

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока»**

На правах рукописи



Несветаев Михаил Юрьевич

**ЛАНДШАФТНО-МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ТЕРРИТОРИИ И
ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ
ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ**

Специальность 4.1.3 – Агрохимия, агропочвоведение,
защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:

кандидат сельскохозяйственных наук

Губарев Денис Иванович

Саратов

2023

СОДЕРЖАНИЕ

	л
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЛАНДШАФТНО- МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА В АГРОХИМИИ.....	10
1.1 Природа ландшафтно-морфологической неоднородности и её влияние на сельскохозяйственное производство.....	10
1.2 Ландшафтно-морфологические условия и их влияние на перераспределение ресурсов в агроландшафте.....	16
1.3 Ландшафтно-морфологические особенности территории как основной фактор продуктивности сельскохозяйственных культур.....	24
2 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	28
2.1 Местоположение тестовых полигонов.....	28
2.2 Методика построения ландшафтных карт.....	31
2.3 Агроэкологические методы исследования.....	34
2.4 Схема агрохимического опыта.....	36
3 ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	39
3.1 Елань-Терсинский ландшафтный район	39
3.1.1 Ландшафтная характеристика.....	39
3.1.2 Влияние ландшафтно-морфологического фактора на агрохимические и агрофизические особенности почвенного покрова.....	42
3.2 Чардымо-Курдюмский ландшафтный район.....	55
3.2.1 Ландшафтная характеристика.....	55
3.2.2 Влияние ландшафтно-морфологического фактора на агрохимические и агрофизические особенности почвенного покрова.....	61

3.3	Еруслано-Бизюкский ландшафтный район.....	72
3.3.1	Ландшафтная характеристика.....	72
3.3.2	Влияние ландшафтно-морфологического фактора на агрохимические и агрофизические особенности почвенного покрова.....	75
4	ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ДЕЙСТВИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ.....	84
4.1	Урожайность и качество яровой мягкой пшеницы на тестовых полигонах.....	84
4.1.1	Продуктивность Большеаркадакско-Грачевской и Грачевско-Ольшанской, Гусельской и Еруслано-Жидкосолянской местностей.....	84
4.1.2	Качество яровой мягкой пшеницы Большеаркадакско-Грачевской, Грачевско-Ольшанской, Гусельской и Еруслано-Жидкосолянской местностей.....	89
4.2	Применение минеральных удобрений на ландшафтно-морфологической основе как фактор повышения продуктивности и качества яровой мягкой пшеницы.....	92
5	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УДОБРЕНИЙ ПО ТИПАМ ФАЦИЙ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	108
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	114
	РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	117
	ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	118
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	119
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	138

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В последнее время широкое распространение в Российской Федерации получают цифровые, информационные и телекоммуникационные ресурсы, происходит активная цифровизация процессов деятельности различных сфер жизни общества, в том числе и сельского хозяйства [28].

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации к 2030 г. планирует внедрить цифровые технологии в сельское хозяйство страны, запустить системы моделирования и прогнозирования в сельском хозяйстве. Целями данного проекта, в числе прочего, является повышение продуктивности и рентабельности сельского хозяйства [38].

Средством производства в сельском хозяйстве являются ландшафтные условия территории, и продуктивность сельскохозяйственных культур находится в прямой зависимости от этих условий. Ландшафтные условия, в свою очередь, напрямую влияют на количество питательных элементов в почвенном покрове, вследствие чего неоднородность территории агроландшафта по продуктивности подчас настолько высока, что сравнима с различиями в продуктивности при переходе от одной природно-климатической зоны в другую. Понимание причин данных явлений должно послужить надежным каркасом для цифровых преобразований в сельском хозяйстве [3, 54, 83, 137, 149].

Взгляд на агроландшафт как на подчиненное образование к природному ландшафту позволяет использовать ландшафтный подход в сельскохозяйственной науке. Этот подход направлен на изучение целостности исследуемого объекта, обусловленного взаимоотношениями его элементов и связями со средой. Суть ландшафтного подхода – рассмотрение не только объекта изучения, но и его среды как иерархически сложно сформированного целого. Результаты ландшафтного подхода к разработке и решению проблем взаимодействия общества и природы, проектированию и созданию природно-технических геосистем, природоохранной деятельности подтвердили его эффективность в

междисциплинарных научно-технических разработках. На необходимость практической реализации ландшафтного подхода неоднократно обращали внимание классики физической географии 20-го века – Д.Л. Арманд, Н.А. Гвоздецкий, И.П. Герасимов, А.Г. Исаченко, Ф.Н. Мильков, Н.А. Солнцев, В.Б. Сочава и др. [5, 44, 23, 24, 55, 56, 57, 94, 95, 130, 131, 132, 133].

Показательным примером использования ландшафтного подхода в сельскохозяйственных науках являются адаптивно-ландшафтные системы земледелия и ландшафтная агрохимия, суть которых заключается в органичном и гармоничном встраивании сельскохозяйственного процесса в природный ландшафт, и, следовательно, в активном взаимодействии ландшафтоведения с сельскохозяйственными науками [65, 85, 87, 143].

