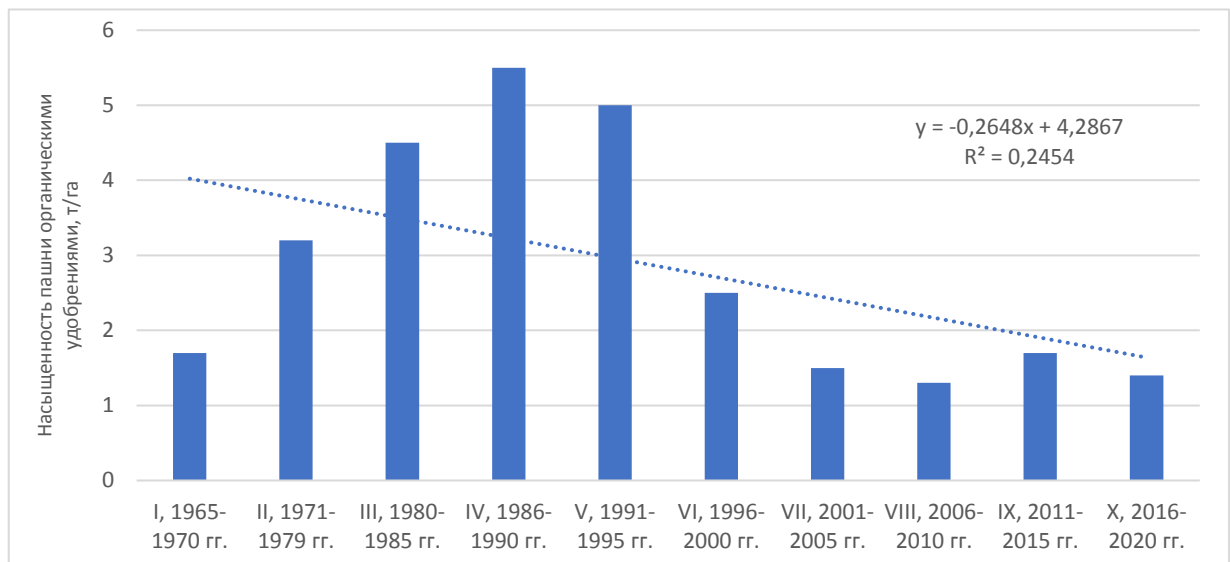
С точки зрения почвоведения ценность органики заключается в её комплексном пролонгированном действии. В отличие от минеральных солей, органические удобрения служат непосредственным субстратом для синтеза гумусовых веществ, оптимизируют физико-химические свойства почвы (включая кислотность) и повышают общую биологическую активность микробоценоза [Гилязов, Лукманов, Муратов, 2016]. Следовательно, органические удобрения следует рассматривать не только как источник минерального питания сельскохозяйственных культур, но и как комплексный улучшитель свойств почв: агрохимических, агрофизических и биологических.

Основным органическим удобрением в Предволжье является подстилочный навоз, представляющий собой смесь твердых, жидких выделений животных и подстилки, приготовленная соответствующим образом. Помимо подстилочного навоза в регионе применяют бесподстилочный навоз, птичий помет, зеленые удобрения, солому и сапропель.

В общих чертах динамика изменения уровня применения органических удобрений за исследуемый период существенно не отличается от динамики минеральных удобрений: постоянный рост в первое время сменился достаточно резким снижением в дальнейшем (рис. 7). Отличие состояло в том, что стабильный рост насыщенности пашни органическими удобрениями продолжался только до 4-ого цикла обследования. За этот период (1965-1990 гг.) применение органических удобрений выросло с 1,7 до 5,5 т/га или в 3,2 раза. В последующие 4 цикла обследования наблюдался резкий спад: с 5,5 до 1,3 т/га. Таким образом, за 1990-2010 гг. применение органических удобрений в регионе уменьшилось более чем в 4 раза, достигнув минимального значения за все годы наблюдения. За последние 20 лет насыщенность пашни органическими удобрениями в Предволжье варьирует в пределах 1,3-1,7 т/га, что явно недостаточно для сохранения плодородия почв. Для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в почвах Предволжья уровень насыщения пашни органическими удобрениями должен составлять не менее 8–10 тонн на гектар [Гилязов, Лукманов, Муратов, 2016].

Сравнительный анализ моделей показал, что полиномиальное уравнение третьей степени точнее описывает динамику насыщенности пашни органическими удобрениями во времени, нежели линейная зависимость.

Минимальный объем применения органических удобрений за весь период мониторинга зафиксирован в Тетюшском районе – 1,82 т/га (рис. 8). В трёх районах (Камско-Устьинский, Буинский, Верхнеуслонский) данная величина составила 2,45-2,68 т/га. В остальных районах насыщенность пашни органическими удобрениями варьировала в интервале от 3,23 до 3,62 т/га. В целом за 1965-2020 гг. насыщенность пашни Предволжья органическими удобрениями составила 2,91 т/га.



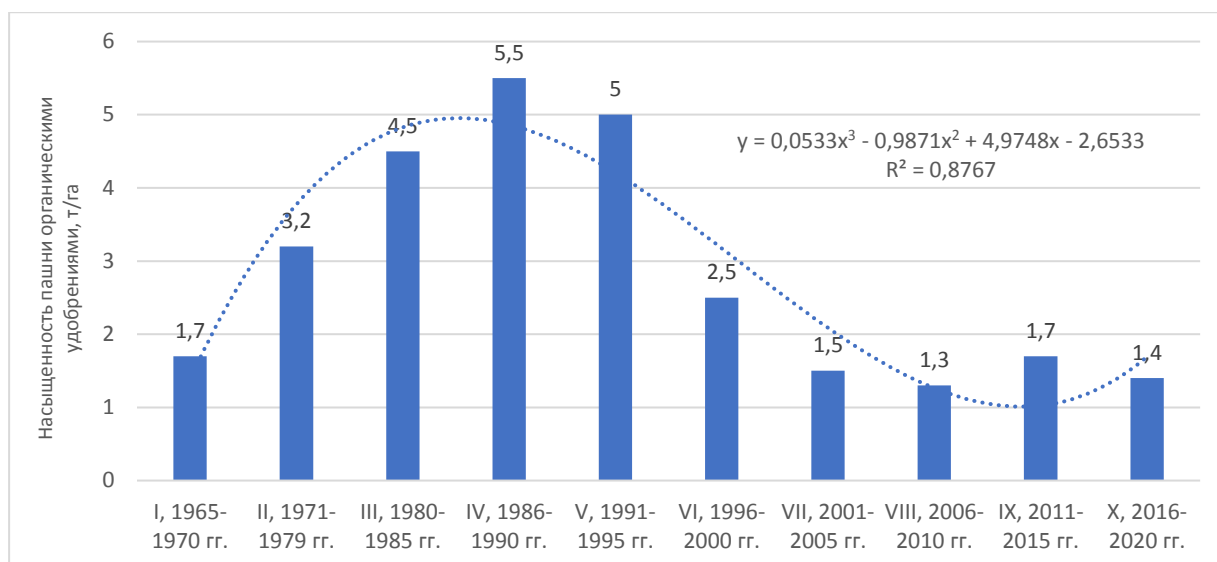


Рис. 7 - Динамика насыщенности пашни органическими удобрениями по циклам агрохимического обследования почв Предволжья РТ

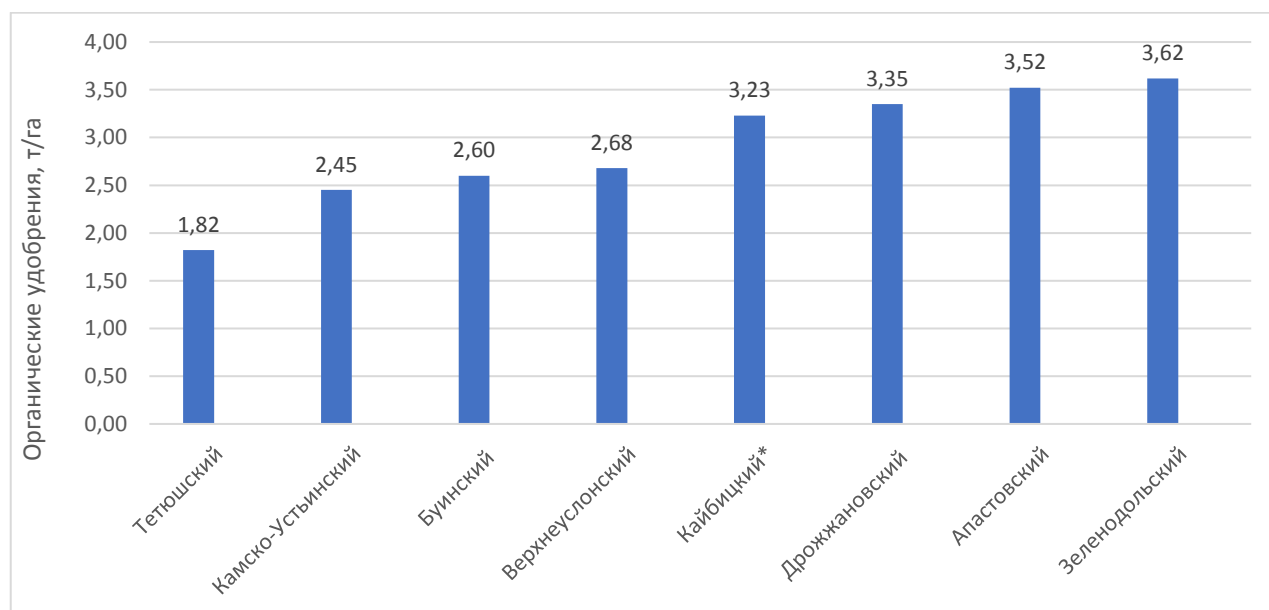


Рис. 8 - Средняя насыщенность пашни муниципальных районов Предволжья РТ органическими удобрениями в 1965-2020 гг.

Муниципальные районы региона заметно отличаются по уровню применения органических удобрений (1,82-3,62 т/га), но даже лидер – Зеленодольский район использовал органические удобрений почти в три раза меньше уровня, необходимого для поддержания уравновешенного баланса гумуса.

3.3.3 Динамика применения химических мелиорантов

К химическим мелиорантам относятся удобрения косвенного действия, оптимизирующие питание растений через улучшение агрономических свойств почвы. Их основное назначение - коррекция реакции среды: нейтрализация избыточной кислотности или щелочности. При этом сами мелиоранты служат источником мезоэлементов - кальция, магния и серы. Согласно общепринятой классификации, данная группа средств химизации подразделяется на известковые (для устранения кислотности) и гипсовые (для устранения щелочности) удобрения [Гилязов, 2021].

Иногда в качестве химических мелиорантов рассматриваются фосфоритная, костная и вивианитовая муки, если они вносятся в больших дозах для целенаправленного повышения запасов подвижных форм фосфора. Данный агрохимический прием, то есть разовое внесение больших доз труднорастворимых фосфорных удобрений, прежде всего, фосфоритной муки, получило название «фосфоритование» [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2024].

Наряду с внесением органических и минеральных удобрений, «известкование кислых почв играет существенную роль в сохранении плодородия почв и повышении продуктивности сельскохозяйственных культур» [Ягодин и др., 2003; Минеев, 2004; Нуриев и др., 2006; Шильников и др., 2008; Лукманов и др., 2010; Аканова и др. 2013; Давлятшин и др., 2013; Сычев, В.Г. и др., 2013, Биккинина и др., 2014; Муратов, 2015]. Дело в том, что избыточная кислотность почвы оказывает многостороннее негативное действие на агрономические свойства почвы, рост и развитие произрастающей растительности. Правда есть ряд растений, которые неплохо могут расти и развиваться в кислых почвах, однако большинство сельскохозяйственных культур, безусловно, максимальную продуктивность проявляет при нейтральной или близкой к ней реакции среды [Шильников, Лебедева, 1987].

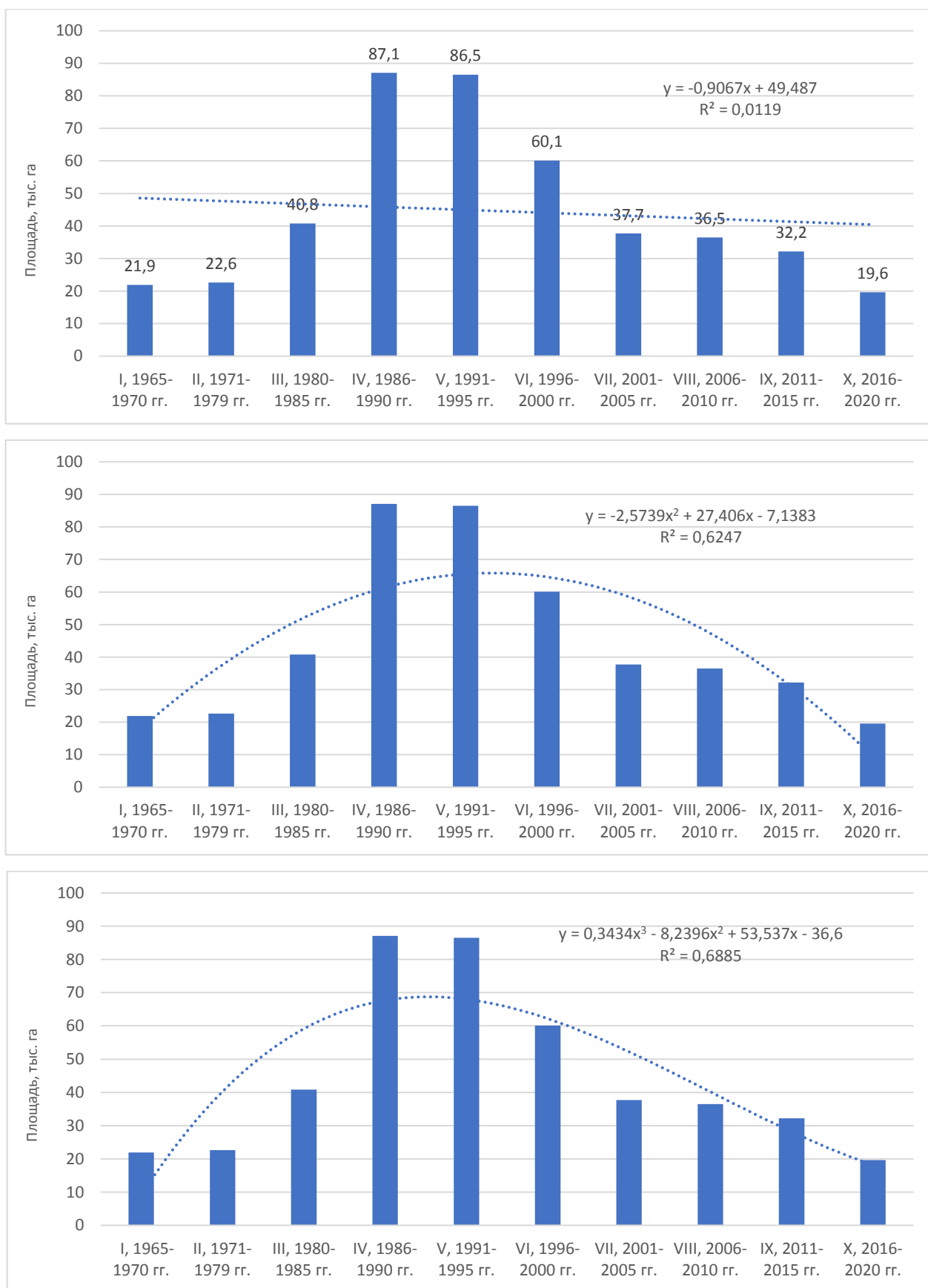


Рис. 9 - Среднегодовые площади известкования кислых почв по циклам агрохимического обследования в Предволжье РТ

К регулярному известкованию кислых почв в Предволжье республики приступили в 1967 году, однако до 1985 г. его темпы оставались низкими и повторное известкование проводилось только через 10-18 лет. Естественно, что при таких темпах известкования невозможно было ожидать сокращения площадей кислых почв. Учитывая это, в Предволжье Республики с 1986 г. осуществлен переход на научно обоснованный пятилетний цикл известкования со среднегодовыми объемами 68,8-70,6 тыс. га.

Среднегодовые площади известкования кислых почв в Предволжье РТ по циклам агрохимического обследования сильно варьировали: от 19,6 до 87,1 тыс. га (рис. 9).

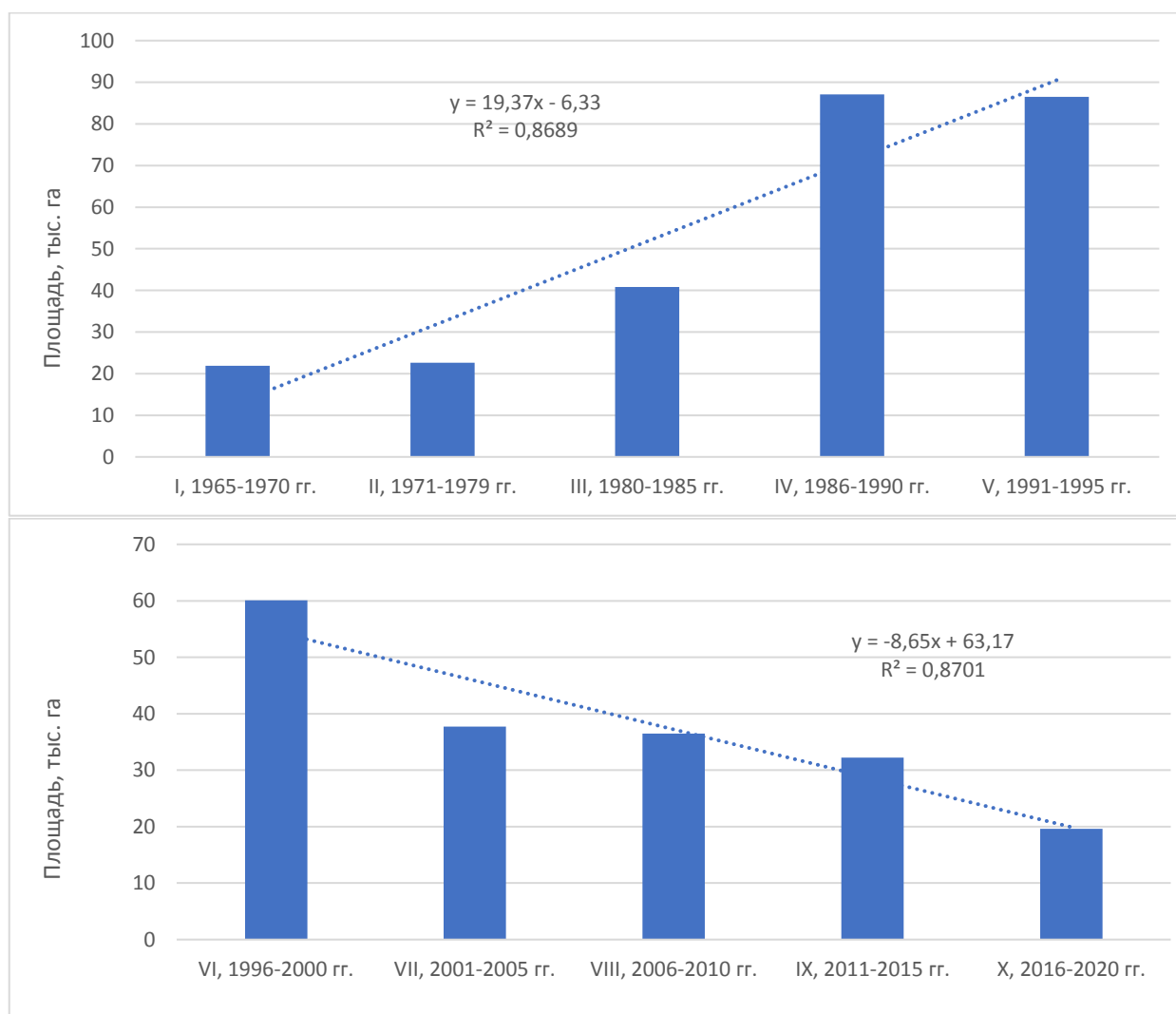


Рис. 10 - Разнонаправленность динамики изменения среднегодовых объемов известкования кислых почв Предволжья РТ в I-Vи VI-X циклах агрохимического обследования

Динамика площадей известкования за исследуемый период в значительной мере напоминает характер изменения уровня применения минеральных и органических удобрений: если до четвертого цикла обследования наблюдался рост темпов известкования до максимального значения и на этом уровне продержался ещё 5 лет, то во все последующие годы происходило постоянное снижение объемов известкования до минимального уровня.

Судя по величине коэффициента детерминации, для описания характера изменения площадей среднегодового известкования в зависимости от временного фактора в течение всех циклов обследования лучше подходило полиномиальное уравнение третьей степени ($R^2=0,6885$). Если же общую динамику изменения объемов известкования кислых почв за 10 циклов агрохимического обследования рассматривать, разделив на два периода, то получаются ещё более тесная ($R^2=0,87$) прямолинейная, но разнонаправленная зависимость (рис. 10) [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

Исходя из общей площади кислых почв по итогам последнего цикла обследования (182,2 тыс. га), в ближайшие годы для перехода на пятилетний цикл известкования кислых почв объемы ежегодного известкования в регионе необходимо довести до 36,4 тыс. га ($182,2:5$).

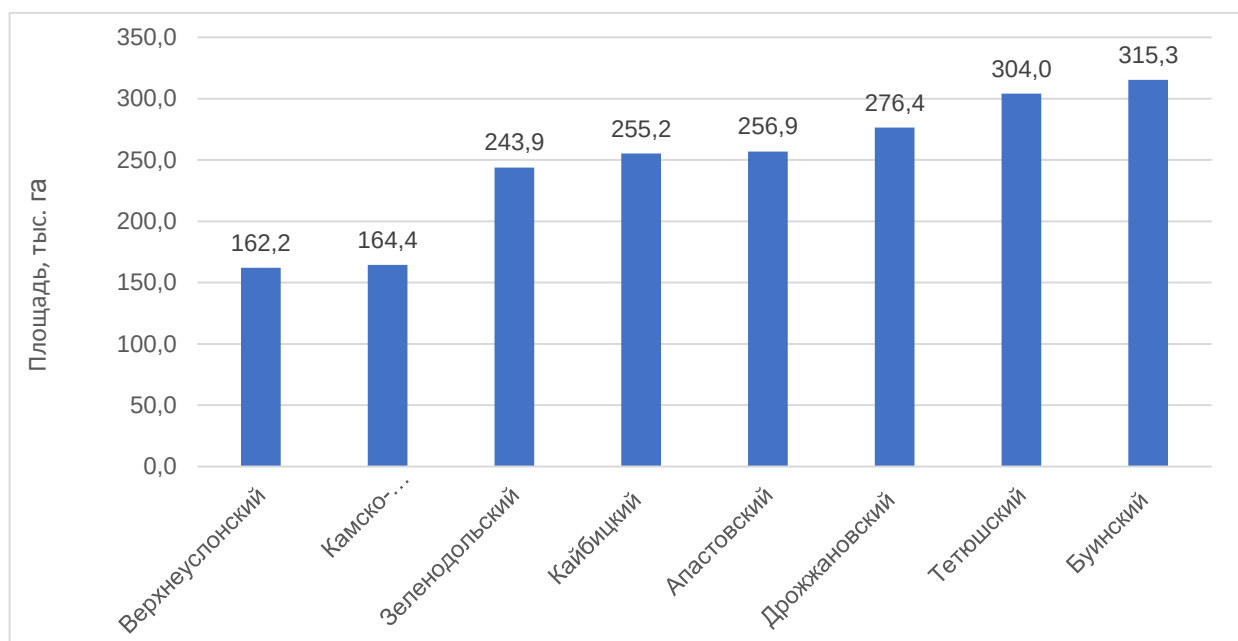


Рис. 11 - Общая площадь произвесткованных почв пашни муниципальных районов Предволжья РТ в 1965-2020 гг.

Суммарная площадь произвесткованных почв в Предволжье республики за весь период наблюдений составила внушительную величину – 1978,3 тыс. га, что в 3,5 раза больше общей площади пашни исследуемого региона (565,3 тыс. га). Муниципальные районы заметно различаются по площадям произвесткованных почв за 55 лет (рис. 11). По этому показателю их условно можно разделить на три группы.

Наименьшие объемы известкования кислых почв (162,2-164,4 тыс. га) показали Верхнеуслонский и Камско-Устьинский районы. Четыре района (Зеленодольский, Кайбицкий, Апастовский и Дрожжановский) за все годы наблюдения произвестковали 243,9-276,4 тыс. га кислых почв. В двух районах (Тетюшский, Буинский) общая площадь произвесткованных почв превышала 300 тыс. га. Судя по этим данным может показаться, что особенно интенсивно известкование проводилось в тех районах, пашни которых в основном расположены на черноземных почвах, а в районах, пашни которых представлены серыми лесными и дерново-подзолистыми почвами, отличающимися природной кислотностью, наоборот, данный прием химической мелиорации реализовался в существенно меньших масштабах. Однако это не так, о чем свидетельствуют данные рис. 12.

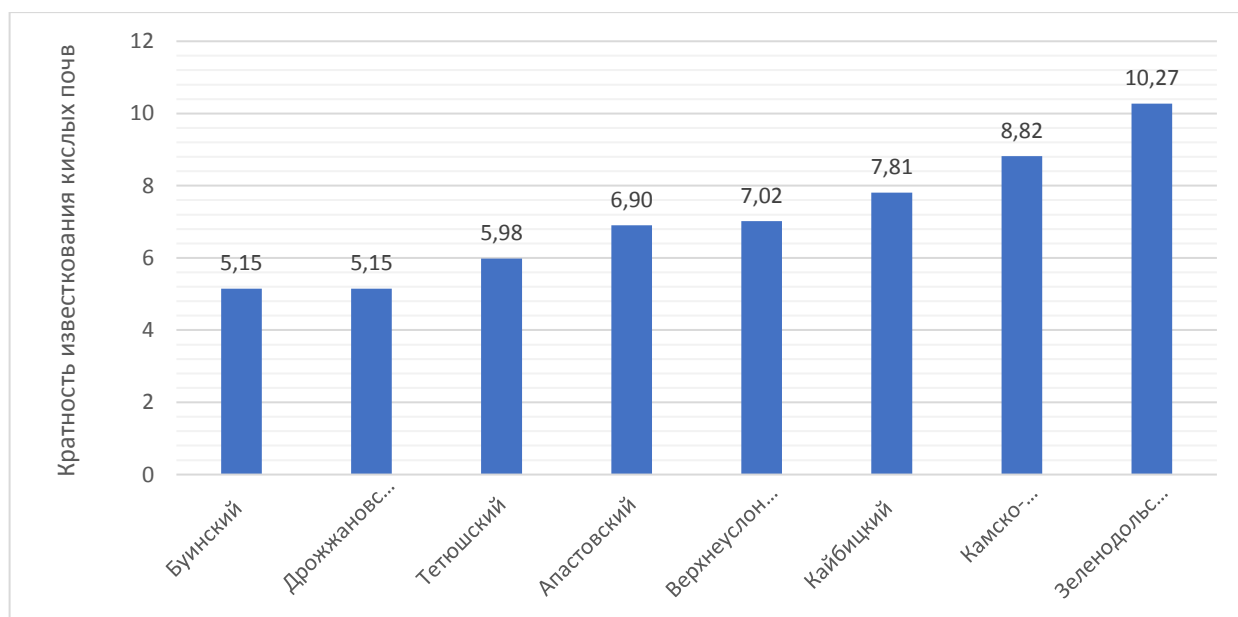


Рис. 12 – Интенсивность (кратность) известкования кислых почв пашни муниципальных районов Предволжья РТ (1965-2020 гг.)

Для объективной оценки интенсивности известкования нужно знать не только площадь произвесткованных почв, но и распространенность в муниципальных районах кислых почв. Только сопоставление площадей кислых и произвесткованных почв может дать реальную картину интенсивности проведения данного приема химической мелиорации.

Интенсивность известкования кислых почв, рассчитанная как отношение общей площадей произвесткованных почв за весь период наблюдений к средней площади кислых почв муниципального района за тот же период, и названная нами как «кратность известкования», варьирует в интервале 5,15-10,27. Другими словами, за 55 лет суммарная площадь произвесткованных почв в 5-10 раз превысила усредненную площадь кислых почв районов. Относительно низкая кратность известкования (5,15-5,98) обнаружилась в Дрожжановском, Буинском и Тетюшском районах, пашни которых в основном расположены на черноземных почвах, характеризующихся нейтральной реакцией среды. Наиболее интенсивно известкование кислых почв, судя по этому показателю, проводилось в Зеленодольском и Камско-Устьинском районах: за 55 лет кислые почвы были известкованы примерно 9-10 раз. В остальных муниципальных районах кратность известкования кислых почв составила 6,90-7,81 [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

Фосфоритование оказывает двойное воздействие на агроэкосистему: повышает обеспеченность растений подвижным фосфором и выступает фактором химической мелиорации кислых почв. Механизм действия обусловлен ионным обменом: при фосфоритовании в поглощающем комплексе почвы ионы водорода замещаются кальцием. Это приводит к двум одновременным процессам: переходу труднорастворимых трёхкальциевых соединений фосфата в более доступную для растений форму двухосновного фосфата кальция, и кроме того, снижается гидролитическая кислотность [Гилязов, Лукманов, Муратов, 2016].

Фосфоритование прочно вошло в сельскохозяйственную практику и показало свою эффективность по ряду причин: фосфор в отличие от азота и калия

хорошо закрепляется почвой и способен накапливаться, не теряется улетучиванием, не приводит к повышению концентрации почвенного раствора и не оказывает негативного действия на прорастающие семена, труднорастворимые фосфорные удобрения имеют относительно низкую себестоимость.

Особенно дешевыми и доступными для сельхозтоваропроизводителей являются те удобрения, которые добываются в близлежащих месторождениях фосфоритов. Для Предволжья Республики Татарстан таковыми явились местные фосфориты Буинского, Тетюшского и Дрожжановского районов, которые впервые были исследованы сотрудниками кафедры агрохимии и почвоведения Казанского сельскохозяйственного института (ныне Казанский аграрный университет) ещё в далекие 30-40-ые годы прошлого века, благодаря которым началась разработка фосфоритных месторождений Татарстана и широкое применение фосфоритной муки в качестве наиболее дешевого удобрения на полях республики [Гилязов, Миникаев, 2021].

Среди них наиболее ценным оказалось Сюндюковское месторождение, расположенное на территории Тетюшского муниципального района. Основные залежи фосфоритной руды приурочены к верхнеюрским и нижнемеловым отложениям. Мощность вскрышных пород 4,46-16,3 м, фосфоритового пласта – около 1 м с общим запасом исходной руды около 1500 тыс. тонн [162].

До 2005 года действовало местное предприятие (ОАО «Сюндюковский карьер») с упрощенной технологией размола руды (без предварительного обогащения и сушки) с производственной мощностью 30-40 тыс. тонн готовой продукции ежегодно [Давлятшин и др., 2013].

В Предволжье РТ фосфоритование кислых почв с низким содержанием подвижного фосфора началось в 1971 году (второй цикл агрохимического обследования почв) со среднегодовыми объемами 0,6 тыс. (табл. 3). Пионером в этом деле был Зеленодольский район. В годы третьего цикла обследования почв к фосфоритованию подключились ещё четыре района. Наиболее интенсивно во всех муниципальных районах данный агрохимический прием

проводился в течение последующего десятилетия (1986-1995 гг.). За этот период в исследуемом регионе ежегодно фосфоритовали 12,0-12,8 тыс. га низкоплодородных почв. К сожалению, в следующее пятилетие (1996-2000 гг.) произошло резкое сокращение государственного финансирования данной работы и уменьшение объемов фосфоритования более чем в 3,6 раза, а с 2001 г. фосфоритование вообще прекратилось.

Общая площадь фосфоритования низкоплодородных почв пашни муниципальных районов Предволжья Республики Татарстан в 1971-2000 гг. составила 173,3 тыс. га (рис. 13).

В Кайбицком и Камско-Устьинском районах общий объем фосфоритования за весь период составил соответственно 7,0 и 9,0 тыс. га.

Таблица 3 - Ежегодные площади фосфоритования почв пашни муниципальных районов Предволжья РТ, тыс. га

Наименование районов	Циклы и годы обследования почв				
	II, 1971- 1979	III, 1980- 1985	IV, 1986- 1990	V, 1991- 1995	VI, 1996- 2000
Апастовский	-	0,1	2,3	2,2	0,6
Буинский	-	1,4	1,8	1,3	0,3
Верхнеуслонский	-	0,4	1,4	1,3	0,2
Дрожжановский	-	-	2,9	2,6	0,8
Зеленодольский	0,6	1,4	1,2	2	0,1
Кайбицкий	-	-	0,3	0,6	0,5
Камско- Устьинский	-	-	0,5	1	0,3
Тетюшский	-	1,1	1,6	1,8	0,7
Итого по Предволжью	0,6	4,4	12,0	12,8	3,5

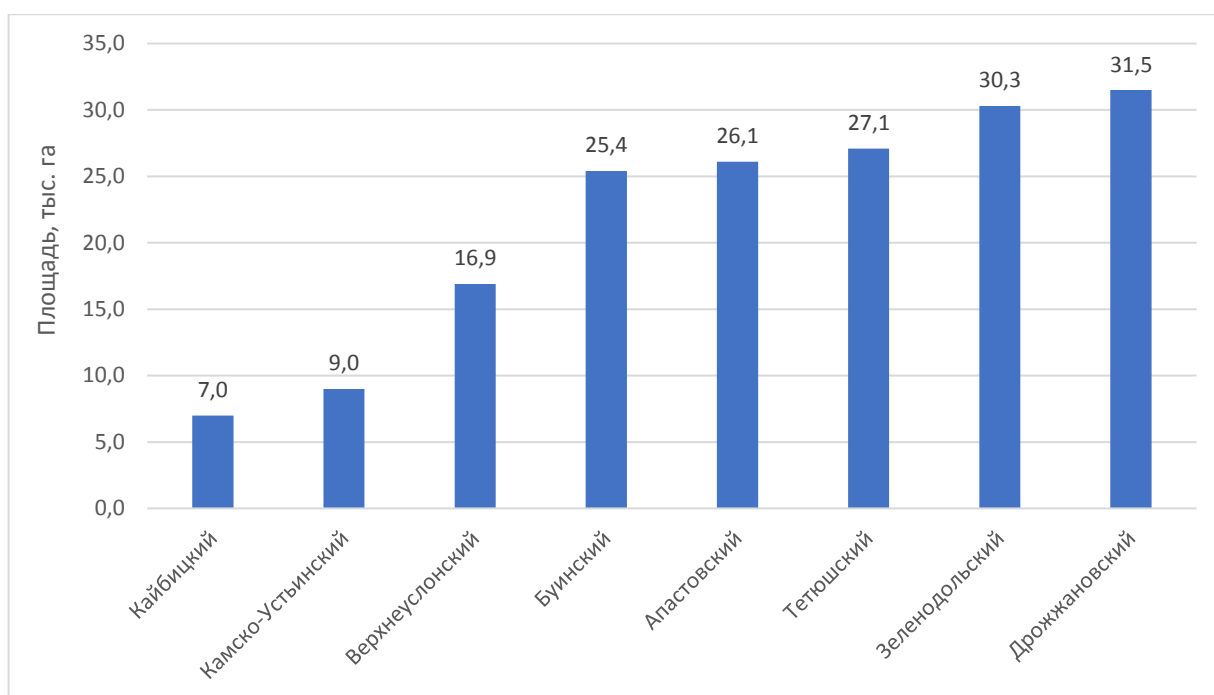


Рис. 13 - Общая площадь фосфоритования почв пашни муниципальных районов Предволжья РТ в 1971-2000 гг.

Примерно в два раза больше было проведено фосфоритование в Верхнеуслонском районе. Следующие три района – Буинский, Апастовский и Тетюшский – показали примерно одинаковые результаты: в каждом из которых было фосфоритовано 25,4-27,1 тыс. га. Наибольшие площади (30,3-31,5 тыс. га) низкоплодородных почв были фосфоритованы в Зеленодольском и Дрожжановском муниципальных районах.

Для достижения реального повышения содержания подвижных форм фосфора в почвах Предволжья требуются высокие разовые дозы мелиоранта. Согласно исследованиям В.Г. Уточкина (1989) и рекомендациям И.И. Чумаченко и др. (1989), пороговое значение составляет не менее 240–480 кг д.в./га. Конкретная норма внесения фосфоритной муки определяется индивидуальными свойствами конкретного элементарного участка: его гранулометрическим составом, исходным уровнем кислотности и степенью обеспеченности фосфором.

По данным [Гилязов, Лукманов, Муратов, 2016], в условиях Предкамья РТ средняя доза P_2O_5 за все годы фосфоритования составила 208 кг/га (с колебаниями от 143 до 272 кг/га). Исходя из этой усредненной дозы фосфора

(208 кг/га) и общей площади фосфоритования (173,3 тыс. га) можно утверждать, что в почву пашни Предволжья за 30 лет было внесено около 36 тыс. т P_2O_5 .

Забегая вперед, отметим, в рамках второго цикла агрохимического мониторинга дефицит подвижного фосфора (<50 мг/кг по Кирсанову) был зафиксирован на площади 105,2 тыс. га, что включало как крайне бедные почвы (<25 мг/кг), так и земли низкого уровня обеспеченности (26–50 мг/кг). Если предположить, что фосфоритование было проведено именно на этой площади, то на каждый гектар пашни, имеющей очень низкое и низкое содержание подвижных форм фосфора, поступило примерно 342 кг/га P_2O_5 . «С учетом того, что нормативы затрат P_2O_5 удобрений, обеспечивающие увеличение содержания подвижных форм фосфора в серых лесных и черноземных почвах тяжелосуглинистого гранулометрического состава на 1 мг/кг, составляют 10-14 кг д. в./га» [Шафран, 1983], можно предположить, что благодаря фосфоритованию содержание подвижных форм фосфора в почвах мог возрасти примерно на 24-34 мг/кг.

3.4 Трансформация агрохимических свойств почв в процессе их сельскохозяйственного использования

Контроль за состоянием плодородия почв в процессе сельскохозяйственного использования земель – главная задача агрохимической службы страны. Интенсивное применение минеральных удобрений и химических мелиорантов выступает мощным фактором трансформации агроэкосистем. Данное воздействие может носить как положительный характер (повышение продуктивности), так и провоцировать негативные процессы (например, подкисление или засоление).

Агрохимические показатели почв, наряду с агрофизическими и биологическими свойствами, играют чрезвычайно большую роль в определении эффективного плодородия почв. Наиболее важными агрохимическими показателями являются содержание в почвах гумусовых веществ, подвижных форм фосфора и калия, кислотно-основные свойства, очень часто лимитирующее

продуктивность сельскохозяйственных культур [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2023].

3.4.1 Обеспеченность почв органическим веществом

Содержание в почвах органических веществ многими исследователями рассматривается в качестве главного показателя почвенного плодородия, так как именно наличие органического вещества отличает почву от материнской породы. Органические вещества, особенно его специфическая часть – гумус, играет ведущую роль во многих почвенных процессах. Количественный и качественный состав гумусовых веществ оказывают существенное влияние на обеспеченность почвы многими питательными элементами, структурность и водно-физические свойства, поглонительную способность, буферность, биологическую активность и экологическую устойчивость педосферы. Так, в составе гумусовых веществ содержится до 95-99 % общего азота, 90 % серы, 60 % -фосфора [Минеев и др., 2017].

Важная роль гумусовых веществ в улучшении водно-физических свойств почвы обуславливается тем, что они, склеивая мелкие частички, создают агрономически наиболее ценную водопрочную структуру, особенно при наличии в их составе кальция и железа [Гилязова, Колоскова, 1972; Шакиров, 1974; Долгов, Модина, 1979; Asmus, Gorlitz, 1985]. Структурные агрегаты, образующиеся без участия органического вещества, как это имеет место в нижних горизонтах почв, не обладают водопрочностью [Хан, 1969].

Благодаря наличию функциональных групп, фульвокислоты и гуминовые кислоты обладают высокой поглонительной способностью по отношению к катионам. В составе почвенных коллоидов они препятствуют вымыванию элементов питания растений, а также обеспечивают проявление важного свойства почвы – её буферной способности [Wilde, 1971; Давлятшин и др., 2013].

Другой важной функцией гумусовых веществ представляется их способность повышать биологическую активность почв. Например, исследованиями Т.Н. Кулаковской (1990), было показано, что в условиях

супесчаных дерново-подзолистых почв повышение содержания гумуса с 1,35 до 3,08 % увеличивает их нитрифицирующую способность более чем в 7 раз: с 1,02 до 7,75 мг NO_3 на 100 г почвы.

Необходимо также отметить, что гумус поглощая ряд токсичных веществ, в том числе тяжелые металлы, радионуклиды, уменьшает их поступление в растения, грунтовые и поверхностные воды и тем самым способствует получению экологически безопасной сельскохозяйственной продукции и снижает остроту экологической ситуации [Минеев, 2004; Давлятшин и др., 2013].

Благодаря отмеченным свойствам гумусовых веществ, продуктивность сельскохозяйственных культур на более гумусированных почвах оказывается более стабильной, нежели на менее гумусированных почвах, особенно в неблагоприятных погодных условиях [Орлов, Гришина, 1981; Лыков, 1982].

Таким образом, можно констатировать, что гумус, аккумулируя солнечную энергию, одновременно является важным источником энергии для поддержания биохимических процессов почвы, аккумулятором элементов минерального питания растений и комплексным улучшателем агрохимических, агрофизических и биологических свойств почв [Рудай, 1985; Куликова и др., 2007; Чекмарев, Лукин, 2012].

Все это подчеркивает, что оценка эффективного плодородия пахотных земель невозможно без надлежащего мониторинга динамики содержания гумуса.

Впервые пахотные почвы изучаемого региона на содержание гумуса были обследованы в 1986-1990 гг. (IV цикл агрохимического обследования) и оценены по гумусированности согласно группировке, предложенной в свое время ЦИНАО (прил. 2).

Характер изменения распределения почв разной степени гумусированности пахотных почв Предволжья РТ иллюстрируется данными табл. 4.

Таблица 4 - Гумусированность почв пашни Предволжья РТ по циклам агрохимического обследования

Циклы и годы обследования	Обследованная площадь, тыс. га	Площадь пашни (тыс. га) с содержанием гумуса				
		очень низкое	низкое	среднее	повышенное	высокое
IV, 1986-1990	546,8	97,6	64,7	117,4	126,6	140,5
V, 1991-1995	539,7	43,3	71,5	119,7	157,5	147,7
VI, 1996-2000	539,2	45,2	79,9	124,6	153,5	136,0
VII, 2001-2005	530,8	47,1	124,8	130,3	137,8	90,8
VIII, 2006-2010	523,5	21,9	172,8	132,6	143,3	52,9
IX, 2011-2015	517,2	39,8	109,0	108,6	122,7	137,1
X, 2016-2020	489,8	22,7	76,0	113,2	176,8	101,1

Результаты первого тура определения гумуса в IV цикле агрохимического обследования показали, что на долю почв, с низким и очень низким содержанием гумуса, приходилось соответственно 97,6 и 64,7 тыс. га, что составило 17,8 и 11,8 % от обследованной площади (табл. 11). Почвы пашни с повышенным и высоким содержанием гумуса в сумме равнялись 267,1 тыс. га, то есть 48,9 % от общей площади. Доля пахотных почв со средней гумусированностью составила 117,4 тыс. га или 21,5 % от пашни.

В следующем цикле агрохимического обследования (1991-1995 гг.) обнаружилась слабая тенденция улучшения гумусного состояния пахотных почв региона. На это указывает уменьшение площадей пашни, имеющих очень низкое

и низкое содержание гумуса, при одновременном увеличении доли почв, имеющих повышенное и высокое содержание гумуса. Так, если в IV цикле агрохимического обследования сегмент почв, имеющих очень низкое и низкое содержание гумуса, составил 29,6 %, то в V цикле – только 21,2 % об общей площади, а доля почв, содержащих повышенное и высокое количество гумуса, наоборот, увеличилась с 48,9 до 56,6 %.

Результаты следующего VI цикла обследования пахотных почв, проведенного в 1996-2000 гг., не показали значимых изменений в содержании гумуса, хотя слабая тенденция сокращения площадей более гумусированных почв обнаружилась: доля почв с повышенным и высоким содержанием гумуса, по сравнению с предыдущим циклом обследования, сократилась на 2,9 %.

В течение двух последующих циклов агрохимического обследования (2001-2005 и 2006-2010 гг.) происходило постепенное уменьшение площадей почв, обеспеченность которых гумусом оценивалась как повышенная и высокая, при одновременном увеличении доли низко- и среднеобеспеченных.

Особенно резкие изменения произошли в сегменте низкообеспеченных (увеличение за 10 лет в 2,2 раза) и высокообеспеченных (уменьшение за 10 лет в 2,5 раза) почв.

Результаты предпоследнего цикла обследования (2011-2016 гг.) демонстрировали некоторое улучшение обеспеченности почв региона гумусом. Оно произошло, главным образом, за счет 2,6 кратного увеличения доли почв с высоким содержанием гумуса при одновременном 1,6 кратном уменьшении низкогумусированных почв.

Наиболее значимые изменения площадей почв, различающихся по содержанию гумуса, обнаруженные в последнем цикле агрохимического обследования заключаются в 1,5 кратном увеличении доли почв с повышенным и в 1,4 кратном уменьшении доли почв с низким содержанием гумуса, что свидетельствует о некотором улучшении гумусированности пахотных почв.

Резюмируя анализ динамики распределения пахотных почв региона по гумусированности за 35 лет, следует отметить, что использованная группировка

почв по содержанию гумуса с учетом типа и подтипа почв, с одной стороны (с точки зрения почвоведения), безусловно, позволяет более объективно оценивать гумусное состояние каждого почвенного типа и подтипа. Однако, с практической точки зрения – для вычисления средневзвешенного содержания гумуса, данная система оценки гумусированности создает определенные трудности и усложняет расчеты. Для расчета средневзвешенного содержания гумуса нами были использованы средние значения содержания гумуса в каждой группе исходя из распространенности типов и подтипов почв в Предволжье РТ, и они составили (%): 3,10 (очень низкое), 3,62 (низкое), 4,32 (среднее), 5,11 (повышенное) и 6,00 (высокое) [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2023].

Средневзвешенное содержание гумуса в пахотном слое по циклам агрохимического обследования почв исследуемого региона варьировало в пределах от 4,42 до 4,82 %, однако эти изменения оказались статистически малозначимыми, о чем свидетельствует величина коэффициента детерминации ($R^2=0,0034$) содержания гумуса от временного фактора (рис. 14).

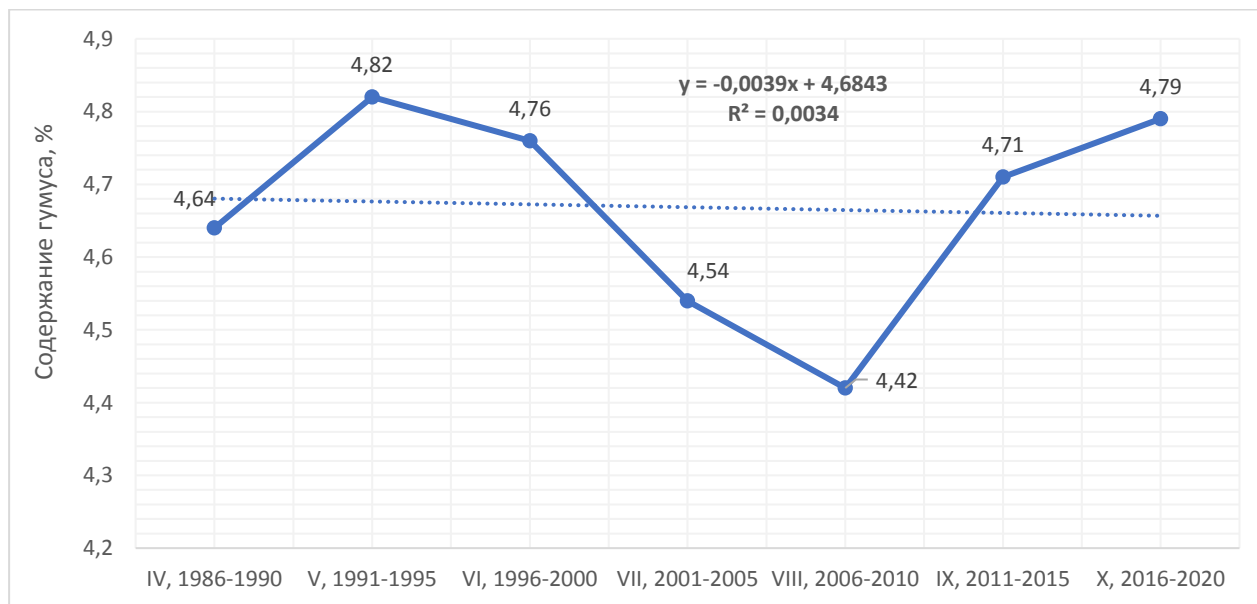


Рис. 14 - Динамика средневзвешенного содержания гумуса в пахотном горизонте по циклам агрохимического обследования почв Предволжья РТ

В то же время, говоря об изменениях содержания гумуса в пахотных почвах региона за годы исследований следует иметь в виду то, что за 35 лет

площадь пашни региона уменьшилась более чем на 10 % или на 57 тыс. га (546,8-489,8).

Если предположить, что из пашни были выведены относительно менее плодородные участки и, в связи с этим под относительной стабильностью гумусного состояния остающихся в использовании пашни возможно завуалируется определенная дегумификация почв.

Сокращение пахотных земель в исследуемом регионе продолжается, о чем свидетельствуют данные табл. 5, где представлено распределение пашни муниципальных районов Предволжья по обеспеченности гумусом на 01.01.2022.

Таблица 5 - Гумусированность почв пашни муниципальных районов
Предволжья РТ по состоянию на 01.01.2022

Наименование районов	Обследованная площадь	Площадь пашни с содержанием гумуса				
		очень низкое	низкое	среднее	повышенное	высокое
Апастовский	<u>66,9*</u> 100	<u>7,8</u> 11,7	<u>22,9</u> 34,2	<u>25,9</u> 38,7	<u>8,9</u> 13,3	<u>1,4</u> 2,1
Буинский	<u>96,2</u> 100	<u>0,3</u> 0,3	<u>11,3</u> 11,8	<u>18,2</u> 18,9	<u>50,7</u> 52,7	<u>15,7</u> 16,3
Верхнеуслонский	<u>37,7</u> 100	<u>4,7</u> 12,5	<u>24,4</u> 64,7	<u>5,7</u> 15,1	<u>2,4</u> 6,4	<u>0,5</u> 1,3
Дрожжановский	<u>53,5</u> 100	<u>0,2</u> 0,4	<u>1,9</u> 3,6	<u>3,8</u> 7,1	<u>24,3</u> 45,4	<u>23,3</u> 43,5
Зеленодольский	<u>44,1</u> 100	<u>2,4</u> 5,5	<u>6,5</u> 14,7	<u>8,6</u> 19,5	<u>13,2</u> 29,9	<u>13,4</u> 30,4
Кайбицкий	<u>55,0</u> 100	<u>1,7</u> 3,1	<u>4,1</u> 7,4	<u>7,6</u> 13,8	<u>16,1</u> 29,3	<u>25,5</u> 46,4
Камско-Устьинский	<u>51,6</u> 100	<u>1,4</u> 2,7	<u>36,5</u> 70,8	<u>12,7</u> 24,6	<u>1,0</u> 1,9	<u>0</u> 0
Тетюшский	<u>74,0</u> 100	<u>1,2</u> 1,6	<u>17,0</u> 23,0	<u>34,5</u> 46,6	<u>20,3</u> 27,4	<u>1,0</u> 1,4
Итого по Предволжью	<u>479,0</u> 100	<u>19,7</u> 4,1	<u>124,6</u> 26,0	<u>117,0</u> 24,4	<u>136,9</u> 28,6	<u>80,8</u> 16,9

Прим.: * числитель – в тыс. га, знаменатель – в процентах от обследованной площади.

Как видно, за последние два года площадь пашни уменьшилась на 10,8 тыс. га. Кроме того, по сравнению с итогами 10-ого цикла обследования, они

показывают некоторое уменьшение доли почв с повышенным и высоким содержанием гумуса при синхронном увеличении площади почв с низким содержанием гумуса.

Судя по площадям почв, имеющих очень низкое и низкое содержание гумуса, наиболее бедными могут казаться почвы Верхнеуслонского, Камско-Устьинского и Апастовского районов, где на долю таких почв приходится соответственно 77,2; 73,5 и 45,9 % пашни. По сравнению с почвами этих районов, пашня Зеленодольского района может казаться намного лучше обеспеченной гумусом, так как сегмент таких почв в пашне этого района составляет лишь 20,2 %. Однако надо учесть, что в Камско-Устьинском и Апастовском районах значительную долю занимают черноземные почвы, которые даже при более высоком содержании гумуса, чем в нечерноземных почвах, могут оцениваться как более низкообеспеченные по отношению к нечерноземным почвам.

В данном случае, для сравнительной характеристики гумусного состояния почв муниципальных районов, на наш взгляд, более объективной может быть оценка по средневзвешенному содержанию гумуса в пахотном слое. Пахотные почвы муниципальных районов Предволжья весьма существенно различаются по средневзвешенному содержанию гумуса (табл. 6), что, в первую очередь, обуславливается типами и подтипами почв пашни.

Таблица 6 - Средневзвешенное содержание гумуса в пахотном слое почв в муниципальных районах Предволжья РТ (на 01.01.2022)

Наименование районов	Средневзвешенное содержание гумуса, %	Наименование районов	Средневзвешенное содержание гумуса, %
Апастовский	4,11	Зеленодольский	2,64
Буинский	5,96	Кайбицкий	4,11
Верхнеуслонский	2,74	Камско-Устьинский	3,42
Дрожжановский	7,62	Тетюшский	4,99

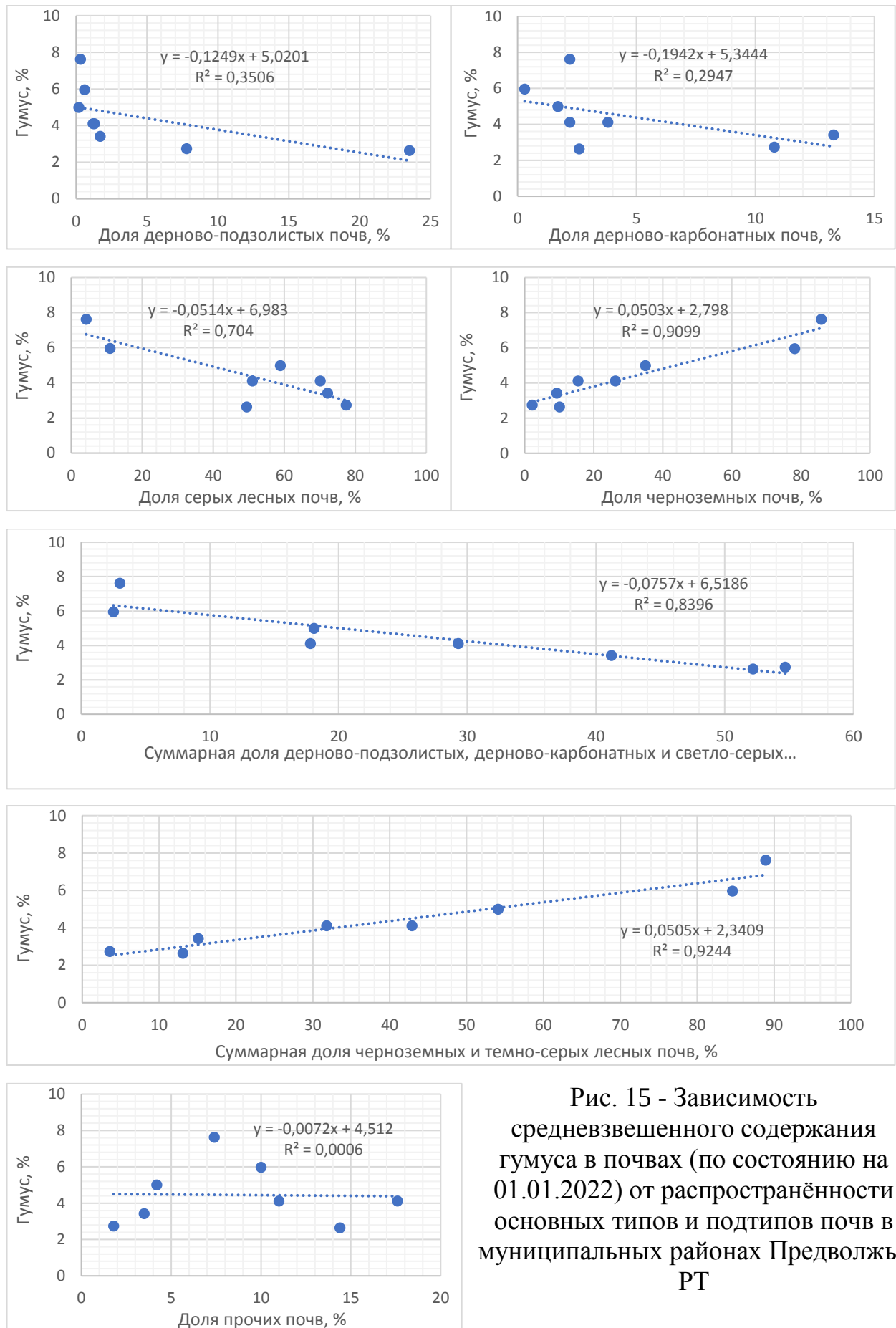


Рис. 15 - Зависимость
средневзвешенного содержания
гумуса в почвах (по состоянию на
01.01.2022) от распространённости
основных типов и подтипов почв в
муниципальных районах Предволжья
РТ

Статистическая обработка данных по распространенности различных типов, подтипов почв и средневзвешенного содержания гумуса в пахотных почвах муниципальных районов Предволжья республики показала наличие тесной зависимости между этими переменными (рис. 15). Зависимость средневзвешенного содержания гумуса в пахотных почвах муниципальных районов (по состоянию на 01.01.2022 г.) от доли нечерноземных типов - дерново-подзолистых, дерново-карбонатных и серых лесных почв была отрицательной. Коэффициенты детерминации (R^2) средневзвешенного содержания гумуса в почвах пашни муниципальных районов региона от доли указанных типов нечерноземных почв составили соответственно 0,3506; 0,2947 и 0,704. Особенно тесная корреляция средневзвешенного содержания гумуса от распространенности серых лесных почв возможно связано с тем, что доля данного типа почв в Предволжье составляет 46,3 % в то время, как доля дерново-подзолистых и дерново-подзолистых лишь 4,1 и 4,2 % соответственно.

Наличие прочих типов почв (торфяные болотные, лугово-болотные, аллювиальные, солоди, солонцы, солончаки), доля которых в Предволжье РТ составляет 8,6 %, значимого влияния на гумусированность почв муниципальных районов не оказало ($R^2=0,006$).

Решающую положительную роль в гумусированности почв пашни Предволжья РТ играет распространенность в муниципальных районах черноземов, представленных оподзоленными, выщелоченными и типичными подтипами. Зависимость средневзвешенного содержания гумуса от доли черноземных почв в муниципальных районах была положительной и описывалась линейным уравнением (2):

$$Y = 0,0503 \cdot x + 2,798, \quad (2)$$

где Y – средневзвешенное содержание гумуса в почве, %;

x – доля черноземных почв в пашне муниципальных районов, %.

Коэффициент детерминации средневзвешенного содержания гумуса в пахотном горизонте пашни от доли черноземных почв равнялся 0,9099, при

котором коэффициент корреляции (r) равен 0,95, что по шкале Чеддока оценивается как «очень сильная».

Ещё более тесная корреляция средневзвешенного содержания гумуса от типов и подтипов почв проявилась в случае объединения их в две группы, наиболее рельефно отличающиеся по содержанию гумуса: 1) дерново-подзолистые, дерново-карбонатные и светло-серые лесные почвы, характеризующиеся низким содержанием гумуса; 2) черноземы и темно-серые лесные почвы, для которых характерна высокая гумусированность. Корреляция гумусированности почв от суммарной доли дерново-подзолистых, дерново-карбонатных и светло-серых лесных почв оказалась отрицательной и весьма тесной ($R^2=0,8396$ или $r=-0,92$). Положительная корреляция и максимальная высокая степень зависимости средневзвешенного содержания гумуса была от суммарной доли черноземных и темно-серых лесных почв ($R^2=0,9244$ или $r=0,96$). Как и следовало ожидать, наименее гумусированными (2,64-2,74 %) оказались почвы северных районов Предволжья – Зеленодольского и Верхнеуслонского районов, пашни которых преимущественно расположены на дерново-подзолистых, светло-серых лесных и дерново-карбонатных почвах. Почвы пашни Камско-Устьинского района, основной массив которых сосредоточен на различных подтипах серых лесных и дерново-карбонатных почвах, также характеризуются невысоким содержанием гумуса – 3,42 %.

В следующих трёх районах – Апастовском, Кайбицком и Тетюшском муниципальных образованиях, где доминантными являются серые лесные почвы, а субдоминантными – черноземы лесостепные, средневзвешенное содержание гумуса варьирует в интервале 4,11-4,99 %, то есть примерно в 1,5 раза выше уровня гумусированности почв предыдущих трёх районов.

В почвах Буинского и Дрожжановского районов, пашни которых в основном расположены на черноземных почвах, средневзвешенное содержание гумуса составило соответственно 5,96 и 7,62 %. Максимальное содержание гумуса, обнаруженное в почвах Дрожжановского района, возможно обусловлены тем, что пашни его в основном расположены на выщелоченных и

типичных черноземах, в то время как часть пахотных земель Буинского района представлена серыми лесными и прочими почвами [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2023].

В процессе сельскохозяйственного использования земель на всех типах и подтипах почв происходит существенная трансформация почвенных свойств, в том числе гумусного состояния почв. Постоянное отчуждение питательных веществ в составе урожая сельскохозяйственных культур сопровождается минерализацией гумуса и, если не обеспечивается его воспроизводство, увы, происходит снижение количества и, нередко, качества гумуса [Орлов, Аниканова, Садовникова, 1975; Kundler, 1982; Кирюшин, Лебедева, 1984; Жуков, Попов, 1988; Edmeades, 2003; Alvarez, 2005; Сычев, 2019].

Многочисленные исследования, проведенные в различных зонах страны [Загорча, 1960; Гринченко и др., 1979; Жуков, Попов, 1988; Филок, Шеларь, 2002; Чеботарев и др., 2009; Мерзлая и др., 2010; Минакова и др., 2011; Титова и др., 2011] и за рубежом [Edmeades, 2003; Alvarez, 2005], показали зависимость гумусового состояния почв от уровня применения органических, минеральных удобрений и химических мелиорантов.

Значительная часть исследователей полагают, что применение минеральных удобрений, особенно азотных, приводит к усилению минерализации гумуса [Гринченко и др., 1979; Филок, Шеларь (2002),]. В тоже время есть немало публикаций, в которых сообщается о стабилизации гумусного состояния многих типов почв под действием минеральных удобрений [Загорча, 1960; Чеботарев и др., 2009; Минакова и др., 2011; Титова и др., 2011].

В отношении влияния на содержание гумуса органических удобрений, мнение ученых однозначно: в случае применения повышенных норм органических удобрений, учитывающих особенности почвы и биологические свойства возделываемых культур, органические удобрения постепенно повышают содержание гумуса [Жуков, Попов, 1988; Кирюшин, 2010; Edmeades, 2003; Alvarez, 2005].

В стабилизации гумусного состояния почв большую роль играет известкование. «Известкование наряду с ликвидацией избыточной кислотности почв способствует накоплению в них азота и гумуса. Последнее объясняется тем, что гумусовые вещества реагируя с кальцием образуют менее растворимые соединения» [Доспехов и др., 1975; Жуков, Попов, 1988; Попова, 1997; Забугина, 1997; Осипов, 2022].

Зависимость содержания гумуса в почвах пашни исследуемого региона от уровня применения агрохимикатов демонстрируется данными табл. 7.

Таблица 7 - Коэффициенты парной корреляции содержания гумуса (у, %) от уровня применения агрохимикатов (х) в Предволжье РТ

Показатели	Уравнение линейной регрессии Коэффициент корреляции (r)
Насыщенность пашни минеральными удобрениями в текущем цикле, кг д. в./га	$y = 0,0005x + 4,6266$ 0,08
Насыщенность пашни минеральными удобрениями в предыдущем цикле, кг д. в./га	$y = 0,0025x + 4,4672$ 0,39*
Насыщенность пашни органическими удобрениями в текущем цикле, т/га	$y = 0,0287x + 4,591$ 0,35*
Насыщенность пашни органическими удобрениями в предыдущем цикле, т/га	$y = 0,0374x + 4,551$ 0,46*
Общая площадь известкования в текущем цикле, тыс. га	$y = 0,0013x + 4,5992$ 0,25
Общая площадь известкования в предыдущем цикле, тыс. га	$y = 0,0024x + 4,5368$ 0,40*
Интенсивность известкования в текущем цикле, доля известкованных почв от площади кислых почв	$y = 0,6732x + 4,5465$ 0,30
Интенсивность известкования в предыдущем цикле, доля известкованных почв от площади кислых почв	$y = 1,0818x + 4,4686$ 0,46*
Общая площадь фосфоритования в текущем цикле, тыс. га	$y = -0,0004x + 4,7588$ 0,11
Общая площадь фосфоритования в предыдущем цикле, тыс. га	$y = 0,0054x + 4,4579$ 0,96****

Прим.: * - по шкале Чеддока слабая корреляция ($r=0,31-0,50$); ** - средняя корреляция ($r=0,51-0,70$); *** - сильная корреляция ($r=0,71-0,90$); **** - очень сильная корреляция ($r=0,91-1,00$).

В качестве критериев уровня интенсификации земледелия мы использовали насыщенность пашни минеральными, органическими удобрениями, площади известкования и фосфоритования кислых почв по циклам агрохимического обследования почв региона. Причем, парные корреляции содержания гумуса в пахотном горизонте почв по циклам обследования были рассчитаны в зависимости от насыщенности пашни удобрениями, объемов известкования и фосфоритования как в текущем цикле, так и в предыдущем цикле агрохимического обследования. Другими словами, нами была сделана попытка установить зависимость содержания гумуса не только от действия, но и последствий применения агрохимикатов.

В рамках текущего цикла агрохимического обследования установлена слабая зависимость содержания гумуса от уровня применения органических удобрений ($r=0,35$), тогда как связь с насыщенностью пашни минеральными удобрениями оказалась статистически несущественной ($r=0,08$). При этом обращает на себя внимание снижение тесноты данных взаимосвязей по сравнению с предыдущим циклом: коэффициенты корреляции для минеральных ($r=0,39$) и органических ($r=0,46$) удобрений в ретроспективном анализе демонстрировали более высокие значения. Данное обстоятельство, на наш взгляд, указывает, что положительное влияние на содержание гумуса оказали не только органические, но и минеральные удобрения, правда это влияние проявилось с некоторой задержкой во времени.

Примерно аналогичным образом повлияли на содержание гумуса и объемы известкования в текущем и предыдущем циклах обследования кислых почв региона. Для характеристики масштабов известкования мы использовали два показателя: площадь среднегодового известкования по циклам обследования (тыс. га) и «интенсивность известкования», показывающий долю известкованных почв в общей площади кислых за тот или иной цикл агрохимического обследования.

Влияние объемов известкования, проведенных в текущем цикле агрохимического обследования, на содержание гумуса характеризуется

отсутствием статистической значимости. На это указывают низкие значения коэффициентов парной корреляции: между содержанием гумуса и площадью известкования ($r=0,25$), а также между гумусом и «интенсивностью известкования» ($r=0,30$).

Позитивное влияние объемов известкования в текущем цикле агрохимического обследования на содержание гумуса оказалось статистически недостоверным, о чем свидетельствуют малые величины коэффициентов корреляции содержания гумуса от площади известкования ($r=0,25$) и от «интенсивности известкования» ($r=0,30$).

Более тесной оказалась корреляция содержания гумуса от известкования в предыдущем цикле агрохимического обследования. Из двух показателей, использованных нами для оценки объемов известкования, более заметное влияние на содержание гумуса оказало «интенсивность известкования»: если величина коэффициента парной корреляции (r) содержания гумуса от интенсивности известкования в предшествующем цикле обследования равнялась 0,46, то от площади известкования – 0,40. В целом такую тесноту корреляции по шкале Чеддока можно оценить, как слабая.

Обнаружилось неоднозначное действие и последствие фосфоритования низкоплодородных почв на гумусное состояние почв региона, что, возможно, связано с малым объемом информации. Действие фосфоритования в текущем цикле обследования на содержание гумуса практически не обнаружилось ($r=0,11$), в то время как положительное последствие этого приема, то есть влияние объемов фосфоритования в предыдущем цикле обследования на гумусное состояние почв было весьма существенным ($r=0,96$).

В период с 1986 по 2020 год средневзвешенное содержание гумуса в пахотных почвах Предволжья демонстрировало изменения в диапазоне от 4,42 % до 4,82 %. Статистический анализ подтвердил несущественность этих изменений ($p>0,05$), что свидетельствует об отсутствии достоверной значимой деградации гумусного состояния земель. На наш взгляд, если бы не происходило постоянное сокращение пахотных земель, вероятнее всего за счет выбытия

наиболее бедных гумусом почв, тенденция снижения содержания гумуса по циклам обследования (см. рис. 14) могла быть более заметной.

По средневзвешенному содержанию гумуса (2,64-7,62 %) пахотные почвы районов исследуемого региона отличаются весьма существенно, и это различие, безусловно, обусловлено различной комбинацией черноземных и нечерноземных почв по районам. Положительная корреляция и максимальная высокая степень зависимости средневзвешенного содержания гумуса имела от суммарной доли черноземных и темно-серых лесных почв ($r=0,96$) [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2023]. Влияние уровня применения агрохимикатов на гумусное состояние почв, в целом, проявилось слабо. При этом более ощутимое положительное влияние на содержание гумуса оказала интенсивность применения агрохимикатов в предыдущем цикле обследования почв. Без учета фосфоритования, которое относительно интенсивно проводилось лишь в 1986-1995 гг., основные показатели химизации земледелия по позитивному последствию на содержание гумуса, оцененного по величине коэффициентов детерминации (R^2), расположились в следующий убывающий ряд: насыщенность пашни органическими удобрениями > интенсивность известкования > насыщенность пашни минеральными удобрениями [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

3.4.2 Кислотно-основные свойства почв

Кислотно-основные свойства почвы в значительной степени определяют уровень потенциального и эффективного плодородия почв сельскохозяйственных земель. Почвы с повышенной кислотностью имеют плохие физико-химические и физические свойства: низкое содержание коллоидной фракции, малую емкость поглощения, слабую буферность и бесструктурность, так как коллоидная часть таких почв бедна кальцием, магнием, но насыщена водородом и подвижными катионами алюминия, марганца и железа [Минеев и др., 2017]. Именно низкая степень насыщенности почвенно-поглощающего комплекса основаниями приводит к разрушению

водопрочной агрономически ценной структуры кислых почв, что может стать спусковым механизмом ухудшения всего комплекса агрономических свойств и усиления процессов водной и ветровой эрозии. К аналогичным последствиям может привести повышенная кислотность через другой механизм – в результате увеличения лабильности и вымывания из пахотного горизонта почв органических веществ.

Повышенная кислотность почвы оказывает сильное отрицательное влияние на продуктивность растений. Её действие многообразно и обусловлено несколькими причинами. Негативное влияние повышенной кислотности на рост и развитие растений и микроорганизмов прежде всего связано с непосредственным отрицательным воздействием повышенной концентрации водорода, и особенно, алюминия и марганца. Избыточное поступление в растения алюминия, марганца и железа отрицательно действуют на физико-химическое состояние плазмы клеток корня и приводит к отмиранию корневых волосков и тем самым резко снижает усвоение растениями питательных веществ, величину и качество урожая, эффективность удобрений. «Другой причиной ухудшения роста и развития многих сельскохозяйственных культур является переход ряда абсолютно необходимых макро- и микроэлементов (кальций, магний, фосфор, молибден) в недоступное растениям состояние, а также возрастание подвижности и избыточное поступление в растения тяжелых металлов» [Магницкий, 1969; De Vries, 1987].

Оптимальной для большинства возделываемых сельскохозяйственных культур и полезных почвенных микроорганизмов является слабокислая и близкая к нейтральной реакция почв [Handbook of Soil Acidity, 2003; Танделов, 2012; Лукманов, Ивойлов, 2023].

Повышенная кислотность оказывает негативное влияние не только на высшие растения, но и на многие полезные микроорганизмы, активно участвующие в процессах гумусообразования и питания растений. Так, в сильнокислых почвах подавляются такие важные биологические процессы, как азотфиксация и нитрификация, и, одновременно активизируется

жизнедеятельность многих патогенных микроорганизмов, особенно микроскопических грибов [Башков, 1999; Алиев и др., 2003; Кидин, Торшин, 2016; Ягодин и др., 2023].

Общая площадь кислых почв, обнаруженная по результатам 1-ого цикла агрохимического обследования пахотных земель Предволжья, составила 305,4 тыс. га или 57,8 % от площади пашни, что почти в четыре раза больше почв, имеющих нейтральную реакцию среды (табл. 8). Реакция среды остальной части пашни в этот период характеризовалась как близкая к нейтральной. Во втором туре (1971-1979 гг.) площадь обследованных почв пашни выросла на 14,5 тыс. га, а доля кислых почв снизилась до 50,9 %.

В течение последующих трех туров обследования (III-V, 1980-1995 гг.) происходило постепенное возрастание площадей кислых почв до 325,1 тыс. га, что составило 60,3 % всей пашни [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

Все последующие циклы агрохимического обследования показали стабильную тенденцию снижения площадей кислых почв при одновременном расширении сегмента пашни, имеющего нейтральную и близкую к нейтральной реакцию. Так, по результатам последнего цикла обследования (X, 2016-2020 гг.) суммарная доля почв, имеющих нейтральную и близкую к нейтральной реакцию, возросла до 62,8 %, а удельный вес кислых почв снизился до 37,2 %.

Графическое изображение динамика изменения площадей кислых почв исследуемого региона за весь период наблюдений показывает явную тенденцию уменьшения кислых почв, как в абсолютных величинах (тыс. га), так и в относительных показателях (доля кислых почв в процентах от общей площади пашни) (прил. 3). Особенно заметное снижение площадей кислых почв проявляется в случае выражения этого явления в абсолютных показателях. Так, если в первом цикле обследования обнаружилось 305,4 тыс. га кислых почв, то в десятом цикле – только 182,2 тыс. га, то есть абсолютные размеры кислых почв сократились в 1,68 раз. Отчасти данное явление было обусловлено уменьшением общей площади пашни, поэтому более объективную картину темпов раскисления почв дает уменьшение доли кислых почв от общей площади пашни.

Таблица 8 - Распределение площадей пахотных почв по степени кислотности в
Предволжье РТ по циклам агрохимического обследования

Циклы, годы обследования	Обследованная площадь	Степень кислотности					
		сильнокислая	среднекислая	слабокислая	всего кислых почв	близкая к нейтральной	нейтральная
I, 1965-1970	$\frac{528,1^*}{100}$	$\frac{1,5}{0,3}$	$\frac{26,1}{4,9}$	$\frac{277,8}{52,6}$	$\frac{305,4}{57,8}$	$\frac{146,3}{27,7}$	$\frac{76,4}{14,5}$
II, 1971-1979	$\frac{542,6}{100}$	$\frac{1,7}{0,3}$	$\frac{25,4}{4,7}$	$\frac{248,9}{45,9}$	$\frac{276,0}{50,9}$	$\frac{164}{30,2}$	$\frac{102,6}{18,9}$
III, 1980-1985	$\frac{546,9}{100}$	$\frac{2,3}{0,4}$	$\frac{39,8}{7,3}$	$\frac{264,3}{48,3}$	$\frac{306,4}{56,0}$	$\frac{134,8}{24,7}$	$\frac{105,7}{19,3}$
IV, 1986-1990	$\frac{546,8}{100}$	$\frac{1,5}{0,3}$	$\frac{45,6}{8,3}$	$\frac{271,8}{49,7}$	$\frac{318,9}{58,3}$	$\frac{134,1}{24,5}$	$\frac{93,8}{17,2}$
V, 1991-1995	$\frac{539,7}{100}$	$\frac{2,8}{0,5}$	$\frac{68,9}{12,8}$	$\frac{253,4}{47,0}$	$\frac{325,1}{60,3}$	$\frac{120,0}{22,2}$	$\frac{94,6}{17,5}$
VI, 1996-2000	$\frac{539,2}{100}$	$\frac{2,7}{0,5}$	$\frac{63,7}{11,8}$	$\frac{240}{44,5}$	$\frac{306,4}{56,8}$	$\frac{129,5}{24,0}$	$\frac{103,3}{19,2}$
VII, 2001-2005	$\frac{530,8}{100}$	$\frac{2,8}{0,5}$	$\frac{53,1}{10,0}$	$\frac{207,7}{39,2}$	$\frac{264,2}{49,7}$	$\frac{150,1}{28,3}$	$\frac{117,1}{22,0}$
VIII, 2006-2010	$\frac{523,5}{100}$	$\frac{2,7}{0,5}$	$\frac{55,8}{10,7}$	$\frac{210,3}{40,2}$	$\frac{268,8}{51,3}$	$\frac{149,3}{28,5}$	$\frac{105,4}{20,1}$
IX, 2011-2015	$\frac{517,2}{100}$	$\frac{3,2}{0,6}$	$\frac{39,1}{7,6}$	$\frac{176,3}{34,1}$	$\frac{218,6}{42,3}$	$\frac{162,8}{31,5}$	$\frac{135,8}{26,3}$
X, 2016-2020	$\frac{489,8}{100}$	$\frac{1,4}{0,3}$	$\frac{27,9}{5,7}$	$\frac{152,9}{31,2}$	$\frac{182,2}{37,2}$	$\frac{160,1}{32,7}$	$\frac{147,5}{30,1}$

Прим.: * числитель - в тыс. га; знаменатель – в процентах от общей обследованной площади.

При такой оценке характера раскисления можно указать, что за 55 лет наблюдений доля кислых почв пашни региона уменьшилась в 1,55 раза. Коэффициент детерминации (R^2) доли кислых почв от общей площади пашни от временного фактора составил 0,5382.

За годы наблюдений существенно изменилась не только общая площадь кислых почв, их доля в составе пашни, но и произошли определенные изменения внутри кислых почв (табл. 9).

Результаты первого тура обследования пахотных земель показали полное отсутствие в регионе очень сильно кислых, весьма малую долю сильнокислых и явное преобладание слабокислых почв (91,0 % от общей площади кислых почв). Достаточно скромным оказался сегмент среднекислых – 8,5 %, что более чем в 10 раз меньше доли слабокислых почв. В течение последующих четырех туров агрохимического обследования (II-V, 1971-1995 гг.) наблюдалось постепенное расширение сегмента среднекислых почв до 21,2 % за счет соответствующего уменьшения слабокислых. Обнаруживалось также скачкообразное увеличение площади сильнокислых почв, хотя в целом их доля составила менее 1 %.

В дальнейшем в течение 15 лет (1996-2010 гг., VI- VIII циклы обследования) изменения различных групп кислотности были незначительными: доля слабокислых почв оставалась около 78 %, среднекислых – 21 % и сильнокислых – 1 % [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

Таблица 9 - Динамика распределения почв пашни Предволжья РТ по степени кислотности по циклам агрохимического обследования (% от общей площади кислых почв)

Циклы агрохимического обследования, годы	Степень кислотности почв, % от общей площади кислых почв		
	сильнокислые	среднекислые	слабокислые
I, 1965-1970 гг.	0,5	8,5	91,0
II, 1971-1979 гг.	0,6	9,2	90,2
III, 1980-1985 гг.	0,8	13,0	86,2
IV, 1986-1990 гг.	0,5	14,3	85,2
V, 1991-1995 гг.	0,9	21,2	77,9
VI, 1996-2000 гг.	0,9	20,8	78,3
VII, 2001-2005 гг.	1,1	20,1	78,6
VIII, 2006-2010 гг.	1,0	20,8	78,2
IX, 2011-2015 гг.	1,5	17,9	80,6
X, 2016-2020 гг.	0,8	15,3	83,9

Результаты 9-ого тура агрохимического обследования показали переход части среднекислых в категорию сильнокислых, а другой части в категорию слабокислых, благодаря чему возросла доля сильнокислых и слабокислых соответственно до 1,5 и 80,6 %.

Последний тур обследования демонстрировал тенденцию увеличения сегмента слабокислых почв за счет уменьшения сильно- и среднекислых почв. В целом, сопоставляя данные первого и последнего туров обследования можно отметить, что в исследуемый период в структуре кислых почв региона произошло возрастание доли средне- и сильнокислых почв соответственно в 1,6 и 1,8 раза за счет уменьшения сегмента слабокислых, хотя в целом доля кислых почв в составе пашни региона существенно уменьшилась.

Распространенность кислых почв в отдельных муниципальных районах региона по состоянию на 01.01.2022 г. иллюстрируется данными табл. 10, где указаны доли кислых почв от общей площади пашни [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

Таблица 10 - Доля кислых почв в муниципальных районах Предволжья РТ по состоянию на 01.01.2022 г. (% от общей площади пашни)

Наименование районов	Доля кислых почв, %	Наименование районов	Доля кислых почв, %
Апастовский	41,1	Зеленодольский	17,4
Буинский	38,3	Кайбицкий	42,0
Верхнеуслонский	37,9	Камско-Устьинский	23,1
Дрожжановский	53,1	Тетюшский	43,9

На наш взгляд, выявилась парадоксальная ситуация: максимальная доля кислых почв (53,1 %) обнаружилась в Дрожжановском районе, пахотные земли которого в основном расположены на чернозёмных почвах и содержат максимальное количество средневзвешенного гумуса – 7,62 %.

Второе, что вызывает такое же удивление, это то, что минимальное распространение кислых почв (17,4 %) обнаружилось в самом северном районе региона – Зеленодольском, почвы которого содержат минимальное средневзвешенное количество гумуса (2,64 %) и в основном представлены серыми лесными и дерново-подзолистыми типами. Данное обстоятельство, на наш взгляд, является результатом хозяйственной деятельности, и, прежде всего, обуславливалось уровнем применения известковых, минеральных и органических удобрений в различных муниципальных районах Предволжья.

Среди кислых почв пашни всех районов Предволжья преобладают слабокислые почвы, на долю которых приходится от 78,4 до 90,0 %, и совершенно отсутствуют очень сильно кислые (табл. 11).

Таблица 11 - Распределения почв пашни муниципальных районов
Предволжья РТ по степени кислотности по состоянию на 01.01.2022 г.
(% от общей площади кислых почв)

Наименование районов	Степень кислотности почв, % от общей площади кислых почв		
	сильнокислые	среднекислые	слабокислые
Апастовский	3,9	15,6	80,5
Буинский	0,7	18,0	81,3
Верхнеуслонский	1,4	14,7	83,9
Дрожжановский	0,3	17,5	82,2
Зеленодольский	0,7	17,1	82,2
Кайбицкий	1,3	20,3	78,4
Камско-Устьинский	0,5	11,7	87,8
Тетюшский	0	10,0	90,0

Весьма редко встречаются на пахотных землях региона и сильнокислые почвы (0-3,9 %). Относительно небольшим оказался в составе пашни сегмент среднекислых почв: наименьшее их распространение (10,0-11,7 %) наблюдается в Тетюшском и Камско-Устьинском районах, а максимальное (18,0-20,3 %) - в

Буинском и Кайбицком районах. Влияние уровня применения агрохимикатов на распространенность кислых почв в муниципальных районах Предволжья иллюстрируется данными табл. 12. Распространенность кислых почв в пахотных землях муниципальных районов показана в долях от общей площади пашни по состоянию на 01.01.2022.

Таблица 12 - Зависимость распространенности кислых почв пашни муниципальных районов Предволжья РТ от уровня применения агрохимикатов

Муниципальные районы								Коэффициент корреляции (г) доли кислых почв в составе пашни от уровня применения агрохимикатов
Апастовский	Буинский	Верхнеуслонский	Дрожжановский	Зеленодольский	Кайбицкий	Камско-Устьинский	Тетюшский	
Доля кислых почв, % (по состоянию на 01.01.2022)								
41,1	38,3	37,9	53,1	17,4	42,0	23,2	43,9	-
Средняя насыщенность пашни минеральными удобрениями, кг д. в./га (1965-2020 гг.)								
67,2	78,8	60,0	69,4	79,4	68,6	57,2	59,9	-0,15
Средняя насыщенность пашни органическими удобрениями, т/га (1965-2020 гг.)								
3,52	2,60	2,68	3,35	3,62	3,23	2,45	1,82	-0,09
Интенсивность (кратность) известкования (1965-2020 гг.)								
6,90	5,15	7,02	5,15	10,27	7,81	8,82	5,98	-0,87
Фосфоритование, тыс. га (1971-2000 гг.)								
26,1	25,4	16,9	31,5	30,3	7,0	9,0	27,1	0,19

Уровень применения агрохимикатов оценен следующими показателями: средняя насыщенность пашни районов минеральными, органическими удобрениями за весь период наблюдений, суммарная площадь фосфоритования в гектарах и интенсивность известкования, рассчитанная делением общей

площади произвесткованных почв на усредненную площадь кислых почв районов за весь период наблюдений. Представленные материалы свидетельствуют об отсутствии значимой корреляции распространенности кислых почв от уровня насыщенности пашни минеральными, органическими удобрениями и объемов фосфоритования, ибо коэффициенты корреляции (r) составили соответственно лишь 0,15; 0,09 и 0,19.

Главным фактором, оказавшим существенное влияние на распространенность кислых почв на пашне муниципальных районов исследуемого региона, предстал интенсивность известкования, оцененная нами так называемым показателем «кратность известкования». Как уже отмечалось, данный показатель указывает, во сколько раз за 55 лет были произвесткованы кислые почвы района. Направленность линии тренда и величина коэффициента корреляции доли кислых почв в составе пашни от интенсивности известкования ($r=-0,87$) указывают на наличие высокой отрицательной корреляции. Наглядной иллюстрацией тесноты корреляции этих двух показателей является следующие частные случаи. Например, в Зеленодольском, Камско-Устьинском и Дрожжановском районах, где доля кислых почв в составе пашни составила 17,4; 23,2 и 53,1 % (табл. 10), кратность известкования кислых почв за весь период наблюдений равнялась соответственно 10,27; 8,82 и 5,15 (рис. 12).

Таким образом, за исследуемый период удельный вес кислых почв в составе пашни региона сократился с 57,8 до 37,2 %, главным образом в зависимости от интенсивности известкования ($r=-0,87$). Воздействие на кислотность почвы других факторов химизации земледелия – насыщенности пашни минеральными и органическими удобрениями, объемов фосфоритования было статистически несущественным. Среди кислых почв пашни преобладают слабокислые (78,4-90,0 %), отсутствуют очень сильнокислые, доля среднекислых колеблется в пределах 10,0-20,3 % и весьма скромнен сегмент сильнокислых почв (0-3,9 %). В ближайшие годы для перехода на пятилетний цикл нейтрализации кислых почв объемы ежегодного известкования в регионе необходимо довести до 36,4 тыс. га [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

3.4.3 Обеспеченность почв подвижными формами фосфора и калия

Фосфор и калий, наряду с азотом, абсолютно необходимые макроэлементы для живых организмов, которые потребляются растениями в большом количестве и дефицит которых чаще всего становится лимитирующим фактором величины и качества урожая сельскохозяйственных культур.

Значение фосфора для живых организмов в первую очередь определяется тем, что он входит в состав нуклеиновых кислот, играющих главную роль в передаче наследственных признаков, и аденозинфосфорных кислот (АТФ, АДФ, АМФ), ответственных в живых организмах за накопление, перенос и передачу энергии. Фосфор выступает ключевым макроэлементом, участвующим в метаболических процессах клетки. Он входит в состав не только нуклеиновых кислот и аденозинфосфатов, но также фосфолипидов, сахарофосфатов, липопротеидов, а также ряда ферментов, витаминов и запасных органических соединений (в частности, фитина). В связи с этим, фосфор принимает деятельное участие во всех жизненно важных обменных процессах веществ и энергии в организме растений и недостаток его очень часто становится лимитирующим фактором величины и качества урожая сельскохозяйственных культур. Поэтому обеспеченность почв доступными формами фосфора является важнейшим критерием плодородия почв сельскохозяйственных земель [Титова, 2021].

Общие запасы фосфора в почвах существенно меньше, чем азота и калия. Так, если его валовые запасы в пахотном слое могут составить от 1 до 9 т/га, то аналогичные запасы азота и калия варьируют соответственно в пределах 1,5-15 и 15-90 т/га. Общее содержание фосфора в почвах в основном определяется химическим составом почвообразующих пород. Как правило, общего фосфора в почвах, которые сформировались на глинистых породах больше, чем в почвах, где материнские породы представлены песчаными и известковыми породами [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2024].

Следует, однако, помнить, что для питания растений важно содержание не валового, а подвижных соединений фосфора, ибо именно они являются

доступными растениям. К сожалению, основное количество общего почвенного фосфора малодоступно растениям [Ковриго, Кауричев, Бурлакова, 2000; Кидин, Торшин, 2016; Лукманов, Ивойлов, 2023].

«Исследованиями установлено, что содержание подвижных фосфатов в почве зависит от многих факторов, таких как типовое и подтиповое положение почв, гранулометрический состав, гумусированность, кислотность, водный и температурный режимы, содержание подвижных соединений железа и алюминия и др. [Кулаковская, 1990]. В отличие от азота и фосфора, в организме растений калий не встраивается в структуру органических молекул, а присутствует преимущественно в ионной форме. Согласно современным данным, около 80 % этого элемента локализовано в вакуолярном клеточном соке, порядка 20 % удерживается в цитоплазме в обменной (сорбированной) форме, на долю митохондрий приходится менее 1 % калия в труднообменном состоянии.

Многогранная физиологическая роль калия определяется прежде всего тем, что он является основным противоионом для нейтрализации (балансирования) отрицательно заряженных компонентов клетки (анионов) и создает разность электрических потенциалов между клеткой и средой. Другая важная функция калия заключается в том, что он активно участвует в передвижении многих продуктов фотосинтеза, благодаря чему усиливает и регулирует процесс фотосинтеза. Кроме того, калий активизирует многие ферменты и тем самым регулирует углеводный и белковый обмен, окислительно-восстановительные процессы [Лукманов и др., 2025].

Благодаря всему этому оптимальное снабжение растений калием повышает иммунитет, то есть сопротивляемость организмов к неблагоприятным биотическим (болезням) и абиотическим факторам (недостаток или избыток влаги, света, тепла, воздуха, питательных элементов и т. д.).

Рост заболеваемости растений при недостатке калия вероятно связан с тем, что при калийном голодании усиливается распад белка и создаются благоприятные условия для развития в растительных тканях патогенных грибов и бактерий [Шеуджен и др., 2006; Лукманов, Ивойлов, 2023].

«Обеспечение растений необходимым количеством доступного калия необходимое условие не только для формирования запланированной урожайности, но и улучшения качества урожая: повышения крахмалистости картофеля, сахаристости корнеплодов сахарной свеклы, жирности в семенах масличных культур, выполненности зерна злаковых культур, снижения накопления радиоактивного цезия, нитратов в растениях» [Минеев, 1999; Ягодин и др., 2023].

«При сложившейся в последние три десятилетия ситуации в земледелии нашей страны, когда фосфорные и калийные удобрения применяют в крайне ограниченном количестве, основным источником этих элементов для растений стали почвенные запасы» [Ваулин и др., 2013; Гилязов, 2018; Сычев, 2019; Ягодин и др., 2023]. Поэтому на данном этапе развития земледелия большое значение придается определению и оценке обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия, как важнейшего критерия уровня почвенного плодородия.

Материалы табл. 13 демонстрируют распределение площадей пахотных почв по обеспеченности почв подвижными формами фосфора в Предволжье РТ по циклам агрохимического обследования. Они свидетельствуют о том, что в начале анализируемого периода (1965-1970 гг.) обеспеченность почв исследуемого региона подвижными формами фосфора была наихудшей за весь период наблюдений.

Согласно полученным данным, преобладающая доля пахотных почв исследуемого района (48 %) характеризуется средней обеспеченностью подвижным фосфором. На долю низко- и очень низкообеспеченных угодий приходится 24 %, что превышает площадь высокообеспеченных участков (11 %) более чем в два раза. Повышенным содержанием элемента характеризуются 17 % пашни [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2024].

Таблица 13 – Распределение площадей пахотных почв по обеспеченности почв подвижными формами фосфора в Предволжье РТ по циклам агрохимического обследования

Циклы, годы обследования	Обследованная площадь	Содержание подвижных форм фосфора, мг/кг					
		очень низкое	низкое	среднее	повышенное	высокое	очень высокое
I, 1965-1970	<u>528,1*</u> 100	<u>19,3</u> 3,7	<u>105,7</u> 20,0	<u>252,5</u> 47,8	<u>90,2</u> 17,1	<u>38,0</u> 7,2	<u>22,4</u> 4,2
II, 1971-1979	<u>542,6</u> 100	<u>28,2</u> 5,2	<u>77,0</u> 14,2	<u>228,6</u> 42,1	<u>131,2</u> 24,2	<u>63,4</u> 11,7	<u>14,2</u> 2,6
III, 1980-1985	<u>546,9</u> 100	<u>9,6</u> 1,8	<u>36,2</u> 6,6	<u>179,4</u> 32,8	<u>160,4</u> 29,3	<u>112,6</u> 20,6	<u>48,7</u> 8,9
IV, 1986-1990	<u>546,8</u> 100	<u>2,2</u> 0,4	<u>23,0</u> 4,2	<u>156,6</u> 28,6	<u>169,3</u> 31,0	<u>129,4</u> 23,7	<u>66,3</u> 12,1
V, 1991-1995	<u>539,7</u> 100	<u>2,1</u> 0,4	<u>16,3</u> 3,0	<u>114,7</u> 21,3	<u>151,3</u> 28,0	<u>159,4</u> 29,5	<u>95,9</u> 17,8
VI, 1996-2000	<u>539,2</u> 100	<u>0,6</u> 0,1	<u>7,8</u> 1,5	<u>82,7</u> 15,3	<u>135,0</u> 25,0	<u>188,8</u> 35,0	<u>124,3</u> 23,1
VII, 2001-2005	<u>530,8</u> 100	<u>3,1</u> 0,6	<u>25,9</u> 4,9	<u>147,1</u> 27,7	<u>158,7</u> 29,9	<u>123,7</u> 23,3	<u>72,3</u> 13,6
VIII, 2006-2010	<u>523,5</u> 100	<u>3,3</u> 0,6	<u>25,2</u> 4,8	<u>145,8</u> 27,9	<u>152,3</u> 29,1	<u>121,6</u> 23,2	<u>75,3</u> 14,4
IX, 2011-2015	<u>517,2</u> 100	<u>3,6</u> 0,7	<u>27,7</u> 5,4	<u>131,5</u> 25,4	<u>143,6</u> 27,8	<u>120,8</u> 23,3	<u>90,0</u> 17,4
X, 2016-2020	<u>489,8</u> 100	<u>2,5</u> 0,5	<u>27,0</u> 5,5	<u>125,6</u> 25,7	<u>133,9</u> 27,3	<u>114,5</u> 23,4	<u>86,3</u> 17,6
01.01.2022	<u>479,0</u> 100	<u>2,9</u> 0,6	<u>28,2</u> 5,9	<u>130,6</u> 27,3	<u>137,8</u> 28,8	<u>107,5</u> 22,4	<u>72,0</u> 15,0

Прим.: * числитель - в тыс. га; знаменатель – в процентах от общей обследованной площади.

Результаты второго цикла агрохимического обследования почв (1971–1979 гг.) зафиксировали рост обеспеченности пашни подвижными формами фосфора. За период между двумя турами обследования площадь почв, имеющих очень

низкое и низкое содержание фосфора, уменьшилась на 5 % при одновременном увеличении на 4 % площади почв, обеспеченность которых оценивается как высокая и очень высокая. Ещё более значимо (на 7 %) увеличился сегмент почв, имеющих повышенное содержание фосфора, что возможно произошло за счет сокращения доли среднеобеспеченных почв. В течение третьего цикла обследования (1981–1985 гг.) положительная динамика фосфатного режима сохранилась. За этот период доля почв с низкой и очень низкой обеспеченностью фосфором сократилась в 2,3–2,5 раза. Одновременно зафиксирован пропорциональный рост площадей с высоким уровнем плодородия. По сравнению со вторым циклом, удельный вес участков с повышенным содержанием фосфора увеличился в 1,2 раза, с высоким – в 1,7 раза, а категория очень высокой обеспеченности расширилась в 3,0 раза [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2024].

Наибольшие темпы обогащения почвы подвижными формами фосфора обнаружили за период между третьим и четвертым циклами обследования. К этому сроку наблюдения площадь очень низко обеспеченных почв сократилась, по сравнению с исходным показателем (1965–1970 гг.), почти в 6 раз. Доля почв, имеющих повышенное, высокое и очень высокое содержание подвижного фосфора, увеличилась соответственно в 1,8; 3,4 и 3,0 раза, благодаря чему 67 % пашни перешло в IV–VI группы обеспеченности.

Результаты V цикла обследования свидетельствовали о продолжающейся оптимизации фосфатного режима почв, что выражалось в перераспределении площадей между классами обеспеченности. Наблюдалось расширение сегмента высоко- и очень высокообеспеченных угодий при одновременном сокращении доли всех остальных групп. Суммарная доля участков с повышенным и высоким содержанием (V–VI группы) достигла 48%. Максимальный уровень подвижных фосфатов в пахотном горизонте Предволжья был зафиксирован в VI цикле (1996–2000 гг.). На данном этапе 58% территории характеризовались высокой и очень высокой обеспеченностью фосфором, доля низкообеспеченных почв приблизилась к нулевым значениям, а категория среднеобеспеченных

сократилась до минимума в 15%.

Результаты седьмого цикла обследования показали существенное ухудшение обеспеченности почв подвижными формами фосфора почти во всех группах. Буквально за пять лет суммарная доля почв, имеющих очень низкое, низкое и среднее содержание фосфора увеличилась в два раза (с 17 до 34 %). Одновременно в 1,6 раза уменьшился сегмент высоко и очень высоко обеспеченных фосфором почв (с 58 до 36 %). Лишь доля почв, отнесенных к повышенной группе обеспеченности, продемонстрировала рост на 5 %.

Итоги VIII цикла агрохимического обследования не выявили значимых изменений в обеспеченности почв подвижными формами фосфора. Можно было заметить лишь переход незначительной части (1%) почв, имеющих повышенную обеспеченность, в группу очень высоко обеспеченных.

Материалы двух последних туров агрохимического обследования (IX-X) иллюстрировали относительную стабильность обеспеченности пахотных почв Предволжья подвижными формами фосфора. Доля отдельных групп обеспеченности подвижными формами фосфора претерпели изменения за указанный период (2011-2020 гг.) в пределах не более 1-2 %.

Интегрированный показатель обеспеченности почв подвижными формами фосфора исследуемого региона – средневзвешенное содержание подвижного фосфора, ещё более наглядно демонстрирует характер динамики фосфатного режима за весь период наблюдений (рис. 16). По итогам первого цикла агрохимического обследования средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора составило 93 мг/кг, что соответствует средней степени обеспеченности. Линия тренда показывает, что с первого по шестые циклы обследования наблюдалось устойчивое повышение подвижного фосфора, благодаря чему по итогам VI цикла обследования средневзвешенное содержание фосфора достигло 161 мг/кг, то есть произошло 1,7 кратное повышение подвижного фосфора. Благодаря этим изменениям почвы пашни исследуемого региона в конце истекшего века (1996-2000 гг.) перешли в категорию высокообеспеченных подвижными формами фосфора.

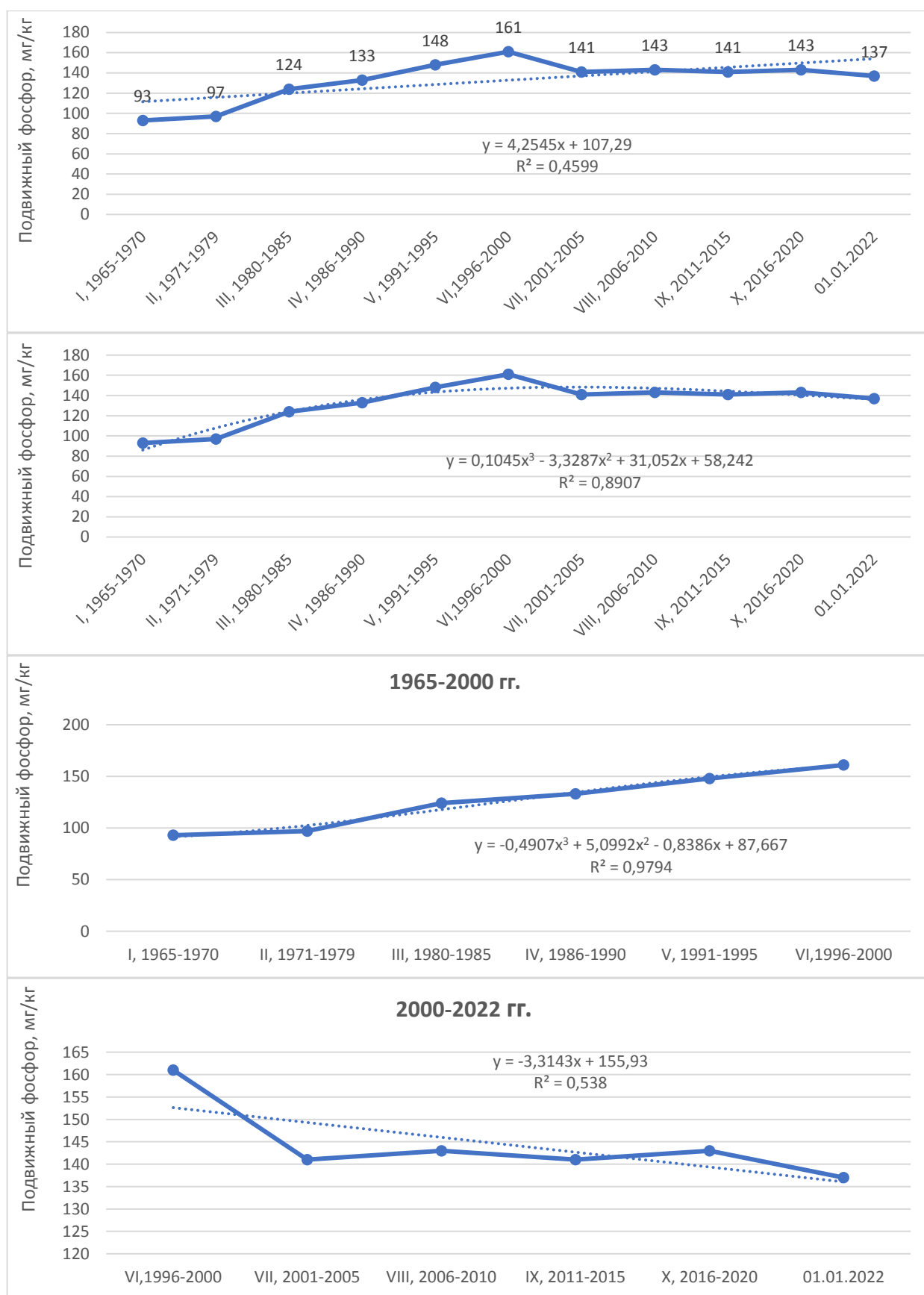


Рис. 16 - Динамика средневзвешенного содержания подвижных форм фосфора в пахотных почвах Предволжья РТ по циклам агрохимического обследования

Однако такая степень обеспеченности фосфором продержалась недолго. Результаты VII цикла обследования показали резкое снижение содержания подвижных форм фосфора - до 141 мг/кг, что соответствует повышенной степени обеспеченности.

В течение последующих 15 лет (2005-2020 гг.) средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора существенно не изменилось, оставаясь в пределах 141-143 мг/кг [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2024].

Данные последнего срока наблюдения (2022 г.) опять показали негативную тенденцию: за достаточно короткий период увеличилась площадь почв, имеющих низкую и очень низкую обеспеченность подвижными формами фосфора (до 31,1 тыс. га), и средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора снизилось на 6 мг/кг почвы. Наибольшие площади (5,2-5,4 тыс. га) таких почв обнаружались в Верхнеуслонском, Буинском, Кайбицком и Камско-Устьинском муниципальных районах. В трёх районах (Дрожжановский, Апастовский, Тетюшский) площади низко и очень низко обеспеченные фосфором почв колебались в пределах от 2,8 до 3,4 тыс. га.

Наименьшую площадь (0,4 тыс. га) занимают низко обеспеченные фосфором почвы в Зеленодольском муниципальном районе.

Сравнительный анализ коэффициентов детерминации показал, что полиномиальная модель третьей степени ($R^2=0,8907$) значительно точнее описывает динамику содержания подвижного фосфора в пахотных почвах исследуемого района, чем линейная зависимость ($R^2=0,4599$). Судя по величине коэффициента детерминации, для описания динамики изменения подвижного фосфора в пахотных почвах исследуемого района по всем циклам агрохимических обследований лучше подходило полиномиальное уравнение третьей степени ($R^2=0,8907$), чем линейная зависимость ($R^2=0,4599$). Если же рассмотреть общую динамику изменения содержания подвижных форм фосфора во времени разделив на два периода, то обнаруживается достаточно тесная разнонаправленная линейная зависимость: если в течение первого периода (1965-2000 гг.) происходило уверенное повышение подвижных форм фосфора

($R^2=0,9794$), то в дальнейшем (2000-2022 гг.) - скачкообразное снижение ($R^2=0,538$) [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2024].

Данные табл. 14 отражают зависимость средневзвешенного содержания подвижных форм фосфора в пахотных почвах исследуемого региона от уровня применения минеральных, органических удобрений и химических мелиорантов.

Таблица 14 - Коэффициенты парной корреляции средневзвешенного содержания подвижных форм фосфора (у, %) от уровня применения агрохимикатов (х) в Предволжье РТ в 1965-2020 гг.

Показатели	Уравнение линейной регрессии Коэффициент корреляции (r)
Насыщенность пашни минеральными удобрениями, кг д. в./га	$y = 0,569x + 95,806$ 0,71***
Насыщенность пашни органическими удобрениями, т/га	$y = -0,3868x + 133,49$ 0,03
Интенсивность известкования, доля известкованных почв от общей площади кислых почв	$y = 187,61x + 103,21$ 0,60**
Общая площадь фосфоритования, тыс. га	$y = 1,488x + 111,42$ 0,48*

Прим.: * - по шкале Чеддока слабая корреляция ($r=0,31-0,50$); ** - средняя корреляция ($r=0,51-0,70$); *** - сильная корреляция ($r=0,71-0,90$).

Они отчетливо свидетельствуют, что содержание подвижного фосфора в почве, в первую очередь, обуславливалось уровнем применения минеральных удобрений. Как видно, коэффициент корреляции (r) средневзвешенного содержания подвижных форм фосфора от насыщенности пашни минеральными удобрениями за 1965-2020 гг. составил 0,71, что, согласно шкале Чеддока, оценивается как высокая степень зависимости [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2024].

Взаимосвязь между содержанием подвижных форм фосфора в почве и уровнем применения органических удобрений характеризуется отсутствием

статистически значимой зависимости ($r=0,03$). Данный феномен обусловлен комплексом факторов. Во-первых, средняя доза внесения органики за период исследований составила всего 2,91 т/га, что является недостаточным объемом для формирования достоверного тренда изменения фосфатного режима на региональном уровне. Во-вторых, следует учитывать высокую агрономическую эффективность фосфора органических удобрений. В отличие от минеральных удобрений, фосфор в составе органики менее подвержен фиксации и усваивается растениями практически полностью, не создавая при этом значительных резервов валового фосфора в почвенном профиле. В-третьих, временной тренд снижения объемов применения органических удобрений совпал с периодом максимальных доз минеральных фосфатов. Вероятно, высокая интенсивность химизации нивелировала (завуалировала) возможный положительный вклад органического вещества в стабилизацию гумусного и фосфатного состояния почв.

На содержание подвижных форм фосфора значимое влияние оказало известкование кислых почв. Как видно, коэффициент корреляции (r) средневзвешенного содержания подвижного фосфора от интенсивности известкования, что в данном случае оценивалось долей известкования от общей площади кислых почв, равнялся 0,60, что по шкале Чеддока оценивается как средняя. Данное обстоятельство, на наш взгляд, является иллюстрацией того, что нейтрализация кислых почв содействует переходу фосфора почв и удобрений в подвижное состояние.

На содержание подвижных форм фосфора положительное влияние оказало также фосфоритование ($r=0,48$), хотя и в меньшей степени, чем уровень применения минеральных и известковых удобрений. Как известно, главное предназначение фосфоритования – это целенаправленное повышение подвижных форм фосфора в почвах. Относительно скромное влияние этого приема на обеспеченность почв подвижными формами фосфора, видимо, объясняется небольшой продолжительностью этого мелиоративного приема (1971-2000 гг.).

Таким образом, по значимости положительного влияния на средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора в почвах Предволжья исследованные нами агрохимические приемы можно расположить в следующий убывающий ряд: внесение минеральных удобрений > известкование > фосфоритование > внесение органических удобрений.

В табл. 15 представлены материалы по содержанию подвижных форм фосфора в почвах исследуемого региона в разрезе отдельных муниципальных районов [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2024].

Таблица 15 - Средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора в почвах пашни муниципальных районов Предволжья РТ (1965-2022 гг.)

Наименование районов	Средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора в почве, мг/кг	
	первый срок наблюдения (1965-1970 гг.)	последний срок наблюдения (01.01.2022 г.)
Апастовский	84	142
Буинский	121	147
Верхнеуслонский	87	122
Дрожжановский	83	120
Зеленодольский	86	179
Кайбицкий	79	128
Камско-Устьинский	113	126
Тетюшский	69	128

Почвы пашни муниципальных районов Предволжья РТ по данным первого тура агрохимического обследования (1965-1970 гг.) существенно различались по степени обеспеченности подвижными формами фосфора.

Минимальное средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора (69 мг/кг) обнаружилось в почвах пашни Тетюшского муниципального района, а максимальное (121 мг/кг) – в почвах Буинского муниципального района.

Согласно основной группировке почв по содержанию подвижных форм фосфора (прил. 4), почвы указанных районов относятся соответственно к третьей и четвертой группе обеспеченности. Почвы ещё одного муниципального района (Камско-Устьинский) отличались относительно более высоким средневзвешенным содержанием подвижных форм фосфора (113 мг/кг) и относились к четвертой группе обеспеченности.

В пахотных почвах остальных районов (Апастовский, Верхнеуслонский, Дрожжановский, Зеленодольский, Кайбицкий) содержания подвижных форм фосфора оказались достаточно близкими и колебались в пределах от 79 до 87 мг/кг, то есть почвы этих муниципальных районов относились к категории среднеобеспеченных (третья группа) [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2023].

Средневзвешенные величины содержания подвижных форм фосфора в почвах пашни муниципальных районов Предволжья РТ по состоянию на 01.01.2022 г. демонстрируют повсеместное улучшение обеспеченности почв фосфором за наблюдаемый период.

По данным последнего срока наблюдения средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора в пахотных почвах муниципальных районов варьировало от 120 мг/кг (Дрожжановский район) до 179 мг/кг (Зеленодольский район). Различия между показателями муниципальных районов по интенсивности роста подвижных форм фосфора за 1965-2022 гг. были очень существенными. Наименьший прирост средневзвешенного содержания подвижного фосфора обнаружился в почвах Камско-Устьинского района (в 1,12 раза), а максимальный (в 2,08 раза) – в почвах Зеленодольского муниципального района.

Интересно то, что этот прирост средневзвешенного содержания подвижных форм фосфора не был однонаправленным, о чем свидетельствуют данные рис. 17.

За 1965-2000 гг. в почвах всех муниципальных районов наблюдался интенсивное повышение содержания подвижных форм фосфора, хотя районы заметно различались по масштабам роста. Безусловными лидерами по росту

средневзвешенного содержания фосфора были Тетюшский и Апастовский муниципальные районы, обеспечившие увеличение фосфора соответственно на 113 и 108 мг/кг. Существенная положительная динамика фосфатного режима отмечена в Зеленодольском районе, где средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора увеличилось на 92 мг/кг. В Дрожжановском и Кайбицком муниципальном районе накопление подвижных форм фосфора в пахотных почвах составило около 70 мг/кг.

Относительно небольшими (41-45 мг/кг) оказались размеры накопления подвижных форм фосфора в Буинском, Верхнеуслонском и Камско-Устьинском муниципальных районах.

Совершенно иная картина обнаружилась в почвах пашни муниципальных районов за последующие 22 года: за 2000-2022 гг. во всех муниципальных районах, за исключением Зеленодольского, произошел откат назад, причем размеры этих изменений были весьма контрастными. Наибольшие снижения содержания подвижных форм фосфора в пахотных почвах (50 и 54 мг/кг) за эти годы были допущены в Апастовском и Тетюшеском муниципальных районах. Убыль подвижных форм фосфора в почвах Дрожжановского и Камско-Устьинского районов оказался одинаковым и равнялся 32 мг/кг. Снижение подвижных форм фосфора в почвах пашни Кайбицкого, Буинского и Верхнеуслонского муниципальных районов составило соответственно 22, 15 и 8 мг/кг. Единственным муниципальным районом Предволжья, сумевшим сохранить и даже обеспечить минимальное повышение содержания подвижных форм фосфора за последние 22 года, оказался Зеленодольский район.

Резюмируя, отметим, что уменьшение подвижных форм фосфора за последние 22 года во всех районах Предволжья оказалось заметно меньше накопленного фосфора за первый период наблюдений (1965-2000 гг.), благодаря чему в целом, как уже отмечалось, обеспеченность почв подвижными формами фосфора настоящее время (по состоянию на 01.01.2022 г.) заметно лучше, чем в начале наблюдений (1965-1970 гг.).



Рис. 17 - Накопление и убывание содержания подвижных форм фосфора в пахотных почвах муниципальных районов Предволжья РТ за 1965-2000 гг. и 2000-2022 гг.

Безусловным лидером по накоплению подвижных форм фосфора за весь период наблюдений (1965-2022 гг.) стал Зеленодольский муниципальный район, в пахотных почвах которого исследуемый питательный элемент увеличился на 93 мг/кг.

Следующие три муниципального образования – Тетюшский, Апастовский, Кайбицкий районы сумели нарастить подвижные формы фосфора в пахотных почвах от 49 до 59 мг/кг. Относительно скромными оказались накопления подвижных форм фосфора в пахотных почвах Буинского, Верхнеуслонского и Дрожжановского муниципальных районов: от 26 до 37 мг/кг.

Минимальное накопление подвижных форм фосфора (13 мг/кг) обнаружилось в пахотных почвах Камско-Устьинского муниципального района.

По результатам последнего агрохимического обследования, общая площадь региональных почв, имеющих низкую и очень низкую обеспеченность подвижными формами фосфора (менее 50 мг/кг), и, следовательно, нуждающиеся в первоочередном фосфоритовании, составляет 31,1 тыс. га.

Чем же были обусловлены такие разные результаты динамики подвижных форм фосфора в почвах муниципальных районов Предволжья? На накопление подвижных форм фосфора, в определенной степени, оказали влияние применяемые агрохимические приемы, что подтверждается данными таблицы 16.

Прежде всего, можно отметить, что все агрохимические приемы – внесение минеральных и органических удобрений, фосфоритование и известкование на накопление подвижных форм фосфора оказали положительное влияние. Наибольшее положительное влияние на накопление подвижных форм фосфора в разрезе муниципальных районов оказало фосфоритование ($r=0,49$) [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2024].

Интересно то, что влияние кратности известкования, показывающего интенсивность применения известковых удобрений, на накопление подвижных форм фосфора в пахотных почвах муниципальных районов было примерно таким же, как и влияние минеральных и органических удобрений ($r=0,44$).

Таблица 16 - Коэффициенты парной корреляции накопления подвижных форм фосфора в почвах муниципальных районов Предволжья РТ (у, %) от уровня применения агрохимикатов (х) в 1965-2022 гг.

Показатели	Уравнение линейной регрессии Коэффициент корреляции (r)
Насыщенность пашни минеральными удобрениями, кг д. в./га	$y = 1,2936x - 41,146$ 0,44*
Насыщенность пашни органическими удобрениями, т/га	$y = 17,433x - 4,4575$ 0,44*
Интенсивность известкования, кратность известкования	$y = 6,0143x + 3,3233$ 0,44*
Общая площадь фосфоритования, тыс. га	$y = 1,2533x + 19,1$ 0,49*

Прим.: * - по шкале Чеддока слабая корреляция ($r=0,31-0,50$); ** - средняя корреляция ($r=0,51-0,70$).

Таким образом, по значимости положительного влияния на накопление подвижных форм фосфора в пахотных почвах отдельных муниципальных районов Предволжья исследованные нами агрохимические приемы расположились в следующий убывающий ряд: фосфоритование > внесение минеральных удобрений = внесение органических удобрений > известкование. Значимость агрохимических приемов по влиянию на средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора в целом в регионе и в отдельных муниципальных районах оказалась различной, что, возможно, обусловлено несколькими обстоятельствами. Прежде всего, средневзвешенное содержание по региону в целом и накопление подвижных форм фосфора по отдельным муниципальным районам региона с учетом исходного содержания фосфора – не тождественны [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2024]. Кроме того, оценка зависимости темпов накопления фосфора от уровня применения агрохимикатов без учета выноса его с урожаями сельскохозяйственных культур представляется в значительной мере условной, и в целом, использованная нами парная корреляция не может охватить весь спектр взаимодействия изучаемых факторов.

Распределение площадей пахотных почв по обеспеченности почв подвижным калием в Предволжье РТ по циклам агрохимического обследования представлено в табл. 17. Результаты первого тура агрохимического обследования пахотных почв региона показали, что 20,6 тыс. га или около 4 % от обследованной площади имеют очень низкое и низкое содержание подвижного калия. На долю почв со средним содержанием калия пришлось 122,8 тыс. га или 23 %. Почвы с повышенным, высоким и очень высоким содержанием подвижного калия составили соответственно 30, 36 и 7 % пахотных земель. Средневзвешенное содержание подвижного калия в первый срок наблюдения по региону составило 135 мг/кг, что соответствует повышенной степени обеспеченности для нечерноземных почв и высокой степени обеспеченности для черноземов.

Результаты второго цикла обследования показали некоторое ухудшение обеспеченности почв подвижным калием, о чем свидетельствуют увеличение доли низко и среднеобеспеченных почв соответственно в 1,34 и 1,39 раза, и уменьшение сегмента высоко и очень высоко обеспеченных почв. Площадь почв, имеющих очень высокую обеспеченность, сократилась более чем в 15 раз: с 38,3 до 2,5 тыс. га. Достаточно заметным было и уменьшение (в 1,67 раза) доли пахотных почв, отнесенных к группе высокообеспеченных подвижным калием. Отмеченное снижение обеспеченности пахотных почв подвижным калием непросто объяснить, так как за годы второго тура обследования (1971-1979 гг.) применение минеральных и органических удобрений выросло соответственно в 3,3 и 1,9 раза (см. раздел 3.3). Возможно, в какой-то мере ухудшение обеспеченности почв подвижным калием было связано с увеличением обследованной площади, если предположить, что в эти годы в пахотные земли были вовлечены новые низкоплодородных почвы. Результаты третьего тура обследования показали существенное повышение содержания подвижного калия. Оно проявилось в 1,61 кратном уменьшении доли низко и среднеобеспеченных при одновременном в 1,65 кратном росте доли высоко и очень высоко обеспеченных калием почв. [Лукманов и др., 2025]

Таблица 17 - Распределение площадей пахотных почв по обеспеченности почв подвижным калием в Предволжье РТ по циклам агрохимического обследования

Циклы, годы обследования	Обследованная площадь	Обеспеченность почв подвижным калием						Средневзвешенное содержание, мг/кг
		очень низкая	низкая	средняя	повышенная	высокая	очень высокая	
I, 1965-1970	<u>528,1*</u> 100	<u>0,6</u> 0,1	<u>20,0</u> 3,8	<u>122,8</u> 23,3	<u>157,3</u> 29,8	<u>189,2</u> 35,8	<u>38,2</u> 7,2	135
II, 1971-1979	<u>542,6</u> 100	<u>0,8</u> 0,1	<u>27,8</u> 5,1	<u>175,9</u> 32,4	<u>218,9</u> 40,4	<u>116,7</u> 21,5	<u>2,5</u> 0,5	116
III, 1980-1985	<u>546,9</u> 100	<u>0,1</u> 0	<u>12,3</u> 2,3	<u>112,3</u> 20,5	<u>213,6</u> 39,0	<u>155,2</u> 28,4	<u>53,4</u> 9,8	142
IV, 1986-1990	<u>546,8</u> 100	<u>0,1</u> 0	<u>10,9</u> 2,0	<u>113,8</u> 20,8	<u>216,7</u> 39,6	<u>150,9</u> 27,6	<u>54,4</u> 10,0	144
V, 1991-1995	<u>539,7</u> 100	<u>0,4</u> 0,1	<u>9,6</u> 1,8	<u>104,5</u> 19,4	<u>229,5</u> 42,5	<u>138,4</u> 25,6	<u>57,3</u> 10,6	144
VI, 1996-2000	<u>539,2</u> 100	<u>0,2</u> 0	<u>3,7</u> 0,7	<u>60,7</u> 11,3	<u>232,6</u> 43,1	<u>156,7</u> 29,1	<u>85,3</u> 15,8	155
VII, 2001-2005	<u>530,8</u> 100	<u>1,8</u> 0,3	<u>13,9</u> 2,6	<u>109,2</u> 20,6	<u>220,6</u> 41,6	<u>128,1</u> 24,1	<u>57,2</u> 10,8	148
VIII, 2006-2010	<u>523,5</u> 100	<u>1,5</u> 0,3	<u>9,0</u> 1,7	<u>77,7</u> 14,9	<u>208,4</u> 39,8	<u>163,5</u> 31,2	<u>63,4</u> 12,1	153
IX, 2011-2015	<u>517,2</u> 100	<u>0,7</u> 0,1	<u>14,0</u> 2,7	<u>77,4</u> 15,0	<u>162,3</u> 31,4	<u>160,7</u> 31,1	<u>102,0</u> 19,7	156
X, 2016-2020	<u>489,8</u> 100	<u>0,2</u> 0	<u>10,5</u> 2,2	<u>66,7</u> 13,6	<u>128,0</u> 26,1	<u>165,1</u> 33,7	<u>119,3</u> 24,4	161
01.01.2022	<u>479,0</u> 100	<u>0</u> 0	<u>11,5</u> 2,4	<u>74,5</u> 15,6	<u>146,6</u> 30,6	<u>150,5</u> 31,4	<u>95,9</u> 20,0	154

Прим.: * числитель - в тыс. га; знаменатель – в процентах от общей обследованной.

Особенно резко увеличилась площадь очень высокообеспеченных подвижным калием почв: с 2,5 до 53,4 тыс. га, то есть более чем в 20 раз. Благодаря этим изменениям в распределении площадей по группам обеспеченности, за время между вторым и третьим турами обследования средневзвешенное содержание подвижного калия в пахотных землях региона

выросло с 116 до 142 мг/кг, то есть на 26 мг/кг почвы, что явилось максимальным показателем прироста за весь период наблюдений.

Итоги двух последующих туров агрохимического обследования почв продемонстрировали относительную стабильность калийного состояния пахотных почв региона: изменения площадей пашни разной степени обеспеченности подвижным калием в течение 1986-1995 гг. не превышали 1-3%.

Материалы шестого тура обследования зафиксировали заметное улучшение обеспеченности пахотных почв региона калием: средневзвешенное содержание подвижного калия увеличилось с 144 до 155 мг/кг. Данное повышение в основном было обеспечено за счет суммарного сокращения площадей низко и среднеобеспеченных почв на 49,7 тыс. га и увеличения площадей высоко и очень высокообеспеченных – на 46,3 тыс. га. Интересно, что за годы шестого тура агрохимического обследования (1996-2000 гг.) применение минеральных и органических удобрений существенно сократилось по сравнению с уровнем применения в предыдущие 5-10 лет (см. раздел 3.3), поэтому обнаруженное повышение подвижного калия, возможно, связано последствием ранее внесенных удобрений. Отметим, что при рассмотрении зависимости гумусного состояния почв региона (см. подраздел 3.4.1) от действия и последствия удобрений более значимым оказалось положительное влияние именно последствия.

Результаты седьмого тура агрохимического обследования (2001-2005 гг.) показали снижение средневзвешенного содержания подвижного калия на 7 мг/кг (с 155 до 148 мг/кг). Ухудшение калийного состояния почв произошло за счет роста площадей очень низко, низко и среднеобеспеченных почв соответственно на 1,6; 10,2 и 48,5 тыс. га при одновременном уменьшении почв, имеющих повышенную, высокую и очень высокую обеспеченность соответственно на 12,0; 28,6 и 28,1 тыс. га.

Итоги последующих трёх туров агрохимического обследования (2006-2020 гг.) демонстрировали постепенное улучшение обеспеченности пахотных почв калием: средневзвешенное содержание подвижного калия вырос с 148 до 161

мг/кг, хотя за эти годы уровень применения минеральных и органических удобрений практически не изменился. В какой-то мере положительные сдвиги в обеспеченности пахотных почв исследуемого региона, возможно, связаны с сокращением площади пашни, если предположить, что из пахотных земель за эти годы были выведены менее плодородные почвы [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

Данные последнего срока наблюдения (01.01.2022 г.) показали некоторое ухудшение обеспеченности пахотных почв исследуемого региона подвижным калием. Оно проявилось в увеличении на 27,2 тыс. га сегмента почв, имеющих низкое, среднее и повышенное содержание подвижного калия, за счет сокращения высоко и очень высокообеспеченных почв на 38,0 тыс. га. На это же указывает снижение средневзвешенного содержания подвижного калия в пахотных почвах Предволжья РТ с 161 до 154 мг/кг.

В целом, динамика средневзвешенного содержания подвижного калия в пахотных почвах Предволжья РТ по циклам агрохимического обследования демонстрирует скачкообразное его изменение в пределах от 116 до 161 мг/кг. Статистическая обработка показала наличие значимой прямолинейной зависимости средневзвешенного содержания подвижного калия от временного фактора.

Динамика содержания подвижного калия в почвах региона (прил. 5) заметно отличается от динамики содержания подвижных форм фосфора (рис. 16). Если средневзвешенное содержание фосфора очень стабильно повышалось ($R^2=0,9794$) до шестого цикла обследования, а в дальнейшем происходило скачкообразное его снижение ($R^2=0,538$), то подвижный калий демонстрировал однонаправленное, хотя и волнообразное, повышение в течение всего периода наблюдений. Судя по величине коэффициента детерминации (R^2), для описания динамики изменения средневзвешенного содержания подвижного калия во времени наиболее подходящим следует признать полиномиальное уравнение четвертой степени ($R^2=0,7441$), ибо при попытке описать зависимость содержания средневзвешенного подвижного калия от временного фактора

другими уравнениями (степенное, логарифмическое, линейное) коэффициенты детерминации оказались меньшими ($R^2=0,6319 \div 0,6664$).

Данные табл. 18 позволяют оценить воздействие уровня применения агрохимикатов на изменение средневзвешенного содержания подвижного калия в пахотных почвах исследуемого региона.

Таблица 18 - Коэффициенты парной корреляции средневзвешенного содержания подвижного калия (у, %) от уровня применения агрохимикатов (х) в Предволжье РТ

Показатели	Уравнение линейной регрессии Коэффициент корреляции (r)
Насыщенность пашни минеральными удобрениями, кг д. в./га	$y = 0,1728x + 134,29$ 0,37*
Насыщенность пашни органическими удобрениями, т/га	$y = -2,7191x + 153,1$ -0,34*
Интенсивность известкования, доля известкованных почв от общей площади кислых почв	$y = 49,85x + 137,64$ 0,27
Общая площадь фосфоритования, тыс. га	$y = 0,4027x + 135,39$ 0,27

Прим.: * - по шкале Чеддока слабая корреляция ($r=0,31-0,50$); ** - средняя корреляция ($r=0,51-0,70$).

Они, прежде всего, указывают на то, что изученные показатели интенсивности применения агрохимикатов (насыщенность пашни минеральными и органическими удобрениями, объемы известкования и фосфоритования) на динамику средневзвешенного содержания подвижного калия оказали слабое влияние, ибо коэффициенты корреляции (r) варьировали в пределах от 0,27 до 0,37. Относительно заметное положительное влияние на содержание подвижного калия оказал уровень применения минеральных удобрений [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

Органические удобрения на динамику подвижного калия оказали более слабое влияние ($r=-0,34$), хотя по нашим расчетам количество калия, внесенного в составе органических удобрений, было больше, чем в составе минеральных

удобрений. В 1965-2020 гг. на один гектар пашни в Предволжье было внесено 2,91 т/га органических и 67,6 кг д. в. минеральных удобрений при соотношении $N:P_2O_5:K_2O$ 1:0,6:0,4. Несложные расчеты показывают, что при таком уровне применения удобрений ежегодно в составе органических и минеральных удобрений калия было внесено соответственно 17,5 и 13,5 кг. Причем, вопреки ожиданиям, зависимость средневзвешенного содержания подвижного калия от насыщенности пашни органическими удобрениями была отрицательной. Вероятнее всего, на количество подвижного калия заметное влияние оказали не только минеральные калийные удобрения, но и азотные, мобилизуя запасы самой почвы. Кроме того, отсутствие положительного влияния органических удобрений на содержание подвижного калия возможно связано с тем, что периоды снижения применения органических удобрений нередко совпали с ростом интенсивности применения минеральных удобрений, которые оказали наибольшее положительное влияние на содержание подвижного калия и тем самым завуалировали истинное влияние органических удобрений.

Влияние на средневзвешенное содержание калия интенсивности известкования и фосфоритования было позитивным, но статистически недостоверным, о чем свидетельствуют малые величины коэффициентов корреляции ($r=0,27$).

В завершении рассмотрения изменчивости содержания подвижного калия в пахотном слое почв следует подчеркнуть, что среднегодовое количество калия, внесенное в составе минеральных и органических удобрений, составило 31 (17,5 + 13,5) кг д. в./га. Данная величина существенно меньше хозяйственного выноса калия с урожаями зерновых культур, поэтому тренд возрастания средневзвешенного содержания подвижного калия обуславливалось, вероятнее всего, переходом малоподвижных форм калия самой почвы в подвижное состояние в результате агрогенного воздействия человека на пахотные земли [Лукманов и др., 2025].

3.4.4 Содержание в почвах микроэлементов и тяжелых металлов

Наряду с макроэлементами (углерод, кислород, водород, азот, фосфор, калий, кальций, магний, натрий, сера, хлор, железо), которые в растениях содержатся относительно много (от нескольких процентов до сотых долей процента сухого вещества), есть так называемые **микроэлементы** (синоним: следовые элементы, трейс-элементы), содержание которых многократно меньше. В агрономической химии к группе «микроэлементов» относят те, содержание которых в растениях и животных варьирует от 0,001 до 0,00001 весовых процента. В геологии микроэлементом называют любой элемент, находящийся в окружающей среде (воде, породах, угле и т. п.) в количествах ниже 0,1 %.

По физиологической роли микроэлементы подразделяются на три группы: абсолютно необходимые или эссенциальные (Mn, Mo, Cu, Co, B, Zn, J, V), условно необходимые или условно эссенциальные (Li, Sr, Ti, Pb, Cr, F, Ni) и элементы-примеси (Rb, Ba, Zr, As), которые малоизучены и нередко оказывают токсичное воздействие при любых концентрациях. Обычно говоря о микроэлементах, имеют в виду абсолютно необходимых 8 микроэлементов.

Несмотря на то, что микроэлементы содержатся в растениях в чрезвычайно малом количестве, если они признаны эссенциальными, то без них растения не могут полноценно расти и завершить полный цикл развития. Роль эссенциальных микроэлементов определяется тем, что они входят в состав многих ферментов и витаминов или являются активаторами ферментов, в связи с чем они контролируют и регулируют все процессы жизнеобеспечения организмов, в том числе окислительно-восстановительные процессы, углеводный и азотный обмен. Кроме того, многие микроэлементы входят в состав антоцианов – веществ, определяющих огромное разнообразие окрасок цветков и плодов, что привлекает насекомых и тем самым способствуют опылению. Некоторые исследователи полагают, что антоцианы принимают участие также в выработке иммунитета растений [Шеуджен и др., 2006; Минеев и др., 2017; Титова, 2021].

Таким образом, в современных условиях одним из главных факторов повышения продуктивности выступает оптимизация питания сельскохозяйственных культур эссенциальными микроэлементами. Данный подход обеспечивает рост неспецифического иммунитета растений к грибным и бактериальным патогенам, а также способствует увеличению валового сбора и улучшению качественных показателей продукции [Лукин, 2011; Никитишен и др., 2012]. Основными источниками доступных форм микроэлементов для растений являются их почвенные запасы. «О степени обеспеченности растений микроэлементами судят по общему количеству (потенциальные запасы) и содержанию их подвижных форм (эффективные запасы) в почвах, причем последнее в определенной степени отражает и усвояемость их растениями. Доля подвижных форм чаще всего составляет для меди, молибдена, кобальта и цинка 10-15 %, а для бора 2-4 % общего содержания их в разных почвах. Валовые запасы микроэлементов в почвах определяются содержанием их в материнских породах, а доля подвижных зависит от многих свойств конкретной почвы, количества и качества применяемых удобрений и мелиорантов, характера растительности и других факторов, причем влияние каждого из них довольно специфично для разных микроэлементов» [Ягодин, Жуков, Кобзаренко, 2023].

К обследованию пашни муниципальных районов Предволжья на содержание подвижных форм молибдена и бора агрохимическая служба приступила в 1996 году. Определение в почвах остальных микроэлементов (марганец, медь, цинк и кобальт) началось позднее - в 2001 г. В начальный период (1996-2000 гг.) агрохимическое обследование на содержание микроэлементов было проведено выборочно, примерно на 1/3 пашни. В последующих циклах определение микроэлементов проводилось на всей обследованной площади. Для оценки обеспеченности почв подвижными формами микроэлементов использовали группировку почв, рекомендованную агрохимической службой страны (прил. 6) [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2023].

Средневзвешенное содержание подвижных форм микроэлементов в пахотных почвах исследуемого региона впервые были обобщены по состоянию на 01.01.2004 г. (табл. 19).

Таблица 19 - Средневзвешенное содержание подвижных форм микроэлементов в пахотных почвах Предволжья РТ

Муниципальные районы	Годы обследования	Средневзвешенное содержание микроэлементов, мг/кг					
		В	Мо	Мп	Сu	Zn	Со
Апастовский	2004	0,65	0,19	56,8	3,3	0,9	1,5
	2022	0,64	0,18	56,4	3,3	2,8	1,6
Буинский	2004	0,70	0,19	56,6	3,3	0,9	1,6
	2022	1,55	0,18	41,5	5,5	0,3	1,8
Верхнеуслонский	2004	0,63	0,16	64,0	3,3	1,0	1,4
	2022	0,85	0,12	35,6	5,7	1,4	1,4
Дрожжановский	2004	0,69	0,18	53,5	3,3	1,0	2,6
	2022	1,56	0,16	40,7	3,1	0,2	1,3
Зеленодольский	2004	0,58	0,14	61,2	3,2	1,3	1,4
	2022	1,05	0,13	39,8	5,0	0,8	2,0
Кайбицкий	2004	0,65	0,16	52,7	3,3	1,2	1,4
	2022	0,68	0,17	52,5	6,7	1,5	1,8
Камско-Устьинский	2004	0,55	0,14	61,7	3,3	1,3	1,6
	2022	0,56	0,12	61,7	7,6	0,5	1,6
Тетюшский	2004	0,66	0,11	61,3	3,2	1,0	1,8
	2022	1,25	0,12	35,8	5,2	0,7	1,3
Предволжье	2004	0,64	0,16	58,5	3,3	1,1	1,7
	2022	1,02	0,15	45,5	5,2	1,0	1,6

В этот срок наблюдения, судя по средневзвешенному содержанию, обеспеченность почв пашни Предволжья подвижными формами большинства микроэлементов (бор, молибден, марганец, медь, кобальт) оценивалась как средняя. Из этого ряда выделился лишь цинк, обеспеченность подвижной формой которого оценивалась как низкая. Обнаружился определенный разброс средневзвешенного содержания микроэлементов по муниципальным районам

региона. Минимальное варьирование средневзвешенного содержания по районам выявилось в содержании меди (3,2 и 3,3 мг/кг почвы). Относительно небольшими были также колебания содержания марганца (52,7-64,0 мг/кг) и бора (0,55-0,70 мг/кг). Почвы муниципальных районов относительно заметнее различались по средневзвешенному содержанию молибдена и кобальта. Так, средневзвешенное содержание молибдена в Тетюшском м. р. равнялось 0,11 мг/кг, что соответствует низкой обеспеченности, а в Апастовском и Буинском м. р. - 0,19 мг/кг, что оценивается как средняя обеспеченность.

Обобщенные данные 2022 г. показали, что в целом по Предволжью наиболее заметно изменилось средневзвешенное содержание подвижных форм двух микроэлементов – бора и меди. В обоих случаях произошло повышение средневзвешенного показателя, по сравнению с данными 2004 г., более чем в 1,5 раза: содержание бора вырос с 0,64 до 1,02 мг/кг, меди – с 3,3 до 5,2 мг/кг почвы. Благодаря этим изменениям, почвы пашни региона по содержанию подвижных форм этих двух микроэлементов перешли из второй в третью группу обеспеченности. Наиболее существенный рост содержания бора обнаружилось в почвах пашни Дрожжановского и Буинского муниципальных районов, а меди – в почвах Камско-Устьинского и Кайбицкого.

Средневзвешенное содержание по региону остальных микроэлементов за указанный период несколько снизилось, однако группы обеспеченности при этом не изменились: обеспеченность почв подвижными формами молибдена, марганца, кобальта осталась средней, а цинка – низкой. Интересно, что изменение содержания отмеченных микроэлементов за 2004-2022 гг. наблюдалось не во всех муниципальных районах. Например, средневзвешенные значения марганца в трёх муниципальных районах (Апастовский, Кайбицкий, Камско-Устьинский) за указанный период практически не изменились. Наиболее заметное снижение содержания марганца обнаружилось в почвах пашни Верхнеуслонского района: соответственно с 64,0 до 35,6 мг/кг [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2023].

Распределение площадей пахотных земель Предволжья республики по обеспеченности почв подвижными формами микроэлементов по состоянию на 01.01.2022 г. демонстрируется материалами табл. 20.

Таблица 20 - Распределение площадей пахотных земель по обеспеченности почв подвижными формами микроэлементов в Предволжье РТ

Микроэлементы	Обеспеченность почвы микроэлементами			Средневзвешенное содержание, мг/кг
	низкая	средняя	высокая	
Бор	8	22	70	1,1 (высокое)
Молибден	47	33	20	0,5 (среднее)
Марганец	3	57	40	46 (среднее)
Медь	19	15	66	5,2 (высокое)
Цинк	44	29	27	1,0 (низкое)
Кобальт	19	42	39	1,6 (среднее)

Пахотные почвы Предволжья лучше всего обеспечены подвижной формой бора, ибо только 8 % пашни имело низкое содержание этого питательного элемента. Почвы, имеющие высокую и среднюю обеспеченность бором, занимают соответственно 70 и 22 % пахотных земель.

Достаточно богаты почвы пашни исследуемого региона также медью, о чем свидетельствует то, что 66 % пашни имеют высокую и 15 % среднюю обеспеченность. Доля почв, характеризующихся низким содержанием подвижной меди, 19 %, что более чем в два раза больше, чем доля почв с низким содержанием бора.

Обеспеченность почв пашни региона следующими тремя микроэлементами (марганец, кобальт и молибден), судя по средневзвешенному содержанию подвижных форм оценивается как средняя. Исходя из соотношения низко-, средне- и высокообеспеченных почв, можно отметить, что из этой тройки пахотные земли более лучше обеспечены марганцем, хуже – молибденом. Так, доля почв, имеющих низкое содержание марганца, кобальта и молибдена,

составили соответственно 3, 19 и 47 %, а доля высокообеспеченных – 40, 39 и 20 %.

Хуже всего пахотные почвы Предволжья обеспечены подвижным цинком: средневзвешенное содержание его составило всего 1,0 мг/кг, что в два раза ниже верхнего порога низкой обеспеченности ($<2,0$ мг/кг). О явном недостатке цинка свидетельствует и то, что 73 % площади пашни характеризуются низким и средним содержанием его подвижной формы.

Если попытаться оценить нуждаемость почв в микроэлементах по распространенности низко обеспеченных почв, то пахотные земли Предволжья в первую очередь нуждаются во внесении молибден- и цинксодержащих удобрений. Как видно, сегменты почв, содержащих низкое содержание подвижных форм молибдена и цинка, равнялись соответственно 47 и 44 %. На значительной площади вполне может быть эффективным внесение под требовательные сельскохозяйственные культуры марганец- и кобальтсодержащих удобрений, так как суммарная доля пахотных почв, отличающихся низкой и средней обеспеченностью данными микроэлементами, составила 60-61 %.

В табл. 21 представлены материалы, позволяющие в определенной мере оценить характер и тесноту корреляции содержания подвижных форм микроэлементов от уровня применения агрохимикатов. Коэффициенты парной корреляции рассчитаны между средневзвешенным содержанием подвижных форм элементов в почвах пашни по состоянию на 01.01.2022 г. и уровнем применения агрохимикатов за 1965-2020 гг. по муниципальным районам Предволжья РТ. Для количественной оценки уровня применения агрохимикатов использованы следующие показатели: насыщенность пашни минеральными и органическими удобрениями, объемы фосфоритования и доля ежегодного известкования от общей площади кислых почв [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2023].

Влияние минеральных удобрений на содержание подвижных форм микроэлементов было разнонаправленным и разнозначной по силе.

Таблица 21 - Коэффициенты парной корреляции средневзвешенного содержания подвижных форм микроэлементов от уровня применения агрохимикатов в муниципальных районах Предволжья РТ

Элементы	Насыщенность пашни минеральными удобрениями, кг д. в./га	Насыщенность пашни органическими удобрениями, т/га	Доля произвесткованных почв от общей площади кислых почв	Общая площадь фосфоритования, тыс. га
Бор	0,48*	-0,14	-0,62**	0,70**
Молибден	0,55**	0,49*	-0,46*	0,13
Марганец	-0,23	0,22	0,33*	-0,57**
Медь	-0,33*	-0,46*	0,45*	-0,83***
Цинк	-0,15	0,39*	0,12	-0,15
Кобальт	0,69**	0,47*	0,58**	-0,14

Прим.: * - по шкале Чеддока слабая корреляция ($r=0,31-0,50$); ** - средняя корреляция ($r=0,51-0,70$); *** - сильная корреляция ($r=0,71-0,90$).

Воздействие уровня применения минеральных удобрений на средневзвешенное содержание подвижных форм марганца и цинка было статистически не существенным ($r < 0,30$). Действие минеральных удобрений на содержание бора и меди по шкале Чеддока оценивается как умеренное (слабое), причем если удобрения способствовали повышению подвижного бора, то содержание подвижной меди от минеральных удобрений снизилось.

Установлена статистически значимая положительная связь между применением минеральных удобрений и содержанием в почве подвижных форм молибдена ($r=0,55$) и кобальта ($r=0,69$). Полученные результаты противоречат данным Е.И. Соловьёвой (1986), утверждавшей о слабом влиянии удобрений на уровень этих микроэлементов, и также с выводами С.В. Клышевской (2010) о

том, что «интенсивное внесение извести и минеральных удобрений уменьшает содержание доступных для растений форм микроэлементов в почвах».

Изменения подвижных форм микроэлементов под влиянием органических удобрений несколько отличались от таковых под действием минеральных удобрений, хотя есть и схожие моменты. Так, под влиянием органических удобрений, как и в случае с минеральными, возросло содержание молибдена и кобальта при достоверном снижении содержания меди. В отношении микроэлементов выявлено дифференцированное действие органических удобрений. Если их влияние на бор было статистически незначимым, то для подвижных форм цинка зафиксирована положительная динамика. Сила воздействия органических удобрений на микроэлементный состав почвы уступала показателям применения минеральных удобрений. Действие органических удобрений на содержание изученных элементов нельзя было оценить как статистически заметное, ибо абсолютные значения всех коэффициентов парной корреляции оказались меньше 0,50.

Среди агрохимических факторов интенсификации земледелия наиболее часто статистически значимые изменения вызывала интенсивность известкования, оцененная нами как «доля произвесткованных почв от общей площади кислых почв». Лишь на содержание цинка влияние известкования было не существенным ($r=0,12$), содержание же других элементов коррелировало от интенсивности известкования в умеренной (молибден, марганец, медь) или заметной (бор, кобальт) степени. Обнаруженные нами изменения оказались разнонаправленными и не всегда согласовывались с выводами других исследователей. Так, многие [Попов, 1984; Гайсин, 1989; Китаева, 1990; Лях, 1991; Шеуджен и др., 2006; Титова, 2021] сообщают о снижении под влиянием известкования подвижных форм марганца, меди, цинка, кобальта, и, наоборот о повышении – молибдена. Такие изменения в содержании подвижных форм указанных микроэлементов в данном случае не обнаружили. Вместе с тем, обнаружилось заметное снижение ($r=-0,62$), средневзвешенного содержания подвижного бора по мере повышения интенсивности известкования.

Под влиянием фосфоритования статистически значимо изменилось содержание подвижных форм трёх микроэлементов - бора, марганца, меди и эти изменения в значительной мере подтвердили данные ряда авторов [33, 165]. Эти и некоторые другие исследователи [Попов, 1984; Кабата-Пендиас, 1989] отмечают, что «содержание бора, меди, марганца, кобальта и цинка в почвах под действием фосфорных удобрений снижается, а молибдена, наоборот, возрастает». Действительно, наши обобщения показали наличие заметной отрицательной корреляции ($r=-0,57$) между объемами фосфоритования в муниципальных районах и содержанием подвижного марганца в их пахотных почвах. Ещё более сильно повлияло фосфоритование на средневзвешенное содержание меди ($r=-0,83$). Однако, снижение содержания подвижных форм бора, кобальта, цинка под влиянием фосфоритования в условиях нашего региона не проявилось. Наоборот, средневзвешенное содержание подвижного бора по мере роста объемов фосфоритования возросло ($r=0,70$). Под влиянием фосфоритования не происходило также статистически значимое возрастание подвижного молибдена ($r=0,13$). Противоречивость полученных данных относительно характера и тесноты корреляции содержания подвижных форм микроэлементов от интенсивности фосфоритования возможно обусловлено небольшим объемом выборки относительно коротким периодом фосфоритования (1971-2000 гг.).

Проблема обеспеченности почв микроэлементами тесно сопряжена с вопросами содержания **тяжелых металлов**. «В настоящее время нет однозначного научного толкования термина «тяжелые металлы» (ТМ). Микроэлементы и тяжёлые металлы – понятия, которые часто относятся к одним и тем же элементам. Термин «микроэлементы» используется тогда, когда они находятся в почве, воде, растениях и в организме теплокровных животных в физиологически необходимых оптимальных концентрациях, а «тяжёлые металлы», когда их содержание становится высоким и опасным для живых организмов. Правда и есть такие химические элементы, отнесенные к тяжелым металлам, которые даже в малых количествах нарушают процессы метаболизма

в организмах. Накопление в почвах тяжелых металлов ведет к снижению плодородия почв, существенному уменьшению урожая и значительному ухудшению его качества» [Алексеев, 1987; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Ильин, 1991; Алексеев, 2008].

В список тяжелых металлов включены микро- и ультрамикроэлементы с атомной массой более 50 углеродных единиц. «Среди них есть как абсолютно и условно необходимые микроэлементы, так и элементы-примеси. Многие из этих тяжелых металлов играют разную физиологическую роль в жизни живых организмов. Так, цинк, медь, железо в малых количествах являются не токсикантами, а наоборот, стимуляторами роста» [Ивлев, Дербенцова, 2002]. Наиболее известными и изученными тяжелыми металлами считаются Hg (ртуть), Cd (кадмий), Pb (свинец), Cu (медь), Zn (цинк), Se (селен), Cr (хром), Ni (никель), Ag (серебро), Sn, (олово) Sb (сурьма).

«Среди загрязняющих веществ по масштабам загрязнения и воздействию на почвы особое место занимают Hg, Pb, As, Cd, Zn, Cu, Cr, Ni, которые поступают по трофической цепи в организм человека и сельскохозяйственных животных с растительной пищей, воздухом и водой» [Овчаренко М.М. и др., 1997].

Доказано, что «тяжелые металлы концентрируются в самом верхнем слое почвы» [Ильин, 1991]. «Они медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, в результате водной эрозии и дефляции. В отличие от многих других техногенных загрязняющих веществ, тяжелые металлы практически не подвергаются физико-химическому или биологическому разрушению» [Алексеев, 1987; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Ладонин, 2019].

«Основная часть тяжёлых металлов в почву попадает через атмосферу, главными источниками загрязнения которой являются тепловые и атомные электростанции (27,0 %), предприятия черной металлургии (24,3 %), предприятия по добычи и переработки нефти (15,5 %), транспорт (13,1 %), предприятия цветной металлургии (10,5 %), а также предприятия по добыче и изготовлению строительных материалов (8,1 %)» [Алексеев, 2008].

«Минеральные и органические удобрения, химические мелиоранты, средства защиты растений также могут служить источниками накопления тяжелых металлов в почве за счет содержащегося в них балласта, который образуется в процессе их производства» [Шеуджен и др., 2008]. Аристархов А., Лунев М., Павлихина А. (2016) полагают, «что в каждом конкретном субъекте Российской Федерации необходимо вести постоянный мониторинг за содержанием ТМ в агроэкосистемах, выяснять причины возможного повышения их содержания в почвах и растениях и своевременно принимать необходимый меры по устранению возникающих негативных явлений».

Определение в почвах пашни Предволжья валового содержания пяти наиболее распространенных тяжелых металлов – меди, цинка, свинца, ртути и кадмия агрохимической службой республики началось в 1996 г. и первое обобщение этих материалов было выполнено в 2004 г. (табл. 22). Анализы были проведены согласно «Методическим указаниям по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства, 1992». К этой дате средневзвешенное содержание валовой меди по региону составило 17,8 мг/кг почвы, что в 3,1 раза меньше предельно-допустимой концентрации (ПДК=55 мг/кг). По муниципальным районам минимальная величина меди (13,7 мг/кг) обнаружилась в Верхнеуслонском районе, а максимальная (23,6 мг/кг) – в Тетюшском районе. Средневзвешенное валовое содержание цинка по Предволжью равнялось 43,1 мг/кг с колебаниями по муниципальным районам в пределах от 33,8 мг/кг (Зеленодольский) до 50,0 мг/кг (Буинский). Среди изученных тяжелых металлов средневзвешенное содержание цинка оказалось ближе всех к ПДК (100 мг/кг): оно лишь в 2,3 раза меньше этого уровня.

По отношению к ПДК (32 мг/кг) относительно высоким оказалось средневзвешенное содержание также свинца (10,9 мг/кг), что лишь в 2,9 раза ниже допустимого уровня. По содержанию свинца почвы муниципальных районов существенно различались: наибольшее его содержание (16,0 мг/кг) в Кайбицком районе превышало аналогичный показатель Верхнеуслонского района более чем в три раза.

Таблица 22 - Средневзвешенное содержание тяжелых металлов в
пахотных почвах Предволжья РТ

Муниципальные районы	Годы обследования	Средневзвешенное валовое содержание, мг/кг				
		медь	цинк	свинец	ртуть	кадмий
Апастовский	2004	17,0	43,9	12,3	0,012	0,26
	2020	14,6	32,6	7,4	0,013	0,26
Буинский	2004	16,8	50,0	9,2	0,012	0,35
	2020	12,1	36,7	8,8	0,018	0,24
Верхнеуслонский	2004	13,7	37,7	5,2	0,022	0,44
	2020	14,5	26,9	8,8	0,022	0,23
Дрожжановский	2004	15,4	37,4	12,3	0,008	0,47
	2020	12,7	33,9	6,3	0,017	0,22
Зеленодольский	2004	15,0	33,8	9,2	0,020	0,18
	2020	15,8	24,0	10,3	0,016	0,26
Кайбицкий	2004	20,3	44,2	16,0	0,024	0,48
	2020	18,2	44,5	6,5	0,027	0,27
Камско-Устьинский	2004	19,0	45,7	10,0	0,020	0,16
	2020	20,6	38,7	9,5	0,025	0,24
Тетюшский	2004	23,6	45,7	12,8	0,022	0,16
	2020	16,7	29,8	11,7	0,013	0,17
Предволжье	2004	17,8	43,1	10,9	0,017	0,31
	2020	15,4	33,9	8,7	0,018	0,23
	НСР ₀₅	$F_{\phi} < F_{05}$	4,5	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$
ПДК	-	55	100	32	2,10	2,00

Показатели содержания ртути в почвах пашни муниципальных районов между собой заметно различались (0,008 и 0,024 мг/кг соответственно в Дрожжановском и Кайбицком районах), но в целом средневзвешенное содержание этого тяжелого металла более чем 120 раз ниже ПДК, то есть

опасность загрязнения урожая сельскохозяйственных культур ртутью минимальная.

Средневзвешенное содержание кадмия в почвах исследуемого региона в 2004 г. составило 0,31 мг/кг, что в 6,5 раза меньше предельно-допустимой концентрации. Обнаружилось существенное различие между показателями муниципальных районов: если в почвах Камско-Устьинского и Тетюшского районах обнаружилось 0,16 мг/кг кадмия, то в Кайбицком – в три раза больше (0,48 мг/кг).

Данные по содержанию тяжелых металлов в пахотных почвах Предволжья в 2020 году показали, что за период между двумя наблюдениями статистически достоверное снижение произошло только в содержании цинка (средневзвешенное содержание цинка с 43,1 мг/кг снизилось до 33,9 мг/кг), хотя тенденция снижения средневзвешенного содержания за указанный период выявилось также в отношении меди, свинца и кадмия. Изменения последних трёх тяжелых металлов оказались статистически не существенными ($F_{\phi} < F_{05}$). Средневзвешенное содержание ртути в пахотных почвах региона за 2004-2020 гг. практически не изменилось.

Если отразить фактическое содержание тяжелых металлов в 2020 г. в почвах пашни Предволжья в долях от соответствующих ПДК, то изученные нами ТМ можно расположить в следующий возрастающий ряд: ртуть (0,009 ПДК) < кадмий (0,115 ПДК) < свинец (0,272 ПДК) < медь (0,280 ПДК) < цинк (0,339 ПДК). Другими словами, для пахотных почв исследуемого региона приоритетным загрязняющим веществом среди ТМ предстает цинк, а степень загрязнения почв ртутью можно считать наименьшей [Зарипов, Лукманов, Гилязов, 2026].

В табл. 23 представлены материалы, иллюстрирующие зависимость содержания тяжелых металлов от агрохимических факторов интенсификации земледелия (насыщенность пашни минеральными и органическими удобрениями, доля ежегодного известкования от общей площади кислых почв, объемы фосфоритования).

Таблица 23 - Коэффициенты парной корреляции валового содержания тяжелых металлов от уровня применения агрохимикатов в муниципальных районах

Предволжья РТ

Элементы	Насыщенность пашни минеральными удобрениями, кг д. в./га	Насыщенность пашни органическими удобрениями, кг т/га	Доля ежегодного известкования от общей площади кислых почв	Общая площадь фосфоритования, тыс. га
Медь	-0,32*	0,07	0,15	-0,26
Цинк	-0,14	0,38*	0,21	-0,32*
Свинец	-0,16	0,51**	0,16	-0,13
Ртуть	-0,26	-0,38*	0,19	-0,61**
Кадмий	-0,14	0,40*	-0,04	-0,18

Прим.: * - по шкале Чеддока слабая корреляция ($r=0,31-0,50$); ** - средняя корреляция ($r=0,51-0,70$).

Нами сделана попытка определить зависимость средневзвешенного содержания в пахотном слое почв тяжелых металлов в 2004 году от уровня применения агрохимикатов в 1965-2000 гг., а содержания ТМ в 2020 г. от уровня применения агрохимикатов в 2001-2020 гг. в соответствующих муниципальных районах Предволжья.

Зависимость концентрации тяжёлых металлов от насыщенности пашни минеральными удобрениями в пахотных почвах заключается в том, что рост применения удобрений не привел к росту средневзвешенного содержания тяжёлых металлов. Наоборот, обнаружилась тенденция снижения концентрации последних по мере увеличения применения минеральных удобрений, хотя статистически значимым оно было только в отношении меди ($r=-0,32$) [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2024]. Возможно, это связано с миграцией тяжелых

металлов в подпахотные горизонты почв в результате перехода части валового содержания ТМ в подвижное состояние под влиянием минеральных удобрений. Аналогичные явления были обнаружены рядом исследователей [<https://milk-industry.ru/praktikum-po-agrohimii/4082-migraciya-tyazhelyh-metallov-v-pochve.html>, Овчаренко М.М. и др., 1997].

Увеличение насыщенности пашни органическими удобрениями сопровождалось, как правило, повышением валового содержания тяжёлых металлов в пахотных почвах, за исключением ртути. Правда повышение содержания меди под влиянием органических удобрений было статистически не существенным. Теснота корреляции средневзвешенного содержания цинка и кадмия от уровня применения органических удобрений оценивается как умеренная ($r=0,38 \div 0,40$), а свинца – заметная ($r=0,51$). Можно предположить, что органические вещества удобрений связывая цинк, кадмий и свинец в менее растворимые соединения содействовали их накоплению в пахотном слое почв.

Характер влияния интенсивности известкования на валовое содержание тяжёлых металлов оказался аналогичным эффекту от применения органических удобрений. Исключение составил кадмий. При этом само влияние известкования на средневзвешенное содержание большинства токсикантов было направлено на их аккумуляцию в почве, однако теснота этой связи характеризовалась как статистически очень слабая ($r<0,30$).

Объем выборки для оценки влияния фосфоритования на средневзвешенное содержание тяжёлых металлов оказался небольшим в связи с тем, что данный агрохимический прием проводился только в 1971-2000 гг. Нами сделана попытка оценить действие объемов фосфоритования за указанный период на содержание тяжёлых металлов в пахотном слое почв муниципальных районов в 2004 г. Действие фосфоритования на валовое содержание тяжёлых металлов оказалось аналогичным действию минеральных удобрений: обнаружилась тенденция уменьшения содержания ТМ, хотя статистически значимым оказалось уменьшение лишь цинка ($r=-0,32$) и ртути ($r=-0,61$). Другими словами, применение повышенных доз фосфоритной муки в течение 30 лет не привело к

повышению валового содержания тяжелых металлов. Как известно, фосфоритная мука, получаемая путем простого размолла фосфоритов и используемая для фосфоритования низкоплодородных почв в больших дозах, может содержать значительное количество тяжелых металлов и нередко рассматривается как вероятный источник загрязнения почв [Торикова, 1999].

Таким образом, содержание всех изученных тяжелых металлов в пахотных почвах Предволжья республики ниже ПДК. Минимальная степень загрязнения почв пашни региона, если оценить уровень содержания тяжелых металлов в долях ПДК, характерна для ртути (0,009 ПДК), а максимальная – для цинка (0,339 ПДК). В пахотных почвах Предволжья за период 2004-2022 гг. произошло статистически достоверное уменьшение содержания валового цинка, обнаруженная тенденция снижения содержания меди, свинца и кадмия оказалась статистически не существенной, а содержание ртути практически не изменилось [Зарипов, Лукманов, Гилязов, 2026]. Зависимость валового содержания большинства тяжелых металлов от уровня применения минеральных удобрений и объемов фосфоритования была отрицательной. При этом статистически значимая корреляция ($r > 0,30$) выявлена только для отдельных элементов: содержание меди отрицательно коррелировало с насыщенностью пашни минеральными удобрениями, а содержание цинка и ртути находилось в обратной зависимости от масштабов внесения фосфоритной муки.

Повышение уровня применения органических и известковых удобрений сопровождалось увеличением валового содержания тяжёлых металлов (за исключением ртути), однако статистически значимые изменения ($r > 0,30$) произошли только от органических удобрений. Под влиянием последних средневзвешенное содержание ртути снизилось ($r = -0,38$).

3.5 Зависимость урожайности зерновых культур от почвенно-агрохимических показателей пахотных земель, уровня применения агрохимикатов и агрометеорологических условий

3.5.1 Динамика урожайности зерновых культур за годы наблюдений

Благосостояние населения и продовольственная безопасность страны в значительной мере определяется уровнем производства зерна. Зерно, являясь ценным, незаменимым продуктом, покрывает значительную часть потребности человека в углеводах и белках. «Однако зерно это не только хлеб и крупа – важнейшие пищи для человека, но и корм для скота и птицы, а следовательно, источник производства молока, мяса, яиц и других продуктов. Зерно, как концентрированный корм, имеет ряд преимуществ по сравнению с другими кормами: оно высоко питательно, процесс его приготовления легко поддается механизации и автоматизации и поэтому затраты труда на подготовку и раздачу зернофуража в несколько раз меньше, чем на другие корма» [https://zinref.ru/000_uchebniki/02800_logika/011_lekcii_raznie_57/2223].

С экономической точки зрения зерно обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с другой сельскохозяйственной продукцией. Благодаря низкой влажности (не более 18%) затраты на транспортировку и хранение единицы продукции минимальны. Естественная убыль массы при хранении не превышает 2% в год, что обеспечивает стабильность товарных запасов. Это обуславливают широкое использование зерна для формирования государственных резервов продовольствия [https://zinref.ru/000_uchebniki/02800_logika/011_lekcii_raznie_57/2223].

«Производство зерна составляет основу агропромышленного комплекса Российской Федерации и является наиболее крупной подотраслью сельского хозяйства, от развития которой в значительной степени зависит продовольственная безопасность страны, обеспеченность населения продуктами питания и его уровень жизни, финансовое состояние сельскохозяйственных

товаропроизводителей» [<https://agrovesti.net/lib/industries/cereals/dolgosrochnaya-strategiya-razvitiya-zernovogo-kompleksa-rossijskoj-federatsii-do-2035-goda.html>].

В нашей стране за последние пять лет производство зерна варьировало в пределах от 121,2 млн. т. (2019 г.) до 157,7 млн. т. (2022 г.). Из общего количества зерна примерно 61-66 % приходится на долю озимой и яровой пшеницы [<https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/39543-zernovoy-rynok-stanovitsya-vse-depressivnee-itogi-pervoy-poloviny-sezona-2022-23/>; <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/40568-rekordnyy-val-ekonomicheskij-proval-bolshoy-proshlo-godniy-sbor-sokratil-entuziazm-agrariyev-po-vyrashch/>].

В соответствии с положениями Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации «пороговое значение удельного веса зерна отечественного производства в общем объеме ресурсов зерна внутреннего рынка должно составлять не менее 95 процентов» [<https://agrovesti.net/lib/industries/cereals/dolgosrochnaya-strategiya-razvitiya-zernovogo-kompleksa-rossijskoj-federatsii-do-2035-goda.html>].

Для Республики Татарстан ключевой проблемой развития сельского хозяйства также была и остается увеличение производства зерна, как за счет повышения урожайности, так и сохранения или расширения посевных площадей. В Республике Татарстан зерновые и зернобобовые культуры в конце 80-х годов прошлого века занимали 54,9 % пашни, а в Предволжье республики удельный вес зерновых и зернобобовых культур был ещё более высоким - 56,9 % к пашне [Система ведения отраслей..., 1992].

В начале второго десятилетия XXI века «зерновые и зернобобовые в структуре посевных площадей республики занимали в среднем 48-50 %. Внутри зернового клина примерно 28-30 % приходится на долю озимой и яровую пшеницы, ярового ячменя – 12-13%, озимой ржи – 6 %, а доля овса и зернобобовых по 2 %» [Система земледелия..., 2013, 2014]. Сокращение доли зерновых и зернобобовых в Республике Татарстан в основном произошло за счет уменьшения площадей озимой ржи и гороха.

В Предволжье РТ сегмент зерновых и зернобобовых культур остается более высоким, чем в целом по республике. Так, в Буинском муниципальном районе с типичной для Предволжья структурой посевных площадей, зерновые и зернобобовые (без кукурузы) в последние годы занимают 56,5 %, а вместе с кукурузой на зерно – 57,8 % от общей площади пашни. Среди них наибольшую площадь занимает пшеница, на долю озимых и яровых форм которой в сумме приходится около 35-36 % пашни (соотношение между яровой и озимой пшеницей примерно 1:1). Около 12-13 % пашни отводится яровому ячменю. Доля прочих зерновых культур (овес, озимая рожь) составляет 2–3 %, а зернобобовых (горох, вика) – 4–5 % [Лукманов, 2021].

Динамика средней урожайности зерновых культур в Предволжье Республики Татарстан за 55-летний период наблюдений представлена на рис. 18 в разрезе циклов агрохимического обследования почв.

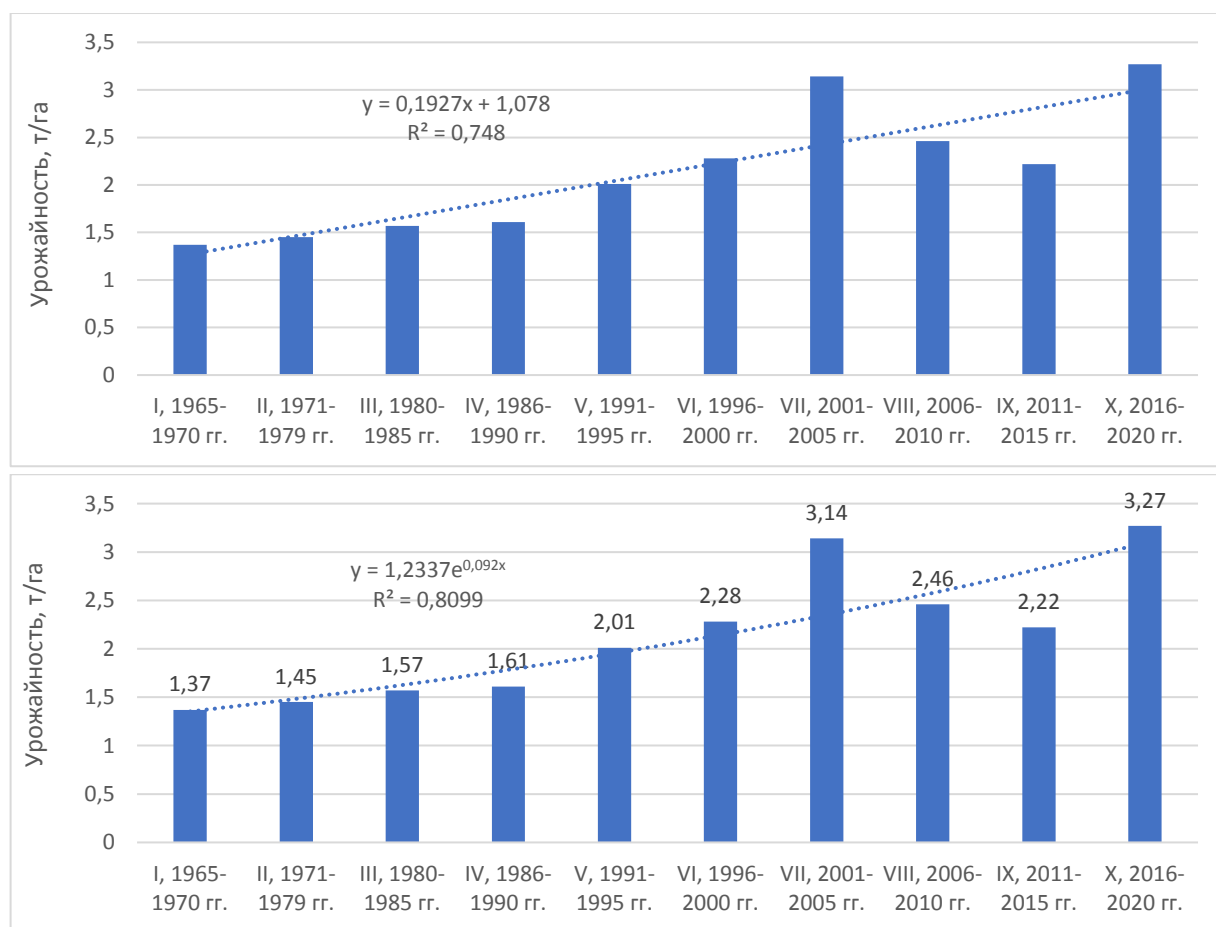


Рис. 18 - Динамика урожайности зерновых культур в Предволжье РТ по циклам агрохимических обследований почв

В годы первого цикла агрохимического обследования почв региона средняя урожайность зерновых культур составила 1,37 т/га. В течение последующих 35 лет (1971-2005 гг.) происходил постепенный рост урожайности. Особенно большими темпами урожайность росла за период между V-VII циклами обследования. Так, если за 1971-1990 гг. прирост урожайности составил лишь 0,24 т/га, то за последующие 15 лет (1991-2005 гг.) – 1,53 т/га, то есть более чем в 6 раз больше, чем за предыдущие 20 лет.

К сожалению, в течение последующих 10 лет (2006-2015 гг.) произошел весьма существенный откат назад: средняя урожайность снизилась с 3,14 до 2,22 т/га, что, в определенной мере произошло из-за неблагоприятных погодных условий, в частности чрезвычайной засухи 2010 г. и её последствий [Система земледелия..., 2013; Гилязов, Лукманов, Муратов, 2016]. Нестабильность и большую зависимость урожайности от складывающихся погодноклиматических условий демонстрировали урожайные данные за годы последнего тура агрохимического обследования (2016-2020 гг.), когда складывались достаточно благоприятные агрометеорологические условия во время вегетационного периода и средняя урожайность зерновых достигла максимального уровня (3,27 т/га).

Материалы рис. 18 иллюстрируют наличие положительной корреляции средней урожайности зерновых от временного фактора. Коэффициент детерминации (R^2) урожайности от временного фактора в случае отображения этой зависимости линейным уравнением составил 0,748. Ещё более тесной оказалась эта корреляция при использовании для описания этой зависимости экспоненциальной модели ($R^2=0,8099$). Это означает, что 81 % вариации средней урожайности по циклам агрохимического обследования почв обуславливались временным фактором.

Вариабельность средней урожайности зерновых культур по циклам агрохимических обследований в отдельных муниципальных районах Предволжья РТ за весь период наблюдений показана в табл. 24 и прил. 7. Динамика средней урожайности зерновых культур в муниципальных районах

Предволжья схожа с региональными показателями. Наблюдаемый временной ряд распадается на три фазы: устойчивый рост показателей от I до VII тура обследований, который в дальнейшем сменился на спад в течение двух туров обследования и, наконец, последний срок наблюдения зафиксировал существенный рост урожайности. Причем, за исключением трёх районов (Буинский, Верхнеуслонский, Дрожжановский), среднегодовые урожайности за 2016-2020 гг. оказались максимальными.

Таблица 24 - Вариабельность средней урожайности зерновых культур по циклам агрохимических обследований и среднегодовые темпы роста урожайности в муниципальных районах Предволжья РТ в 1965-2020 гг.

Lim (размах, т/га)	M ± m (среднее арифметическое с ошибкой, т/га)	V (коэффициент вариации, %)	Темпы роста урожайности, кг/год
Апастовский муниципальный район			
1,20÷3,08	2,175±0,231	33,6	34,2
Буинский муниципальный район			
1,85÷4,50	2,758±0,283	32,5	36,7
Верхнеуслонский муниципальный район			
0,98÷2,88	1,695±0,208	38,8	30,5
Дрожжановский муниципальный район			
1,46÷3,77	2,260±0,248	34,8	32,4
Зеленодольский муниципальный район			
1,20÷3,23	2,098±0,208	31,4	36,9
Кайбицкий муниципальный район			
1,35÷2,83	2,017±0,182	28,5	26,9
Камско-Устьинский муниципальный район			
1,37÷2,86	1,923±0,171	28,1	27,1
Тетюшский муниципальный район			
1,57÷4,38	2,183±0,265	38,4	51,1

Во всех муниципальных районах зависимость средней урожайности от временного фактора положительный и теснота линейной корреляции достаточно высокая: коэффициенты детерминации (R^2) урожайности от временного фактора варьировали в пределах от 0,5527 (Буинский район) до 0,9025 (Апастовский район). Вместе с тем в динамике урожайности отдельных муниципальных районов обнаружилось некоторые различия и, прежде всего, в темпах роста урожайности. Среднегодовой прирост урожайности зерновых за 55 лет в муниципальных районах Предволжья колебался от 26,9 до 51,1 кг зерна. Безусловным лидером по данному показателю оказался Тетюшский муниципальный район. Район примечателен и тем, что здесь в 2006-2015 гг. снижение урожайности был небольшим (0,26 т/га), а рост урожайности за годы последнего цикла агрохимического обследования (2016-2020 гг.) – максимальным (2,09 т/га). Линия тренда показывает, что рекордный среднегодовой прирост урожайности зерновых культур в этом районе главным образом обеспечился за счет ускоренных темпов роста урожайности за последние 20 лет.

Минимальные размеры ежегодного роста урожайности (26,9-27,1 кг/год) демонстрировали Кайбицкий и Камско-Устьинский муниципальные районы. В остальных районах ежегодные приросты урожайности зерновых культур колебались в пределах от 30,5 до 36,9 кг. Следует отметить, что при расчете среднегодовых приростов урожайности были использованы урожайные данные в первом и последнем турах агрохимического обследования. В трёх районах, как отмечалось выше, средние урожаи в годы последнего тура обследования были не максимальными, и не совпадали с размахом (Lim), приведенным в табл. 24.

Коэффициенты вариации средней урожайности по циклам агрохимических обследований в муниципальных районах колебались в пределах от 28,1 до 38,8 % и иллюстрируют относительные размеры прироста урожая в процентах, но не всегда согласуются с абсолютными показателями прироста урожайности в кг/год.

Средняя урожайность зерновых за весь период наблюдений (1965-2020 гг.) по муниципальным районам исследуемого региона существенно варьировала. Минимальная урожайность (1,70 т/га), зафиксированная в Верхнеуслонском районе, в 1,62 раза меньше максимальной средней урожайности (2,76 т/га) по Буинскому району. Остальные районы по средней урожайности условно можно разделить на две группы: первая - Камско-Устьинский, Кайбицкий, Зеленодольский районы с урожайностью 1,92-2,10 т/га и вторая – Апастовский, Тетюшский, Дрожжановский районы, где средняя урожайность составила 2,18-2,26 т/га.

Таким образом, обнаружилась статистически значимая положительная линейная зависимость средней урожайности зерновых культур по циклам агрохимических обследований почв Предволжья республики от временного фактора ($R^2=0,748$), то есть постепенный рост урожайности за последние 55 лет (1965-2020 гг.), хотя и с определенными колебаниями. Особенно большими темпами урожайность росла за период между V-VII циклами обследования (1991-2005 гг.). Средняя урожайность по региону за годы последнего цикла обследования (2016-2020 гг.) составила 3,27 т/га, что примерно в 2,4 раза выше показателя начального периода наблюдения (1965-1970 гг.).

Муниципальные районы исследуемого региона существенно различались по средней урожайности зерновых за все годы наблюдений: наибольшая урожайность (2,76 т/га, Буинский район) оказалась в 1,62 раза больше наименьшей урожайности (1,70 т/га, Верхнеуслонский район). Среднегодовой прирост урожайности зерновых за 55 лет в муниципальных районах Предволжья колебался от 26,9 (Кайбицкий район) до 51,1 кг зерна (Тетюшский район) при среднерегиональном показателе около 35 кг/га.

При таких среднегодовых темпах прироста зерна ожидаемая урожайность в 2030 г. в исследуемом регионе Республики Татарстан может составить примерно 3,62 ($3,27+10*0,035$) т/га с колебаниями по муниципальным районам от 3,01 до 4,73 т/га.

3.5.2 Парная корреляция урожайности зерновых культур от уровня применения агрохимикатов

В современной агрономической науке доказано, что в текущих производственных условиях доля вклада минеральных удобрений в формирование урожайности достигает 50%, это объясняет их ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности любого государства [Jenkinson, Smith, 1989; Кидин, Торшин, 2016; Осипов, 2022; Ягодин и др., 2023].

Каково же влияние длительного применения агрохимикатов на урожайность зерновых культур в условиях Предволжья республики?

В качестве критериев уровня применения агрохимикатов нами использованы следующие показатели: насыщенность пашни минеральными и органическими удобрениями по циклам агрохимических обследований почв; среднегодовые объемы известкования, выраженные в гектарах и долях от общей площади кислых почв по циклам агрохимического обследования, суммарная площадь фосфоритования в течение 30 лет (1971-2000 гг.).

В табл. 25 и прил. 8-11 собраны результаты парной корреляции данных, иллюстрирующих характер зависимости урожайности зерновых культур от уровня применения агрохимикатов. В зависимости от подходов к обобщению исходных данных: в целом по региону (*временной ряд* - переменные в целом по региону по циклам агрохимических обследований почв) или по отдельным муниципальным районам (*пространственный ряд* - переменные по отдельным муниципальным районам в целом за весь период наблюдений), за все циклы агрохимического обследования или только часть циклов и т. д., направленность линии тренда и величины коэффициентов парной корреляции существенно различались.

Зависимость урожайности зерновых культур от насыщенности пашни **минеральными удобрениями** демонстрируется данными прил. 8а, 8б. В прил. 8а показаны средние урожайности зерновых культур по десяти циклам агрохимического обследования почв в целом по исследуемому региону.

**Таблица 25 - Характер корреляции урожайности зерновых культур в
Предволжье РТ от уровня применения агрохимикатов**

Переменные		Уравнение линейной регрессии
уровень применения агрохимикатов (x)	средняя урожайность зерновых, т/га (y)	Коэффициент корреляции (r)
Временной ряд (переменные в целом по региону по циклам агрохимических обследований почв)		
Насыщенность пашни минеральными удобрениями в 1965-2020 гг. по региону, кг д. в./га	Урожайность в 1965-2020 гг. по региону	$y = 0,0083x + 1,6024$ 0,34*
Насыщенность пашни минеральными удобрениями в 1965-1995 гг. по региону, кг д. в./га	Урожайность в 1965-1995 гг. по региону	$y = 0,0058x + 1,2465$ 0,92****
Насыщенность пашни минеральными удобрениями в 1996-2020 гг. по региону, кг д. в./га	Урожайность в 1996-2020 гг. по региону	$y = 0,0144x + 1,7096$ 0,28
Насыщенность пашни органическими удобрениями в 1965-2020 гг. по региону, т/га	Урожайность в 1965-2020 гг. по региону	$y = -0,1633x + 2,633$ -0,40*
Насыщенность пашни органическими удобрениями в 1965-1995 гг. по региону, т/га	Урожайность в 1965-1995 гг. по региону	$y = 0,0856x + 1,271$ 0,41*
Насыщенность пашни органическими удобрениями в 1996-2020 гг. по региону, т/га	Урожайность в 1996-2020 гг. по региону	$y = -0,0127x + 2,6523$ -0,02
Среднегодовое известкование в 1965-2020 гг. по региону, тыс. га	Урожайность в 1965-2020 гг. по региону	$y = -0,0052x + 2,3697$ -0,19
Доля среднегодового известкования от общей площади кислых почв в 1965-2020 гг. по региону	Урожайность в 1965-2020 гг. по региону	$y = -0,3739x + 2,1962$ -0,04
Фосфоритование по циклам обследования в 1965-2000 гг. по региону, тыс. га	Урожайность в 1965-2000 гг. по региону	$y = 0,0046x + 1,5815$ 0,36*
Пространственный ряд (переменные по отдельным муниципальным районам в целом за весь период наблюдений)		
Насыщенность пашни минеральными удобрениями в 1965-2020 гг. по муниципальным районам, кг д. в./га	Урожайность в 1965-2020 гг. по районам	$y = 0,024x + 0,5161$ 0,65**
Насыщенность пашни органическими удобрениями в 1965-2020 гг. по муниципальным районам, т/га	Урожайность в 1965-2020 гг. по районам	$y = -0,0085x + 2,1646$ -0,02
Общая площадь известкования в 1965-2020 гг. по муниципальным районам, тыс. га	Урожайность в 1965-2020 гг. по районам	$y = 0,0045x + 1,0291$ 0,84****
Доля среднегодового известкования от общей площади кислых почв в 1965-2020 гг. по муниципальным районам	Урожайность в 1965-2020 гг. по районам	$y = -5,129x + 2,8157$ -0,54**
Общая площадь фосфоритования в 1971-2000 гг. по муниципальным районам, тыс. га	Урожайность в 1965-2020 гг. по районам	$y = 0,0161x + 1,7911$ 0,50*

Прим.: * - по шкале Чеддока слабая корреляция (r=0,31-0,50); ** - средняя корреляция (r=0,51-0,70);
*** - сильная корреляция (r=0,71-0,90); **** - очень сильная корреляция (r=0,91-1,00).

Линия тренда зависимости урожайности от уровня применения минеральных удобрений показывает, что между этими переменными существует положительная линейная зависимость. Однако, судя по величине коэффициента детерминации ($R^2=0,1134$), корреляция средней урожайности зерновых культур по циклам агрохимического обследования почв от уровня применения минеральных удобрений по региону за весь период наблюдений оказалась слабой. Если рассматривать зависимость урожайности от уровня применения удобрений разделив весь период наблюдений на две части, то вырисовывается несколько иная картина [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

В течение первых 30 лет (1965-1995 гг., I-V циклы обследования) между этими переменными наблюдалась очень тесная положительная корреляция ($R^2=0,8522$), а в течение последующих VI-X циклов (1996-2020 гг.) положительная корреляция урожайности от уровня применения минеральных удобрений стала статистически несущественной ($R^2=0,0769$). Обнаруженное явление, возможно, обуславливается разными причинами. Например, тем, что в первое время уровень применения минеральных удобрений рос стабильно и за указанный период вырос с 13,8 до 119,6 кг д. в./га, то есть почти в 9 раз, а во второй период насыщенность пашни колебалась в незначительном диапазоне (59,8-77,1 кг д. в./га) и на урожайность более заметное влияние, возможно, оказали изменившиеся системы защиты растений от вредителей, болезней и сорняков, факторы биологизации земледелия, использованные для поддержания плодородия почвы, которые, увы, остались за пределами наших наблюдений.

В случае сравнения средней урожайности зерновых за все 10 циклов агрохимического обследования почв (1965-2020 гг.) с средней насыщенностью пашни муниципального района минеральными удобрениями за тот же период (пространственный ряд), корреляция урожайности зерновых от насыщенности пашни муниципальных районов минеральными удобрениями оказалась достаточно тесной (прил. 8б). При коэффициенте детерминации $R^2=0,4254$ величина коэффициента корреляции (r) между урожайностью зерновых культур и насыщенностью пашни минеральными удобрениями составляет 0,65 (средняя

степень тесноты). На наш взгляд, данная оценка тесноты корреляции урожайности от уровня применения минеральных удобрений является более объективной, ибо обобщая данные по отдельным муниципальным районам в определенной мере удастся элиминировать влияние на урожайность неучтенных нами факторов – появление новых сортов, более эффективных приемов защиты растений от вредителей, болезней и сорняков; внедрение прогрессивных систем обработки почвы и приемов биологизации земледелия, которые за 55 лет наблюдений, безусловно, существенно изменились. В случае же обобщения данных по циклам агрохимических обследований в целом по региону, указанные выше неучтенные нами факторы воздействия на урожайность могли существенно завуалировать влияние минеральных удобрений, да и других агрохимикатов.

Особенности влияния на урожайность зерновых культур уровня применения *органических удобрений* демонстрируются графиками прил. 9а, 9б. Прил. 9а содержит сгруппированные по муниципальным районам средние показатели урожайности зерновых культур и уровни применения органических удобрений, зафиксированные в ходе десяти последовательных туров агрохимического обследования почв. Эти переменные сильно варьировали: уровень применения органических удобрений от 0,2 до 8,2 т/га, а урожайность зерновых – от 0,98 до 4,50 т/га. Теснота и характер зависимости урожайности от насыщенности пашни органическими удобрениями в зависимости от продолжительности наблюдений заметно различались.

При анализе всего массива данных за десять циклов агрохимических обследований (1965-2020 гг.) парная линейная корреляция между этими показателями оказалась отрицательной, а теснота корреляции – умеренной ($R^2=0,1564$, $r=-0,39$). Примерно аналогичная зависимость между урожайностью большинства сельскохозяйственных культур (за исключением кормовых корнеплодов) и уровнем применения органических удобрений была обнаружена и в условиях Предкамья республики [Гилязов, Лукманов, Муратов, 2016]. Данные факты противоречат результатам многочисленных полевых

экспериментов, которые убедительно показали положительное влияние органических удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур [Васильев, Филиппова, 1988; Попов, 1997; Мёрзлая, 2015 и др.].

Картина кардинально изменяется в случае селективного анализа данных разделив их на две части (по пять циклов агрохимического обследования почв). Действие органических удобрений на урожайность зерновых культур в течение первых пяти циклов агрохимического обследования (1965-1995 гг.) было положительным и теснота корреляции заметной ($R^2=0,1718$, $r=0,41$). Однако статистическая обработка данных по урожайности и насыщенности пашни органическими удобрениями в течение последующих пяти циклов агрохимического обследования (1996-2020 гг.) не выявила наличие значимой зависимости между этими переменными ($R^2=0,0004$).

Величина коэффициента детерминации ($R^2=0,0003$) средней урожайности зерновых культур от уровня применения органических удобрений в отдельных муниципальных районах за весь срок наблюдений (1965-2020 гг.) также иллюстрировала отсутствие значимой корреляции между этими переменными (прил. 9б).

Резюмируя неоднозначные результаты влияния уровня применения органических удобрений на урожайность зерновых культур (разнонаправленность линии тренда, варьирование коэффициентов детерминации от 0,0003 до 0,1718) мы склонны считать, что в условиях Предволжья применение органических удобрений не оказало статистически значимого прямого влияния на урожайность зерновых культур. Данный факт объясняется следующими причинами. Во-первых, органические удобрения вносятся исключительно под озимые культуры (пшеницу и рожь), тогда как яровой клин остается вне зоны их воздействия; во-вторых, общий уровень внесения органики в регионе характеризуется как критически низкий; в-третьих, разнонаправленная динамика применения органических и минеральных средств за исследуемый период затрудняет математическое разделение вклада каждого фактора в конечный результат. Дело в том, что резкий рост применения

минеральных удобрений, ставший существенной причиной подъема урожайности, сопровождался заметным уменьшением применения органических удобрений. Именно это обстоятельство, на наш взгляд, создает иллюзию отсутствия положительного или наличия негативного влияния органических удобрений на урожайность зерновых культур, которая особенно сильно росла в годы интенсивного применения минеральных удобрений.

Неоднозначной оказалась зависимость урожайности зерновых культур и от уровня применения *известковых удобрений*, используемых, как известно, для нейтрализации избыточной кислотности почв. В прил. 10а иллюстрируется зависимость средней урожайности зерновых культур от двух показателей, характеризующих интенсивность известкования кислых почв в абсолютных и относительных величинах: среднегодовые объемы известкования, выраженные в гектарах и долях от общей площади кислых почв по десяти циклам агрохимического обследования в 1965-2020 гг. Судя по величине коэффициента детерминации ($R^2=0,0015\div0,0378$), корреляция средней урожайности зерновых культур от среднегодовых объемов известкования кислых почв, независимо от единицы измерения (в долях или тыс. га), оказалась недостоверной [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

Противоречивыми оказались результаты статистической обработки данных, обобщенных в разрезе муниципальных районов исследуемого региона (прил. 10б). Здесь представлены усредненные величины урожайности и объемов известкования за весь период наблюдений (1965-2020 гг.) по отдельным районам Предволжья РТ. Интенсивность известкования оценена также в двух измерениях: общим объемом (тыс. га) известкования и долей среднегодового известкования от общей площади кислых почв муниципальных районов за 55 лет наблюдений.

С одной стороны, если судить по направленности линии тренда и величине коэффициента детерминации, то есть основание говорить о наличии тесной положительной корреляции средней урожайности зерновых культур от общей площади ежегодно известкуемых почв в отдельно взятых муниципальных

районах ($R^2=0,7023$). Однако оценить интенсивность известкования в отдельных муниципальных районах по общей площади ежегодно известкуемых почв, на наш взгляд, будет опрометчивым, так как муниципальные районы между собой сильно различаются, как по общей площади пашни, так и по площадям кислых почв. В этих условиях, безусловно, более объективным представляется оценка влияния интенсивности известкования на урожайность зерновых культур по второму показателю – долями среднегодовых объемов известкования от общих площадей кислых почв района. Увы, непосредственное положительное влияние известкования на урожайность зерновых культур в условиях исследуемых районов нам установить не удалось. Попутно отметим, что в Республике Татарстан ранее [Гилязов, Лукманов, Муратов, 2016] позитивное воздействие известкования на урожайность ряда зерновых культур было установлено в условиях Предкамья РТ (Балтасинский м.р.), где коэффициенты парной корреляции оказались статистически значимыми и колебались от 0,33-0,38 (овес, ячмень, горох) до 0,45-0,55 (яровая и озимой пшеница). Можно предположить, что отсутствие прямого (непосредственного) положительного влияния известкования на урожайность в условиях Предволжья РТ в какой-то мере обуславливалось сильной неоднородностью почвенного покрова отдельных муниципальных районов исследуемого региона, в то время как в пределах одного муниципального района (Балтасинский район Предкамья) этот фактор элиминировался. Отсутствие прямого (непосредственного) положительного влияния известкования на урожайность зерновых культур в условиях Предволжья ни в коем случае не указывает на ненужность известкования, так как главной целью этого мелиоративного приема является устранение избыточной кислотности, и, как было уже отмечено, именно известкование стало главным фактором, оказавшим существенное влияние на снижение доли кислых почв нашего пашни ($r=-0,87$).

Характер влияния **фосфоритования** на урожайность зерновых культур демонстрируется материалами прил. 11а, 11б. Как уже было отмечено, данный агрохимический прием проводился в 1971-2000 гг. и в общей сложности в

регионе было фосфоритовано 173,3 тыс. га низкоплодородных земель. На рис. 30 показана зависимость средней урожайности зерновых культур в 1965-2000 гг. от объемов фосфоритования в регионе за те же годы.

Линия тренда иллюстрирует наличие положительной зависимости между этими переменными, хотя теснота корреляции, судя по величине коэффициента детерминации ($R^2=0,1268$), оказалась достаточно скромной. На наш взгляд, данная зависимость иллюстрирует силу действия фосфоритования на текущую урожайность зерновых культур.

Фосфоритование является приемом пролонгированного действия, в связи с этим нами сделана попытка оценить не только действие, но и длительное его последствие на урожайность зерновых культур.

В прил. 11б приведена зависимость средней урожайности зерновых культур в муниципальных районах региона за весь период наблюдений (1965-2020 гг.), то есть не только за годы фосфоритования, но и за 20 лет после прекращения фосфоритования, от объемов фосфоритования в I-VI циклах агрохимического обследования (1971-2000 гг.) [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025]. В этом случае теснота корреляции урожайности зерновых культур в отдельных муниципальных районах исследуемого региона от фосфоритования оказалась заметно выше ($R^2=0,2486$), чем в случае учета урожая только за годы непосредственного внесения фосфоритной муки ($R^2=0,1268$). Данное обстоятельство, на наш взгляд, позволяет утверждать, что фосфоритование низкоплодородных почв исследуемого региона явилось важным агрохимическим приемом длительного положительного воздействия на продуктивность сельскохозяйственных культур.

Таким образом, в самих общих чертах можно указать, что среди изученных агрохимикатов непосредственное заметное положительное влияние на урожайность зерновых культур по региону (временной ряд) оказали лишь минеральные удобрения, особенно в течение первых пяти циклов агрохимического обследования почв (1965-1995 гг.), и фосфоритование. Коэффициент парной корреляции между урожайностью зерновых культур и

насыщенностью пашни Предволжья РТ минеральными удобрениями показал высокую степень тесноты связи для периода 1965–1995 гг. ($r=0,92$). Однако включение в расчет последующих 25 лет наблюдений (до 2020 г.) привело к резкому падению коэффициента корреляции до уровня слабой статистической взаимосвязи ($r=0,34$).

Теснота корреляции урожайности от уровня применения агрохимикатов, как правило, оказывалась несколько выше в случае обобщения исходных данных в разрезе муниципальных районов (пространственный ряд) за весь период наблюдений, нежели по циклам агрохимических обследований в целом по региону (временной ряд). Например, если коэффициент корреляции урожайности (r) от насыщенности минеральными удобрениями за все годы наблюдений при обобщениях данных в целом по региону по циклам агрохимических обследований составил 0,34, то в случае обобщения данных по муниципальным районам за весь период наблюдений – 0,65 [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025]. При учете последствий фосфоритования, что достигалось анализом урожайности в течение последующих 20 лет после прекращения фосфоритования, установлено, что теснота связи между урожайностью зерновых культур и уровнем фосфоритования выше при анализе всего ряда наблюдений ($r=0,50$), чем при рассмотрении исключительно периодов непосредственного внесения мелиоранта до 2000 года ($r=0,36$).

3.5.3 Парная корреляция урожайности зерновых культур от почвенно-агрохимических параметров пашни

Фундаментальные агрохимические свойства почв служат основой их плодородия и определяют продукционный потенциал культур. Рассмотрим статистический анализ зависимости урожайности зерновых в исследуемом регионе от ключевых параметров мониторинга агрохимической службы: содержание гумусовых веществ, подвижных форм фосфора и калия, кислотно-основные свойства (табл. 26, прил. 12-15).

**Таблица 26 - Характер корреляции урожайности зерновых культур в
Предволжье РТ от содержания гумуса, подвижных форм фосфора, калия и
кислотности почв пашни**

Переменные		Уравнение линейной регрессии Коэффициент корреляции (r)
агрохимические показатели почвы (x)	средняя урожайность зерновых, т/га (y)	
Временной ряд (переменные в целом по региону по циклам агрохимических обследований почв)		
Содержание гумуса по циклам агрохимических обследований в 1986-2020 гг. по региону, %	Урожайность в 1986-2020 гг. по региону	$y = -0,4676x + 4,61$ -0,11
Доля кислых почв в пашне по циклам агрохимических обследований в 1965-2020 гг. по региону	Урожайность в 1965-2020 гг. по региону	$y = -0,0594x + 5,2279$ -0,66**
Содержание подвижных форм фосфора по циклам агрохимических обследований в 1965-2020 гг. по региону, мг/кг	Урожайность в 1965-2020 гг. по региону	$y = 0,0199x - 0,4996$ 0,65**
Содержание подвижных форм калия в почвах по циклам агрохимических обследований в 1965-2020 гг. по региону, мг/кг	Урожайность в 1965-2020 гг. по региону	$y = 0,0373x - 3,2896$ 0,71***
Пространственный ряд (переменные по отдельным муниципальным районам в целом за весь период наблюдений)		
Содержание гумуса в почвах муниципальных районов по состоянию на 01.01.2022 г., %	Урожайность в 1965-2020 гг. по районам	$y = 0,1202x + 1,6054$ 0,66**
Содержание подвижных форм фосфора в почвах пашни муниципальных районов в 1965-2020 гг., мг/кг	Урожайность в 1965-2020 гг. по районам	$y = 0,0034x + 1,6963$ 0,14
Содержание подвижных форм калия в почвах пашни муниципальных районов в 1965-2020 гг., мг/кг	Урожайность в 1965-2020 гг. по районам	$y = -0,0121x + 3,8732$ -0,39*

Прим.: * - по шкале Чеддока слабая корреляция ($r=0,31-0,50$); ** - средняя корреляция ($r=0,51-0,70$); *** - сильная корреляция ($r=0,71-0,90$).

Как уже отмечалось, впервые почвы пашни Предволжья на содержание *гумуса* были обследованы в IV цикле агрохимического обследования (1986-1990 гг.). Содержание гумуса в почвах Предволжья по циклам агрохимических обследований в 1986-2020 гг. не оказало значимого влияния на урожайность зерновых культур в целом по Предволжью, о чем свидетельствует величина

коэффициента корреляции ($r=-0,11$) между этими переменными (прил. 12). В то же время, зависимость средней урожайности зерновых культур в муниципальных районах Предволжья за 1965-2020 гг. от содержания гумуса оказалась положительной и статистически достоверной ($r=0,66$).

Данное положение позволяет утверждать, что величина урожайности зерновых культур в муниципальных районах в значительной степени определялось содержанием гумуса, и данная зависимость можно было описать линейным уравнением (3):

$$Y = 0,1202 \cdot x + 1,6054, \quad (3)$$

где Y – средняя урожайность зерновых культур в муниципальном районе, т/га;

x – содержание гумуса в почвах пашни муниципального района, %.

Для оценки степени **кислотности** пахотных почв мы использовали относительный показатель – долю кислых почв в составе пашни, выраженную в процентах (прил. 13). Линия тренда зависимости урожайности зерновых культур в Предволжье по десяти циклам агрохимических обследований (1965-2020 гг.) от доли кислых почв в составе пашни региона показывает наличие заметной отрицательной корреляции ($r=-0,66$), то есть возрастание доли кислых почв в составе пашни приводило к статистически достоверному снижению урожайности.

Зависимость урожайности зерновых культур по циклам агрохимических обследований от доли кислых почв в составе пашни региона описывалась линейным уравнением (4):

$$Y = -0,0594 \cdot x + 5,2279, \quad (4)$$

где Y – урожайность зерновых культур по региону, т/га;

x – доля кислых почв в составе пашни региона, %.

Обеспеченность почв сельскохозяйственных земель доступными формами **фосфора** – один из важных факторов, определяющих уровень продуктивности культурных растений. Зависимость урожайности зерновых культур от

содержания подвижных форм фосфора по циклам агрохимических обследований почв пашни Предволжья РТ (1965-2020 гг.) иллюстрируется линией тренда, представленной в прил. 14. Обнаружилась положительная, вполне заметная (средняя) корреляция ($r=0,65$), величины урожайности зерновых культур по циклам агрохимических обследований почв от средневзвешенного значения подвижных форм фосфора в пахотных почвах региона. Зависимость между этими переменными описывалась линейным уравнением (5):

$$Y = 0,0199 \cdot x - 0,4996, \quad (5)$$

где Y – урожайность зерновых культур по региону, т/га;

x – средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора в почвах пашни региона, мг/кг.

Рассмотрение зависимости средней урожайности зерновых культур от содержания подвижных форм фосфора в почвах в разрезе отдельных муниципальных районов показало, что положительная корреляция сохранилась, однако значимость её статистически не подтвердилась ($r=0,14$). Напомним, что в данном случае сравнивали среднюю урожайность и средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора за весь период наблюдений (1965-2020 гг.).

Весьма существенное влияние на урожайность зерновых культур оказала обеспеченность почв подвижным калием (прил. 15). Зависимость урожайности зерновых культур в Предволжье РТ по циклам агрохимических обследований от средневзвешенного содержания подвижного калия описывалась линейным уравнением (6):

$$Y = 0,0373 \cdot x - 3,2896, \quad (6)$$

где Y – урожайность зерновых культур по региону, т/га;

x – средневзвешенное содержание подвижного калия в почвах пашни региона, мг/кг.

Величина коэффициента корреляции (r) урожайности зерновых культур по циклам агрохимических обследований от содержания подвижного калия по тем же срокам наблюдений равнялась 0,71, что по шкале Чеддока оценивается как сильная степень зависимости.

Совершенная иная картина вырисовывается в случае рассмотрения зависимости средней урожайности зерновых культур от средневзвешенного содержания подвижного калия в разрезе отдельных муниципальных районов за весь период наблюдений (1965-2020 гг.). Зависимость урожайности зерновых культур за весь период наблюдений от содержания подвижного калия оказалась отрицательной по направленности и умеренной по тесноте ($r = -0,38$).

Выборочное определение содержания подвижных форм **микроэлементов** в почвах пашни Предволжья РТ было начато в VI цикле агрохимического обследования (1996-2000 гг.), а полномасштабное обследование впервые было выполнено в последующем цикле. В табл. 27 и прил. 16 представлены материалы, демонстрирующие зависимость средней урожайности зерновых культур в 2001-2020 гг. в муниципальных районах Предволжья от среднего содержания в их пахотных почвах подвижных форм микроэлементов.

Таблица 27 - Характер корреляции средней урожайности зерновых культур в 2001-2020 гг. (y , т/га) от содержания подвижных форм микроэлементов в почвах пашни (x , мг/кг) муниципальных районов Предволжья РТ

Микроэлементы	Уравнение линейной регрессии	Коэффициент корреляции (r)
Бор	$y = -0,1049x + 3,4178$	-0,08
Молибден	$y = 3,4381x + 2,7988$	0,60**
Марганец	$y = -0,0049x + 3,6085$	-0,11
Медь	$y = 0,1129x + 2,9138$	0,27
Цинк	$y = 0,0559x + 3,2487$	0,08
Кобальт	$y = -0,0627x + 3,4433$	-0,06

Прим.: * - по шкале Чеддока слабая корреляция ($r=0,31-0,50$); ** - средняя корреляция ($r=0,51-0,70$).

Средние содержания подвижных форм микроэлементов были получены в результате обобщения данных по состоянию на 2004, 2010, 2015 и 2022 гг. Судя по величине коэффициента детерминации (R^2), подвижные формы микроэлементов, за исключением молибдена, значимого влияния на величину урожая зерновых культур в муниципальных районах не оказывали. Вклад обеспеченности почв подвижными формами микроэлементов (В, Мп, Сп, Zn, Со) в формирование урожая зерновых культур не превышал 1-7 %. Единственным микроэлементом, положительное влияние подвижных форм которого на урожайность зерновых культур оказалось статистически достоверным ($r=0,60$), был молибден.

Таблица 28 - Зависимость урожайности зерновых культур (у, т/га) от валового содержания тяжелых металлов в почвах пашни (х, мг/кг) муниципальных районов Предволжья Республики Татарстан в 2004 и 2020 гг.

Тяжелые металлы	Уравнение линейной регрессии	Коэффициент корреляции (r)*
Медь	$y = 0,0142x + 2,973$	0,07
Цинк	$y = -0,0045x + 3,374$	-0,06
Свинец	$y = 0,0024x + 3,1809$	0,01
Ртуть	$y = -8,4425x + 3,3701$	-0,07
Кадмий	$y = 0,6193x + 3,0344$	0,11

Прим.: * - по шкале Чеддока при $r < 0,30$ корреляция очень слабая (практически отсутствует).

Определение в почвах пашни Предволжья РТ валового содержания пяти наиболее распространенных **тяжелых металлов** – меди, цинка, свинца, ртути и кадмия агрохимической службой республики началось в 1996 г. и первое обобщение этих материалов было выполнено в 2004 году. Для оценки возможного воздействия содержания валовых форм тяжелых металлов на урожайность зерновых культур использовали данные по содержанию тяжелых металлов в почвах пашни муниципальных районов Предволжья РТ в 2004 и 2020 гг. Они сравнивались со средними урожайностями зерновых культур в районах

соответственно в 2001-2005 и 2016-2020 гг. (табл. 28, прил. 17) [Зарипов, Лукманов, Гилязов, 2026].

Как видно, значимая корреляция урожайности от величины валового содержания изученных тяжелых металлов - меди, цинка, свинца, ртути и кадмия отсутствовала. Доля участия в формировании величины урожайности зерновых культур уровня содержания тяжелых металлов в почвах пашни муниципальных районов была не более 1 %, ибо коэффициенты детерминации (R^2) варьировали в пределах от 0,0001 до 0,0118. Такое явление вполне было ожидаемым, так содержание тяжелых металлов в почвах исследуемого региона многократно ниже ПДК [Зарипов, Лукманов, Гилязов, 2026].

Урожайность зерновых культур в большей степени обуславливалась различиями *почвенного покрова* пахотных земель муниципальных районов исследуемого региона (табл. 29, прил. 18).

Зависимость урожайности от распространенности дерново-подзолистых, дерново-карбонатных, светло-серых и серых лесных почв (подтип), отличающихся низким естественным плодородием, была отрицательной и, за исключением одного случая, статистически значимой. Лишь влияние распространенности дерново-подзолистых почв на урожайность зерновых культур следует считать недостоверной ($r = -0,26$), что, возможно, связано наименьшей распространенностью данного подтипа почвы в Предволжье (4,1 % от общей площади). Коэффициенты корреляции урожайности зерновых культур в муниципальных районах от распространённости дерново-подзолистых, светло-серых лесных и серых лесных почв варьировали в пределах от 0,72 до 0,81, что по шкале Чеддока соответствует высокой степени зависимости.

Связь между урожайностью и долей темно-серых лесных почв, отличающихся более высоким естественным плодородием, чем вышеназванные подтипы, имеет положительную направленность, хотя статистически явилась недостоверной ($r = 0,12$).

Таблица 29 - Характер корреляции средней урожайности зерновых культур в 1965-2020 гг. (у, т/га) от распространенности типов и подтипов почв (х, %) на пахотных землях муниципальных районов Предволжья РТ

Распространенность типов и подтипов почв в составе пашни муниципальных районов (х, %)	Уравнение линейной регрессии Коэффициент корреляции (r)
Доля дерново-подзолистых почв	$y = -0,0098x + 2,1847$ -0,26
Доля дерново-карбонатных почв	$y = -0,0469x + 2,3564$ -0,72***
Доля светло-серых лесных почв	$y = -0,0203x + 2,4831$ -0,81***
Доля серых лесных почв (подтип)	$y = -0,0147x + 2,4691$ -0,76***
Доля темно-серых лесных почв	$y = 0,005x + 2,0955$ 0,12
Доля черноземных почв	$y = 0,0077x + 1,886$ 0,81***
Суммарная доля дерново-подзолистых, дерново-карбонатных и светло-серых лесных почв	$y = -0,012x + 2,4683$ -0,80***
Суммарная доля темно-серых лесных и черноземных почв	$y = 0,0079x + 1,8095$ 0,83***

Прим.: * - по шкале Чеддока слабая корреляция (r=0,31-0,50); ** - средняя корреляция (r=0,51-0,70); *** - сильная корреляция (r=0,71-0,90).

Влияние распространенности черноземов в муниципальных районах на урожайность зерновых культур было положительным и очень значительным, о чем свидетельствует величина коэффициента корреляции (r=0,81). Особенно рельефно проявляется характер влияния распространенности типов и подтипов почв в случае объединения их в две группы: низкоплодородные (дерново-подзолистые, дерново-карбонатные, светло-серые лесные почвы) и высокоплодородные (черноземные и темно-серые лесные почвы).

Зависимость урожайности зерновых культур в муниципальных районах от суммарной доли дерново-подзолистых, дерново-карбонатных и серых лесных почв резко отрицательная и теснота корреляции высокая ($r=-0,80$). В противоположность этому, положительное влияние суммарной доли черноземных и темно-серых лесных почв в муниципальных районах на урожайность зерновых культур оказалось весьма существенным и именно между этими переменными обнаружилась максимально высокая теснота корреляции ($r=0,83$) [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2023]. Зависимость урожайности зерновых культур от суммарной доли наиболее плодородных почв описывается линейным уравнением (7):

$$Y = 0,0079 \cdot x + 1,8095, \quad (7)$$

где Y – средняя урожайность зерновых культур в муниципальном районе, т/га;

x – суммарная доля черноземных и темно-серых лесных почв в составе пашни муниципального района, %.

Зависимость продуктивности зерновых от агрохимических показателей (содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия, распространенность кислых почв) носит нелинейный и территориально обусловленный характер. Отмечается отсутствие единого тренда для всей республики: значимость факторов плодородия кардинально различается между муниципальными образованиями Предволжья. На урожайность зерновых культур в Предволжье по циклам агрохимических обследований наибольшее влияние оказало средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора ($r=0,65$), калия ($r=0,71$) и степень кислотности почвы, оцененной нами долей кислых почв в составе пашни ($r=-0,66$).

Действие средневзвешенного содержания гумуса на урожайность зерновых культур по циклам агрохимических обследований в целом по Предволжью оказалось статистически не существенным ($r=-0,11$), что, в общем-то, и не удивительно, так как за все годы наблюдений средневзвешенное содержание гумуса в целом по Предволжью изменилось в небольших пределах

(4,42-4,82 %). Иная картина складывается при рассмотрении влияния тех же агрохимических показателей почвы на урожайность в разрезе отдельных муниципальных районов исследуемого региона. В этом случае наибольшее влияние на среднюю урожайность зерновых культур за весь период наблюдений проявило обеспеченность почв гумусом ($r=0,66$), средневзвешенное значение которого по районам различалось очень сильно: от 2,64 до 7,62 %.

В свою очередь, гумусированность пахотных почв муниципальных районов было обусловлена, прежде всего, распространенностью типов и подтипов почв. Ещё одним подтверждением большой роли гумусированности почв в продуктивности зерновых культур является максимально тесная корреляция величины урожая от доли черноземных и темно-серых лесных почв в составе пашни ($r=0,83$). На этом фоне влияние на урожайность зерновых культур содержания подвижных форм фосфора, калия и степени кислотности почв (доля кислых почв, %) оказалось малозначимым ($r=0,14$; $r=-0,39$; $r=0,07$) [Гилязов, Лукманов, Зарипов, 2023].

Уровень содержания в почвах пашни муниципальных районов тяжелых металлов и большинства микроэлементов на урожайность зерновых культур значимого воздействия не проявили. В то же время, существенное положительное воздействие на урожайность зерновых культур обнаружило обеспеченность почв пашни муниципальных районов подвижными формами молибдена ($r=0,60$).

3.5.4 Парная корреляция урожайности зерновых культур от основных агрометеорологических показателей

Из-за большого объема цифровой информации, собранной по материалам четырех метеорологических станции и восьми муниципальных районов исследуемого региона, в данном разделе ограничиваемся иллюстрацией влияния метеорологических условий на урожайность зерновых культур в рамках Зеленодольского муниципального района.

Данный район находится в северной части Предволжья республики, на обоих берегах реки Волги, которая делит район примерно на две равные части. Общая площадь территории района 140,2 тыс. га, из которых сельскохозяйственные угодья и пахотные земли занимают соответственно 79,6 и 55,6 тыс. га. Метеорологическая станция «Нижние Вязовые», данные которой использованы нами, находится на территории одноименного поселка городского типа Зеленодольского района на правом берегу р. Волги с координатами $55^{\circ} 48' 55''$ северной широты (55.8153°) и $48^{\circ} 30' 36''$ восточной долготы (48.5101°).

В табл. 30-32 представлены коэффициенты линейной и нелинейной корреляции средней урожайности зерновых культур от основных агрометеорологических показателей: количества атмосферных осадков, средней температуры воздуха и гидротермического коэффициента (ГТК) по Г.Т. Селянинову в период вегетации (май-сентябрь) в 1966-2020 гг. Причем, зависимость урожайности от указанных показателей метеоусловий рассмотрено как в целом за весь период наблюдений (1966-2020 гг.), так и разделив его на 5 равных периодов по 11 лет. Для описания нелинейной зависимости урожайности от метеорологических условий использовано полиномиальное уравнение 2-ой степени. Здесь же указаны пределы варьирования средней урожайности зерновых культур и метеорологических показателей по отдельным месяцам и в целом за весь период вегетации.

Представленные материалы указанных таблиц позволяют сделать следующие обобщения.

Во-первых, сравнительный анализ коэффициентов детерминации показал, что полиномиальная модель 2-ой степени лучше подходит для описания зависимости урожайности зерновых культур от гидротермических условий, чем линейное уравнение. Как видно, по всем трём метеорологическим показателям коэффициенты корреляции нелинейного тренда имели, как правило, более высокие значения, чем коэффициенты корреляции линейного тренда. Кроме того, коэффициенты корреляции нелинейного тренда чаще оказались статистически значимыми, чем коэффициенты корреляции линейного тренда.

Таблица 30 - Корреляция урожайности зерновых культур от количества атмосферных осадков в период вегетации в 1966-2020 гг. (Зеленодольский муниципальный район РТ)

Месяц	Годы	Осадки, мм	Урожайность, т/га	Коэффициент корреляции (r)	
				линейного	нелинейного
				тренда	
Май	1966-1976	2-52	1,11-1,56	-0,16	0,66**
	1977-1987	4-17	1,07-2,05	0,40*	0,41*
	1988-1998	0-69	1,86-2,14	-0,47*	-0,49*
	1999-2009	0-49	2,05-3,42	0,25	-0,53**
	2010-2020	1-17	2,12-3,43	0,34*	0,34*
	1966-2020	0-69	1,07-3,43	-0,09	0,09
Июнь	1966-1976	6-65	1,11-1,56	0,18	-0,45*
	1977-1987	7-114	1,07-2,05	0,03	-0,44*
	1988-1998	0-78	1,86-2,14	0,15	-0,30
	1999-2009	12-113	2,05-3,42	0,22	0,22
	2010-2020	9-147	2,12-3,43	-0,58**	0,64**
	1966-2020	0-147	1,07-3,43	-0,02	0,03
Июль	1966-1976	3-116	1,11-1,56	-0,51**	0,52**
	1977-1987	6-175	1,07-2,05	-0,12	0,13
	1988-1998	5-93	1,86-2,14	-0,43*	-0,43*
	1999-2009	2-229	2,05-3,42	-0,19	0,26
	2010-2020	2-204	2,12-3,43	0,39*	0,40*
	1966-2020	0-229	1,07-3,43	0,09	0,23
Август	1966-1976	2-105	1,11-1,56	-0,12	-0,28
	1977-1987	16-66	1,07-2,05	0,63**	0,64**
	1988-1998	7-6	1,86-2,14	0,24	0,70**
	1999-2009	1-89	2,05-3,42	-0,66**	0,68**
	2010-2020	7-101	2,12-3,43	-0,14	-0,23
	1966-2020	1-10	1,07-3,43	0,13	-0,14
Сентябрь	1966-1976	0-21	1,11-1,56	0,72***	0,75***
	1977-1987	7-48	1,07-2,05	-0,24	-0,27
	1988-1998	0-30	1,86-2,14	0,01	0,08
	1999-2009	0-38	2,05-3,42	-0,32*	-0,56**
	2010-2020	0-59	2,12-3,43	-0,38*	-0,38*
	1966-2020	0-59	1,07-3,43	0,11	-0,13
Май-сентябрь	1966-1976	75-242	1,11-1,56	-0,25	-0,44*
	1977-1987	75-298	1,07-2,05	0,05	-0,17
	1988-1998	38-240	1,86-2,14	-0,23	-0,29
	1999-2009	64-363	2,05-3,42	-0,32*	0,48*
	2010-2020	90-299	2,12-3,43	-0,14	0,38*
	1966-2020	38-363	1,07-3,43	0,11	0,16

Прим.: * - по шкале Чеддока слабая корреляция ($r=0,31-0,50$); ** - средняя корреляция ($r=0,51-0,70$); *** - сильная корреляция ($r=0,71-0,90$).

Таблица 31 - Корреляция урожайности зерновых культур от средней температуры воздуха в период вегетации в 1966-2020 гг. (Зеленодольский муниципальный район РТ)

Месяц	Годы	Средняя температура воздуха, °С	Урожайность, т/га	Коэффициент корреляции (r)	
				линейного	нелинейного
				тренда	
Май	1966-1976	4,1-10,7	1,11-1,56	-0,77***	0,79***
	1977-1987	6,5-11,3	1,07-2,05	-0,11	-0,28
	1988-1998	6,2-10,6	1,86-2,14	0,06	0,10
	1999-2009	4,2-11,9	2,05-3,42	0,39*	-0,51**
	2010-2020	5,8-12,0	2,12-3,43	-0,58**	0,59**
	1966-2020	4,1-12,0	1,07-3,43	0,08	0,13
Июнь	1966-1976	9,8-14,3	1,11-1,56	-0,36*	0,44*
	1977-1987	9,4-15,8	1,07-2,05	0,33*	0,33*
	1988-1998	11,8-17,2	1,86-2,14	-0,44*	0,48*
	1999-2009	10,1-15,8	2,05-3,42	-0,28	-0,29
	2010-2020	10,5-15,7	2,12-3,43	-0,65**	0,65**
	1966-2020	9,4-17,2	1,07-3,43	0,03	-0,05
Июль	1966-1976	12,7-17,2	1,11-1,56	0,30	0,31*
	1977-1987	13,3-18,6	1,07-2,05	-0,05	0,20
	1988-1998	13,2-18,4	1,86-2,14	-0,57**	0,67**
	1999-2009	13,9-18,0	2,05-3,42	0,27	0,41*
	2010-2020	13,3-19,6	2,12-3,43	-0,06	-0,17
	1966-2020	12,7-19,6	1,07-3,43	0,31*	-0,31*
Август	1966-1976	11,7-17,5	1,11-1,56	-0,07	0,60**
	1977-1987	10,2-16,4	1,07-2,05	-0,23	0,51**
	1988-1998	12,2-14,7	1,86-2,14	-0,40*	0,59**
	1999-2009	11,5-17,5	2,05-3,42	-0,51*	0,53**
	2010-2020	11,8-17,9	2,12-3,43	-0,04	0,32*
	1966-2020	10,2-17,9	1,07-3,43	0,20	0,21
Сентябрь	1966-1976	4,0-10,1	1,11-1,56	0,44*	0,44*
	1977-1987	5,5-9,0	1,07-2,05	0	0,02
	1988-1998	4,5-10,4	1,86-2,14	0,26	0,36*
	1999-2009	6,7-11,2	2,05-3,42	-0,14	-0,43*
	2010-2020	6,8-11,1	2,12-3,43	-0,38*	-0,38*
	1966-2020	4,0-11,2	1,07-3,43	0,38*	-0,39*
Май-сентябрь	1966-1976	9,6-12,3	1,11-1,56	-0,14	0,42*
	1977-1987	10,0-13,2	1,07-2,05	0	0
	1988-1998	10,8-13,1	1,86-2,14	-0,34*	0,35*
	1999-2009	11,3-13,1	2,05-3,42	-0,04	-0,05
	2010-2020	11,0-14,7	2,12-3,43	-0,51**	0,66**
	1966-2020	9,6-14,7	1,07-3,43	0,33*	-0,34*

Прим.: * - по шкале Чеддока слабая корреляция ($r=0,31-0,50$); ** - средняя корреляция ($r=0,51-0,70$); *** - сильная корреляция ($r=0,71-0,90$).

Таблица 32 - Корреляция урожайности зерновых культур от величины ГТК в период вегетации в 1966-2020 гг. (Зеленодольский муниципальный район РТ)

Месяц	Годы	ГТК	Урожайность, т/га	Коэффициент корреляции (r)	
				линейного	нелинейного
				тренда	
Май	1966-1976	0,11-2,78	1,11-1,56	-0,20	0,24
	1977-1987	0,14-1,51	1,07-2,05	0,32*	-0,76***
	1988-1998	0,00-4,80	1,86-2,14	-0,42*	-0,43*
	1999-2009	0,00-11,28	2,05-3,42	-0,02	-0,50*
	2010-2020	0,05-0,71	2,12-3,43	0,47*	-0,50*
	1966-2020	0,00-11,28	1,07-3,43	0,03	0,12
Июнь	1966-1976	0,11-3,31	1,11-1,56	0,46*	0,47*
	1977-1987	0,27-3,35	1,07-2,05	-0,01	-0,48*
	1988-1998	0,00-3,34	1,86-2,14	0,21	-0,38*
	1999-2009	0,31-5,66	2,05-3,42	0,10	-0,19
	2010-2020	0,23-4,21	2,12-3,43	-0,34*	-0,35*
	1966-2020	0,00-5,66	1,07-3,43	0,09	0,13
Июль	1966-1976	0,07-2,40	1,11-1,56	-0,60**	0,60**
	1977-1987	0,10-4,02	1,07-2,05	-0,05	-0,05
	1988-1998	0,09-1,97	1,86-2,14	-0,32*	0,37*
	1999-2009	0,04-4,57	2,05-3,42	-0,23	0,32*
	2010-2020	0,04-4,47	2,12-3,43	0,39*	0,40*
	1966-2020	0,04-4,57	1,07-3,43	0,06	0,24
Август	1966-1976	0,04-2,86	1,11-1,56	-0,06	-0,30
	1977-1987	0,50-2,09	1,07-2,05	0,59**	0,70**
	1988-1998	0,22-2,26	1,86-2,14	0,26	0,36*
	1999-2009	0,02-1,89	2,05-3,42	-0,64**	0,65**
	2010-2020	0,19-2,66	2,12-3,43	-0,09	0,17
	1966-2020	0,02-2,86	1,07-3,43	0	-0,10
Сентябрь	1966-1976	0,00-4,68	1,11-1,56	0,48*	0,49*
	1977-1987	0,50-5,43	1,07-2,05	0	-0,38*
	1988-1998	0,00-11,12	1,86-2,14	-0,03	0,32*
	1999-2009	0,00-6,83	2,05-3,42	-0,35*	-0,53**
	2010-2020	0,00-3,99	2,12-3,43	-0,23	-0,25
	1966-2020	0,00-11,12	1,07-3,43	-0,04	-0,04
Май-сентябрь	1966-1976	0,50-1,91	1,11-1,56	-0,12	-0,36*
	1977-1987	0,43-2,52	1,07-2,05	0,02	-0,27
	1988-1998	0,31-1,52	1,86-2,14	-0,25	0,27
	1999-2009	0,47-2,19	2,05-3,42	-0,32*	0,49*
	2010-2020	0,44-2,18	2,12-3,43	0,08	0,43*
	1966-2020	0,31-2,52	1,07-3,43	0,02	0,02

Прим.: * - по шкале Чеддока слабая корреляция ($r=0,31-0,50$); ** - средняя корреляция ($r=0,51-0,70$); *** - сильная корреляция ($r=0,71-0,90$).

Например, из 36 коэффициентов корреляции урожайности от ГТК статистически значимыми оказались 22 и 13 в случае описания этой зависимости соответственно нелинейным и линейным уравнениями (табл. 32).

Во-вторых, из двух основных метеорологических показателей - количество атмосферных осадков и средней температуры воздуха, на урожайность зерновых культур относительно более весомое влияние оказало, вопреки ожиданиям, второй показатель. Основанием для такого утверждения является, на наш взгляд, частота обнаружения статистически значимой величины коэффициента корреляции урожайности от того или иного показателя. Так, если коэффициенты нелинейной корреляции урожайности от количества атмосферных осадков были статистически значимыми в 20 случаях из 36 (табл. 30), то коэффициенты корреляции урожайности от средней температуры воздуха в 25 случаях из 36 (табл. 31).

Более слабое влияние количества осадков (по сравнению с температурой воздуха) на среднюю урожайность зерновых культур может быть обусловлено близостью исследуемого муниципального района к Куйбышевскому водохранилищу и заметным повышением количества выпадающих атмосферных осадков за исследуемый период. Как уже отмечалось ранее, за наблюдаемый период количество атмосферных осадков за вегетационный период в исследуемом муниципальном районе увеличилось на 48,3 мм или 35 % к исходному уровню.

Влияние гидротермического коэффициента (ГТК) на урожайность зерновых культур, судя по частоте встречаемости статистически значимого коэффициента корреляционного коэффициента (22 из 36), оказалось чуть сильнее, чем влияние количества атмосферных осадков, но слабее, чем действие средней температуры воздуха (табл. 31).

В-третьих, в случае рассмотрения зависимости средней урожайности зерновых культур от количества атмосферных осадков за все время наблюдений (1966-2020 гг.) без деления на 11-летние периоды теснота корреляции урожайности зерновых культур от метеорологических показателей оказалась

заметно слабее, чем в случае анализа этих переменных в рамках отдельных 11-летних периодов. Так, в случае анализа влияния общего массива данных по количеству атмосферных осадков за весь период наблюдений (1966-2020 гг.) на урожайность зерновых культур ни один коэффициент линейной и нелинейной корреляции не достиг статистически значимого уровня ($r \geq 0,31$) (табл. 30). Такая же картина обнаружилась в отношении влияния на урожайность зерновых культур гидротермического коэффициента: все коэффициенты корреляции оказались статистически недостоверными (табл. 32). Статистически значимое влияние на урожайность зерновых культур оказала лишь средняя температура воздуха за весь наблюдаемый период (1966-2020 гг.), хотя теснота корреляции была слабой ($r = -0,31 \dots 0,39$) (табл. 31).

Такая слабая корреляция или полное отсутствие значимой зависимости средней урожайности зерновых культур от метеорологических условий в случае рассмотрения изменений двух переменных в целом за весь период наблюдений (1966-2020 гг.) без разделения на 11-летние периоды, видимо, обуславливается постоянным улучшением агротехники возделывания культур, появлением новых более продуктивных сортов и изменениями уровня применения удобрений за годы наблюдений. На наш взгляд, тренд повышения урожайности за счет указанных причин может существенно завуалировать влияние складывающихся метеоусловий. В случае же рассмотрения влияния метеорологических условий на урожайность зерновых культур по отдельным 11-летним периодам, на наш взгляд, действие тренда постоянного повышения урожайности благодаря сортам и улучшения агротехники проявляется слабее. В определенной мере подтверждением сказанного представляется то, что относительно часто статистически значимая корреляция урожайности от метеорологических условий проявилась в 1966-1977 и 2010-2020 гг., когда насыщенность пашни минеральными удобрениями была существенно низкой, чем во все остальные годы наблюдений, то есть по мере интенсификации агротехнологий возделывания зерновых культур влияние погодных условий ослабевало.

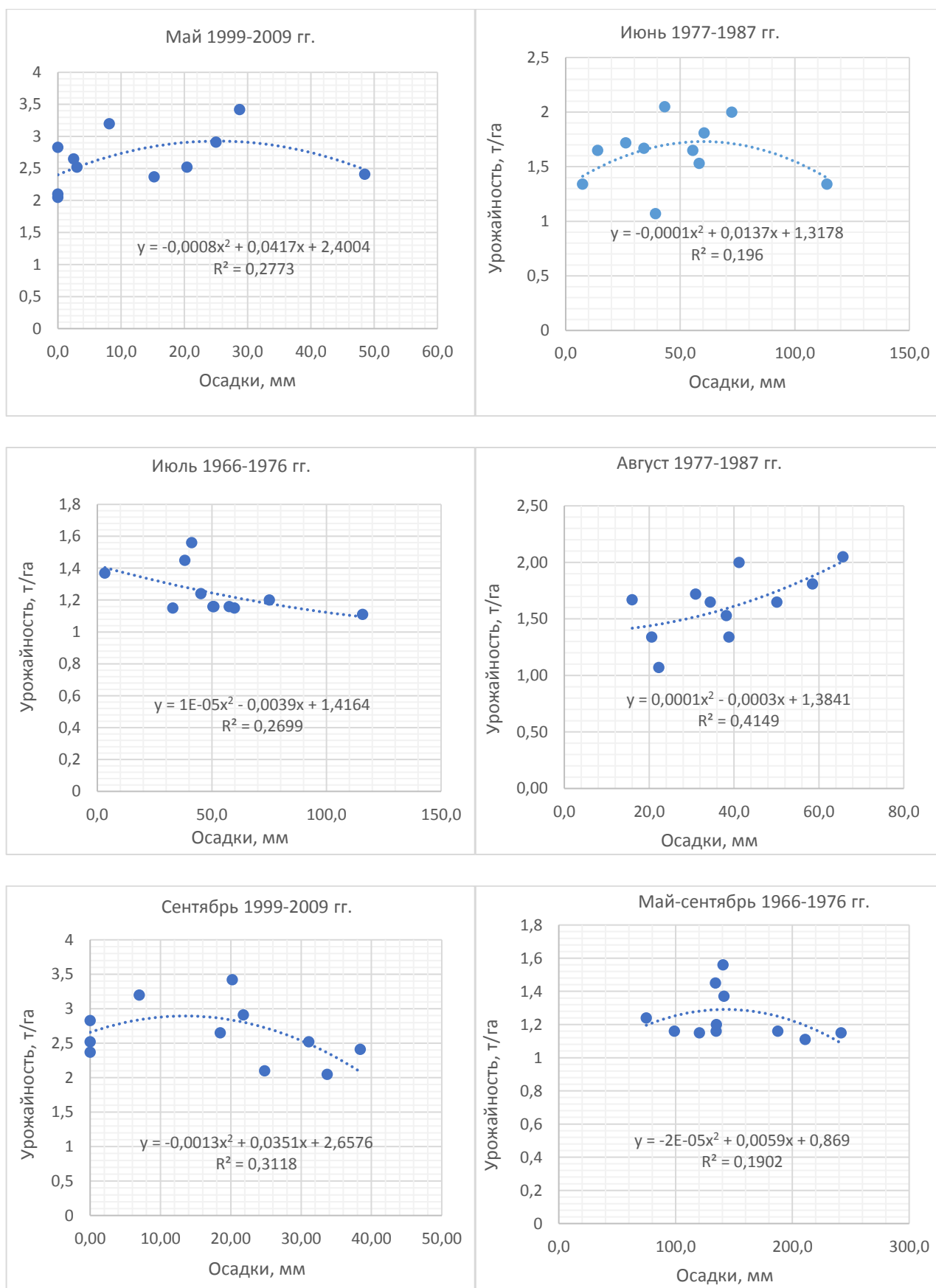


Рис. 19 – Корреляция между урожайностью зерновых культур и количеством атмосферных осадков в период вегетации в 1966-2020 гг.

(Зеленодольский м.р. РТ)

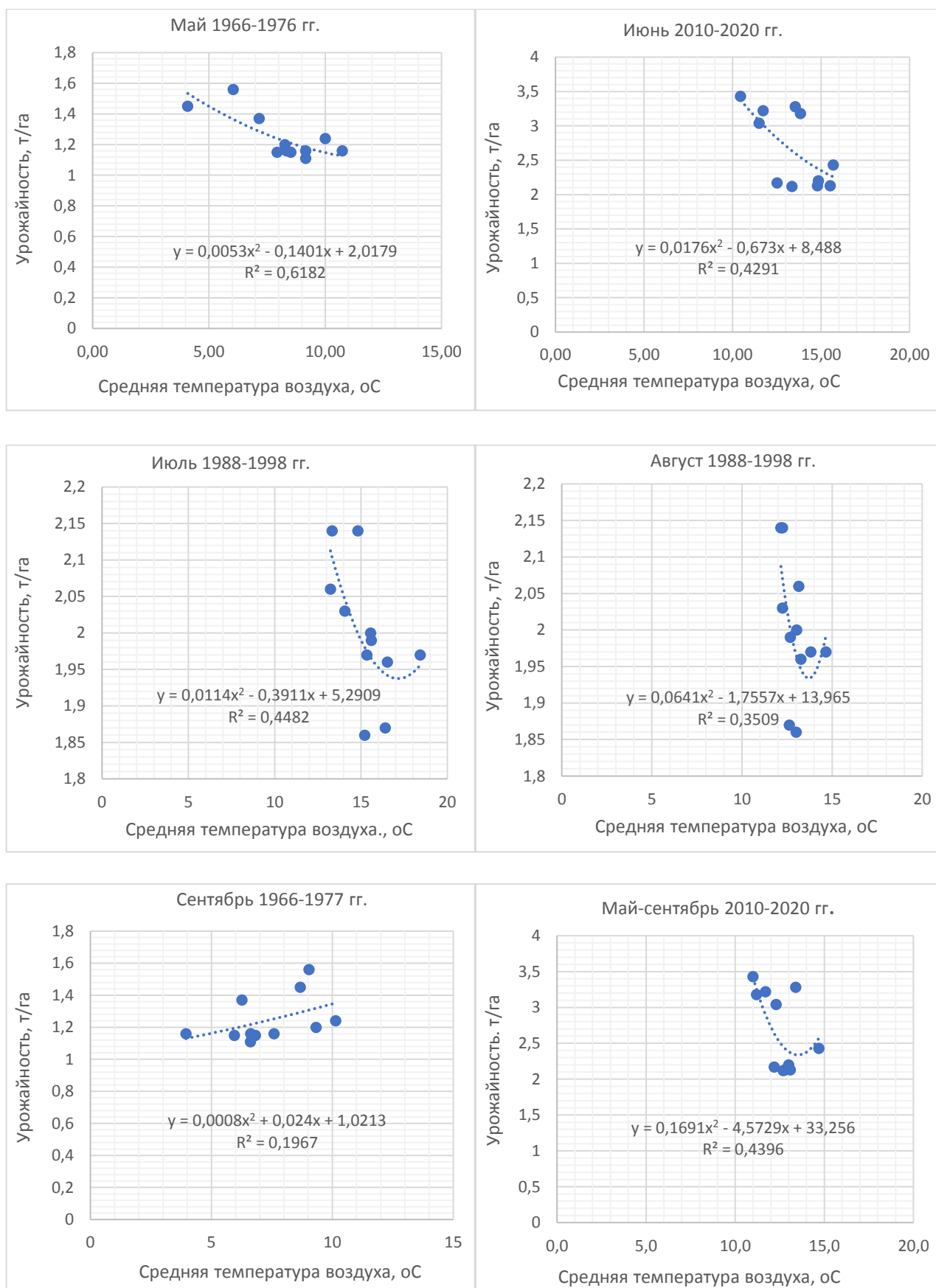


Рис. 20 – Корреляция между урожайностью зерновых культур и средней температурой воздуха в период вегетации в 1966-2020 гг.

(Зеленодольский м.р. РТ)

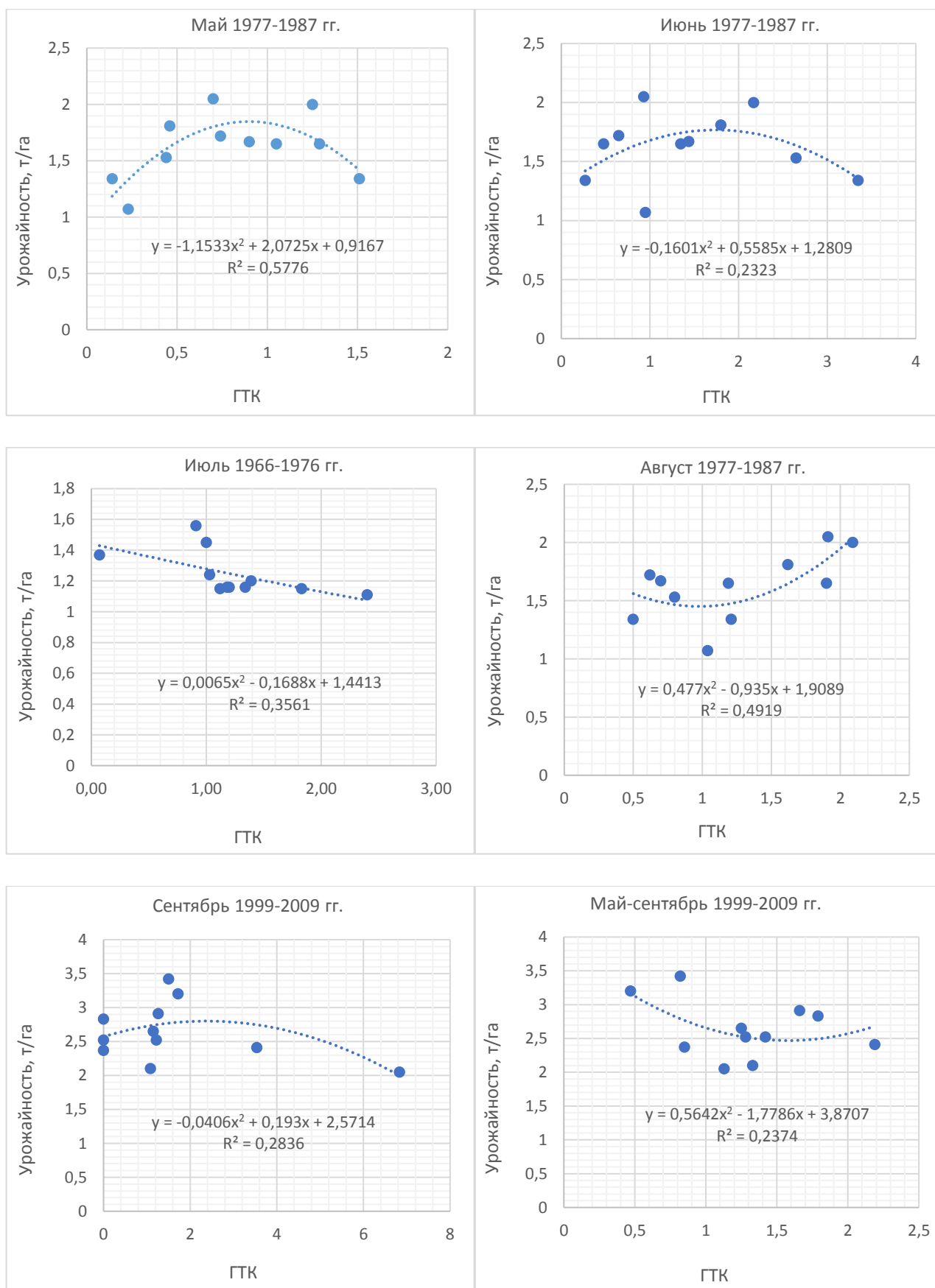


Рис. 21 – Корреляция между урожайностью зерновых культур и гидротермическим коэффициентом (ГТК) в 1966-2020 гг. (Зеленодольский м.р. РТ)

На рис. 19-21 иллюстрируется характер корреляции урожайности зерновых культур от метеорологических условий отдельных месяцев и вегетационного периода в целом. Для демонстрации характера корреляции урожайности от метеорологических условий в отдельные месяцы и в целом в течение вегетации (май-сентябрь) выборочно приведена лишь одна линия тренда из пяти 11-летних периодов.

При этом, выбирали наиболее типичные и статистически значимые нелинейные корреляции урожайности зерновых культур от метеоусловий. Из 18 линий тренда, приведенных на этих рисунках, тесноту корреляции урожайности от метеорологических показателей, оценивая по шкале Чеддока, можно было охарактеризовать как сильная и слабая соответственно в 2 случаях (температура воздуха в мае 1966-1976 гг., ГТК в мае 1977-1987 гг.) и 5 случаях (осадки в июне 1977-1987 гг., осадки в мае-сентябре 1999-2009 гг., температура воздуха в сентябре 1966-1977 гг., ГТК в июне 1977-1987 гг. и мае-сентябре 1999-2009 гг.) или примерно 11 и 28 %.

В остальных случаях (61 % или 11 из 18 случаев) теснота корреляции урожайности зерновых от метеорологических условий оценивалась как средняя. Представленные кривые тренда зависимости средней урожайности зерновых культур от метеорологических условий показывают сложность характера между этими переменными. В годы исследований максимальные количества осадков выпали в июне-июле, а минимальные – в мае и сентябре. Как правило, как обилие, так и недостаток атмосферных осадков приводили к снижению урожайности зерновых культур.

Судя по линиям трендов, наибольшие урожаи зерновых культур были получены при выпадении осадков с мая по сентябрь соответственно около 30, 60, 40, 70 и 20 мм. Негативное влияние избыточного количества осадков на урожайность просматривалось при их количестве более 110 и 40 мм соответственно в июле и сентябре. Общее количество осадков за вегетационный период (май-сентябрь) наибольшее благоприятное влияние на урожайность

зерновых оказало при их сумме около 140 мм, а снижение урожайности выявилось при выпадении более 240 мм (рис. 19).

Наиболее благоприятными температурами воздуха для роста и развития зерновых культур в мае, июне, июле и августе были соответственно 6, 11, 13 и 12 °С и дальнейшее их повышение привело к снижению урожайности (рис. 20). В отличие от этих месяцев, в сентябре рост средней температуры воздуха в диапазоне от 4 до 10°С, наоборот, обеспечил заметный рост средней урожайности зерновых культур. Средняя температура воздуха за весь период вегетации (май-сентябрь) колебалась в пределах от 11 до 15°С и её рост сопровождался значимым снижением средней урожайности зерновых культур.

В мае и июле наиболее благоприятными для роста и развития зерновых культур оказались величины ГТК, близкие к единице (0,9-1,0). Наибольшие урожаи зерновых культур были получены при ГТК в июне, августе и сентябре соответственно 2,0; 1,8 и 1,5. В случаях превышения значений ГТК более 2,4 (июль) и 6,0 (сентябрь) обнаружилось снижение урожайности. Линия тренда урожайности от величин ГТК за весь период вегетации (май-сентябрь) показывает, что высокие урожайности зерновых культур были получены при достаточно широком диапазоне колебаний данного показателя: от 1,0 до 2,2 (рис. 21).

Таким образом, вопреки ожиданиям, на урожайность зерновых культур более весомое влияние оказали не величина ГТК и количество осадков, а средняя температура воздуха. Для выявления тесноты корреляции урожайности от метеорологических условий за длительный период (55 лет) более удачным оказалось исследование зависимости двух переменных не в целом за весь период наблюдений, а в случае их анализа по отдельным этапам (циклам) длительностью по 11 лет. Теснота корреляции урожайности зерновых культур от метеорологических условий оказалась более тесной в случае описания данной зависимости нелинейным (полиномиальным 2-ой степени) уравнением, нежели линейным. Действие метеорологических условий на среднюю урожайность зерновых культур имеет сложный характер и наибольшие урожаи были

получены при достаточно широком диапазоне значений количества осадков, температуры воздуха и ГТК. Последнее обстоятельство в определенной мере, возможно, связано тем, что средняя урожайность зерновых культур складывается из урожайности нескольких культур, отличающихся разной требовательностью к погодным условиям и разными сроками прохождения отдельных фаз роста и развития растений.

3.6 Баланс гумуса и основных макроэлементов под зерновыми культурами в муниципальных районах Предволжья Республики Татарстан

Расчеты баланса гумуса и элементов минерального питания в земледелии служат основными критериями оценки состояния текущего плодородия и основой для прогностического моделирования агроэкосистем, что объясняет необходимость их изучения в рамках длительных агрохимических исследований. Они могут быть установлены как в условиях длительных полевых опытах, так и на основе обобщения и статистической обработки многолетних данных агрохимической и агрономической служб, как это сделано нами.

«Баланс – разность между приходной и расходной частями гумуса или элементов питания в почве конкретного поля (севооборота, хозяйства, региона и т. д.), которая складывается в течение определенного времени, как правило, в течение одного года» [Гилязов, 2021]. В зависимости от глубины охвата приходной и расходной частей балансов, они могут быть оценены как внутрихозяйственные, хозяйственные и биологические балансы.

Ниже приводятся расчеты хозяйственного баланса гумуса, азота, фосфора и калия под зерновыми культурами в муниципальных районах Предволжья РТ за разные периоды наблюдений и на перспективу. В основу этих расчетов положены материалы научных разработок, выполненных в Республике Татарстан в разные годы [Пухачев, Бухараева, 1984; Ломако, Бакиров, 2007; Ломако, Алиев, 2002; Система земледелия РТ, 2013; Гилязов, Лукманов, Муратов, 2016].

Таблица 33 - Баланс гумуса под зерновыми культурами в муниципальных районах Предволжья РТ в 1965-2020 гг.

Показатели	Муниципальные районы								Итого	
	Апастовский	Буйинский	Верхнеуслонский	Дрожжановский	Зеленодольский	Кайбицкий	Камско-Устьинский	Тетюшский		
Площадь, тыс. га	42,5	58,4	34,1	41,4	31,7	33,1	32,3	48,7	322,2	
Урожайность, т/га	2,18	2,76	1,70	2,26	2,10	2,02	1,92	2,18	2,14	
Преобладающий тип и подтип почвы	Л ₃	Ч _В	Л ₁	Ч _Г	Л ₁	Л ₃	Л ₂	Ч _{оп}	-	
Содержание гумуса в пахотном слое, %	4,11	5,96	2,74	7,62	2,64	4,11	3,42	4,99	-	
Запасы гумуса в пахотном слое, т/га	123,3	178,8	82,2	228,6	79,2	123,3	102,6	149,7	-	
Потери гумуса от минерализации										
Нормативный вынос азота, кг/т	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	-	
Вынос азота с урожаем, кг/га	64,7	82,0	50,5	67,1	62,4	60,0	57,0	64,7	-	
Внесено азота с удобрениями*, кг/га	42,6	47,0	37,2	43,5	49,3	42,9	35,4	35,3	41,7	
Использовано азота из удобрений с учетом КИУ (0,60), кг/га	25,56	28,20	22,32	26,10	29,58	25,74	21,24	21,18	-	
Азот минерализованного гумуса, кг/га	39,14	53,80	28,18	41,00	32,82	34,26	35,76	43,52	-	
Потери (минерализация) гумуса, т/га	0,7828	1,076	0,5636	0,8200	0,6564	0,6852	0,7152	0,8704	-	
Потери гумуса на всю площадь, т	33269	62838	19219	33948	20808	22680	23101	42388	258251	
Потери гумуса от водной и ветровой эрозии почвы										
Среднегодовой смыв или сдувание почвы, т/га	4,3	3,5	4,5	3,5	4,5	4,3	4,5	3,5	-	
Потери гумуса, т/га	0,1767	0,2086	0,1233	0,2667	0,1188	0,1767	0,1539	0,1746	-	
Потери гумуса на всю площадь, т	7511	12182	4205	11041	3766	5850	4971	8505	58031	
Гумусообразование из пожнивно- корневых остатков (ПКО) (K _{кпо} =1,2; 1,3)										
Коэффициент выхода сухой массы ПКО (K _{пко})	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	-	
Выход сухой массы ПКО, т/га	2,616	3,312	2,210	2,712	2,520	2,424	2,496	2,616	-	
Коэффициент гумификации сухого органического вещества ПКО (K _г)	0,190	0,200	0,190	0,200	0,190	0,190	0,190	0,200	-	
Накопление гумуса из ПКО, т/га	0,4970	0,6624	0,4199	0,5424	0,4788	0,4606	0,4742	0,5232	-	
Накопление гумуса из ПКО на всю площадь, т	21124	38684	14319	22455	15178	15245	15318	25480	167803	
Гумусообразование из соломы (K _{сп} =1,27) **										
Выход массы соломы натуральной влажности, т/га	2,7686	3,5052	2,159	2,8702	2,667	2,5654	2,4384	2,7686	-	
Коэффициент гумификации соломы натуральной влажности (K _г)	0,190	0,200	0,190	0,200	0,190	0,190	0,190	0,200	-	
Накопление гумуса из соломы, т/га	0,5260	0,7010	0,4110	0,5740	0,5067	0,4874	0,4633	0,5537	-	
Накопление гумуса из соломы на всю площадь, т	3353	6141	2098	3565	2409	2420	2245	4045	26276	
Гумусообразование из навоза (подстильного)***										
Доза внесения навоза, т/га	3,52	2,60	2,68	3,35	3,62	3,23	2,45	1,82	-	
Коэффициент гумификации навоза	0,065	0,070	0,065	0,070	0,065	0,065	0,065	0,070	-	
Накопление гумуса из навоза, т/га	0,2288	0,1820	0,1742	0,2345	0,2353	0,2099	0,1593	0,1274	-	
Накопление гумуса из навоза на всю площадь, т	3890	4252	2376	3883	2984	2780	2058	2482	24705	
Баланс гумуса (±)	т	-12413	-25943	-4631	-15086	-4003	-8085	-8451	-18886	-97498
	т/га	-0,29	-0,44	-0,14	-0,36	-0,13	-0,24	-0,26	-0,39	-0,30

Прим.: * - в составе минеральных и органических удобрений; ** - в качестве органического удобрения запахивалось в почву около 15 % валового сбора соломы; *** - под зерновые культуры вносится 40 % навоза.

Хозяйственный баланс гумуса за весь период наблюдений (1965-2020 гг.), выполненный по методике, изложенной в [Гилязов, 2021] с некоторыми изменениями, демонстрируется данными табл. 33. Усредненные исходные данные, необходимые для расчетов (коэффициент выхода побочной продукции, средневзвешенные нормативные выносы зерновыми культурами, содержание в соломе и подстилочном навозе питательных элементов), даны в прил. 19.

Баланс рассчитан исходя из средней урожайности зерновых культур за 1965-2020 гг. с учетом процентного содержания гумуса в пахотном слое почв. Расходная часть баланса гумуса установлена как сумма потерь гумуса в результате его минерализации при возделывании зерновых культур и потерь от водной эрозии без проведения противоэрозионных приемов. Главная отличительная особенность методики расчета минерализации гумуса заключалась в том, что она (минерализация гумуса) рассчитывалась исходя из хозяйственного выноса азота с учетом внесения азота в составе минеральных и органических удобрений. При этом коэффициент использования азота удобрений брали равным 0,60, а среднее содержание азота в гумусе 5 %.

Приходная часть баланса гумуса рассчитана суммированием количества гумуса, образующегося за счет гумификации пожнивно-корневых остатков, побочной части урожая (соломы), оставляемой в поле, и органических удобрений (навоз). При этом исходили из того, что в качестве органического удобрения запахивалось в почву около 15 % валового сбора соломы и под зерновые культуры вносилось примерно 40 % подстилочного навоза, используемого в хозяйствах региона. Наибольший вклад в приходную часть баланса гумуса (77 % от общего накопления гумуса) вносит образование гумуса из пожнивно-корневых остатков, а минимальный – гумусообразование от навоза – чуть более 11%.

Во всех муниципальных районах Предволжья республики баланс гумуса оказался отрицательным и ежегодные потери гумуса превышали его приход на 0,13-0,44 т/га. Наибольшие потери гумуса обнаружили в Дрожжановском муниципальном районе, а минимальные – в Зеленодольском районе. В среднем

по всему региону в 1965-2020 гг. баланс гумуса оказался отрицательным и составил - 0,30 т/га в год.

Ещё более дефицитным оказался баланс гумуса в муниципальных районах Предволжья за годы последнего цикла (2016-2020 гг.) агрохимического обследования почв. Как видно, в среднем по региону ежегодные потери гумуса возросли до 0,44 т/га (табл. 34).

Таблица 34 - Баланс гумуса под зерновыми культурами в муниципальных районах Предволжья РТ в 2016-2020 гг.

Показатели	Муниципальные районы								Итого
	Апастовский	Буинский	Верхнеуслонский	Дрожжановский	Зеленодольский	Кайбицкий	Камско-Устьинский	Тетюшский	
Площадь, тыс. га	42,5	58,4	34,1	41,4	31,7	33,1	32,3	48,7	322,2
Урожайность, т/га	3,08	3,87	2,66	3,24	3,23	2,83	2,86	4,38	3,27
Преобладающий тип и подтип почвы	Л ₃	Ч _В	Л ₁	Ч _Г	Л ₁	Л ₃	Л ₂	Ч _{оп}	-
Содержание гумуса в пахотном слое, %	4,11	5,96	2,74	7,62	2,64	4,11	3,42	4,99	-
Запасы гумуса в пахотном слое, т/га	123,3	178,8	82,2	228,6	79,2	123,3	102,6	149,7	-
Потери гумуса от минерализации									
Нормативный вынос азота, кг/т	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	-
Вынос азота с урожаем, кг/га	91,5	114,9	79,0	96,2	95,9	84,1	84,9	130,1	-
Внесено азота с удобрениями*, кг/га	32,3	39,4	41,3	33,6	47,7	31,0	38,2	47,2	38,8
Использовано азота удобрений с учетом КИУ (0,60), кг/га	19,38	23,64	24,78	20,16	28,62	18,6	22,92	28,32	
Азот минерализованного гумуса, кг/га	72,12	91,26	54,22	76,04	67,28	65,5	61,98	101,78	
Потери (минерализация) гумуса, т/га	1,4424	1,8252	1,0844	1,5208	1,3456	1,3100	1,2396	2,0356	
Потери гумуса на всю площадь, т	61302	106592	36978	62961	42656	43361	40039	99134	493023
Потери гумуса от водной и ветровой эрозии почвы (без противоэрозионных приемов)									
Среднегодовой смыв или сдувание почвы, т/га	4,3	3,5	4,5	3,5	4,5	4,3	4,5	3,5	-
Потери гумуса, т/га	0,1767	0,2086	0,1233	0,2667	0,1188	0,1767	0,1539	0,1746	-
Потери гумуса на всю площадь, т	7511	12182	4205	11041	3766	5850	4971	8505	58031
Гумусообразование из пожнивно-корневых остатков (ПКО) (K_{пко}=1,0-1,25)									
Коэффициент выхода сухой массы ПКО (K _{пко})	1,15	1,05	1,25	1,15	1,15	1,25	1,25	1,00	-
Выход сухой массы ПКО, т/га	3,5075	4,0635	3,325	3,7260	3,7145	3,5375	3,5750	4,3800	-
Коэффициент гумификации сухого органического вещества ПКО (K _г)	0,190	0,200	0,190	0,200	0,190	0,190	0,190	0,200	-
Накопление гумуса из ПКО, т/га	0,6664	0,8127	0,6317	0,7452	0,7058	0,6721	0,6792	0,8760	-
Накопление гумуса из ПКО на всю площадь, т	28323	47462	21543	30851	22372	22247	21940	42661	237399
Гумусообразование из соломы (K_{пп}=1,27) **									
Выход массы соломы натуральной влажности, т/га	3,9116	4,9149	3,3782	4,1148	4,1021	3,5941	3,6322	5,5626	-
Коэффициент гумификации соломы натуральной влажности (K _г)	0,190	0,200	0,190	0,200	0,190	0,190	0,190	0,200	-
Накопление гумуса из соломы, т/га	0,7432	0,9830	0,6419	0,8230	0,7794	0,6829	0,6901	1,1125	

Накопление гумуса из соломы на всю площадь, т	18952	34444	13132	20442	14824	13562	13374	32508	161238
Гумусообразование из навоза (подстильного)***									
Доза внесения навоза, т/га	1,8	1,2	3,0	0,4	2,2	1,2	0,8	0,5	-
Коэффициент гумификации навоза	0,065	0,070	0,065	0,070	0,065	0,065	0,065	0,070	-
Накопление гумуса из навоза, т/га	0,1170	0,0840	0,1950	0,0280	0,1430	0,0780	0,0520	0,0350	-
Накопление гумуса из навоза на всю площадь, т	1989	1962	2660	464	1813	1033	672	682	11275
Баланс гумуса (±)	т	-19549	-34906	-3848	-22245	-7413	-12369	-9024	-31788
	т/га	-0,46	-0,60	-0,11	-0,54	-0,23	-0,37	-0,28	-0,65
									-141142

Прим.: * - в составе минеральных и органических удобрений; ** - в качестве органического удобрения запахивалось в почву около 60 % валового сбора соломы; *** - под зерновые культуры вносится 40 % навоза.

Данное обстоятельство произошло, прежде всего, в результате резкого усиления минерализации гумуса благодаря росту урожайности зерновых культур (более чем в 1,5 раза) и уменьшения применения органических и минеральных азотных удобрений. Так, если ежегодные суммарные потери гумуса региона в результате минерализации в 1965-2020 гг. составили 258251 т., то за последний цикл агрохимического обследования почв (2016-2020 гг.) они возросли до 493023 т. или в 1,9 раза. В определенной мере потери гумуса за последний цикл агрохимического обследования почв компенсировались существенным увеличением гумусообразования за счет роста применения соломы зерновых культур в качестве органического удобрения путем запахивания её в почву: если за весь период наблюдений для запахивания оставлялось не более 15 % соломы, то за последний срок наблюдений эта величина выросла в 4 раза.

Хозяйственный баланс азота, фосфора и калия под зерновыми культурами в районах Предволжья за 1965-2020 гг. и 2016-2020 гг. демонстрируется данными табл. 35, 36.

Среднегодовые хозяйственные выносы (расходы) азота, фосфора и калия зерновыми культурами за весь период наблюдений (1965-2020 гг.) составили соответственно 63,6; 26,5 и 52,0 кг/га.

Основное количество питательных веществ поступало в почву в составе минеральных удобрений: доля минеральных удобрений в приходной части баланса азота, фосфора и калия составила соответственно 82, 84 и 67 %.

**Таблица 35 - Хозяйственный баланс NPK в муниципальных районах
Предволжья под зерновыми культурами в 1965-2020 гг.**

Муниципальные районы	Расход, кг/га	Приход, кг/га				Баланс, кг/га	Степень восполнения, %
		всего	в т. ч. в составе*				
			минеральных удобрений	навоза	соломы		
Азот							
Апастовский	64,7	44,8	35,6	7,0	2,2	-19,9	69
Буинский	82,0	49,8	41,8	5,2	2,8	-32,2	61
Верхнеуслонский	50,5	38,9	31,8	5,4	1,7	-11,6	77
Дрожжановский	67,1	45,8	36,8	6,7	2,3	-21,3	68
Зеленодольский	62,4	51,4	42,1	7,2	2,1	-11,0	82
Кайбицкий	60,0	44,9	36,4	6,5	2,0	-15,1	75
Камско-Устьинский	57,0	37,3	30,5	4,9	1,9	-19,7	65
Тетюшский	64,7	37,5	31,7	3,6	2,2	-27,2	58
В среднем	63,6	43,8	35,8	5,8	2,2	-19,8	69
Фосфор							
Апастовский	27,0	22,3	18,1	3,5	0,7	-4,7	83
Буинский	34,2	24,7	21,3	2,6	0,8	-9,5	72
Верхнеуслонский	21,1	19,4	16,2	2,7	0,5	-1,7	92
Дрожжановский	28,0	22,8	18,7	3,4	0,7	-5,2	81
Зеленодольский	26,0	25,6	21,4	3,6	0,6	-0,4	98
Кайбицкий	25,0	22,3	18,5	3,2	0,6	-2,7	89
Камско-Устьинский	23,8	18,7	15,6	2,5	0,6	-5,1	79
Тетюшский	27,0	18,7	16,2	1,8	0,7	-8,3	69
В среднем	26,5	21,8	18,3	2,9	0,7	-4,7	83
Калий							
Апастовский	53,0	20,8	13,4	3,2	4,2	-32,2	39
Буинский	67,1	23,4	15,8	2,3	5,3	-43,7	35
Верхнеуслонский	41,3	17,6	12,0	2,4	3,2	-23,7	43
Дрожжановский	54,9	21,2	13,9	3,0	4,3	-33,7	39
Зеленодольский	51,0	23,2	15,9	3,3	4,0	-27,8	45
Кайбицкий	49,1	20,4	13,7	2,9	3,8	-28,7	42
Камско-Устьинский	46,7	17,4	11,5	2,2	3,7	-29,3	37
Тетюшский	53,0	17,8	12,0	1,6	4,2	-35,2	34
В среднем	52,0	20,2	13,5	2,6	4,1	-31,8	39

Прим.: * - на посевах зерновых культур используется около 40 % от общего количества навоза, вносимого на пашне. В качестве органического удобрения в почву заделывалось около 15 % соломы зерновых культур.

**Таблица 36 - Хозяйственный баланс НРК в муниципальных районах
Предволжья под зерновыми культурами в 2016-2020 гг.**

Муниципальные районы	Расход, кг/га	Приход, кг/га				Баланс, кг/га	Степень восполнения, %
		всего	в т. ч. в составе*				
			минеральных удобрений	навоза	соломы		
Азот							
Апастовский	91,5	44,7	28,7	3,6	12,4	-46,8	49
Буинский	114,9	55,0	37,0	2,4	15,6	-59,9	48
Верхнеуслонский	79,0	52,0	35,3	6,0	10,7	-27,0	66
Дрожжановский	96,2	46,7	32,8	0,8	13,1	-49,5	49
Зеленодольский	95,9	60,7	43,3	4,4	13,0	-35,2	63
Кайбицкий	84,1	42,4	28,6	2,4	11,4	-41,7	50
Камско-Устьинский	84,9	49,8	36,6	1,6	11,6	-35,1	59
Тетюшский	130,1	64,9	46,2	1,0	17,7	-65,2	50
В среднем	97,1	52,0	36,1	2,8	13,2	-45,1	54
Фосфор							
Апастовский	38,2	14,2	8,6	1,8	3,8	-24,0	37
Буинский	48,0	17,0	11,1	1,2	4,7	-31,0	35
Верхнеуслонский	33,0	16,8	10,6	3,0	3,2	-16,2	51
Дрожжановский	40,2	14,1	9,8	0,4	3,9	-26,1	35
Зеленодольский	40,1	19,1	13,0	2,2	3,9	-21,0	48
Кайбицкий	35,1	13,3	8,6	1,2	3,5	-21,8	38
Камско-Устьинский	35,5	15,3	11,0	0,8	3,5	-20,2	43
Тетюшский	54,3	19,7	13,9	0,5	5,3	-34,6	36
В среднем	40,6	16,2	10,8	1,4	4,0	-24,4	40
Калий							
Апастовский	74,8	38,3	10,5	4,3	23,5	-36,5	51
Буинский	94,0	46,0	13,6	2,9	29,5	-48,0	49
Верхнеуслонский	64,6	40,4	12,9	7,2	20,3	-24,2	63
Дрожжановский	78,7	37,7	12,0	1,0	24,7	-41,0	48
Зеленодольский	78,5	45,8	15,9	5,3	24,6	-32,7	58
Кайбицкий	68,8	35,0	10,5	2,9	21,6	-33,8	51
Камско-Устьинский	69,5	37,1	13,4	1,9	21,8	-32,4	53
Тетюшский	106,4	51,5	16,9	1,2	33,4	-54,9	48
В среднем	79,4	41,5	13,2	3,3	24,9	-37,9	53

Прим.: * - на посевах зерновых культур используется около 40 % от общего количества навоза, вносимого на пашне. В качестве органического удобрения в почву заделывалось около 60 % соломы зерновых культур.

Во всех муниципальных районах региона обнаружился отрицательный баланс питательных элементов. Дефицит азота, фосфора и калия в целом по Предволжью равнялся соответственно 19,8; 4,7 и 31,8 кг/га в год. По отдельным муниципальным районам данный показатель варьировал в пределах: для азота - от 11,0 до 32,2; для фосфора – от 0,4 до 9,5; для калия – от 23,7 до 43,7 кг/га в год. Минимальные значения дефицита азота и фосфора были в Зеленодольском, калия - в Верхнеуслонском муниципальном районах, а максимальные - в Буинском муниципальном районе, где была получена максимальная урожайность зерновых культур.

В целом по Предволжью РТ степени восполнения азота, фосфора и калия при возделывании зерновых культур составили соответственно 69, 83 и 39 %, что свидетельствует о резко отрицательном балансе, прежде всего, калия. Величины хозяйственного баланс питательных элементов под зерновыми культурами за годы последнего цикла агрохимического обследования почв (2016-2020 гг.) стали ещё более отрицательными (табл. 36). Так, ежегодные потери за этот период азота, фосфора и калия в среднем по региону составили соответственно 45,1; 24,4 и 37,9 кг/га, что примерно в 2,3; 5,2 и 1,2 раза больше аналогичных показателей за весь период наблюдений (1965-2020 гг.). Возрастание дефицитности баланса питательных элементов за годы последнего цикла агрохимического обследования связано с увеличением хозяйственных выносов благодаря росту урожайности на фоне снижения применения минеральных и органических (навоз) удобрений, несмотря на существенный рост объемов соломы, запахиваемой в почву. Именно последнее обстоятельство способствовало относительно слабому росту дефицита калия в абсолютных величинах и улучшению его баланса (если оценивать по величине степени восполнения). Так, если за весь период наблюдений степень восполнения калия составила 39 %, то за последний срок наблюдений (2016-2020 гг.) возросла до 53 %.

Ожидаемый баланс гумуса на 2030 г. под зерновыми культурами в муниципальных районах Предволжья РТ, рассчитанный с учетом установленных

нами среднегодовых темпов роста урожайности зерновых культур в регионе (35 кг/га) и прогнозируемого роста применения минеральных удобрений (примерно в 1,3 раза к уровню насыщенности пашни в 2016-2020 гг.), иллюстрируется данными табл. 37. Рост урожайности, безусловно, будет усиливать минерализацию гумуса, однако оно в полной мере будет компенсировано ростом внесения минерального азота и выполнением приемов противоэрозионной агротехники. Так, сравнение данных табл. 34 и 37 показывает, что суммарные ожидаемые потери гумуса по региону в 2030 г. могут составить 541048 т (517627+23421), против 551054 т (493023+58031) в 2016-2020 гг.

Расчеты показали, что для достижения положительного баланса гумуса на перспективу (2030 г.) необходимо заметно увеличить поступление органического вещества в почву. В нынешних реалиях возможность существенного увеличения производства и использования навоза в хозяйствах региона серьезно ограничена, так как она определяется поголовьем сельскохозяйственных животных и не может быть значимо изменена в короткие сроки. Наиболее простым решением увеличения гумусонакопления, на наш взгляд, является оставление всей соломы зерновых культур (100 %) в поле для заделки в почву в качестве органического удобрения.

Таблица 37 - Ожидаемый баланс гумуса на 2030 г. под зерновыми культурами в муниципальных районах Предволжья РТ

Показатели	Муниципальные районы								Итого
	Апастовский	Буинский	Верхнеуслонский	Дрожжановский	Зеленодольский	Кайбицкий	Камско-Устьинский	Тетюшский	
Площадь, тыс. га	42,5	58,4	34,1	41,4	31,7	33,1	32,3	48,7	322,2
Прогнозируемая урожайность в 2030 г., т/га	3,43	4,22	3,01	3,59	3,58	3,18	3,21	4,73	3,62
Преобладающий тип и подтип почвы	Л ₃	Ч _в	Л ₁	Ч _т	Л ₁	Л ₃	Л ₂	Ч _{оп}	-
Содержание гумуса в пахотном слое, %	4,11	5,96	2,74	7,62	2,64	4,11	3,42	4,99	-
Запасы гумуса в пахотном слое, т/га	123,3	178,8	82,2	228,6	79,2	123,3	102,6	149,7	-
Потери гумуса от минерализации									
Нормативный вынос азота, кг/т	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	-
Вынос азота с урожаем, кг/га	101,9	125,3	89,4	106,6	106,3	94,4	95,3	140,5	-

Прогнозируемое внесение азота в составе удобрений*, кг/га	40,9	50,8	51,9	43,4	60,7	39,6	49,2	61,1	49,7	
Будет использовано азота удобрений с учетом КИУ (0,60), кг/га	24,54	30,48	31,14	26,04	36,42	23,76	29,52	36,66	-	
Азот минерализованного гумуса, кг/га	77,36	94,82	58,26	80,56	69,88	70,64	65,78	103,82	-	
Потери (минерализация) гумуса, т/га	1,5472	1,8964	1,1652	1,6112	1,3976	1,4128	1,3156	2,0764	-	
Потери гумуса на всю площадь, т	65756	110750	39733	66704	44304	46764	42494	101122	517627	
Потери гумуса от водной и ветровой эрозии почвы при выполнении противоэрозионных приемов										
Среднегодовой смыв или сдувание почвы, т/га	1,70	1,43	1,80	1,43	1,80	1,70	1,80	1,43	-	
Потери гумуса, т/га	0,0699	0,0852	0,0493	0,1090	0,0475	0,0699	0,0616	0,0714	-	
Потери гумуса на всю площадь, т	2969	4977	1682	4511	1506	2313	1988	3475	23421	
Гумусообразование из пожнивно- корневых остатков (ПКО)										
Коэффициент выхода сухой массы ПКО (K _{пко})	1,15	0,95	1,25	1,05	1,05	1,15	1,15	0,95	-	
Выход сухой массы ПКО, т/га	3,9445	4,0090	3,7625	3,7695	3,7590	3,6570	3,6915	4,4935	-	
Коэффициент гумификации сухого органического вещества ПКО (K _г)	0,190	0,200	0,190	0,200	0,190	0,190	0,190	0,200	-	
Накопление гумуса из ПКО, т/га	0,7495	0,8018	0,7149	0,7539	0,7142	0,6948	0,7014	0,8987	-	
Накопление гумуса из ПКО на всю площадь, т	31852	46825	24377	31211	22640	22999	22655	43767	246326	
Гумусообразование из соломы** (K _{пн} =1,27)										
Выход массы соломы натуральной влажности, т/га	4,3561	5,3594	3,8227	4,5593	4,5466	4,0386	4,0767	6,0071	-	
Коэффициент гумификации соломы натуральной влажности (K _г)	0,190	0,200	0,190	0,200	0,190	0,190	0,190	0,200	-	
Накопление гумуса из соломы, т/га	0,8277	1,0719	0,7263	0,9119	0,8639	0,7673	0,7746	1,2014	-	
Накопление гумуса из соломы на всю площадь, т	35176	62598	24767	37751	27384	25399	25019	58509	296603	
Гумусообразование из навоза (подстилочного)***										
Доза внесения навоза, т/га	1,8	1,2	3,0	0,4	2,2	1,2	0,8	0,5	-	
Коэффициент гумификации навоза	0,065	0,070	0,065	0,070	0,065	0,065	0,065	0,070	-	
Накопление гумуса из навоза, т/га	0,1170	0,0840	0,1950	0,0280	0,1430	0,0780	0,0520	0,0350	-	
Накопление гумуса из навоза на всю площадь, т	1989	1962	2660	1159	1813	1033	672	682	11275	
Гумусообразование из сидератов****										
Выход массы сидератов натуральной влажности (80%), т/га	20	25	20	25	20	20	20	25	-	
Продолжение таблицы 37										
Коэффициент гумификации сидератов натуральной влажности (K _г)	0,060	0,070	0,060	0,070	0,060	0,060	0,060	0,070	-	
Накопление гумуса из сидератов, т/га	1,20	1,75	1,20	1,75	1,20	1,20	1,20	1,75	-	
Накопление гумуса из сидератов на всю площадь, т	5666	11356	4547	8051	4227	4413	4307	9469	52036	
Гумусообразование из пожнивно-корневых остатков (ПКО) сидератов****										
Коэффициент выхода сухой массы ПКО (K _{пко})	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	-	
Выход сухой массы ПКО, т/га	6,0	7,5	6,0	7,5	6,0	6,0	6,0	7,5	-	
Коэффициент гумификации сухого органического вещества ПКО (K _г)	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15	0,16	-	
Накопление гумуса из ПКО, т/га	0,90	1,20	0,90	1,20	0,90	0,90	0,90	1,20	-	
Накопление гумуса из ПКО сидерата на всю площадь, т	4251	7787	3411	5520	3171	3311	3231	6493	37175	
Баланс гумуса (±)	т	+10191	+14801	+18347	+12477	+13425	+8078	+11412	+14323	+102367
	т/га	+0.24	+0.25	+0.54	+0.30	+0.42	+0.24	+0.35	+0.29	+0.32

Прим.: * - в составе минеральных и органических удобрений; ** - в качестве органического удобрения планируется запахивать весь валовой сбор (100 %) соломы зерновых культур; *** - под зерновые культуры вносится 40 % навоза; **** - с учетом соотношения площадей многолетних трав и зерновых культур (1:3) и доли многолетних трав (1/3), ежегодно запахиваемой в почву в качестве сидерата.

Другим важным резервом накопления органического вещества и гумусообразования должна быть ежегодная запашка определенной части многолетних трав в качестве сидеральной культуры. С учетом соотношения площадей многолетних трав и зерновых культур (1:3) для положительного баланса гумуса ежегодно необходимо запахивать не менее 1/3 части многолетних трав в качестве сидератов. При выполнении этих рекомендаций в целом по региону баланс гумуса будет положительным (0,32 т/га в год) с колебаниями по муниципальным районам исследуемого региона от 0,24 до 0,54 т/га.

Для расчета ожидаемых балансов азота, фосфора и калия под зерновыми культурами на перспективу (2030 г.) помимо содержания питательных элементов в навозе и соломе необходимы данные по многолетним травам, запахищаемым в качестве сидеральных культур. Расчеты количеств азота, фосфора и калия, поступающих на 1 га зерновых культур в составе многолетних трав (клевер) при ежегодном запахивании 1/3 части их площадей, представлены в прил. 20.

В условиях положительного баланса гумуса фосфора и калия под зерновыми ожидаемые хозяйственные балансы азота, фосфора и калия под зерновыми культурами в муниципальных районах также будут существенно улучшены, хотя и останутся дефицитными (табл. 38). Как видно, степени восполнения азота, культурами в целом по региону составят соответственно 99, 72 и 96 %, которые выше показателей 2016-2020 гг. примерно в 1,80-1,83 раза.

Сопоставление данных табл. 36 и 38 показывает, что оставление всей соломы зерновых культур в поле и ежегодная запашка 1/3 части многолетних трав в качестве сидератов заметно изменяют структуру приходной части баланса питательных элементов в 2030 г. Так, если в структуре приходной части баланса азота и фосфора доля минеральных удобрений занимала в 2016-2020 гг. 67-69 %, то в 2030 г. их доля будет снижена до 44 %. Соответственно в приходной части баланса этих двух питательных элементов в 2030 г. доля органических удобрений (навоз, солома, многолетние травы) возрастет до 56 %, а калия даже до 79 %.

Таблица 38 - Ожидаемый хозяйственный баланс НРК в муниципальных районах Предволжья под зерновыми культурами в 2030 г.

Показатели	Муниципальные районы								
	Апастовский	Буинский	Верхнеуслонский	Дрожжановский	Зеленодольский	Кайбицкий	Камско-Устьинский	Тетюшский	В среднем
Азот									
Расход (хозяйственный вынос), кг/га	101,9	125,3	89,4	106,6	106,3	94,4	95,3	140,8	107,5
Приход всего (кг/га), в т.ч.	93,8	109,0	101,9	104,7	114,6	90,8	100,6	130,2	105,7
в составе: минеральных удобрений	37,3	48,4	45,9	42,6	56,3	37,2	47,6	60,1	46,9
навоза*	3,6	2,4	6,0	0,8	4,4	2,4	1,6	1,0	2,8
соломы**	23,1	28,4	20,2	24,1	24,1	21,4	21,6	31,9	24,4
сидератов***	29,8	37,2	29,8	37,2	29,8	29,8	29,8	37,2	32,6
Баланс, кг/га	-8,1	-16,3	+12,5	-1,9	+8,3	-3,6	+5,3	-10,6	-1,8
Степень восполнения, %	92	87	114	98	108	96	106	92	99
Фосфор									
Расход (хозяйственный вынос), кг/га	42,5	52,3	37,3	44,5	44,4	39,4	39,8	58,8	44,9
Приход всего (кг/га), в т.ч.	28,4	34,8	31,3	31,0	34,7	27,2	30,1	38,9	32,1
в составе: минеральных удобрений	11,2	14,4	13,8	12,7	16,9	11,2	14,3	18,1	14,1
навоза*	1,8	1,2	3,0	0,4	2,2	1,2	0,8	0,5	1,4
соломы**	7,0	8,6	6,1	7,3	7,2	6,4	6,6	9,7	7,4
сидератов***	8,4	10,6	8,4	10,6	8,4	8,4	8,4	10,6	9,2
Баланс, кг/га	-14,1	-17,5	-6,0	-13,4	-9,7	-12,2	-9,7	-19,9	-12,8
Степень восполнения, %	67	67	84	70	78	69	76	66	72
Калий									
Расход (хозяйственный вынос), кг/га	83,3	102,5	73,1	87,2	87,0	77,3	78,0	115,2	88,0
Приход всего (кг/га), в т.ч.	77,2	93,9	77,9	81,9	87,1	72,6	75,8	103,2	83,7
в составе: минеральных удобрений	13,7	17,7	16,8	15,6	20,7	13,7	17,4	22,0	17,2
навоза*	4,3	2,9	7,2	1,0	5,3	2,9	1,9	1,2	3,3
соломы**	43,5	53,5	38,2	45,5	45,4	40,3	40,8	60,2	45,9
сидератов***	15,7	19,8	15,7	19,8	15,7	15,7	15,7	19,8	17,2
Баланс, кг/га	-6,1	-8,6	+4,8	-5,3	+0,1	-4,7	-2,2	-12,0	-4,3
Степень восполнения, %	93	92	107	94	100	94	97	90	96

Прим.: * - на посевах зерновых культур используется около 40 % от общего количества навоза, вносимого на пашне; ** - солома зерновых культур полностью (100 %) заделывается в почву в качестве органического удобрения; *** - рассчитано с учетом соотношения площадей многолетних трав и зерновых культур (1:3) и доли многолетних трав (1/3), ежегодно запахиваемых в почву в качестве сидерата, исходя из содержания НРК в надземной массе и ПКО по данным [Донских, 2004; Система земледелия РТ, 2013] (см. прил. 20).

Такие изменения в структуре приходной части баланса на перспективу, безусловно, следует оценивать, как позитивный момент, указывающий на экологизацию системы применения удобрений зерновых культур в исследуемом регионе.

Прогнозируемые дефициты азота, фосфора и калия под зерновыми культурами в 2030 г. могут составить соответственно 1,8; 12,8 и 4,3 кг/га. Следовательно, для обеспечения бездефицитного баланса основных питательных элементов под зерновыми культурами Предволжья РТ к 2030 г. поступление их в почву в составе минеральных удобрений должно возрасти до 97,1 $[(46,9+1,8)+(14,1+12,8)+(17,2+4,3)]$ кг д.в./га с соотношением N:P:K 1:0,55:0,44. По сравнению с фактическим соотношением N:P:K в 2016-2020 гг. 1:0,30:0,37 (табл. 36) на перспективу в структуре питательных элементов, вносимых в составе минеральных удобрений, должны возрасти доли фосфора и калия примерно в 1,8 и 1,2 раза соответственно. В целом, необходимый для бездефицитного баланса насыщенность пашни NPK в 2030 г. (97,1 кг д. в./га) вполне реализуемая величина, ибо уже в 2021-2025 гг. она составила 73,8 кг д.в./га.

Таким образом, балансы гумуса, азота, фосфора и калия под зерновыми культурами в исследуемом регионе за весь период наблюдений, в том числе за годы последнего цикла агрохимического обследования почв (2016-2020 гг.), оказались отрицательными. При сохранении нынешнего уровня применения навоза (1,4 т/га в 2016-2020 гг.) наиболее реалистичными приемами достижения положительного баланса гумуса (0,32 т/га) на перспективу (2030 г.) представляются заделка в почву всей соломы зерновых культур и ежегодная запашка 1/3 части многолетних трав в качестве сидеральной культуры, благодаря которым удастся также существенно снизить дефицитность баланса основных питательных элементов (NPK). Для достижения бездефицитного баланса азота, фосфора и калия поступление их в почву к 2030 г. должно возрасти до 97,1 кг д.в./га с соотношением N:P:K 1:0,55:0,44.

3.7 Оценка агрономической и экономической эффективности применения удобрений под зерновые культуры

Для оценки эффективности применения удобрений могут быть использованы различные показатели в натуральном и денежном выражении: «экономические (размер чистого дохода, уровень рентабельности, окупаемость затрат на удобрения в рублях), энергетические (биоэнергетический коэффициент, приращенная энергия) и агрономические (рост урожайность, величина прибавки урожая, окупаемость единицы действующего вещества продукцией).

Наиболее простым и широко используемым в агрономической практике способом оценки эффективности применения удобрений представляется окупаемость удобрений основной продукцией в натуральном выражении. Окупаемость (оплата) минеральных удобрений основной продукцией (зерном, корне-, клубнеплодами и т. д.) – это количество основной продукции в килограммах, полученное от 1 кг действующего вещества удобрений. Она рассчитывается делением прибавки урожая основной продукции, полученной от применения удобрений, на сумму действующего вещества, внесенной в составе минеральных удобрений» [Гилязов, 2021].

Для нахождения прибавок урожая от удобрений мы использовали средние фактические величины урожайности зерновых культур по муниципальным районам Предволжья за 1965-2020 гг. и возможные величины урожайности без внесения удобрений [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025]. Последние рассчитали исходя из имеющихся запасов подвижных форм питательных элементов (NPK) в пахотном слое почв, коэффициентов их использования растениями и нормативных выносов питательных элементов с единицей урожая основной продукции (прил. 21-24).

При этом нормативные выносы питательных элементов условной зерновой культуры ($N - 30,4$; $P_2O_5 - 12,2$; $K_2O - 24,6$ кг/т) рассчитали исходя из структуры посевных площадей зерновых культур (озимая и яровая пшеница, озимая рожь,

ячмень, овес) в регионе и зональных нормативных выносов указанных культур [Система земледелия..., 2013; Гилязов, 2021]. За наиболее вероятную величину урожайности принимали минимальную из трех, рассчитанных соответственно по запасам минерального азота, подвижных форм фосфора или калия.

Расчеты показали, что лимитирующим фактором урожайности зерновых культур в семи районах из восьми выступили запасы минерального азота, рассчитанные по средневзвешенному содержанию гумуса в почвах пашни муниципальных районов за весь период наблюдений (1986-2020 гг.). Только в Дрожжановском районе, почвы которого отличаются максимальным содержанием гумуса, уровень урожайности зерновых культур ограничивался запасами доступного фосфора.

Агрономическую эффективность применения минеральных удобрений в муниципальных районах Предволжья РТ иллюстрируют данные табл. 39. Величины расчетной урожайности условной зерновой культуры по муниципальным районам региона без внесения удобрений, то есть только по почвенным запасам питательных элементов, колебались от 1,24 (Зеленодольский м.р.) до 2,09 т/га (Буинский м.р.).

Фактические средние величины урожайности зерновых культур за 1965-2020 гг. по отдельным муниципальным районам региона варьировали в пределах от 1,70 до 2,76 т/га. Таким образом, прибавки урожайности от удобрений составили 0,43-0,86 т/га, а окупаемость 1 кг действующего вещества, внесенных в составе минеральных и органических удобрений, зерном – 3,8-6,7 кг или в среднем по Предволжью РТ около 5,0 кг.

Максимальная окупаемость удобрений зерном получена в условиях Зеленодольского муниципального района, почвы которого характеризовались минимальным количеством гумуса (2,81 %) и было внесено максимальное количество минеральных (79,4 кг д. в./га) и органических (3,62 т/га) удобрений [Лукманов, Гилязов, Зарипов, 2025].

Таблица 39 - Окупаемость NPK минеральных и органических удобрений зерном
в муниципальных районах Предволжья РТ

Урожайность, т/га			Внесено NPK в составе минеральных и органических удобрений****, кг д.в./га	Окупаемость NPK зерном, кг/кг д.в.
фактическая*	без удобрений**	прибавка		
Апастовский муниципальный район				
2,18	1,74	0,44	114,7	3,8
Буинский муниципальный район				
2,76	2,09	0,67	113,9	5,9
Верхнеуслонский муниципальный район				
1,70	1,30	0,40	96,2	4,2
Дрожжановский муниципальный район				
2,26	1,71	0,55	114,6	4,8
Зеленодольский муниципальный район				
2,10	1,24	0,86	128,3	6,7
Кайбицкий муниципальный район				
2,02	1,58	0,44	112,2	3,9
Камско-Устьинский муниципальный район				
1,92	1,41	0,51	90,7	5,6
Тетюшский муниципальный район				
2,18	1,75	0,43	84,5	5,1

Прим.: * - средние фактические величины урожайности зерновых культур по муниципальным районам за 1965-2020 гг.; ** - рассчитаны по почвенным запасам питательных элементов (см. прил. 21-24); *** - насыщенность пашни минеральными и органическими удобрениями за 1965-2020 гг. (см. рис. 6 и 8).

Таблица 40 - Экономическая эффективность применения удобрений под зерновые культуры в муниципальных районах Предволжья РТ

Муниципальные районы	Стоимость прибавки урожая*, руб./га	Дополнительные затраты**, руб./га	Условный чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
Апастовский	4540	4064	476	12
Буинский	6914	4548	2366	52
Верхнеуслонский	4128	3539	589	17
Дрожжановский	5675	4198	1477	35
Зеленодольский	8874	4901	3973	81
Кайбицкий	4540	4060	480	12
Камско-Устьинский	5263	3450	1813	53
Тетюшский	4437	3375	1062	31
<i>В среднем</i>	5546	4017	1530	37

Прим.: * - цена 1 т д.в. минеральных удобрений и 1 т зерна соответственно – 43078 и 10319 руб. [Цены в России. 2020: Стат. сб./ Росстат - Москва, 2020. – 147 с.], цена 1 т д.в. в составе органических удобрений - 14360 руб.; ** - суммарные затраты на приобретение, транспортировку, внесение минеральных и органических удобрений, уборку и доработку прибавки урожая.

Применение минеральных удобрений под зерновые культуры во всех муниципальных районах Предволжья РТ оказалось экономически выгодным (табл. 40).

Стоимость прибавки урожая по муниципальным районам, рассчитанная в ценах 2020 г. согласно [Цены в России. 2020: Стат. сб./ Росстат – М., 2020. – 147 с.] (цена 1 т зерна 10319 руб.), варьировала от 4128 до 8874 руб. /га. Дополнительные затраты, связанные с применением минеральных и органических удобрений (покупка, транспортировка, внесение удобрений, уборка и доработка прибавки урожая) были рассчитаны исходя из средней цены

1 т д.в. NPK (42470, 50591 и 39702 руб.) и соотношения NPK (1,00:0,30:0,37), сложившегося в регионе в 2016-2020 гг., и колебались в пределах от 3375 до 4901 руб./га. При этом затраты на транспортировку, подготовку, внесение удобрений, уборку и доработку прибавки урожая зерна составили примерно по 6 % от стоимости соответственно удобрений и дополнительного зерна.

Условный чистый доход в целом по Предволжью РТ от минеральных удобрений составил 1530 руб./га с колебаниями по муниципальным районам от 476 до 3973 руб./га при средней рентабельности 37 %. Максимальный чистый доход и уровень рентабельности применения удобрений обнаружили в Зеленодольском муниципальном районе, где наиболее интенсивно и комплексно применялись агрохимикаты. Как уже было отмечено, данный муниципальный район в среднем за весь период наблюдений (1965-2020 гг.) был лидером по насыщенности пашни минеральными и органическими удобрениями (соответственно 79,4 кг д.в./га и 3,62 т/га), кратности известкования (10,27 раз) и объему фосфоритования (30,3 тыс. га) в 1971-2000 гг. Следовательно, максимальная агрономическая и экономическая отдача от удобрений и химических мелиорантов проявилась в случае их комплексного применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Непрерывная эксплуатация пашни без компенсации выноса элементов питания приводит к их дефициту в почве и развитию биологических факторов почвоутомления. В этой связи поддержание положительного баланса питательных веществ и сохранение агрономической ценности пахотного слоя достигается за счет систематического внесения органики, минеральных туков и химических мелиорантов. Однако применение их может быть агрономически, экономически высокоэффективным и экологически безопасным лишь тогда, когда оно базируется на всестороннем учете потребностей сельскохозяйственных культур и особенностей почвенного покрова. В связи с этим особую ценность приобретают материалы агрохимических обследований земель каждого сельскохозяйственного предприятия и региона, проводимые в течение многих лет агрохимической службой страны.

В данной работе сделана попытка оценить влияние агрометеорологических условий, длительного применения органических, минеральных удобрений и химических мелиорантов на динамику агрохимических свойств пахотных почв и урожайность зерновых культур в условиях Предволжья РТ в 1965-2022 гг. и на этой основе прогнозировать возможные изменения плодородия почв и разработать научные основы и практические приемы высокоэффективного использования агрохимикатов, повышения урожайности сельскохозяйственных культур и воспроизводства почвенного плодородия.

Агрохимические параметры почв и уровень применения агрохимикатов в увязке с урожайностью зерновых культур изучены в двух плоскостях: в целом по региону по циклам агрохимических обследований почв (*временной ряд*) и по отдельным муниципальным районам в целом за весь период наблюдений (*пространственный ряд*). Такая попытка наблюдать с разных ракурсов позволила достаточно выпукло выявить роль гумуса, почвенных типов и подтипов, обеспеченности почв подвижными формами фосфора, калия, а также кислотности почв в формировании урожаев зерновых культур.

Сопряженное изучение основных агрохимических свойств пахотных почв Предволжья РТ, урожайности зерновых культур и уровня применения агрохимикатов за десять туров агрохимического обследования, баланса гумуса и НРК позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Анализируемый период можно разделить на две части, отличающиеся вектором изменения уровня применения агрохимикатов: если первые 4 (1965-1990 гг., органические и известковые удобрения) или 5 циклов (1965-1995 гг., минеральные удобрения, в т. ч. фосфоритная мука) агрохимического обследования почв характеризовались постоянным ростом применения соответствующих удобрений, то в последующих циклах уровень их применения постепенно (минеральные удобрения) или резко (органические удобрения, фосфоритная мука) снижался. Обнаружилось повышение за вегетационный период (май-сентябрь) суммарного количества атмосферных осадков на 35,3-48,3 мм и средней температуры воздуха на 1,1-1,3 °С.

2. Мониторинг динамики гумуса и кислотности почв пашни исследуемого региона показал:

- В 1986-2020 гг. средневзвешенное содержание гумуса в пахотных почвах региона изменялось волнообразно в интервале 4,42-4,82 %, однако эти колебания оказались статистически несущественными, что позволяет утверждать отсутствие значимого ухудшения гумусного состояния почв региона. Уровень применения агрохимикатов на гумусное состояние пахотных почв оказал слабое влияние;

- За исследуемый период удельный вес кислых почв в составе пашни региона сократился с 57,8 до 37,2 %, главным образом в зависимости от интенсивности известкования ($r=-0,87$). Воздействие на кислотность почвы других факторов химизации земледелия – насыщенности пашни минеральными и органическими удобрениями, объемов фосфоритования было статистически несущественным. В ближайшие годы для перехода на пятилетний цикл нейтрализации кислых почв региона объемы ежегодного известкования необходимо довести до 36,4 тыс. га.

3. По циклам агрохимического обследования содержание подвижных форм фосфора и калия в почвах пашни Предволжья РТ заметно колебалось: если в течение первого периода (1965-2000 гг.) происходило уверенное повышение подвижных форм фосфора (с 93 до 161 мг/кг), то в дальнейшем (2000-2022 гг.) – скачкообразное снижение (с 161 до 137 мг/кг). По результатам последнего агрохимического обследования, общая площадь почв, имеющих низкую и очень низкую обеспеченность подвижными формами фосфора (менее 50 мг/кг), составляет 31,1 тыс. га. Все агрохимические приемы – внесение минеральных и органических удобрений, фосфоритование и известкование на накопление подвижных форм фосфора оказали положительное влияние. Средневзвешенное содержания подвижного калия в пахотных почвах по циклам агрохимического обследования колебалось в пределах от 116 до 161 мг/кг, демонстрируя скачкообразное повышение, что вероятнее всего, обуславливалось переходом малоподвижных форм калия самой почвы в подвижное состояние в результате сельскохозяйственного использования пахотных земель, ибо интенсивность применения отдельных агрохимикатов (насыщенность пашни минеральными и органическими удобрениями, объемы известкования и фосфоритования) на динамику средневзвешенного содержания подвижного калия оказала слабое влияние.

4. Почвы исследуемого региона относительно хорошо обеспечены подвижными формами В (1,1 мг/кг), Си (5,2 мг/кг), плохо – Zn (1,0 мг/кг), средне – Мо (0,5 мг/кг), Мп (46 мг/кг) и Со (1,6 мг/кг). Влияние минеральных удобрений на содержание подвижных форм микроэлементов было разнонаправленным и разнозначной по силе. Наиболее часто статистически значимые изменения вызывала интенсивность известкования: содержание подвижных форм Мо, Мп, Си коррелировало с известкованием в слабой ($r < 0,50$), а В и Со – в средней ($r > 0,50$) степени. Валовое содержание тяжелых металлов (Си, Zn, Pb, Hg, Cd) в пахотных почвах Предволжья РТ ниже ПДК. Рост применения минеральных удобрений и фосфоритование не привели к росту средневзвешенного содержания тяжёлых металлов, наоборот, обнаружилась тенденция снижения

концентрации последних по мере увеличения применения минеральных удобрений, хотя статистически значимым оно было только в отношении Cu ($r=-0,32$). Более значимое снижение Hg ($r=-0,61$) обнаружилось от фосфоритования.

5. Обнаружилась статистически значимая положительная линейная зависимость средней урожайности зерновых культур по циклам агрохимических обследований почв Предволжья РТ (1965-2020 гг.) от временного фактора ($R^2=0,748$). Среднегодовой прирост урожайности зерновых за 55 лет в муниципальных районах Предволжья колебался от 26,9 (Кайбицкий м.р.) до 51,1 кг зерна (Тетюшский м.р.) при среднерегиональном показателе 35 кг/га. В зависимости от подходов к обобщению исходных данных: в целом по региону (*временной ряд*) или по отдельным муниципальным районам (*пространственный ряд*), за все циклы агрохимического обследования или только часть циклов и т. д., направленность линии тренда и величины коэффициентов парной корреляции урожайности зерновых культур от уровня применения агрохимикатов существенно различались. Непосредственное заметное положительное влияние на урожайность оказали лишь минеральные удобрения, особенно в течение первых пяти циклов агрохимического обследования почв (1965-1995 гг.), и фосфоритование.

6. На урожайность зерновых культур в Предволжье РТ по циклам агрохимических обследований (*временной ряд*) наибольшее влияние оказало средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора ($r=0,65$), калия ($r=0,71$) и степень кислотности почвы, оцененной нами долей кислых почв в составе пашни ($r=-0,66$). Действие средневзвешенного содержания гумуса на урожайность по циклам агрохимических обследований в целом по региону оказалось статистически не существенным ($r=-0,11$). Урожайность зерновых культур в отдельных муниципальных районах региона за весь период наблюдений (*пространственный ряд*) в наибольшей степени обуславливалась обеспеченностью почв гумусом ($r=0,66$). На этом фоне влияние на урожайность содержания подвижных форм фосфора, калия и степени кислотности почв оказалось малозначимым ($r=0,14$; $r=-0,39$; $r=0,07$). Значимого влияния на

урожайность зерновых культур также не оказало содержание в почвах тяжелых металлов и большинства микроэлементов (за исключением молибдена).

7. На урожайность зерновых культур более заметное влияние оказали не величина ГТК и количество осадков, а средняя температура воздуха. Для выявления тесноты корреляции урожайности от метеорологических условий за длительный период (55 лет) более удачным оказалось исследование зависимости двух переменных не в целом за весь период наблюдений, а в случае их анализа по отдельным этапам (циклам) длительностью по 11 лет. Теснота корреляции урожайности от метеорологических условий оказалась более тесной в случае описания данной зависимости нелинейным (полиномиальным 2-ой степени) уравнением, нежели линейным.

8. Балансы гумуса, азота, фосфора и калия под зерновыми культурами в исследуемом регионе оказались отрицательными. Для достижения положительного баланса гумуса (+0,32 т/га) на ближайшую перспективу (2030 г.) всю солому зерновых культур необходимо оставить в поле для заделки в почву, и ежегодно запахивать 1/3 площади многолетних трав в качестве сидеральных культур. Для обеспечения бездефицитного баланса азота, фосфора и калия поступление их в составе минеральных удобрений к 2030 г. должно возрасти до 97,1 кг д.в./га с соотношением N:P:K 1:0,55:0,44.

9. Окупаемость 1 кг действующего вещества, внесенного в составе минеральных и органических удобрений зерном по муниципальным районам Предволжья РТ, колебалась от 3,8 до 6,7 кг при среднем значении по региону около 5,0 кг. Применение удобрений под зерновые культуры в Предволжье РТ оказалось экономически выгодным: условный чистый доход в целом по региону от минеральных удобрений составил 1530 руб./га с колебаниями по муниципальным районам от 476 до 3973 руб./га при средней рентабельности 37 %. Максимальный чистый доход и уровень рентабельности применения удобрений обнаружили в Зеленодольском м.р., где наиболее интенсивно и комплексно применялись агрохимикаты.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для предотвращения подкисления пахотных почв Предволжья РТ необходимо систематическое известкование кислых почв в соответствии с рекомендациями агрохимической службы республики, ибо известкование является главным приемом нейтрализации кислых почв, о чем свидетельствует установленная нами тесная корреляция удельного веса кислых почв в пашне от интенсивности известкования ($r = -0,87$). В ближайшие годы для перехода на пятилетний цикл нейтрализации кислых почв региона объемы ежегодного известкования необходимо довести до 36,4 тыс. га.

2. Необходимо восстановить фосфоритование низкоплодородных почв, имеющих одновременно низкое содержание подвижных форм фосфора (менее 50 мг/кг) и кислую реакцию ($H_g \geq 2,5$ ммоль(экв)/100 г), которое имеет пролонгированное положительное влияние на содержание гумуса, накопление подвижных форм фосфора, урожайность зерновых культур ($r = 0,50$) и не приводит к повышению валового содержания тяжелых металлов. В первоочередном фосфоритовании нуждается 31,1 тыс. га пахотных почв региона.

3. На ближайшую перспективу (2030 г.) для стабильного получения не менее 3,62 т/га урожая зерновых культур в среднем по региону при одновременном достижении положительного баланса гумуса (+0,32 т/га) и бездефицитного баланса азота, фосфора и калия необходимо полное (100 %) оставление соломы зерновых культур в поле для заделки в почву, ежегодно запахивать 1/3 часть площади многолетних трав в качестве сидеральных культур и внесение 97 кг д.в./га минеральных удобрений с соотношением N:P:K 1:0,55:0,44. Распределение объемов указанных агрономических приемов по муниципальным районам Предволжья РТ дано в табл. 41.

Таблица 41 - Рекомендуемые ежегодные объемы проведения агрономических приемов на ближайшую перспективу (2030 г.), направленные на достижение бездефицитного баланса NPK, положительного баланса гумуса*, и прогнозируемые урожайности зерновых культур по муниципальным районам Предволжья РТ

Показатели	Муниципальные районы								Итого по региону
	Апастовский	Буинский	Верхнеуслонский	Дрожжановский	Зеленодольский	Кайбицкий	Камско-Устьинский	Тетюшский	
Площадь зерновых культур с полной (100 %) заделкой соломы в почву, тыс. га	42,5	58,4	34,1	41,4	31,7	33,1	32,3	48,7	322,2
Площадь многолетних трав, заделываемых в качестве сидератов, га	4722	6490	3790	4600	3522	3678	3589	5410	35801
Внесение в составе минеральных удобрений, кг д. в. /га									
- азота	45,4	64,7	33,4	44,5	48,0	40,8	42,3	70,7	48,7
- фосфора	25,3	31,9	19,8	26,1	26,6	23,4	24,0	38,0	26,9
- калия	19,8	26,3	12,0	20,9	20,6	18,4	19,6	34,0	21,5
- в сумме	90,5	122,9	65,2	91,5	95,2	82,6	85,9	142,7	97,1
Баланс гумуса, т/га	+0,24	+0,26	+0,54	+0,30	+0,43	+0,25	+0,35	+0,29	+0,32
Баланс NPK, кг д. в./га	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Площадь известкования кислых почв, га	5170	6630	3825	6510	1630	4115	2220	6330	36430
Площадь первоочередного фосфоритования**, га	640	1080	1080	560	80	1060	1040	680	6220
Прогнозируемая урожайность в 2030 г., т/га	3,43	4,22	3,01	3,59	3,58	3,18	3,21	4,73	3,62

Прим.: * - при сохранении нынешнего уровня применения подстилочного навоза (1,4 т/га в год); ** - первоочередное фосфоритование рекомендуется проводить в течение 5 лет.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Федеральный закон от 19.07.1997 № 109-ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» (с изменениями и дополнениями).
- 2.Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденный Указом Президента РФ В.В. Путиным от 21 января 2020 г. № 20. – М.: Отпечатано в типографии ФГБНУ «Росинформагротех» 100-1000-2020 – 23 с.
- 3.Агропроизводственная характеристика почв ТАССР и их рациональное использование. Под ред. И.В. Утэй / – Казань: Татгосиздат, 1968. – 208 с.
- 4.Аканова, Н.И. Вопросы оптимизации кислотности почв и баланса кальция / Н.И. Аканова, В.Н. Темников, Г.Е. Гришин, Н.А. Комарова, О.Д. Шафронов // Нива Поволжья – 2013. - №1(18). - С.1-6.
- 5.Акмаров, П.Б. Изменение климата и его влияние на эффективность земледелия (на материалах Удмуртии) / П.Б. Акмаров, О.П. Князева, И.И. Рысин // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. - 2022. - Т. 32. - Вып. 3. – С. 312-322. DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-3-312-322.
- 6.Александрова, Н.А. Влияние микроэлементов на посевные качества семян ячменя сорта Раушан / Н.А. Александрова, О.В. Коробейникова, Т.А. Строт // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы III Национальной научно-практической конференции. Кузбасская ГСХА. 2019. – С 191-197.
- 7.Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в агроландшафте / Ю.В. Алексеев – Санкт-Петербург: Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. - 216 с.
- 8.Алексеев, Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – Ленинград: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
- 9.Алиев, Ш.А. Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв Республики Татарстан / Ш.А. Алиев, В.З. Шакиров, С.Ш. Нуриев. – Казань: центр инновационных технологий, 2005. – 160 с.

10.Алиев, Ш.А. Известкование и плодородие почв Республики Татарстан / Ш. А. Алиев, С. Ш. Нуриев, В. З. Шакиров, И. Н. Салимзянова // Роль почвы в формировании ландшафтов Тр. международной конф. «75 лет кафедре почвоведения КГУ». - Казань: Изд-во «ФЭН», 2003. - С. 228-232.

11.Алиев, Ш.А. Проблемы известкования кислых почв в Республике Татарстан / Ш. А. Алиев, С. Ш. Нуриев, В. З. Шакиров. - Казань, 2002, - 81 с.

12.Алтухов, А. И. Совершенствование организационно-экономического механизма – необходимое условие увеличение производства высококачественного зерна пшеницы в стране /А. И. Алтухов // Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы. – Москва: Росинформагротех, 2018. – С. 5-40.

13.Амиров, М.Ф. Адаптивные технологии возделывания полевых культур / М.Ф. Амиров, В.П. Владимиров, И.М. Сержанов, Ф.Ш. Шайхутдинов. – Казань: Изд-во «Бриг», 2018. - 124 с.

14.Аристархов, А. Эколого-агрохимическая оценка состояния пахотных почв России по содержанию в них подвижных форм тяжелых металлов / А. Аристархов, М. Лунев, А. Павлихина // Международный сельскохозяйственный журнал. - № 6. – 2016. – С. 42-48.

15.Баврина, А.П. Современные правила применения корреляционного анализа /А.П. Баврина, И.Б. Борисов // Медицинский альманах. - № 3 (68). - 2021. – С. 70-79.

16.Базилинская, М.В. Биоудобрения / М.В. Базилинская. - Москва: Агропромиздат, 1989. - 128 с.

17.Башков, А. С. Агроэкологические основы воспроизводства плодородия почв: учебное пособие. - Ижевск: Удмуртия, 1999. - 176 с.

18.Башков, А.С. Совершенствование системы удобрений ячменя в современных условиях /А.С. Башков, Т.Ю. Бортник, А.Ю. Карпова, М.Н. Загребина // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 10. – С. 14-18.

19.Валиуллин, И.Т. Зависимость величины и химического состава урожая ярового ячменя от совместного применения макроудобрений и биопрепарата

Ризоагрин / И.Т. Валиуллин, М.Ю. Гилязов // Агрохимический вестник. - 2010. - № 4. - С. 28-29.

20.Васильев, В.А. Справочник по органическим удобрениям. - 2-е изд., перераб. и доп. / В.А. Васильев, Н.В. Филиппова. - Москва: Росагропромиздат, 1988. – 256 с.

21.Винокуров, М. А. Почвы Пестречинской МТС / М. А. Винокуров // Ученые записки Казанского университета. - 1934. - Т. 94, кн. 2. - С. 22-47.

22.Влияние уровня химизации земледелия на содержание и подвижность микроэлементов в почвах [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.activestudy.info/vliyanie-urovnya-ximizacii-zemledeliya-na-soderzhanie-i-podvizhnost-mikroelementov-v-pochvax/> (дата обращения 08.09.2023).

23.Водяников, В.Т. Современное состояние и тенденции мирового производства зерна / В.Т. Водяников, Азаби Ахмед Омар Юсеф, С.В. Боргуль // Вестник Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горячкина. – 2013. - № 3. – С. 90-95.

24.Гайнутдинов, М.З. К разработке нормативной базы работ по комплексной химизации полей в условиях серых лесных почв Татарии /М.З. Гайнутдинов // Вопросы химизации сельского хозяйства Татарской АССР. – Казань: Татар. кн. изд-во, 1985. – С. 19-20.

25.Гайсин, И.А. Макро и микроудобрения в интенсивном земледелии /И.А. Гайсин. – Казань: Татар. кн. изд-во, 1989. - 126 с.

26.Гайсин, И.А. Микроудобрения в современном земледелии / И.А. Гайсин, Р.Н. Сагитова, Р.Р. Хабибуллин //Агрохимический вестник. - 2010. - №4. - С.2-4.

27.Гайсин, И.А. Полифункциональные хелатные микроудобрения / И.А. Гайсин, Ф.А. Хисамеева. - Казань: Издательский дом «Меддок». - 2007. - 230 с.

28.Гайсин, И.А. Эффективность хелатов микроэлементов при инкрустации семян / И.А. Гайсин, Р.А. Юнусов, Ш.А. Алиев, Н.Л. Толокнов // Агрохимический вестник. - 2000. - №5. – С. 27-29.

29.Галаветдинов, С.М. Эффективность листовых подкормок препаратом «Биополимик» на посевах яровой пшеницы / С.М. Галаветдинов, М.Ю. Гилязов, А.А. Лукманов //Воспроизводство плодородия почв и продовольственная безопасность в современных условиях/ Сборник трудов международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ. – 2021. – С. 112-116.

30.Ганенко, И. Зерновой рынок становится все депрессивнее. Итоги первой половины сезона 2022/23 / И. Ганенко // Агроинвестор. – 2023. – январь [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/39543-zernovoy-rynok-stanovitsya-vse-depressivnee-itogi-pervoy-pолоviny-sezona-2022-23/> (дата обращения 20.08.2023).

31.Гарафутдинова, К.Р. Влияние фосфоритной муки и на агрохимическую характеристику чернозема выщелоченного и урожайность возделываемых культур / К.Р. Гарафутдинова, Г.Ф. Рахманова, Р.Р. Маснавиева // Плодородие. – 2022. - № 5. – С. 23-26.

32.Гаффарова, Л.Г. Динамика гумусного состояния серых лесных почв Предкамья Республики Татарстан и продуктивность севооборота при длительном удобрений/ Л.Г. Гаффарова, С.Г. Муртазина, М.Г. Муртазин // Зерновое хозяйство России. – 2017. - № 2 (50). – С. 57-60.

33.Гаффарова, Л.Г. Статистические параметры морфологического строения и свойств пахотных дерново-подзолистых и серых лесных почв Привятской полосы лесостепной зоны Республики Татарстан / Л.Г. Гаффарова, И.Д. Давлятшин. – Казань: Изд-во Казан. гос. аграрного ун-та, 2019. – 130 с.

34.Гилязов, М.Ю. Агрономическая химия: Методическое указания / М.Ю. Гилязов. – Казань: изд-во Казанского ГАУ, 2011.

35.Гилязов, М.Ю. Актуальные вопросы применения удобрений в условиях биологизации земледелия в Республике Татарстан / М.Ю. Гилязов // Актуальные проблемы аграрной науки Республики Татарстан: Материалы республиканской

научно-практической конференции АН РТ. – Казань: Изд. Казанского ГАУ, 2018. – С. 92-97.

36.Гилязов, М.Ю. Вековой юбилей кафедры агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ: некоторые итоги научных изысканий / М.Ю. Гилязов, Р.В. Миникаев // Воспроизводство плодородия почв и продовольственная безопасность в современных условиях: сборник науч. трудов международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ и 80-летию члена-корреспондента АН РТ доктора сельскохозяйственных наук, профессора Ильшата Ахатовича Гайсина – Казань: Казанский ГАУ, 2021. - С. 6-12.

37.Гилязов, М.Ю. Длительное применение удобрений и продуктивность пашни / М.Ю. Гилязов, А.А. Лукманов, М.Р. Муратов. – Казань: Изд-во Казанского университета, 2016. – 220 с.

38.Гилязов, М.Ю. Почвенный покров и гумусное состояние пахотных почв Предволжья Республики Татарстан / М. Ю. Гилязов, А. А. Лукманов, Д. Ф. Зарипов // Агробiotехнологии и цифровое земледелие. – 2023. – № 4(8). – С. 18-25. – DOI 10.12737/2782-490X-2024-18-25.

39.Гилязов, М.Ю. Сборник задач по агрономической химии / М.Ю. Гилязов. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2021. – 308 с.

40.Гилязов, М.Ю. Уровень применения агрохимикатов и фосфатный режим пахотных почв Предволжья республики Татарстан / М. Ю. Гилязов, А. А. Лукманов, Д. Ф. Зарипов // Агробiotехнологии и цифровое земледелие. – 2024. – № 4(12). – С. 18-24. – DOI 10.12737/2782-490X-2024-18-24.

41.Гилязова, С.М. Трансформация органических и минеральных компонентов темно-серой лесной почвы в процессе длительного сельскохозяйственного использования / С.М. Гилязова, Г.Н. Балахчев, Л.В. Мельников // Эколого-агрохимические, технологические аспекты земледелия Среднего Поволжья и Урала: тез. конф., посвященной 75-летию кафедры агрохимии и почвоведения Казанской ГСХА. – Казань: Изд-во Казанского университета. -1995. - С. 19-20.

42.Гилязова, С. М. Физические свойства светло-серых лесных почв и содержание в них низко- и высокополимерных коллоидов / С. М. Гилязова, А. В. Колоскова // Вопросы изучения почв, повышения их плодородия и эффективности применения удобрений: V регион, конф. почвоведов и агрохимиков Среднего Поволжья и Южного Урала: тез. докл. – Куйбышев, 1972. - С. 87-88.

43.Гольдварг, Б.А. Влияние изменения климата на продуктивность зерновых культур в центральной зоне Республики Калмыкия / Б.А. Гольдварг, В.Г. Грициенко, М.В. Боктаев // Зерновое хозяйство России. - 2019. - № 2 (62). - С. 17-20.

44.Гринченко, А.М. Трансформация гумуса при сельскохозяйственном использовании почв / А. М. Гринченко, В. Д. Муха, Г. Я. Чешсек // Вестник с. - х. науки. - 1979. - № 1. – С. 36-40.

45.Губанова, В.М. Влияние гидротермического коэффициента на урожайность коллекции ярового ячменя различных групп спелости / В.М. Губанова, М.В. Губанов// Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2021. - № 5 (91). - С. 35-39. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-91-5-35-39.

46.Даутов, Р.К. Валовое содержание микроэлементов в пахотных слоях почв / Р.К. Даутов // Генезис, свойства и плодородие почв: материалы к X международному конгрессу почвоведов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1975. – С. 64-70.

47.Даутов, Р.К. Микроэлементы в сельском хозяйстве / Р.К. Даутов, В.Г. Минибаев, И.А. Гайсин. - Казань: Таткнигоиздат, 1985. - 64 с.

48.Дмитриев, А.В. Закономерности изменения агроклиматических показателей за период с 1959 по 2008 год на территории Удмуртской Республики и их влияние на урожайность основных сельскохозяйственных культур / А.В. Дмитриев, А.В. Леднев. - Ижевск: ФГБОУ ВПО «Ижевская ГСХА», 2015. - 164 с.

49.Добровольский, Г.В. Деградация почв - угроза глобального экологического кризиса / Г.В. Добровольский // Век глобализации. - 2008. - № 2. - С.54-65.

50.Добровольский, Г. В. Почва / Г.В. Добровольский, С.А. Шоба, П.В. Красильников// Большая российская энциклопедия, 2015: научно-образовательный портал [Электронный ресурс; Режим доступа: <https://bigenc.ru>]. – Текст: электронный. – URL: <https://bigenc.ru/c/pochva-a23782/?v=4745853>. – Дата публикации: 09.09.2022 (дата обращения: 28.04.2024).

51.Добровольский, Г.В. Почвы. Энциклопедия природы России / Г.В. Добровольский, Б.В. Шерemet, Т.В. Афанасьева, Л.А. Палечек. – Москва: АБФ, 1998. – 368 с.

52.Докучаев, В. В. Русский чернозем // Избранные сочинения / В. В. Докучаев. - Москва: Сельхозгиз, 1948. - Т. 1. - 480 с.

53.Долгов, С. И. Физические свойства дерново-подзолистых почв разной степени гумусированности / С. И. Долгов, С. А. Модина // Вестник с.-х. науки. - 1979. - № 1. - С. 27-33.

54.Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года [Электронный ресурс]. - URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/cereals/dolgosrochnaya-strategiya-razvitiya-zernovogo-kompleksa-rossijskoj-federatsii-do-2035-goda.html> (дата обращения 20.08.2023).

55.Донских, И.Н. Курсовое и дипломное проектирование по системе применения удобрений / И.Н. Донских. – Москва: Колос, 2004 – 144 с.

56.Доспехов, Б.А. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы по профилю под влиянием 62 - летнего применения удобрений и периодического известкования / Б. А. Доспехов, Б. Д. Кирюшин, А. Н. Братерская // Известия ТСХА. - 1975. - вып. 6. - С. 30 - 40.

57.Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования) / Б. А. Доспехов. – Москва: Альянс, 2011. – 352 с.

58.Ефимов, В.Н. Система удобрения / В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко. Под ред. В.Н. Ефимова. - Москва: КолосС, 2002. – 320 с.

59.Железнов, А.С. Изменение качества семян в зависимости от удобрений и норм высева у многорядного ячменя сорта Гелиус / А.С. Железнов, А.П. Еряшев, П.А. Еряшев // Вестник Ульяновской Государственной Сельскохозяйственной академии. – 2019. –№ 2 (46). – С. 46-51. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-46-51

60.Жуков, А.И. Регулирование баланса гумуса в почве /А. И. Жуков, П. Д. Попов. - Москва: Росагропромиздат, 1988. - 39 с.

61.Забугина, Т.М. Удобрение кукурузы в кукурузно-люцерновом севообороте и в монокультуре на суглинистой дерново-подзолистой почве Центрального района Нечерноземной зоны России / Т. М. Забугина: Автореф, дисс... канд. с. - х. наук. - М., 1997. - 24 с

62.Загорча, К.Л. Оптимальная система удобрения в полевых севооборотах / К. Л. Загорча. - Кишинев: Штинца, 1960. - 287 с.

63.Зайцева, Г.А. Погодно-климатические условия и продуктивность растений / Г.А. Зайцева, О.М. Ряскова // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. - 2013. - № 3. - С. 16-19.

64.Зарипов, Д. Ф. Тяжелые металлы в пахотных почвах Предволжья республики Татарстан / Д. Ф. Зарипов, А. А. Лукманов, М. Ю. Гилязов // Воспроизводство плодородия почв и продовольственная безопасность в современных условиях : Сборник трудов III международной научно-практической конференции, посвященной к 100-летию со дня рождения Гайнутдинова Миннура Зиннуровича - первого заведующего объединенной кафедры агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ, Казань, 29 октября 2025 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2026. – С. 179-185.

65.Зимняков, В.М. Производство пшеницы в России / В. М. Зимняков, А. А. Курочкин, С. В. Богомазов, Е. Н. Варламова // Нива Поволжья. – 2020. - № 1 (54). – С. 15-21.

66.Иванов, Д.В. Тяжелые металлы в почвах Республики Татарстан /Д.В. Иванов // Российский журнал прикладной экологии. – 2015. - № 4. – С. 53-60.

67.Ивлев, А.М. Деградация почв и их рекультивация / А.М. Ивлев, А.М. Дербенцева. Учебное пособие. Научный редактор В.И. Ознобихин. – Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2002. – 78 с.

68.Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва - растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 151 с.

69.Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – Москва: Мир, 1989. – 439 с.

70.Капеев, В.А. Влияние адаптивной системы земледелия на продуктивность дерново-сильнопodzolistых почв в условиях Среднего Предуралья / В.А. Капеев, А.С. Башков, И.Ш. Фатыхов и др. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2010. – 191 с.

71.Кидин, В.В. Агрохимия / В.В. Кидин, С.П. Торшин. – Москва: Проспект, 2016. – 608 с.

72.Кирюшин, В.И. Агрономическое почвоведение / В.И. Кирюшин. – Москва: КолосС, 2010. - 687 с.

73.Кирюшин, В. И. Изменение содержания гумуса черноземов Сибири и Казахстана под влиянием сельскохозяйственного использования / В. И. Кирюшин, И. Н. Лебедева // Доклады ВАСХНИЛ. - 1984. - №5. - С. 4-7.

74.Китаева, Л. И. Связь между содержанием железа, цинка, марганца, количеством гумуса и кислотностью в почвах Пензенской области / Л. И. Китаева // Почвоведение. - 1990. - № 9. - С. 132-135.

75.Клышевская, С.В. Изменение содержания микроэлементов в почвах при агроомелиорации / С.В. Клышевская //Вестник КрасГАУ. - 2010. - № 10. – С. 45-48.

76.Колоскова, А. В. Агрофизические свойства светло-серых лесных почв Татарской АССР / А. В. Колоскова // Почвоведение. - 1960. - № 3. - С. 42-52.

77.Колоскова, А. В. Изменение некоторых свойств обыкновенных черноземов под влиянием полевых защитных лесных полос / А. В. Колоскова // Ученые записки Казанского ун-та. - 1956. - Т. 116. - кн. 1. - С. 236-239.

78.Кореньков, Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений / Д.А. Кореньков. - Москва: РАСХН, 1999. - 296 с.

79.Коржинский, С. И. Предварительный отчет о почвенных и геоботанических исследованиях 1886 г. в губерниях: Казанской, Самарской, Уфимской, Пермской и Вятской / С. И. Коржинский // Труды общества естествоиспытателей при Казан, ун-те. - 1887. - Т. XVI. - вып. 6. - С. 18-87.

80.Коршунов, М.А. Изменение плодородия серых лесных почв Татарии под воздействием сельскохозяйственных культур и удобрений / М. А. Коршунов. - Казан: Изд. казанского универ., 1972. - 108 с.

81.Красная книга почв Республики Татарстан / А. Б. Александрова, Н. А. Бережная, Б. Р. Григорьян, Д. В. Иванов, В. И. Кулагина. Под ред. Д. В. Иванова. –1-е. изд.– Казань: Фолиант, 2012. – 192 с.

82.Кулаковская, Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т. Н. Кулаковская. - Москва: Агропромиздат, 1990. - 218 с.

83.Куликова, А.Х. Агроэкологическая оценка плодородия почв Среднего Поволжья и концепция его воспроизводства / А.Х. Куликова, А.В. Карпов, И.А. Вандышев, В.П. Тигин. - Ульяновск, 2007. – 158 с.

84.Курочкин, М. Ф. Производственно-генетическая классификация почв Татарской АССР / М. Ф. Курочкин // Межобластное совещание почвоведов Урала и Поволжья: реф. докл. - Уфа, 1960. - С. 63-64.

85.Ладонин, Д.В. Формы соединений тяжелых металлов в техногенно-загрязненных почвах: монография / Д.В. Ладонин. - Москва: МГУ имени М. В. Ломоносова, 2019. - 312 с.

86.Логинов, В.Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования. 2-е изд./ В.Ф. Логинов, С.А. Лысенко, В.И. Мельник. - Минск: УП «Энциклопедикс», 2020. - 264 с.

87.Ломако, Е.И. Рекомендации по расчету баланса гумуса в земледелии и потребности в органических удобрениях / Е.И. Ломако, Ш.А. Алиев. – Казань, 2002. – 56 с.

88.Ломако, Е.И. Воспроизводство плодородия почв Республики Татарстан / Е.И. Ломако, Н.Б. Бакиров. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2007. – 318 с.

89.Лукин, С.В. Мониторинг содержания микроэлементов в пахотных почвах / С.В. Лукин // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2011. - №5. – С. 23-25.

90.Лукин, С.М. Агроэкологическое обоснование систем применения удобрений в севооборотах на дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 06.01.04 / Лукин Сергей Михайлович. – Москва, 2009. – 49 с.

91.Лукманов, А.А. Агрохимические факторы интенсификации земледелия и калийный режим почв Предволжья Республики Татарстан / А. А. Лукманов, М. Ю. Гилязов, Р. М. Гайнуллин, Зарипов Д.Ф., Ибатуллин И.М.1,2// Агрохимический вестник. – 2025. – № 1. – С. 44-49. – DOI 10.24412/1029-2551-2025-1-009.

92.Лукманов, А.А. Аккумулятор знаний по агрохимии: учеб. пособие. Часть 1. Питание растений. Свойства почвы. Удобрения: виды, состав, свойства / А.А. Лукманов, А.В. Ивойлов; под ред. А.В. Ивойлова. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2023. – 160 с.

93.Лукманов А.А. Кислотный режим почв пашни Предволжья Республики Татарстан в зависимости от применения агрохимикатов / Лукманов А.А., Гилязов М.Ю., Зарипов Д.Ф. // Плодородие. – 2025. – №2. – С. 14-18. DOI: 10.25680/S19948603.2025.143.03.

94.Лукманов, А.А. Ресурсный потенциал выщелоченных чернозёмов Среднего Поволжья / А.А. Лукманов. – Казань: ФГБОУ «Казанский государственный аграрный университет», 2021. – 265 с.

95.Лукманов, А.А. Состояние плодородия пахотных почв Республики Татарстан и урожайность сельскохозяйственных культур. / А.А. Лукманов, С.Ш. Нуриев, И.Д. Давлятшин // Плодородие. - 2010. - № 2. - С. 6-8.

96.Лукманов, А.А. Эколого-агрохимические основы плодородия почв Республики Татарстан / А.А. Лукманов. – Казань: Логос-Пресс, 2024. – 272 с.

97.Лукманов, А.А. Эколого-агрохимическая оценка плодородия почв и эффективности применения удобрений в Предволжье Республики Татарстан / А. А. Лукманов: Дис. ... кандидата биол. Наук по специальности 06.01.04 - агрохимия. – Москва, 2011. - 186 с.

98.Лыков, А.М. Воспроизводство плодородия почв в Нечерноземной зоне / А.М. Лыков. – Москва: Россельхозиздат, 1982. - 143 с.

99.Лыков, И.Н. Техногенные системы и экологический риск / И.Н. Лыков, Г.А. Шестакова. – Москва: Глобус, 2005 – 260 с.

100.Лыскова, И.В. Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области / И.В. Лыскова, О.Э. Суховеева, Т.В. Лыскова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2021. - Т. 22. - № 2. - С. 244-253.

101.Лях, Т. Г. Содержание и формы соединений микроэлементов в серых лесных эродированных и делювиальных почвах Молдовы /Т.Г. Лях: Автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 03.00.27 / Ин-т почвоведения и агрохимии. - Баку, 1991. - 25 с.

102.Магницкий, К.П. Могучее средство повышения урожая. О влиянии известкования на почву и растения / К.П. Магницкий. - Москва: Знание, 1969. - С. 4-6.

103.Маданов, П. В. Почвы района деятельности Пестречинского МТС, рукопись, 1936.

104.Макаров, В.И. Агроклиматические ресурсы Удмуртии и их связь с урожайностью зерновых культур (на примере Ижевской ГМС) / В.И. Макаров // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. - 2016. - Т. 26. - Вып. 3. - С. 112–121.

105.Максимова, Е. Рекордный вал – экономический провал. Большой прошлогодний сбор сократил энтузиазм аграриев по выращиванию зерновых культур в сезоне 2023/24 /Е. Максимова // Агроинвестор. – 2023. – июль [Электронный ресурс] URL: <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/40568-rekordnyy-val-ekonomicheskii-proval-bolshoy-proshlogodniy-sbor-sokratil-entuziazm-agrariyev-po-vyrashch/> (дата обращения 20.08.2023).

106.Максютов, Н.А. Влияние погодных условий на урожайность полевых культур в степной зоне Оренбуржья / Н.А. Максютов, А.А. Зоров, В.Ю. Скороходов, Д.В. Митрофанов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - 2020. - Т. 5. - № 4. - С. 8-17.

107.Медведева А. Производство зерна в России 2020: структура посевных площадей и урожайность [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskhozjaistvennyh-tovarov/proizvodstvo-zerna-v-rossii-2020-struktura-posevnyh-ploschadei-i-urozhainost.html> (дата обращения 25.02.2022).

108.Мёрзлая, Г.Е. Агроэкологическая эффективность традиционных и новых видов органических удобрений / Г.Е. Мёрзлая //Химия в сельском хозяйстве. – 1996. – № 6. – С. 2-4.

109.Мёрзлая, Г.Е. Проблемы использования органических отходов в агрикультуре / Г.Е. Мёрзлая // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2015. – № 1. – С. 40-50.

110.Мёрзлая, Г.Е. Результаты исследования состояния органического вещества почв при длительном применении различных видов органических удобрений / Г.Е. Мерзлая, В.Ф. Ефремов, С.М. Лукин, И.В. Русакова, С.И. Тарасов, И.И. Шелганов, Н.Д. Коновалов // Влияние длительного применения удобрений на органическое вещество почв. - М.: ВНИИА, 2010. - С. 231-308.

111.Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва: ЦИНАО, 1992. – 64 с.

112.Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. Под ред. Л.М. Державина, Д.С. Булгакова. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 240 с.

113.Миграция тяжелых металлов в почве [Электронный ресурс]. – URL: <https://milk-industry.ru/praktikum-po-agrohimii/4082-migraciya-tyazhelyh-metallov-v-pochve.html> (дата обращения 15.08.2023).

114.Минакова, А. В. Влияние длительного применения минеральных удобрений и навоза на гумусовое и азотное состояние чернозема выщелоченного в зерносвекловичном севообороте Лесостепи ЦЧЗ / А. В. Минакова, И. И. Тамбовцева, А. И. Громовин //Агрохимия. - 2011. - №5. - С.18-25.

115.Минеев, В.Г. Агрохимия / В.Г. Минеев. – Москва: Изд-во МГУ, Изд-во «КолосС», 2004. – 720 с.

116.Минеев, В. Г. Актуальные задачи агрохимии в условиях современного земледелия / В.Г. Минеев // Проблемы агрохимии и экологии. - 2011. - № 1. - С. 3–8.

117.Минеев, В.Г. Агрохимия / В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, Г.П. Гамзиков и др. – Москва: Изд.-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. - 854 с.

118.Минибаев, В.Г. Микроэлементы в почвах правобережья среднего течения Волги / В.Г. Минибаев, Р.К. Даутов // Микроэлементы в СССР. – Т.20. - Рига: Зинатне, 1979. – С. 50-56.

119.Митрофанов, Д.В. Влияние погодных и земных факторов на урожайность зерновых культур в севооборотах на почвозащитном опытном участке в Оренбургском Зауралье / Д.В. Митрофанов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2021. - № 1 (87). - С. 18-24.

120.Муравин, Э.А. Агрохимия / Э.А. Муравин, В.И. Титова. - Москва: КолосС, 2009. - 463 с.

121.Муратов, М.Р. Влияние длительного применения удобрений и химических мелиорантов на агрохимическое состояние почв и урожайность сельскохозяйственных культур в условиях Предкамья Республики Татарстан:

дисс. канд. с.-х. наук по спец. 06.01.04 – агрохимия /Муратов Марсель Рафаилович. – Казань, 2015. – 236 с.

122.Муртазина, С.Г. Динамика азота и ферментационной активности под влиянием эрозии в почвах Республики Татарстан / С.Г. Муртазина // Агрохимический вестник. – 2006. - № 6. – С. 6-7.

123.Мустафин, М.Р. Всё о Татарстане (Экономико-географический справочник) / М.Р. Мустафин, Р.Г. Хузеев. - Казань: Тат. кн. изд-во, 1994. -164 с.

124.Мушта, А.А. Продовольственная безопасность /А.А. Мушта, Н.В. Михалкин // Электронная версия «Большая российская энциклопедия». URL: <https://bigenc.ru/c/prodovol-stvennaia-bezopasnost-50dc1a> (дата обращения: 20.04.2025). - Текст: электронный.

125.Население Земли достигло 8 миллиардов человек [Электронный ресурс]. - URL: <https://lenta.ru/brief/2022/11/15/billions/> (дата обращения 07.08.2022).

126.Неттевич, Э.Д. Яровая пшеница в нечерноземной зоне / Э.Д. Неттевич. – Москва: Россельхозиздат, 1976. – 220 с.

127.Никитишен, В. И. Потребность в микроэлементах кукурузы, выращиваемой на длительно удобряемой серой лесной почве / В. И. Никитишен, В. И. Личко, В. Е. Остроумов // Агрохимия. - 2012. - №5. - С.3-8.

128.Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие / Под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В. В. Щеглова, Н. И. Клейменова. – Москва: ВНИИЖ, 2003. – 456 с.

129.Нуриев, С.Ш. Кислотность почв и баланс кальция и магния в земледелии Республики Татарстан / С. Ш. Нуриев, В.З. Шакиров, А.А. Лукманов // Агрохимический вестник – 2006. - № 3. - С. 29-30.

130.Овчаренко, М.М. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение /М.М. Овчаренко и др. / Под общей редакцией академика МАЭН М. М. Овчаренко. - Москва, 1997. - 290 с.

131. Орлов, Д.С. Влияние орошения на содержание гумусовых веществ и углеводов в южных и предкавказских черноземах / Д. С. Орлов, Е. М. Аниканова, Л. К. Садовникова // Агрохимия. - 1975. - №12. - С. 51-58.

132. Орлов, Д.С. Практикум по химии гумуса/ Д. С. Орлов, Л. А. Гришина. - Москва: Изд-во Московского ун-та, 1981. - 320 с.

133. Ормели, Е.И. Зависимость урожайности яровой пшеницы от гидротермических условий в Саратовском регионе / Е.И. Ормели // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. - 2021. - Т. 31. - Вып. 4. - С. 467–473.

134. Осипов, А. В. Влияние антропогенных изменений на биологическую активность почв / А.В. Осипов, Т.В. Колесниченко, О.В. Димитриенко // Глобус. - 2021. - №7 (64). [Электронный ресурс; Режим доступа: <https://cyberleninka.ru>]. – Текст: электронный. –URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-antropogennyh-izmeneniy-na-biologicheskuyu-aktivnost-pochv> (дата обращения: 10.05.2024).

135. Осипов, А.И. Роль удобрений в плодородии почв и питании растений / А.И. Осипов // X юбилейные Лужские научные чтения. Современное научное знание: теория и практика. – Санкт-Петербург: Изд-во Ленинградский гос. университет им. А.С. Пушкина, 2022. – С. 358-364.

136. Павлова, В. Н. Продуктивность зерновых культур на территории Европейской России при изменении климата за последние десятилетия / В.Н. Павлова, А.А. Карачёнова // Метеорология и гидрология. - 2020. - № 1. - С. 78–94.

137. Панников, В. Д. О высокой культуре земледелия и росте урожаяев. / В.Д. Панников. – Москва: Россельхозакадемия, 2003. – 372 с.

138. Пахомова, В.М. Полифункциональные эффекты новых хелатных микроудобрений марки ЖУСС/ В.М. Пахомова, А.И. Даминова, И.А. Гайсин // Доклады ТСХА: сборник статей, 2019. – С.571-574.

139. Переведенцев, Ю.П. Прогнозирование урожайности яровой пшеницы по метеорологическим показателям на примере Тетюшского района Республики

Татарстан / Ю.П. Переведенцев, И.Д. Давлятшин, А.А. Лукманов, А.Б. Мустафина // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. - 2020. - Т. 30. - Вып. 4. - С. 457–464. DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-4-457-464.

140.Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире 2021 [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.fao.org/documents/card/ru/c/cb4474ru> (дата обращения 22.05.2022).

141.Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире 2022 [Электронный ресурс]. - URL: <https://openknowledge.fao.org/items/858eda63-5817-4a27-b948-9949824e6040> (дата обращения 22.07.2023).

142.Попов, Г.Н. Агрохимия микроэлементов в степном Поволжье / Г. Н. Попов. - Саратов, 1984. - 184 с.

143.Попов, П.Д. Воспроизводство гумуса и хозяйственно-биологический круговорот органического вещества в земледелии на основе перспективных технологий производства и применения органических удобрений / П. Д. Попов: Автореф. дисс... д-ра с. - х. наук. - М., 1997. - 64 с.

144.Посыпанов, Г.С. Растениеводство: учебник для вузов; под ред. Г.С. Посыпанова / Г.С. Посыпанов и др. – Москва: КолосС, 2017. – 612 с.

145.Прянишников, Д.Н. Избранные сочинения. Том 1. Агрохимия / Д. Н. Прянишников [Сост. и авт. вступ. статьи, с. 9-31, А. В. Петербургский]. – Москва: Сельхозиздат, 1963. - 735 с.

146.Пухачев, А.П. Почвам – надежную защиту (Эрозия почв и меры борьбы с ней в Татарии) /А.П. Пухачев, Л.Г. Бухараева. – Казань: Татарское кн. изд-во, 1984. – 80 с.

147.Ризположенский, Р. В. Естественно-историческое описание Казанской губернии. Почвы Казанской губернии. Глава I. Понятие о почве, классификация почв и общее описание почв Казанской губернии / Р. В. Ризположенский // Труды общества естествоиспытателей при Казан. ун-те. - 1892. - Т. 24, вып. 6. - С. 1-29.

148.Рудай, И. Д. Агроэкономические проблемы повышения плодородия почв / И. Д. Рудай. – Москва: Россельхозиздат, 1985. – 255 с.

149.Рупрехт, Ф. И. Геоботанические исследования о черноземе с картой распространения чернозёма в Европейской России / Ф. И. Рупрехт. – Санкт-Петербург, 1866. - 36 с. - (Прил. к 10-му тому Зап. акад. наук, № 6).

150.Рюбензам, Э. Земледелие / Э. Рюбензам, К. Рауэ; Перевод с нем. А. М. Лыкова. Под общ. ред. и с предисловием канд. с.-х. наук А. Н. Ямникова. – Москва: Колос, 1969. - 520 с.

151.Сафин, Р.И. Земледелие Татарстана вступило в зону высоких агрометеорологических рисков/Сафин, Р.И. [Электронный ресурс]. - URL: <http://exp.idk.ru/question/interview/zemledelie-tatarstana-vstupilo-v-zonu-vysokikh-agrometeorologicheskikh-riskov/395855> /_(дата обращения 26.08.2022).

152.Селянинов, Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата / Г. Т. Селянинов. – Москва: Гидрометеиздат, 1977. – 220 с.

153.Сержанов, И.М. Влияние биологических удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях северной части лесостепи / И.М. Сержанов, Ф.Ш. Шайхутдинов, С.Ш. Нуриев, И.И. Майоров // Достижение науки и техники АПК. - 2013. - № 9. – С. 29-31.

154.Сержанов, И.М. Яровая пшеницы в северной части лесостепи Поволжья / И.М. Сержанов, Ф.Ш. Шайхутдинов. – Казань: Изд-во «Бриг», 2013. - 234 с.

155.Система ведения отраслей агропромышленного комплекса Республики Татарстан. - Казань: Татар. кн. изд-во, 1992. - 524 с.

156.Система земледелия Республики Татарстан: ч. 1. Общие аспекты системы земледелия. – Казань: Центр инновационных технологий, 2013. – 166 с.

157.Система земледелия Республики Татарстан: ч. 2. Агротехнологии производства продукции растениеводства. – Казань: Центр инновационных технологий, 2014. – 292 с.

158.Смирнова, Е.В. Методические подходы к агрохимическому обследованию черноземных пахотных угодий Республики Татарстан для внедрения технологий цифрового земледелия / Е.В. Смирнова, К.Г.,

Гиниятуллин, И.А. Сахабиев // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2021: Сборник материалов. – Казань: ГБУ «НЦБЖД», 2021. - Ч. 1. - С. 692-698.

159.Соболев, В.А. Влияние погодных условий на урожайность зерновых культур в степной зоне Бурятии / В.А. Соболев, А.П. Батудаев, Б.Б. Цыбиков, В.М. Коршунов, Т.В. Гребенщикова// Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. - 2021. - № 3(64). - С. 138–143.

160.Стифеев, А.И. Система рационального использования и охрана земель [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.И. Стифеев, Е.А. Бессонова, О.В. Никитина. - Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 168 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/113924>. - Загл. с экрана. (ЭБС «Лань»).

161.Сулейманов, И. Р. Действие серосодержащих удобрений на урожайность ярового рапса и потребление макроэлементов растениями в условиях серой лесной почвы / И.Р. Сулейманов, М.Ю. Гилязов // Агрохимический вестник. – 2010. - № 4. - С. 20-22.

162.Султыгова, Х.А. Влияние климатических изменений на сельское хозяйство и возможные стратегии адаптации [Электронный ресурс] / Х.А. Султыгова // Научный лидер. – 2023. - № 47 (145). URL: <https://scilead.ru/article/5393-vliyanie-klimaticheskikh-izmenenij-na-selskoe>.

163.Сычев, В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования / В.Г. Сычев. - Москва: Российская академия наук, 2019. – 328 с.

164.Сычев, В.Г. Состояние и эффективность химической мелиорации почв в земледелии Российской Федерации / В.Г. Сычев, И. А. Шильников, Н.И. Аканова // Плодородие - 2013. - № 1. - С. 9-13.

165.Сюндюковское месторождение фосфоритов [Электронный ресурс]. - URL: <https://tatarica.org/ru/razdely/priroda/poleznye-iskopaemye/poleznyeiskopaemye/syundyukovskoe-mestorozhdenie> Онлайн-энциклопедия Tatarica (дата обращения 15.10.2023).

166.Танделов, Ю.П. Плодородие кислых почв земледельческой территории Красноярского края / Ю.П. Танделов. – Красноярск, 2012. - 161 с.

167.Титова, В.И. Агрохимия - 2021 / В.И. Титова. - Нижний Новгород: Нижегородский ГАТУ, 2021. - 208 с.

168.Титова, В.И. Влияние различных видов органических удобрений на воспроизводство плодородия нарушенных почв / В. И. Титова, Е. В. Дабахова, А. А. Ветчинников // Агрохимия. - 2011. - №5. - С. 9-17.

169.Торикова, О.В. Влияние средств химизации на накопление тяжелых металлов в системе почва-растение и биологические свойства почвы / О.В. Торикова: Дисс. на соискание ученой степени канд. с.-х. наук по специальности 05.01.15 - агроэкология. - Москва, - 135 с.

170.Тюрин, И.В. К вопросу о генезисе и классификации лесостепных и лесных почв / И. В. Тюрин // Ученые записки Казанского ун-та. - 1930. - Т. 90, - кн. 3/4. - С. 429-462.

171.Устойчивое развитие сельского хозяйства в условиях глобальных рисков: Сборник трудов научно-практической конференции. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ. – 2016. – 608 с. ISBN 978-5-905201-31-8

172.Уточкин, В.Г. Фосфоритование почв Нечерноземной зоны (рекомендации) / В.Г. Уточкин. – Москва: Агропромиздат, 1989. – 56 с.

173.Утэй, И. В. Почвы и их плодородие: учеб. пособие / И. В. Утэй. - Казань: Татиздат, 1951. - 65 с.

174.Фаткуллин, А. Ш. Почвы Бугульминского сырта: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. Ш. Фаткуллин; Казан, гос. ун-т им. В. И. Ульянова-Ленина. - Казань, 1952. - 13 с.

175.Фатыхов, И.Ш. Ячмень яровой в адаптивно-ландшафтном земледелии Среднего Предуралья / И.Ш. Фатыхов. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2002. – 384 с.

176.Федотов, В.И. География России: Почвенно-климатические условия, сельское хозяйство и отрасли пищевой и легкой промышленности / В.И.

Федотов //Вестник Воронежского ГУ. Серия: География. Геоэкология. - 2015. - № 3. – С. 86-111

177.Федотова, Е.Н. Действие микроэлементов и биоудобрений на вынос питательных веществ растениями ярового ячменя из почвы и минеральных удобрений / Е.Н. Федотова // Владимирский земледелец. - 2016. - № 4(78). –С. 23-25.

178.Филиппова, Л.С. Загрязнение почв и биологические методы её очистки / Л. С. Филиппова, А.С. Акимова // МНИЖ. - 2022. - №11 (125). [Электронный ресурс; Режим доступа: <https://cyberleninka.ru>]. – Текст: электронный. –URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zagryaznenie-pochvy-i-biologicheskie-metody-ee-ochistki> (дата обращения: 10.05.2024).

179.Филок, И.И. Влияние сельскохозяйственного освоения и длительного применения удобрений на гумусное состояние темно-серых лесных почв / И. И. Филок, И. А. Шеларь // Агрохимия. - 2002. - №1. - С. 16-22.

180.Хан, Д.В. Органоминеральные соединения и структура почвы / Д. В. Хан. - Москва: Наука, 1969. - 142 с.

181.Хлеб белый пшеничный – химический состав, пищевая ценность [Электронный ресурс]. - URL: <https://fitaudit.ru/food/141641>(дата обращения 25.02.2022).

182.Храмов, И.Т. Влияние навоза и фосфорного минерального удобрения на фосфатный режим почвы и продуктивность посевов / И.Т. Храмов // Труды ТатНИИ агрохимии и почвоведения. Плодородие почв, удобрения, урожай. - Казань: Изд-во «ДАС», 2001. - С.97-98.

183.Цены в России. 2020: Стат. сб./ Росстат - Москва, 2020. – 147 с.

184.Чеботарев, Н. Т. Влияние длительного применения удобрений на содержание, фракционный состав и баланс гумуса в дерново-подзолистых почвах европейского Северо-Востока / Н. Т. Чеботарев, Г. Т. Шморгунов, Е. М. Лаптева, В.И. Ермолина, В. М. Кормановская //Агрохимия. - 2009. -№10. - С. 11-16.

185.Чекмарев, П.А. Система удобрения в условиях биологизации земледелия / П.А. Чекмарев, С.В. Лукин // Достижения науки и техники АПК. - 2012. - №12. – С. 10-12.

186.Чумаченко, И.Н. Применение известково-фосфоритной муки из фоссырья Сюндюковского месторождения в предволжской зоне Татарской АССР (временные рекомендации)/ И.Н. Чумаченко, В.А. Сушеница, Г.С. Егоров и др. - Москва-Казань, 1989. – 24 с.

187.Шакиров, В. З. Изменение объемного веса и структурно-агрегатного состава серой лесной почвы под влиянием длительного применения удобрений и состава возделываемой в севообороте культур / В. З. Шакиров // Республиканская научно-техн. конф. молодых ученых и специалистов: тез. докл. -Казань, 1974. - С. 17-18.

188.Шафран, С.А. Прогнозирование агрохимических показателей почвенного плодородия / С.А. Шафран //Плодородие почв и пути его повышения. - Москва: Колос, 1983. - С.129-133.

189.Шендриков, М. Г. Почвы части Закамских районов ТАССР / М. Г. Шендриков. - Казань: Татгосиздат, 1934. - 147 с.

190.Шеуджен, А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. Под ред. А.Х. Шеуджена. - 2-е изд. перераб. – Майкоп: Афиша, 2006. – 1075 с.

191.Шеуджен, А.Х. Влияние доз и сочетаний минеральных удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур, возделываемых на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, А.И. Столяров, Л.П. Леплявченко, Л.И. Громова, В.П. Суетов и др. / Труды КубГАУ. - 431 (459). - 2008. – С. 48-59.

192.Шильников, И.А. Значение известкования и потребность в известковых удобрениях / И.А. Шильников, Н.И. Аканова, В.Н. Темников // Агрохимический вестник. – 2008. - №6. - С. 28-31.

193.Шильников, И.А. Известкование кислых почв / И.А. Шильников, Л.А. Лебедева. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 167 с.

194.Эффективность местной доломитовой муки различного гранулометрического состава в условиях ресурсосберегающих технологий / Л.М.-Х. Биккинина, Е.И. Ломако, Ш.А. Алиев, М.М. Ильясов // Достижения науки и техники АПК. – 2014. - № 3. – С. 20-22.

195.Ягодин, Б.А. Агрохимия / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. 4-е изд. стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 584 с.

196.Ягодин, Б.А. Агрохимия [Электронный ресурс]: учебник / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. - Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 584 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/87600>. – Загл. с экрана. (ЭБС «Лань»).

197.Alvarez R. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage // Soil Use and Management. -2005. -V. 21. № 1. - P. 38-52.

198.Asmus, F. Wirkunglangjähriger Stroh-Gülle-Düngungindihrer Kombinationmit N-Mineraldüngung auf Pflanze-nertrag, N-Ausnutzung und Humusgehalt des Bodens / F. Asmus, H. Gorlitz // Arch. Acker – Pflanzenbau Bodenk. - 1985. - P. 29-131.

199.Chen, C. China and India lead in greening of the world through land-use management / C. Chen, T. Park, X. Wang, Sh. Piao, B. Xu, R.K. Chaturvedi, R. Fuchs, V. Brovkin, Ph. Ciais, R. Fensholt, H. Tommervik, G. Bala, Z. Zhu, R.R. Nemani, R.B. Myneni // Nat. Sustain. – 2019. - Vol. 2. - no. 2. - P. 122–129.

200.De Vries W., Breeuwsma A. The relation between soil acidification and element cycling / W. De Vries, A. Breeuwsma // Water Air Soil Pollut. 1987. № 35. - P. 293–310.

201.Edmeades, D.C. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review / D.C. Edmeades // Nutrient Cycling in Agroecosystems. - 2003. - V. 66. - №2. - P. 165-180.

202.Handbook of Soil Acidity / Ed: Zelenko Rengel. CRC Press, Marsel Dekker, 2003. - 496 p.

203.Jenkinson, D.S. Nitrogen efficiency in agricultural soil / D.S. Jenkinson, K.A. Smith // Elsevier applied science. London & New York. - 1989. - 450 p.

204.Kundler, P. Die wichtigsten Aussagen der Daurversuche zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit / P. Kundler // Tagungsber. - Akad, Landwirtschaftswiss. DDR. - 1982. - № 205. - S. 5-16.

205.Liu, Y.Y. Recent reversal in loss of global terrestrial biomass / Y.Y. Liu, van Dijk A.I.J.M., de Jeu R.A.M., J.G. Canadell, M.F. McCabe, J.P. Evans, G. Wang // Nat. Clim. Change. - 2015. - Vol. 5. - P. 470–474.

206.Olga Liefert. Rising Grain Exports by the Former Soviet Union Region: Causes and Outlook / Olga Liefert, William Liefert, Eric Luebehusen. // USDA, A Report from the Economic Research Service, February 2013. – P. 26.

207.Sama, H. Effect of soil and climatic conditions on the physicochemical characteristics and agro-industrial potential of three indigenous oilseed crops from Burkina Faso / H. Sama, D.C. Traore, S. Genne et al. // BMC Plant Biol 22, 321 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03713-7>

208.U.N. food chief says billions of dollars are needed to avert unrest and starvation. APRIL 1, 2023. By the Associated Press. URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.0ce3e77e-683ade4e-4ec2fbd0-74722d776562/https/www.npr.org/2023/04/01/1167582922/un-david-beasley-billions-dollars-avert-starvation-unrest (дата обращения: 12.05.2025). - Текст: электронный.

209.Vissey, J.K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizerch / J.K. Vissey // Plant and Soil. 2003. – V. 225. – P. 571-586.

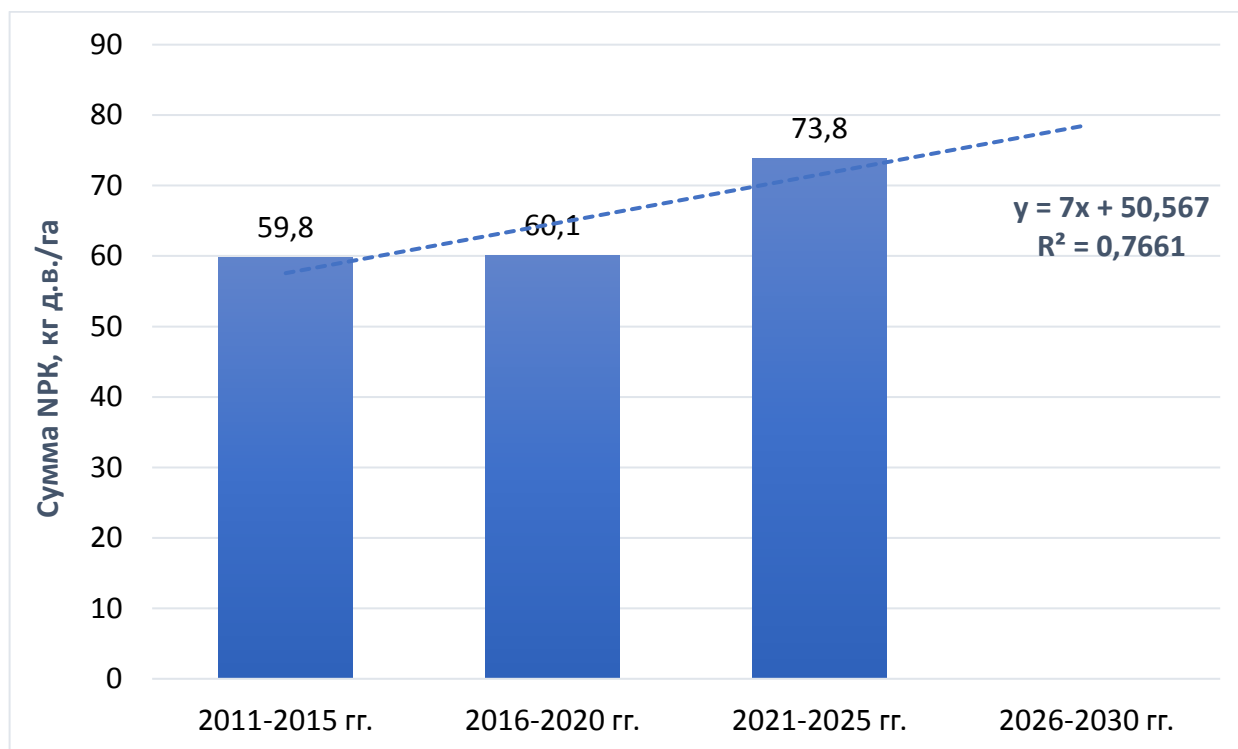
210.William, Liefert. Former Soviet Union Region to Play Larger Role in Meeting World Wheat Needs / William Liefert, Olga Liefert, Gary Vocke, and Ed Allen // USDA, Economic Research Service, Amber Waves. - June 2010. - volume 8. - issue 2. - P. 12–19.

211.Wilde, S.A. Forest Humus: Its Classification on Genetic Basis / S.A. Wilde // Soil Science. – 1971. - № 1. - Vol. 111.

212.Zhu, Z. Greening of the Earth and its drivers / Z. Zhu, Sh. Piao, R.B. Myneni, M. Huang et al. // Nat. Clim. Change. - 2016. - Vol. 6. - P. 791–795.

ПРИЛОЖЕНИЯ**Приложение 1**

Прогноз изменения уровня применения минеральных удобрений в Предволжье
Республики Татарстан на ближайшую перспективу

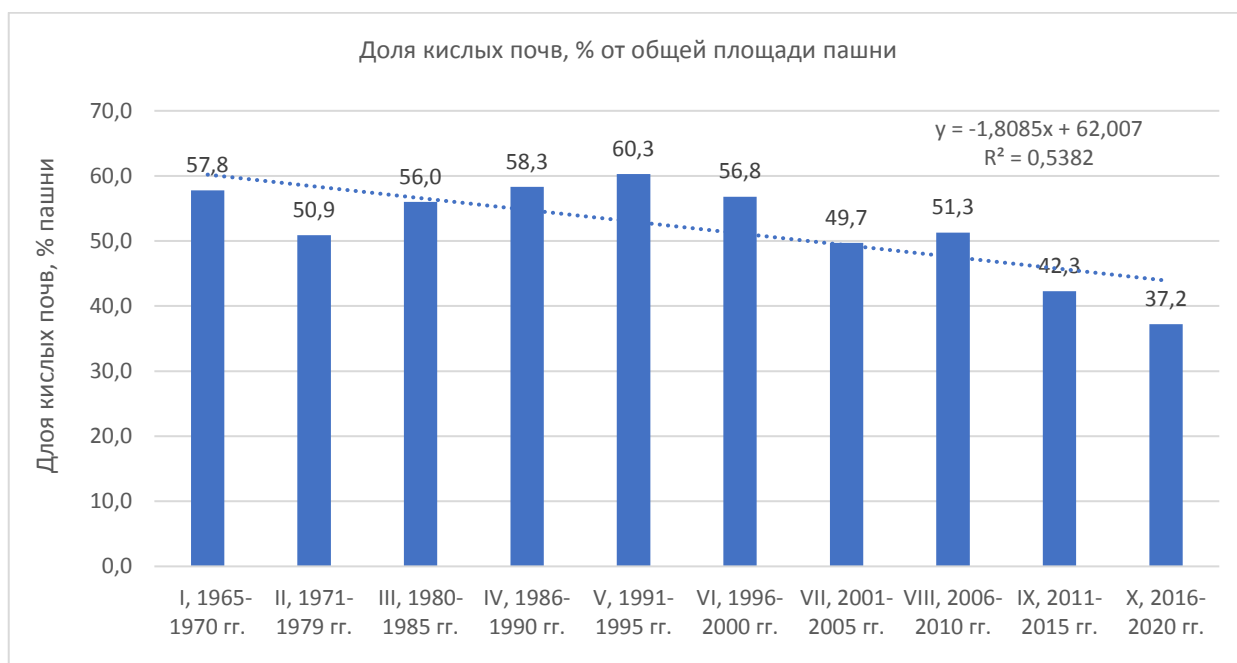
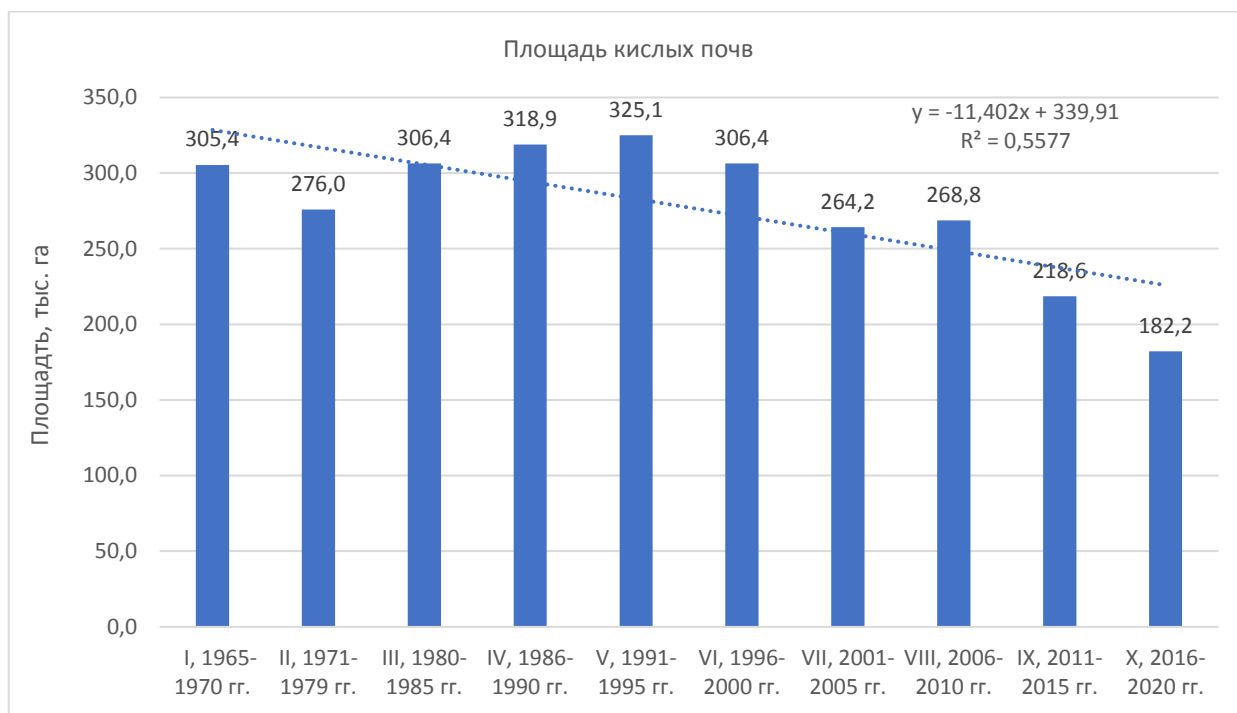


Приложение 2

Группировка почв по содержанию гумуса в пахотном горизонте с учетом типа
и подтипа почв

Почвы	Группы по содержанию гумуса, %				
	очень низкое (I)	низкое (II)	среднее (III)	повышенное (IV)	высокое (V)
Дерново- подзолистая	<1,0	1,1-1,5	1,6-2,0	2,1-2,5	>2,5
Светло- коричневая, светло-серая лесная	<1,5	1,6-2,0	2,1-2,5	2,6-3,0	>3,0
Серая, коричневая, серая лесная	<2,0	2,1-2,5	2,6-3,0	3,1-4,0	>4,0
Темно- коричневая, тёмно-серая лесная	<3,0	3,1-3,5	3,6-4,0	4,1-5,0	>5,0
Чернозём оподзоленный	<4,0	4,1-5,0	5,1-6,0	6,1-7,0	>7,0
Чернозём выщелоченный	<5,0	5,1-6,0	6,1-7,0	7,1-8,0	>8,0
Чернозём типичный	<6,0	6,1-7,0	7,1-8,0	8,1-9,0	>9,0
Чернозем обыкновенный	<5,0	5,1-6,0	6,1-7,0	7,1-8,0	>8,0
Чернозём карбонатный	<6,0	6,1-7,0	7,1-8,0	8,1-9,0	>9,0
Лугово- чернозёмная, пойменная	<3,0	3,1-3,5	3,6-4,0	4,1-4,5	>4,5

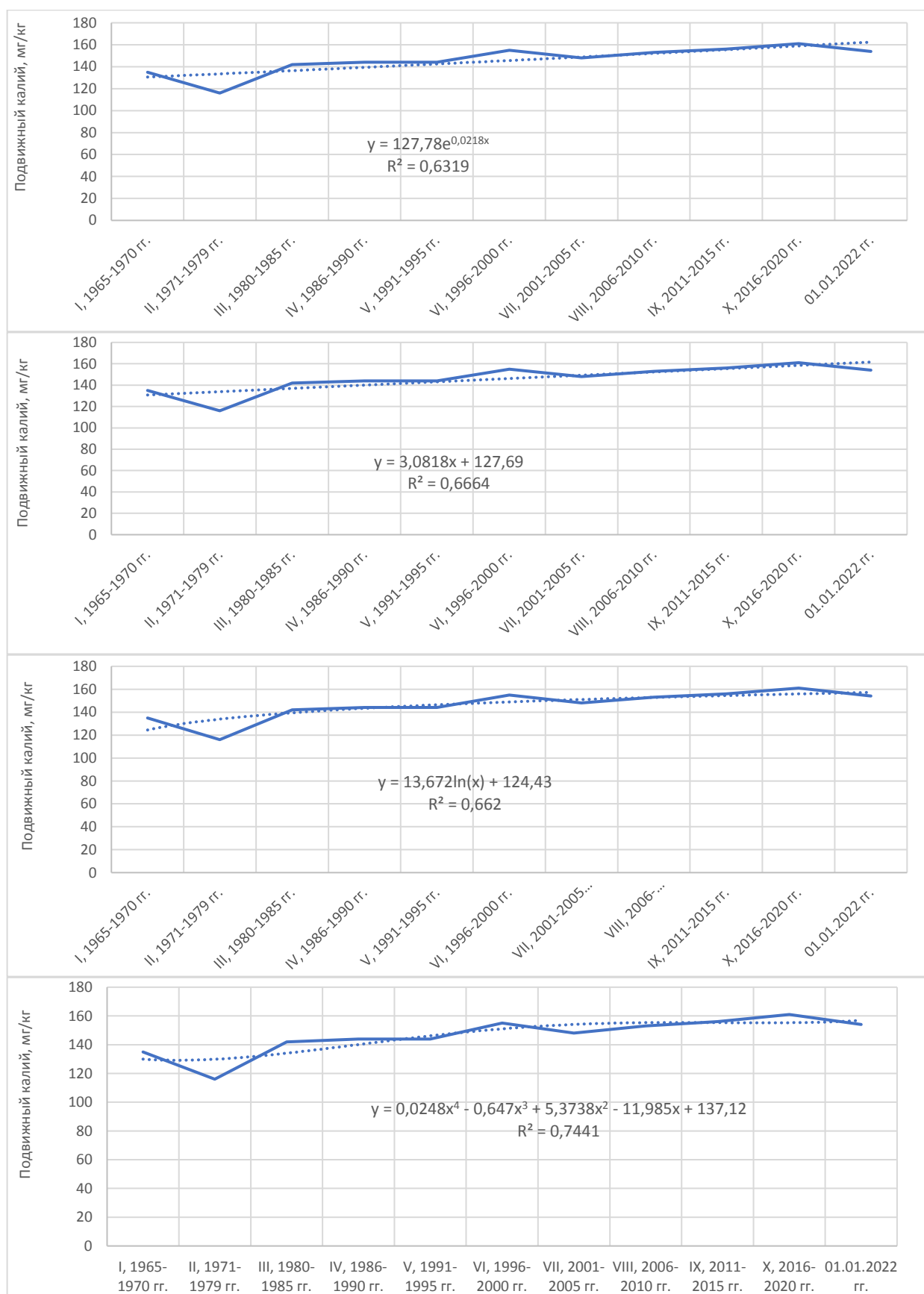
**Динамика площадей кислых почв пашни Предволжья РТ по циклам
агрохимического обследования**



Группировка почв по содержанию подвижных форм фосфора

№ групп	Рекомендуемый цвет раскраски	Содержание подвижного P_2O_5	Методы определения по		
			Кирсанову	Чирикову	Мачигину
			содержание P_2O_5 , мг/кг почвы		
1	бирюзовый	очень низкое	<25	<20	<10
2	светло-голубой	низкое	26-50	21-50	10-15
3	голубой	среднее	51-100	51-100	16-30
4	светло-синий	повышенное	101-150	101-150	31-45
5	синий	высокое	151-250	151-200	46-60
6	темно-синий	очень высокое	>250	>200	>60

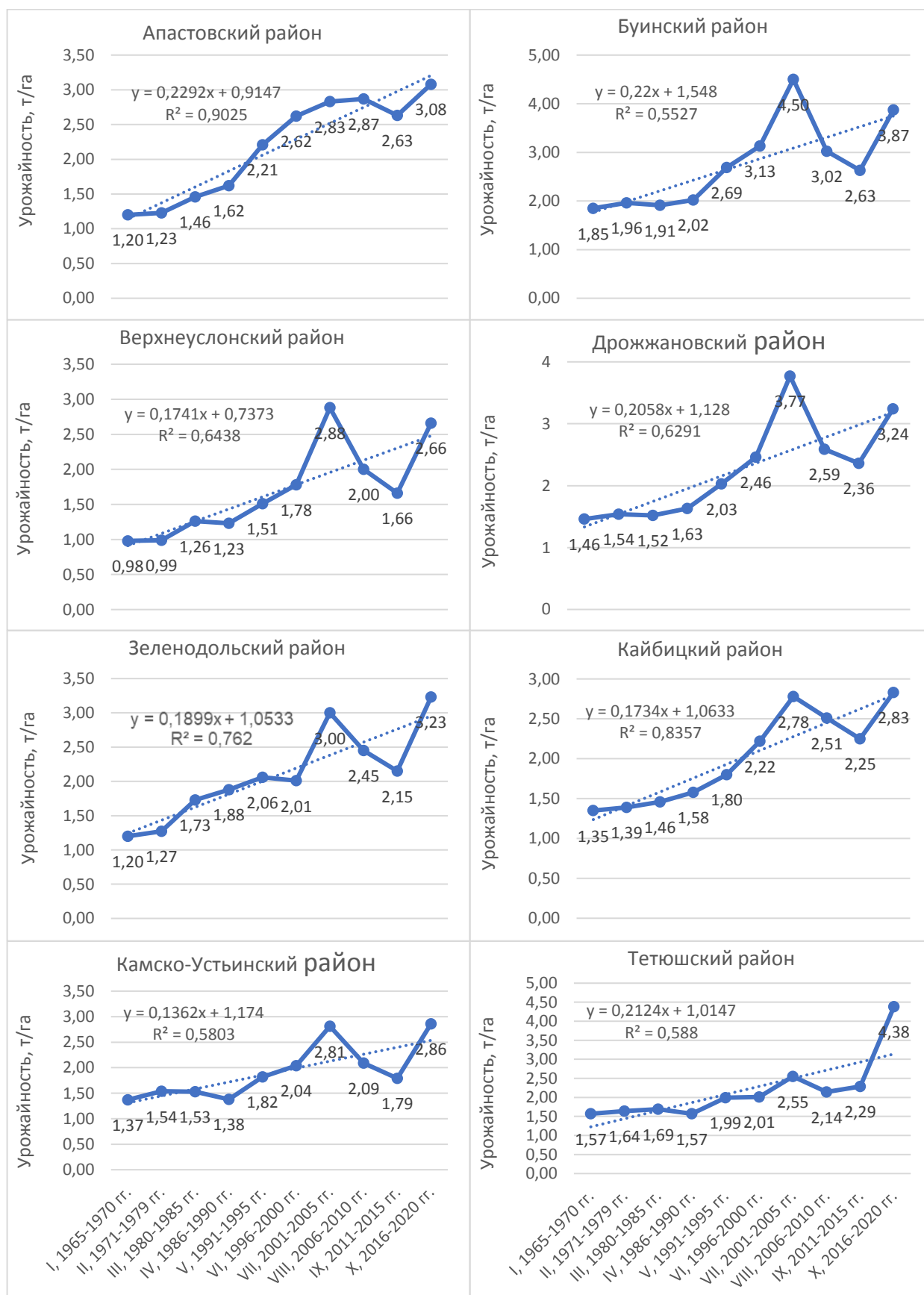
Динамика средневзвешенного содержания подвижного калия в пахотных почвах Предволжья РТ по циклам агрохимического обследования



Группировка почв по обеспеченности подвижными формами микроэлементов и
серы, мг/кг

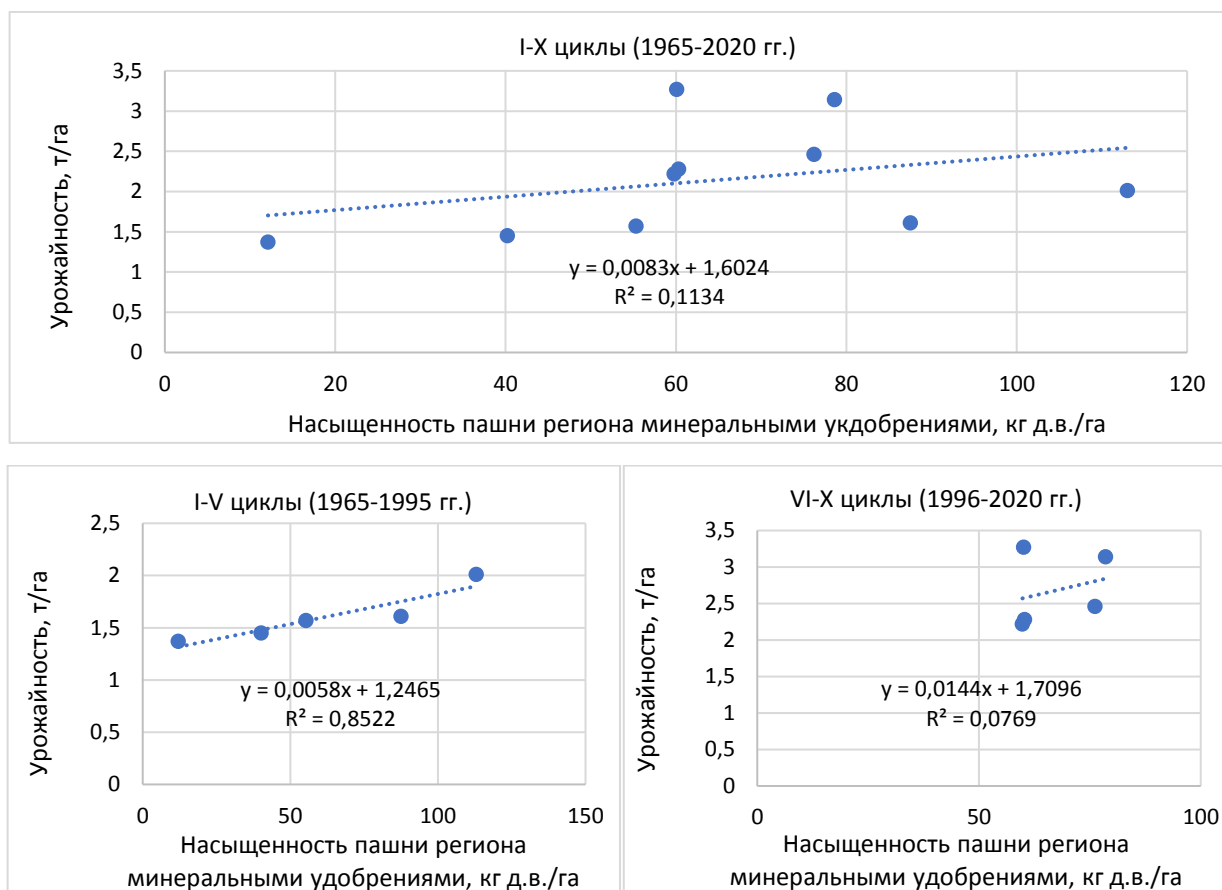
Элементы	Обеспеченность		
	низкая	средняя	высокая
Бор	<0,33	0,34-0,70	>0,70
Молибден	<0,10	0,11-0,22	>0,22
Марганец	<30	31-70	>70
Медь	<1,5	1,6-3,3	>3,3
Цинк	<2,0	2,1-5,0	>5,0
Кобальт	<1,0	1,1-2,2	>2,2
Сера	<6,0	6-12	>12

**Динамика урожайности зерновых культур в муниципальных районах
Предволжья Республики Татарстан по циклам агрохимических обследований**



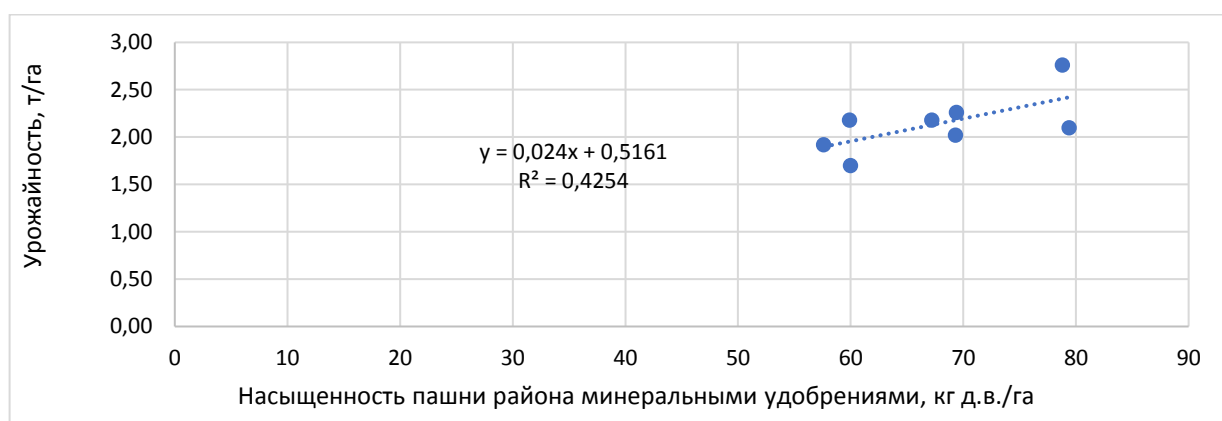
Приложение 8а

Зависимость урожайности зерновых культур от насыщенности пашни минеральными удобрениями в Предволжье РТ по циклам агрохимического обследования в 1965-2020 гг.

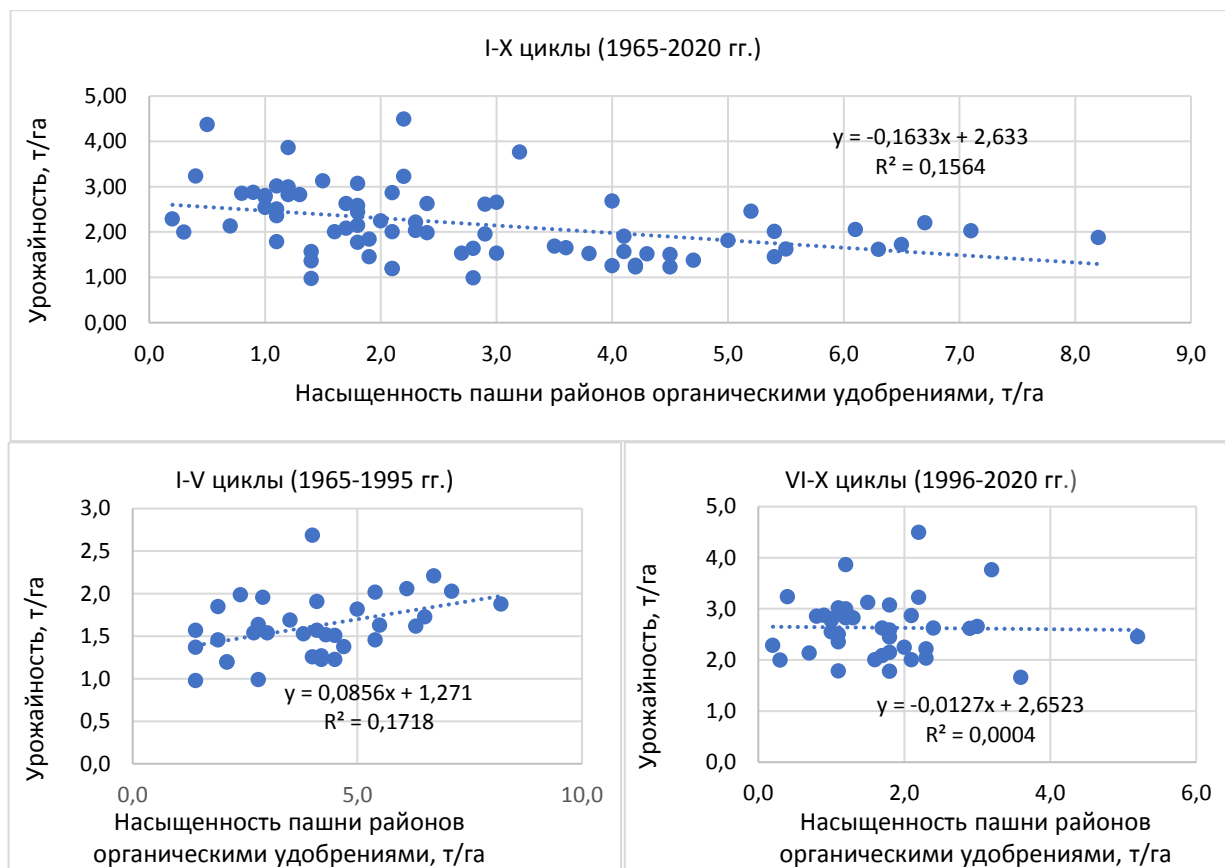


Приложение 8б

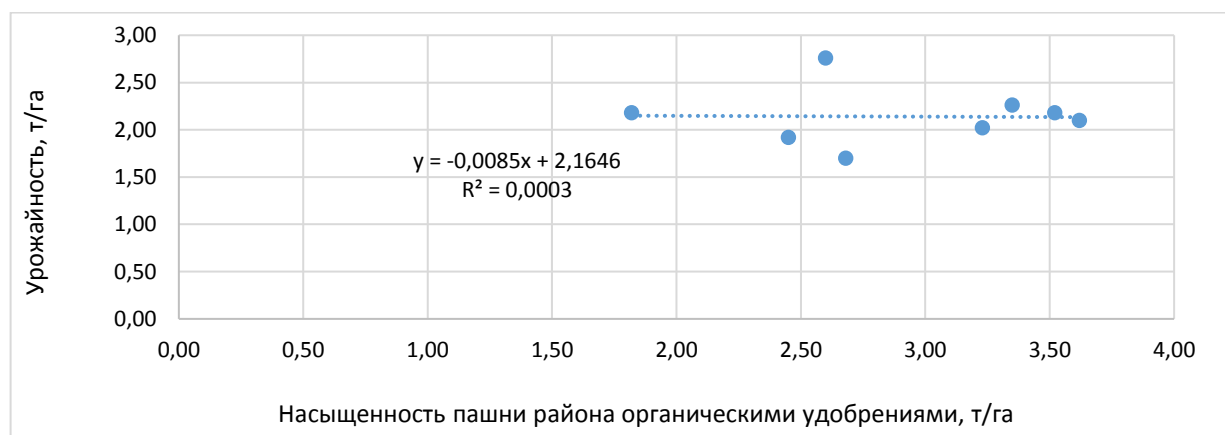
Зависимость урожайности зерновых культур от насыщенности пашни минеральными удобрениями в муниципальных районах Предволжья РТ за 1965-2020 гг.



Зависимость урожайности зерновых культур от насыщенности пашни органическими удобрениями в муниципальных районах Предволжья РТ по циклам агрохимического обследования в 1965-2020 гг.

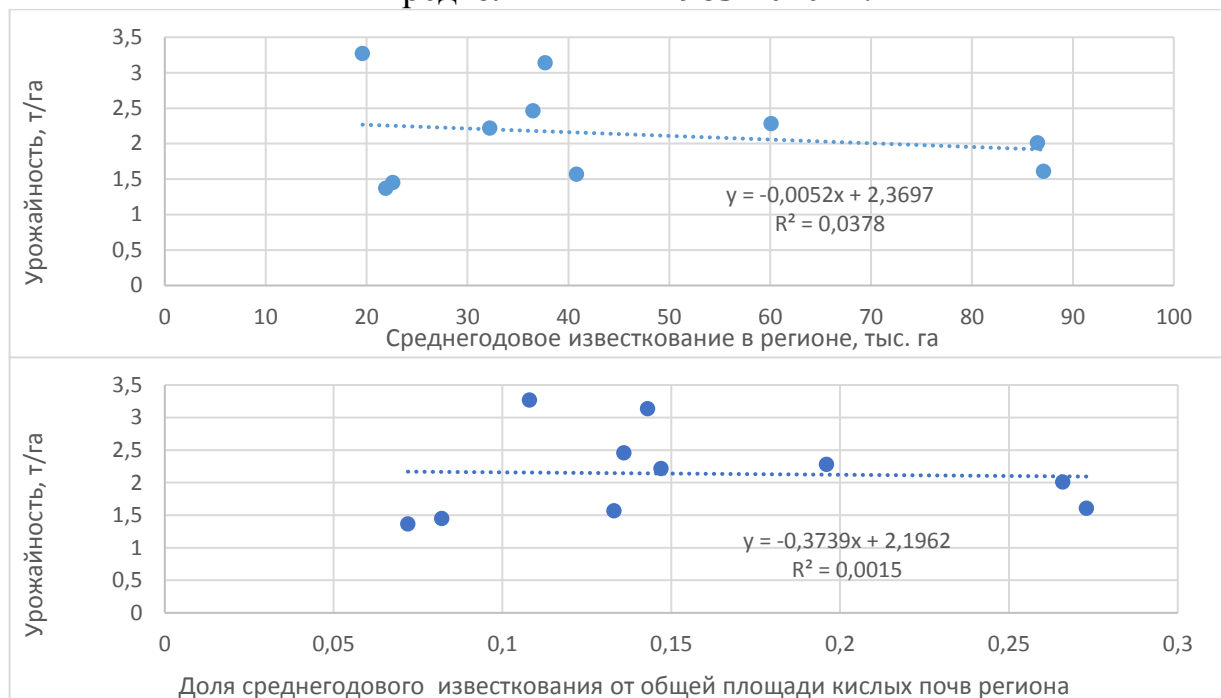


Зависимость средней урожайности зерновых культур от насыщенности пашни органическими удобрениями в муниципальных районах Предволжья РТ в 1965-2020 гг.

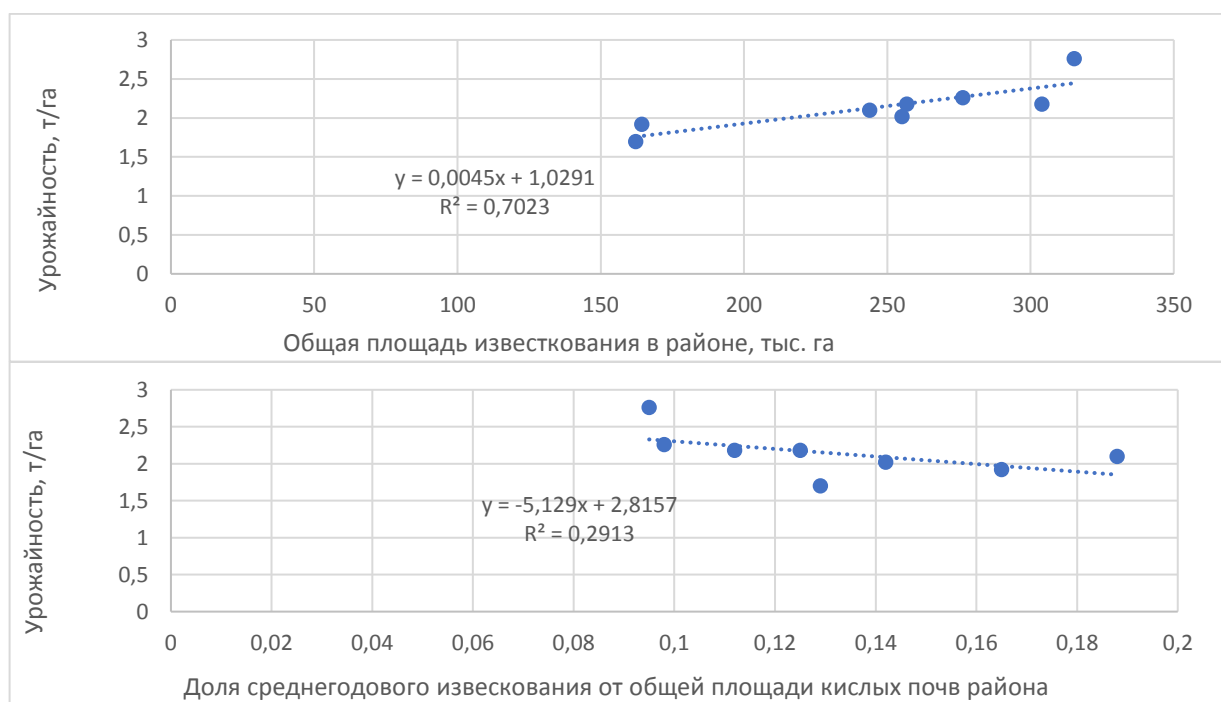


Зависимость урожайности зерновых культур по циклам агрохимических
обследований почв от интенсивности известкования почв

Предволжья РТ в 1965-2020 гг.

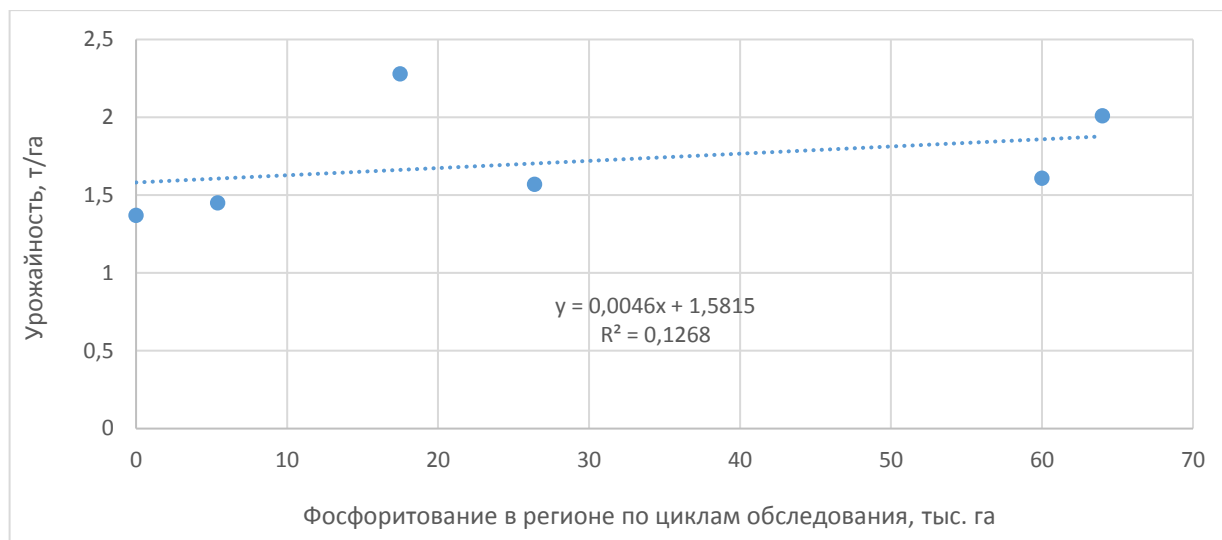


Зависимость урожайности зерновых культур в муниципальных районах
Предволжья РТ от интенсивности известкования почв
за весь период наблюдений (1965-2020 гг.)



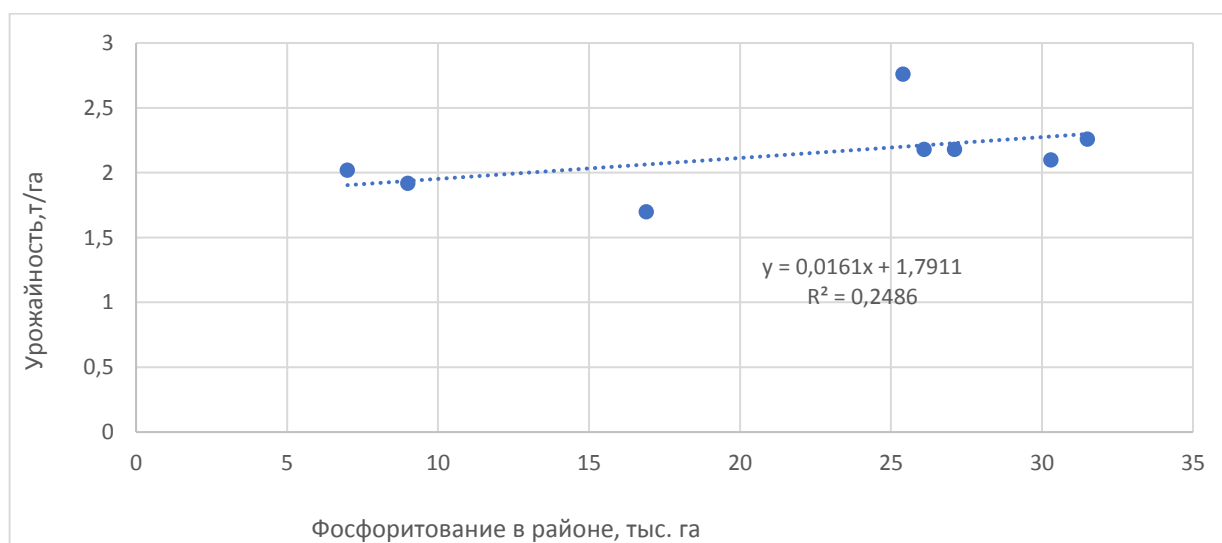
Приложение 11а

Зависимость средней урожайности зерновых культур в Предволжье РТ
в 1965-2000 гг. от объемов фосфоритования в I-VI циклах
агрохимического обследования

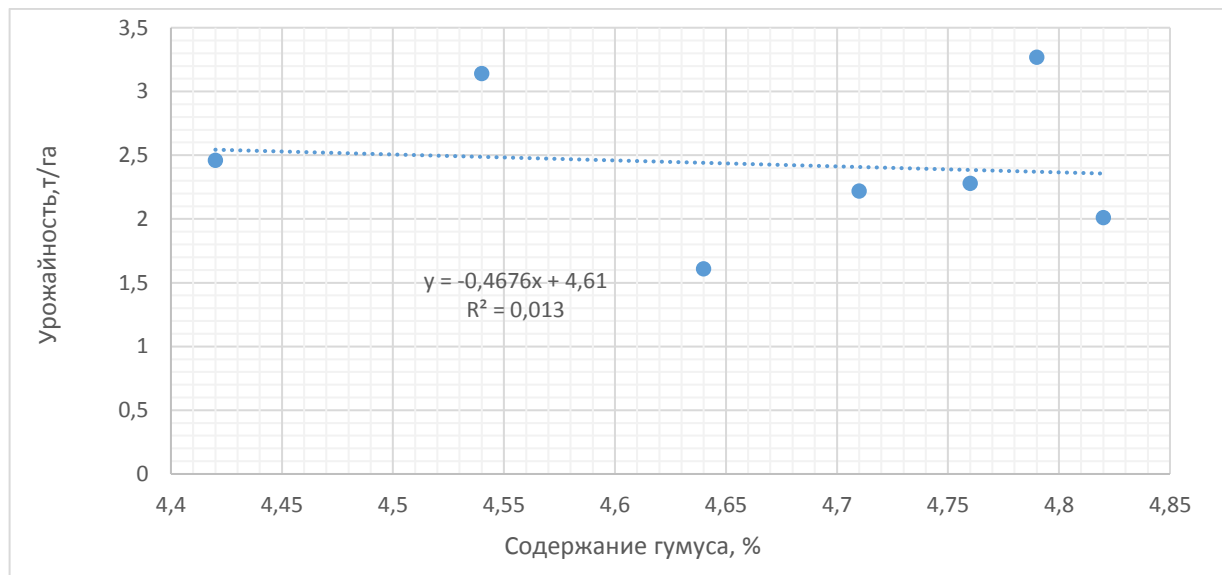


Приложение 11б

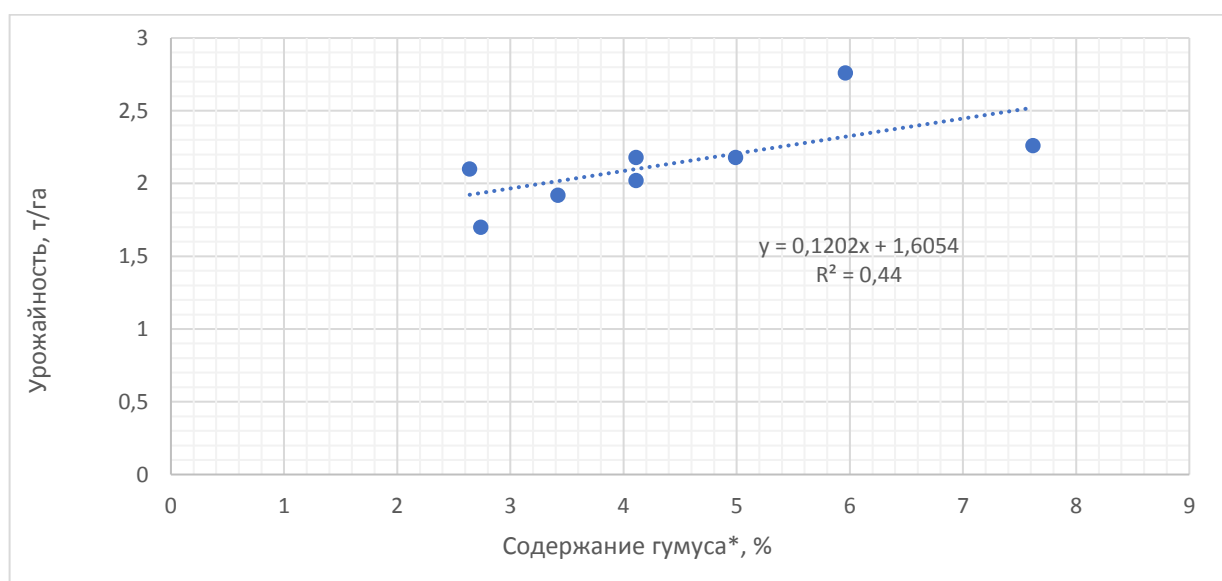
Зависимость средней урожайности зерновых культур в
муниципальных районах региона за весь период наблюдений (1965-2020 гг.)
от общей площади фосфоритования в I-VI циклах агрохимического
обследования (1971-2000 гг.)



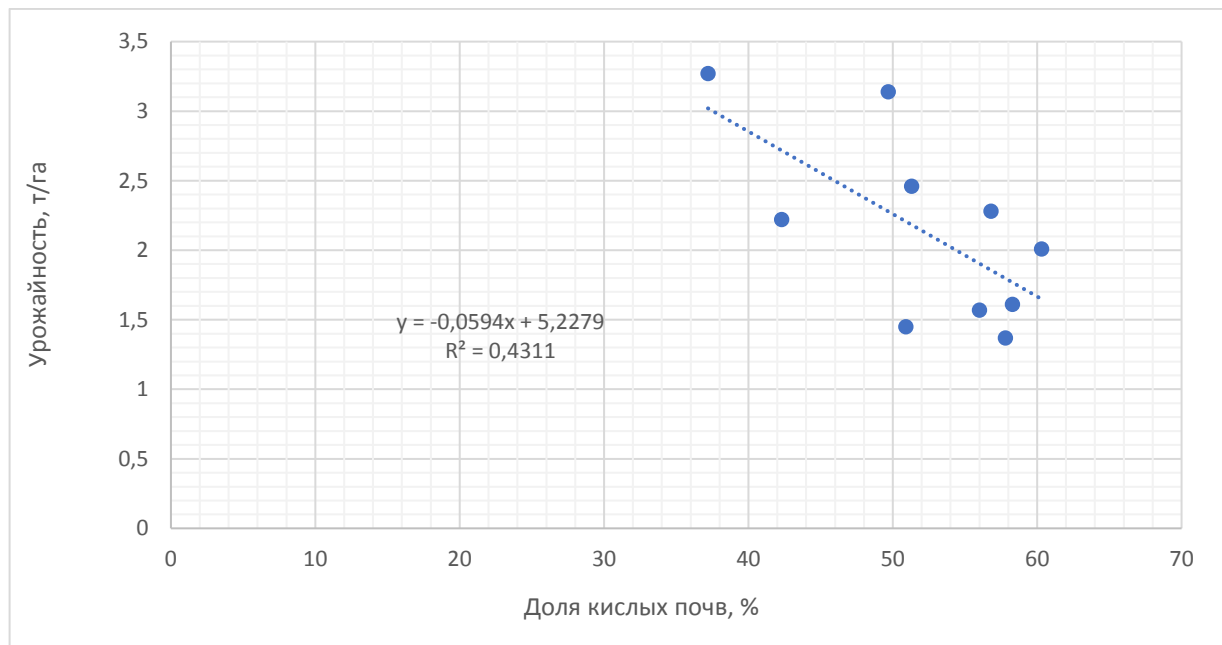
Зависимость урожайности зерновых культур от содержания гумуса в почвах Предволжья по циклам агрохимических обследований в 1986-2020 гг.



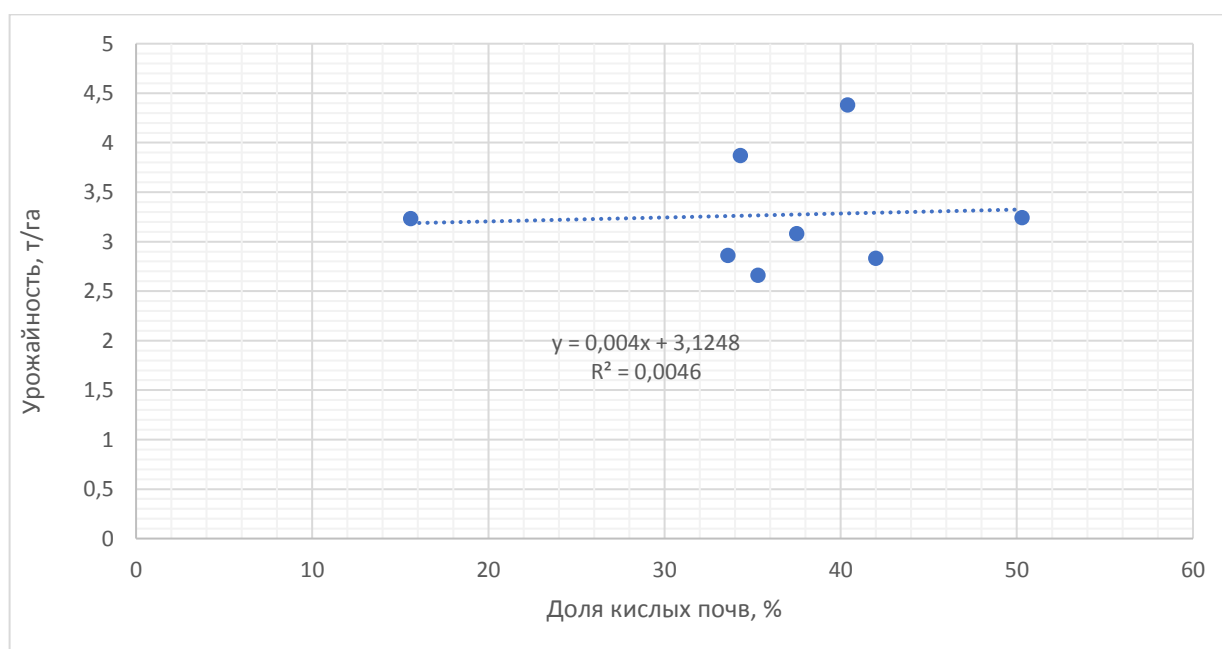
Зависимость средней урожайности зерновых культур в муниципальных районах Предволжья за 1965-2020 гг. от содержания гумуса в почвах (* по состоянию на 01.01.2022 г.)



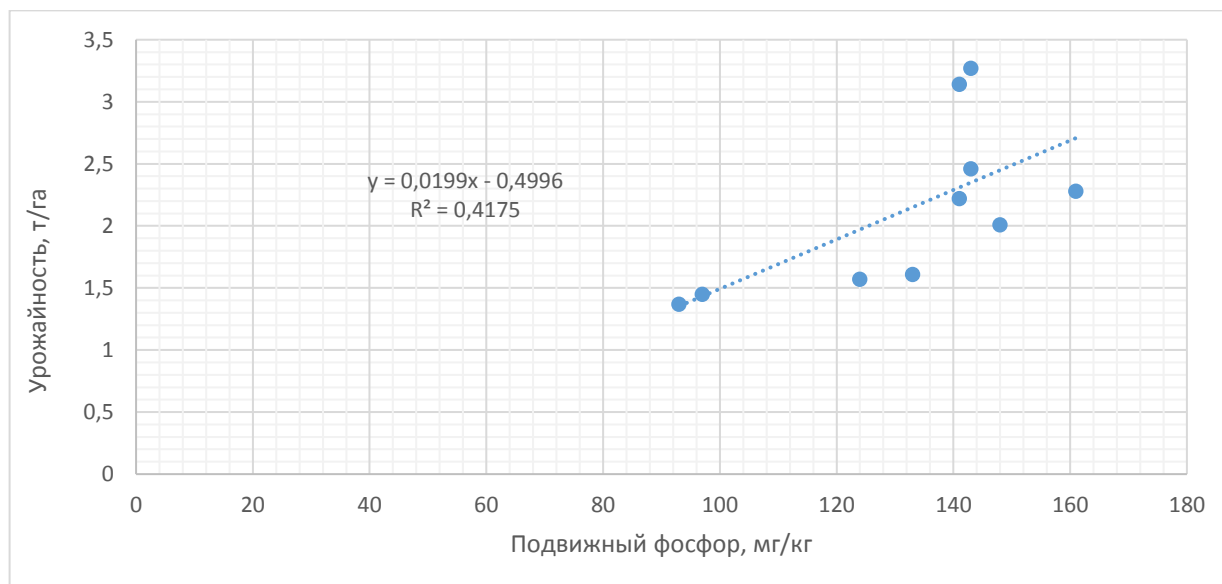
Зависимость урожайности зерновых культур в Предволжье от доли кислых почв в составе пашни по циклам агрохимических обследований (1965-2020 гг.)



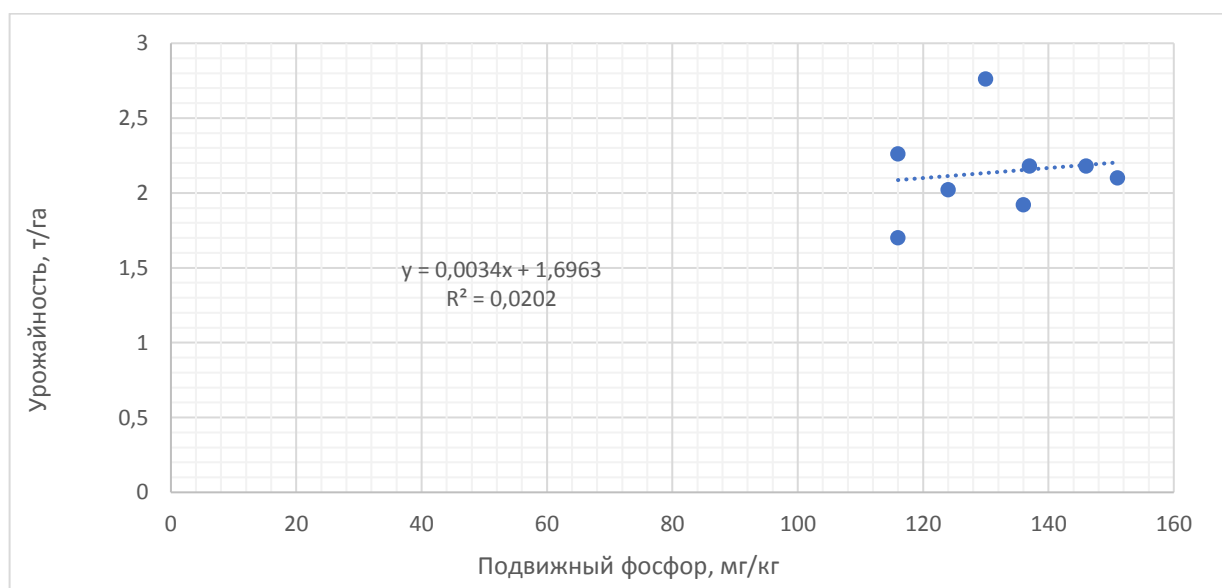
Зависимость урожайности зерновых культур в муниципальных районах Предволжья РТ от доли кислых почв в составе пашни в X цикле агрохимического обследования (2016-2020 гг.)



Зависимость урожайности зерновых культур от содержания подвижных форм фосфора по циклам агрохимических обследований почв пашни Предволжья (1965-2020 гг.)

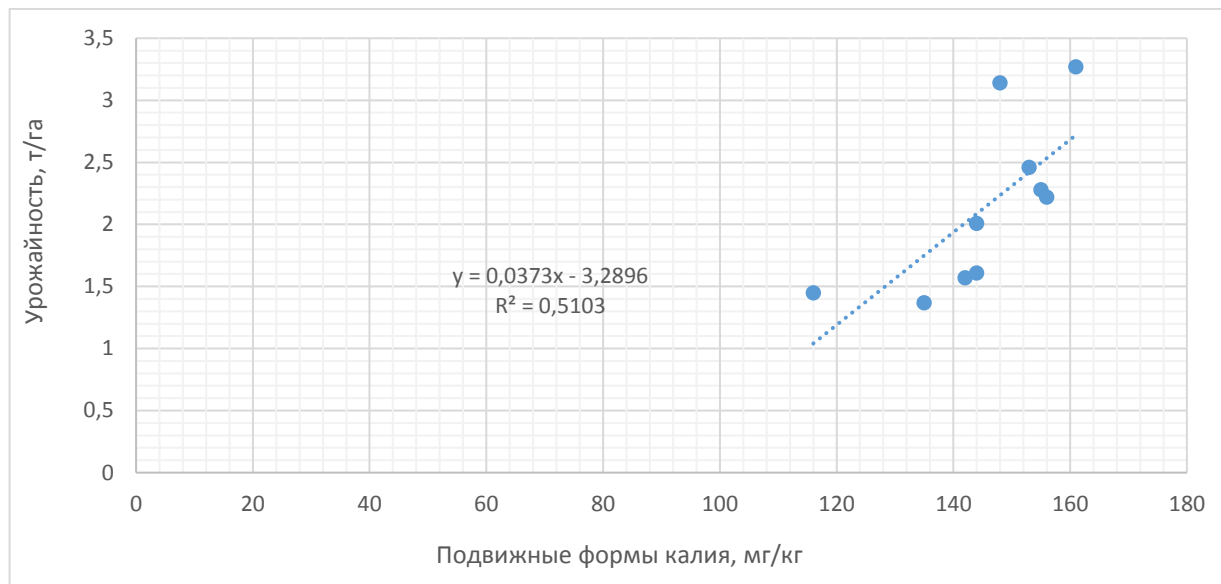


Зависимость урожайности зерновых культур от содержания подвижных форм фосфора в почвах пашни муниципальных районов Предволжья Республики Татарстан (1965-2020 гг.)



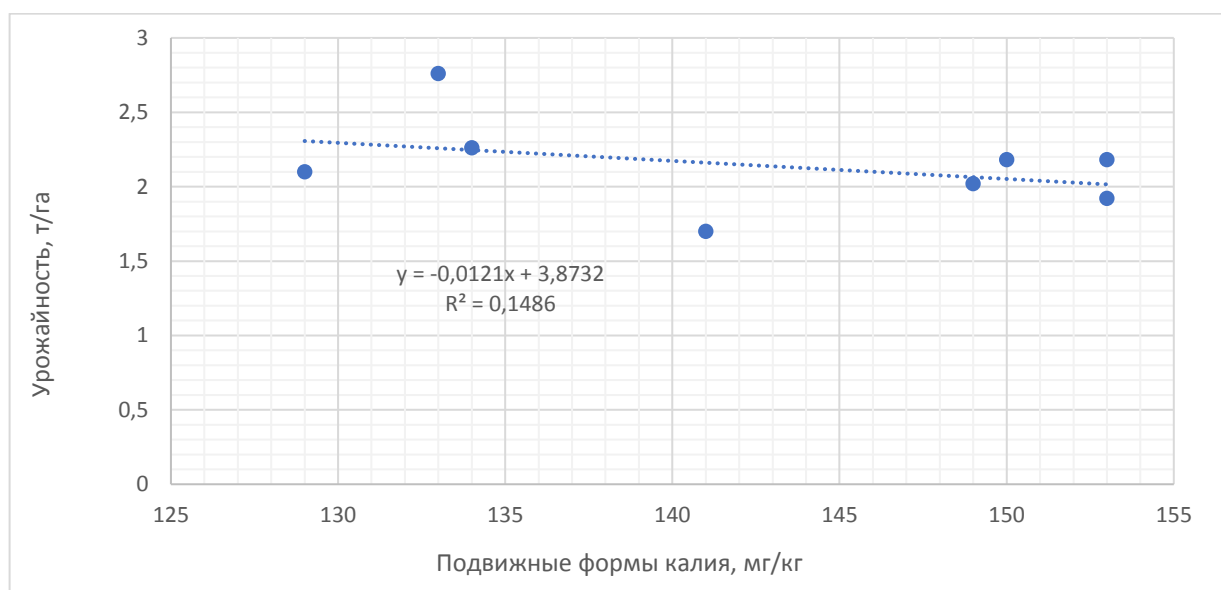
Приложение 15а

Зависимость урожайности зерновых культур от содержания подвижных форм калия по циклам агрохимических обследований почв пашни Предволжья Республики Татарстан (1965-2020 гг.)

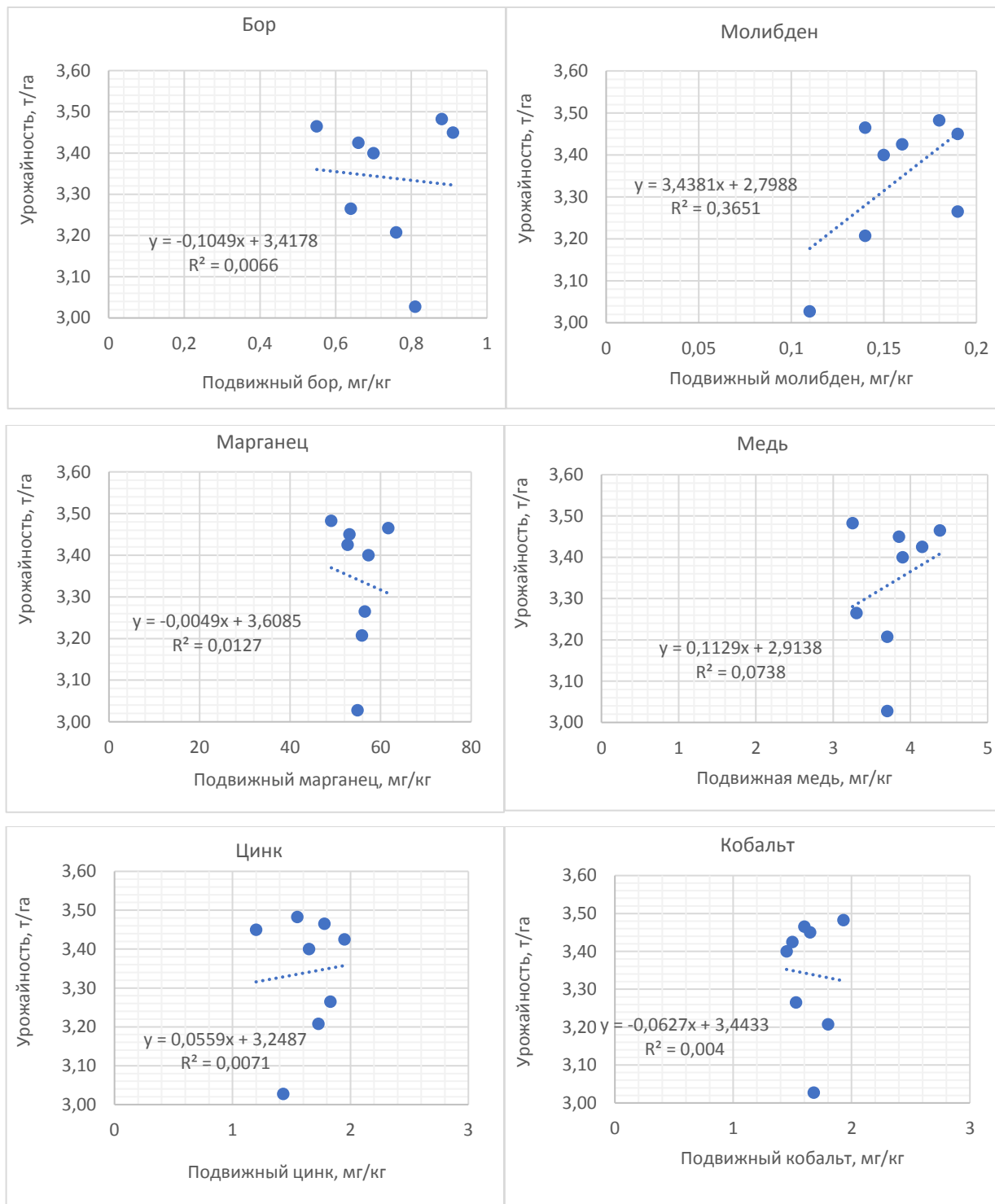


Приложение 15б

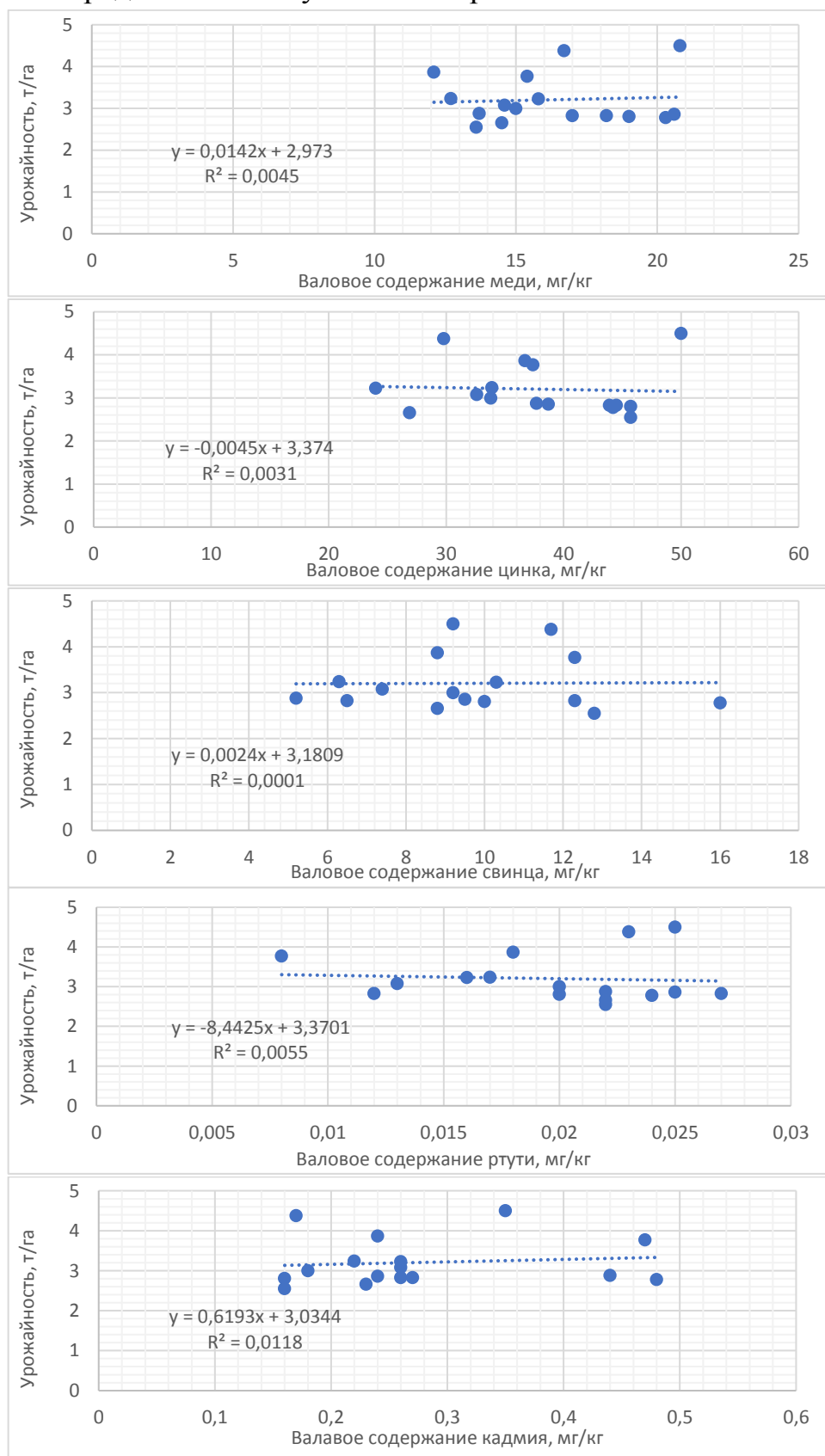
Зависимость средней урожайности зерновых культур от содержания подвижных форм калия в почвах пашни муниципальных районов Предволжья Республики Татарстан в 1965-2020 гг.



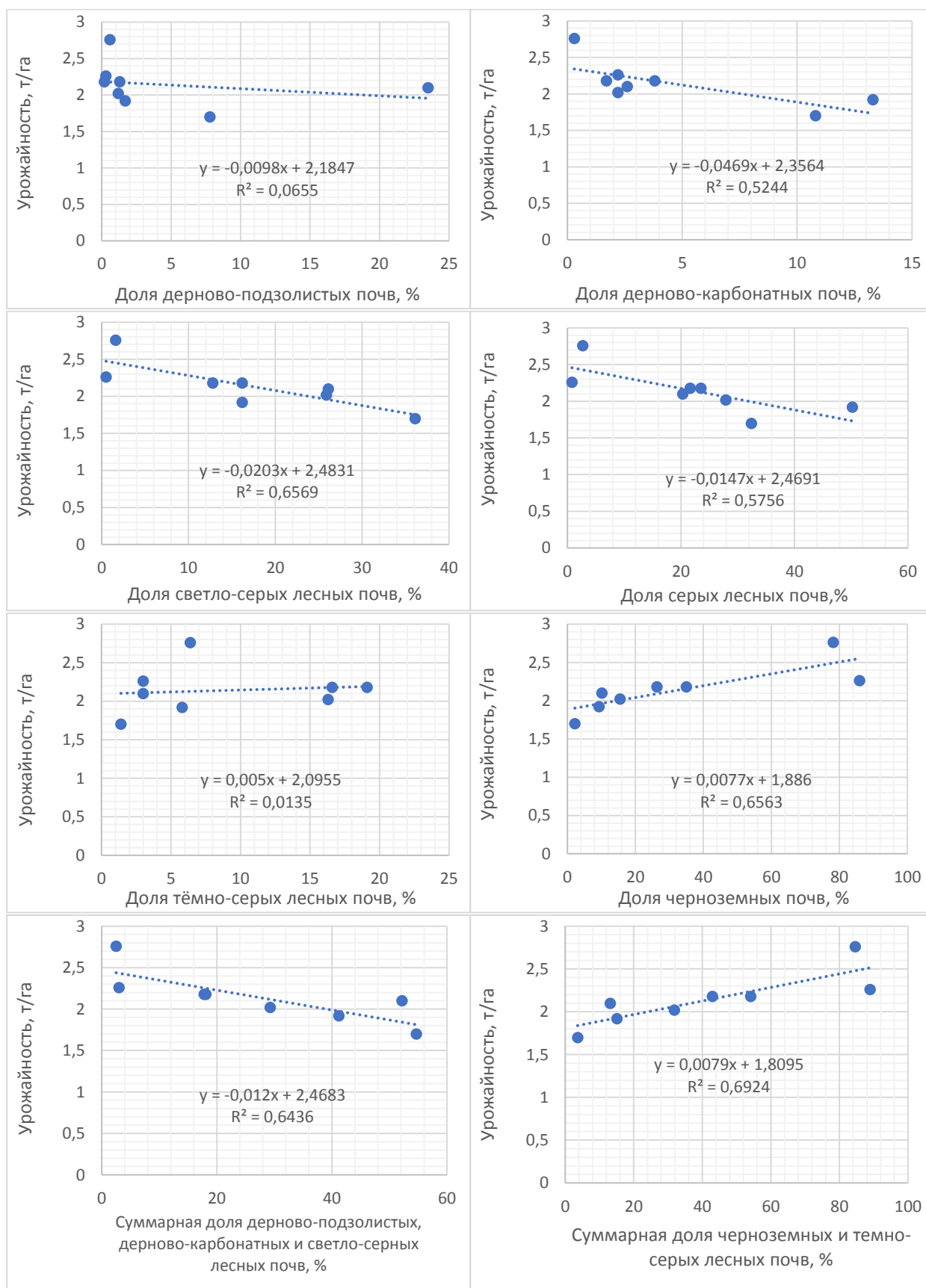
Зависимость средней урожайности зерновых культур (2001-2020 гг.) от содержания подвижных форм микроэлементов в почвах пашни муниципальных районов Предволжья



Зависимость урожайности зерновых культур от валового содержания тяжелых металлов в почвах пашни муниципальных районов Предволжья Республики Татарстан в 2004 и 2020 гг.



**Зависимость средней урожайности зерновых культур (1965-2020 гг.)
от состава почвенного покрова муниципальных районах Предволжья РТ**



Усредненные исходные данные, необходимые для расчетов балансов азота, фосфора и калия под зерновыми культурами в муниципальных районах Предволжья Республики Татарстан

Средневзвешенный коэффициент выхода побочной продукции		
Культура	Доля в пашне, %	Коэффициент выхода побочной продукции ($K_{пп}$)
Яровая пшеница	17	1,2
Озимая пшеница	17	1,4
Яровой ячмень	13	1,1
Озимая рожь	4	1,6
Овес	3	1,2
Горох	3	1,4
<i>Средневзвешенный</i>		<i>1,27</i>

Средневзвешенные нормативные выносы зерновых культур				
Культура	Доля в пашне, %	Нормативный вынос, кг/т		
		азот	фосфор	калий
Яровая пшеница	17	35	12	25
Озимая пшеница	17	30	13	25
Яровой ячмень	13	25	11	22
Озимая рожь	4	25	12	26
Овес	3	33	14	29
Горох	3	22	16	20
<i>Средневзвешенные</i>		<i>29,7</i>	<i>12,4</i>	<i>24,3</i>

Средневзвешенное содержание NPK в соломе зерновых культур и навозе				
Культура	Доля в пашне, %	Содержание, %		
		азот	фосфор	калий
Яровая пшеница	17	0,50	0,14	0,80
Озимая пшеница	17	0,45	0,16	0,84
Яровой ячмень	13	0,50	0,16	1,32
Озимая рожь	4	0,42	0,13	0,98
Овес	3	0,50	0,16	1,60
Горох	3	1,40	0,34	1,06
<i>Средневзвешенное для соломы</i>		<i>0,53</i>	<i>0,16</i>	<i>1,00</i>
<i>Подстилочный навоз</i>		<i>0,50</i>	<i>0,25</i>	<i>0,60</i>

Расчет количества азота, фосфора и калия, поступающего на 1 га зерновых культур в составе многолетних трав (клевер) при ежегодном запахивании 1/3 части их площадей в условиях Предволжья РТ

Показатели	Поступление в почву, кг д.в./га		
	азот	фосфор	калий
Доля зерновых культур в пашне, %	57		
Доля многолетних трав в пашне, %	19		
Урожайность з/м многолетних трав, т/га	20 (25) *		
Содержание в надземной массе многолетних трав, кг/т**	4,9	1,4	3,8
Поступление в составе надземной массы многолетних трав, кг/т***	10,9 (13,6)	3,1 (3,9)	8,4 (10,6)
Содержание в пожнивно-корневых остатках (ПКО) многолетних трав, кг/т**	8,5	2,4	3,3
Поступление в составе ПКО, кг/га***	18,9 (23,6)	5,3 (6,7)	7,3 (9,2)
Суммарное поступление в почву, кг/га зерновых культур	29,8(37,2)	8,4 (10,6)	15,7 (19,8)

Прим.: * - урожайность зеленой массы многолетних трав соответственно на нечерноземных и черноземных почвах; ** - в расчете на 1 тонну основной продукции [Донских, 2004; Система земледелия РТ, 2013]; *** - с учетом соотношения площадей многолетних трав и зерновых культур (1:3) и доли многолетних трав (1/3), ежегодно запахиваемых в почву в качестве сидерата.

Прогнозирование урожайности зерновых культур без внесения удобрений
по агрохимическим показателям почв пашни Апастовского и
Буинского муниципальных районов Предволжья РТ

Показатели	Муниципальные районы					
	Апастовский			Буинский		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Содержание гумуса (%) и подвижных форм РК (мг/кг) в пахотном слое	4,20	146	153	6,21	129	133
Запасы подвижных форм NPK в пахотном слое почвы, кг/га	96	438	459	141	387	399
Значения коэффициентов использования питательных элементов из почвы*	0,55	0,06	0,11	0,45	0,07	0,13
Ожидаемое поступление питательных элементов из почвы, кг/га:	52,8	26,3	50,5	63,5	27,1	51,9
Нормативный вынос элементов питания с единицей основной и побочной продукции, кг/т**	30,4	12,2	24,6	30,4	12,2	24,6
Возможная урожайность без внесения удобрений, т/га	1,74	2,16	2,05	2,09	2,22	2,11

Прим.: * - средние значения коэффициентов использования питательных элементов; ** - рассчитаны исходя из структуры посевных площадей и нормативных выносов зерновых культур (озимая и яровая пшеница, озимая рожь, ячмень, овес).

Прогнозирование урожайности зерновых культур без внесения удобрений
по агрохимическим показателям почв пашни Верхнеуслонского и
Дрожжановского муниципальных районов Предволжья РТ

Показатели	Муниципальные районы					
	Верхнеуслонский			Дрожжановский		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Содержание гумуса (%) и подвижных форм РК (мг/кг) в пахотном слое	2,87	115	141	7,99	116	134
Запасы подвижных форм NPK в пахотном слое почвы, кг/га	66	345	423	180	348	402
Значения коэффициентов использования питательных элементов из почвы*	0,60	0,06	0,11	0,45	0,06	0,13
Ожидаемое поступление питательных элементов из почвы, кг/га:	39,6	20,7	46,5	81,0	20,9	52,3
Нормативный вынос элементов питания с единицей основной и побочной продукции, кг/т**	30,4	12,2	24,6	30,4	12,2	24,6
Возможная урожайность без внесения удобрений, т/га	1,30	1,70	1,89	2,66	1,71	2,12

Прим.: * - средние значения коэффициентов использования питательных элементов; ** - рассчитаны исходя из структуры посевных площадей и нормативных выносов зерновых культур (озимая и яровая пшеница, озимая рожь, ячмень, овес).

Прогнозирование урожайности зерновых культур без внесения удобрений
по агрохимическим показателям почв пашни Зеленодольского и
Кайбицкого муниципальных районов Предволжья РТ

Показатели	Муниципальные районы					
	Зеленодольский			Кайбицкий		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Содержание гумуса (%) и подвижных форм РК (мг/кг) в пахотном слое	2,81	150	129	4,27	124	149
Запасы подвижных форм NPK в пахотном слое почвы, кг/га	63	450	387	96	372	447
Значения коэффициентов использования питательных элементов из почвы*	0,60	0,06	0,11	0,50	0,06	0,11
Ожидаемое поступление питательных элементов из почвы, кг/га:	37,8	27,0	42,6	48,0	22,3	49,2
Нормативный вынос элементов питания с единицей основной и побочной продукции, кг/т**	30,4	12,2	24,6	30,4	12,2	24,6
Возможная урожайность без внесения удобрений, т/га	1,24	2,21	1,73	1,58	1,83	2,00

Прим.: * - средние значения коэффициентов использования питательных элементов; ** - рассчитаны исходя из структуры посевных площадей и зональных нормативных выносов зерновых культур (озимая и яровая пшеница, озимая рожь, ячмень, овес).

Прогнозирование урожайности зерновых культур без внесения удобрений по агрохимическим показателям почв пашни Камско-Устьинского и Тетюшского муниципальных районов Предволжья РТ

Показатели	Муниципальные районы					
	Камско-Устьинский			Тетюшский		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Содержание гумуса (%) и подвижных форм РК (мг/кг) в пахотном слое	3,44	137	153	4,89	136	150
Запасы подвижных форм NPK в пахотном слое почвы, кг/га	78	411	459	111	408	450
Значения коэффициентов использования питательных элементов из почвы*	0,55	0,06	0,11	0,48	0,065	0,12
Ожидаемое поступление питательных элементов из почвы, кг/га:	42,9	24,7	50,5	53,3	26,5	54,0
Нормативный вынос элементов питания с единицей основной и побочной продукции, кг/т**	30,4	12,2	24,6	30,4	12,2	24,6
Возможная урожайность без внесения удобрений, т/га	1,41	2,02	2,05	1,75	2,17	2,20

Прим.: * - средние значения коэффициентов использования питательных элементов; ** - рассчитаны исходя из структуры посевных площадей и нормативных выносов зерновых культур (озимая и яровая пшеница, озимая рожь, ячмень, овес).

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и
инновациям ФГБОУ ВО «Казанский
государственный аграрный университет»
Калимуллин М.Н.



22.01.2026

УТВЕРЖДАЮ:

Начальник управления сельского
хозяйства и продовольствия Буинского
муниципального района Республики
Татарстан



Габитов Р.Х.

20.01.2026

АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» доцент Лукманов Анас Ахтямович, аспирант Зарипов Дайнис Фаритович, с одной стороны, и представители Управления СХиП Буинского м.р. Республики Татарстан, начальник финансово-экономического отдела Мухаметзянова Луиза Ирековна, начальник производственного отдела Давлетшин Идрис Юсупович, с другой стороны, составили настоящий акт о том, что по результатам исследования аспиранта Зарипова Д.Ф. на тему «Зависимость урожайности зерновых культур от почвенно-агрохимических, агрометеорологических условий и уровня применения удобрений в условиях Предволжья Республики Татарстан» для внедрения в производство приняты следующие рекомендации. Для достижения бездефицитного баланса NPK, положительного баланса гумуса (+0,26 т/га), получения средней прогнозируемой урожайности зерновых культур по району (4,22 т/га) на ближайшую перспективу (2030 г.) необходимо:

- ежегодно известковать 6630 га кислых почв в соответствии с рекомендациями агрохимической службы, что позволит перейти на пятилетний цикл нейтрализации кислых почв района;
- проводить фосфоритование низкоплодородных почв, имеющих одновременно низкое содержание подвижных форм фосфора (менее 50 мг/кг) и кислую реакцию ($Hr \geq 2,5$ ммоль(экв)/100 г) на площади 1080 га в год;
- всю солому зерновых культур оставлять в поле для заделки в почву и 1/3 часть многолетних трав запахивать в качестве сидерата;
- применение минеральных удобрений довести до 123 кг д.в./га при соотношении N:P:K 1:0,49:0,41.

Годовой экономический эффект (ожидаемый) от внедрения результатов данного исследования на посевах зерновых культур района составить 2803200 руб. или 60 руб./га.

От ФГБОУ ВО «Казанский
государственный аграрный университет»:
доцент _____ Лукманов А.А.

аспирант _____ Зарипов Д.Ф.

От УСХиП Буинского муниципального
района Республики Татарстан:
начальник финансово-экономического
отдела _____ Мухаметзянова Л.И.
начальник производственного отдела
_____ Давлетшин И.Ю.

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и
инновациям ФГБОУ ВО «Казанский
государственный аграрный университет»
Калимуллин М.Н.



УТВЕРЖДАЮ:

Начальник управления сельского
хозяйства и продовольствия
Зеленодольского муниципального
района Республики Татарстан
Зиганшин Т.Г.

21.01.2026



АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» доцент Лукманов Анас Ахтямович, аспирант Зарипов Дайнис Фаритович, с одной стороны, и представители Управления СХиП Зеленодольского м.р. Республики Татарстан, начальник финансово-экономического отдела Абдуллина Гузелия Шайдулловна, консультант производственного отдела Шарипов Шаукат Шамильевич, с другой стороны, составили настоящий акт о том, что по результатам исследования аспиранта Зарипова Д.Ф. на тему «Зависимость урожайности зерновых культур от почвенно-агрохимических, агрометеорологических условий и уровня применения удобрений в условиях Предволжья Республики Татарстан» для внедрения в производство приняты следующие рекомендации. Для достижения бездефицитного баланса NPK, положительного баланса гумуса (+0,43 т/га), получения средней прогнозируемой урожайности зерновых культур по району (3,58 т/га) на ближайшую перспективу (2030 г.) необходимо:

- ежегодно известковать 1630 га кислых почв в соответствии с рекомендациями агрохимической службы, что позволит перейти на пятилетний цикл нейтрализации кислых почв района;
- проводить фосфоритование низкоплодородных почв, имеющих одновременно низкое содержание подвижных форм фосфора (менее 50 мг/кг) и кислую реакцию ($Hg \geq 2,5$ ммоль(экв)/100 г) на площади 80 га в год;
- всю солому зерновых культур оставлять в поле для заделки в почву и 1/3 часть многолетних трав запахивать в качестве сидерата;
- применение минеральных удобрений довести до 95 кг д.в./га при соотношении N:P:K 1:0,55:0,43.

Годовой экономический эффект (ожидаемый) от внедрения результатов данного исследования на посевах зерновых культур района составить 1616700 руб. или 60 руб./га.

От ФГБОУ ВО «Казанский
государственный аграрный
университет»:
доцент _____ Лукманов А.А.
аспирант _____ Зарипов Д.Ф.

От УСХиП Зеленодольского
муниципального района Республики
Татарстан:
начальник финансово-экономического
отдела _____ Абдуллина Г.Ш.
консультант производственного отдела
_____ Шарипов Ш.Ш.

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и
инновациям ФГБОУ ВО «Казанский
государственный аграрный университет»
Калимуллин М.Н.

22.01.2026



УТВЕРЖДАЮ:

начальник управления сельского
хозяйства и продовольствия Тетюшского
района Республики
Татарстан
Гарипов Р.А.



акт внедрения результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» доцент Лукманов Анас Ахтямович, аспирант Зарипов Дайнис Фаритович, с одной стороны, и представители Управления СХиП Тетюшского м.р. Республики Татарстан, начальник финансово-экономического отдела Сударикова Роза Ильдаровна, начальник производственного отдела Волков Евгений Валентинович, с другой стороны, составили настоящий акт о том, что по результатам исследования аспиранта Зарипова Д.Ф. на тему «Зависимость урожайности зерновых культур от почвенно-агрохимических, агрометеорологических условий и уровня применения удобрений в условиях Предволжья Республики Татарстан» для внедрения в производство приняты следующие рекомендации. Для достижения бездефицитного баланса NPK, положительного баланса гумуса (+0,29 т/га), получения средней прогнозируемой урожайности зерновых культур по району (4,73 т/га) на ближайшую перспективу (2030 г.) необходимо:

- ежегодно известковать 6330 га кислых почв в соответствии с рекомендациями агрохимической службы, что позволит перейти на пятилетний цикл нейтрализации кислых почв района;
- проводить фосфоригование низкоплодородных почв, имеющих одновременно низкое содержание подвижных форм фосфора (менее 50 мг/кг) и кислую реакцию ($H^+ \geq 2,5$ ммоль(экв)/100 г) на площади 680 га в год;
- всю солому зерновых культур оставлять в поле для заделки в почву и 1/3 часть многолетних трав запахивать в качестве сидерата;
- применение минеральных удобрений довести до 143 кг д.в./га при соотношении N:P:K 1:0,54:0,48.

Годовой экономический эффект (ожидаемый) от внедрения результатов данного исследования на посевах зерновых культур района составить 2337600 руб. или 60 руб./га.

От ФГБОУ ВО «Казанский
государственный аграрный
университет»:

доцент _____ Лукманов А.А.

аспирант _____ Зарипов Д.Ф.

От УСХиП Тетюшского муниципального
района Республики Татарстан:

начальник финансово-экономического
отдела _____ Сударикова Р.И.

начальник производственного отдела
_____ Волков Е.В.