Адаптивно-ландшафтные системы земледелия, основой которых является уровень ландшафтных урочищ или агромикрорландшафтов (геохимических ландшафтов), в настоящее время не могут полностью решить вопрос о мозаичности посевов сельскохозяйственных культур, так как не учитывают уровень ландшафтных фаций, их обуславливающий, в связи с чем изучение данного уровня ландшафтной иерархии в сельскохозяйственной науке представляет не только теоретический, но и практический интерес, так как существенную проблему в настоящее время представляет практически полное отсутствие аргументированных и непротиворечащих друг другу методических рекомендаций по увязке систем удобрения с конкретными ландшафтными условиями [50, 53, 74, 101].

Существующие на данный момент исследования показали, что картирование ландшафтно-экологических условий объективнее традиционного почвенно-агрохимического обследования отражает пространственную неоднородность почвенного покрова и позволяет с разной степенью эффективности реализовывать точные системы удобрений [51, 52, 152].

Степень разработанности темы. Изучением влияния ландшафтно-морфологического фактора на сельскохозяйственное производство со времен В.В. Докучаева занимались представители как классического ландшафтоведения (Л.Г.

Раменский, Г.Н. Высоцкий, Н.Н. Сибирцев, С.С. Неуструев, К.Д. Глинка, Б.Б. Польшов, И.В. Ларин, Н.А. Солнцев, А.А. Видина, Ф.Н. Мильков, К.В. Зворыкин, В.А. Николаев, Б.И. Кочуров), работы которых стали научно-методической основой комплексного изучения сельскохозяйственных земель в колхозах и совхозах в 60-80-е годы прошлого столетия, так и сельскохозяйственных наук (В.И. Кирюшин, А.Н. Каштанов, С.А. Шафран, М.И. Лопырев, А.И. Шабает, И.Ф. Медведев), труды которых послужили методической основой для конструирования современных адаптивно-ландшафтных систем земледелия и систем удобрения почв.

Работами И. Ф. Медведева развито понятие о **ландшафтной агрохимии**, которая изучает влияние ландшафтно-морфологических условий на агрохимические и агрофизические особенности почв агроландшафтов, на эффективность органических и минеральных удобрений [85, 87, 89].

Цель исследования: на примере 3-х ландшафтных районов Саратовской области выявить степень и пространственно-временную устойчивость влияния ландшафтно-морфологической структуры территории на основные свойства почвы, действие минеральных удобрений и продуктивность яровой мягкой пшеницы.

Задачи исследования:

1. Установить агрохимические и агрофизические закономерности в почвах преобладающих ландшафтных местностей, урочищ, фаций на территории Саратовской области.

2. Выявить степень влияния ландшафтно-морфологического фактора на агрохимические и агрофизические параметры почв, а также на продуктивность и качество яровой мягкой пшеницы.

3. Выявить пространственно-временную устойчивость влияния ландшафтно-морфологического фактора на комплекс агрохимических и агрофизических показателей почв, а также продукционных показателей яровой мягкой пшеницы.

4. Изучить влияние ландшафтно-морфологического фактора на действие минеральных удобрений.

Научная новизна. Впервые для отдельных ландшафтных местностей преобладающих ландшафтов Саратовской области, расположенных на черноземах обыкновенных и черноземах южных, а также каштановых почвах, построены ландшафтно-морфологические карты, с помощью которых были получены выводы не только о существенном влиянии ландшафтно-морфологического фактора на основные показатели плодородия, продуктивности, но и о том, что эти влияния сохраняются во времени.

Опыт с дифференцированным внесением минеральных удобрений на ландшафтно-морфологической основе, поставленный на 3-х объектах исследования, позволил подтвердить существенное влияние ландшафтно-морфологического фактора на действие минеральных удобрений.

Теоретическая и практическая значимость. В работе показано, что ландшафтно-морфологические условия оказывают устойчивое пространственно-временное влияние на отдельные агрохимические и агрофизические параметры почвенного покрова, различающееся в своем качественном и количественном выражении в разных ландшафтных районах.

Учет ландшафтной неоднородности территории при расчете дозировки удобрений позволяет не только оптимизировать использование минеральных удобрений, но и добиться рентабельного увеличения качества и количества сельскохозяйственной продукции, в том числе в зонах рискованного земледелия.

Положения, выносимые на защиту:

1. Влияние ландшафтно-морфологической структуры территории на физические и химические свойства почвы, пространственно-временная устойчивость этих влияний.

2. Влияние ландшафтной структуры на продуктивность и качество яровой мягкой пшеницы.

3. Ландшафтно-морфологический фактор как основа для агрохимической интенсификации территории.

Высокая **степень достоверности результатов** достигается за счет трехлетнего проведения агрохимического опыта, проведением химико-аналитических работ с использованием сертифицированного оборудования, статистической обработкой полученных данных, геоинформационного обеспечения проводимых исследований.

Личный вклад автора. При подготовке и выполнении диссертационной работы автор принимал активное участие в разработке рабочего плана исследований. В соответствии с программой исследований провел полевые и лабораторные опыты, проанализировал полученные количественные и качественные результаты методами статистического, математического, геоинформационного анализов.

В диссертационной работе использованы материалы, полученные при участии сотрудников лабораторий ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»: агроландшафтов и ГИС, химико-аналитической и агрометеорологии. Всем сотрудникам перечисленных лабораторий автор выражает огромную благодарность.

Апробация работы: основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и представлялись на Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов с международным участием (Саратов, 2017 г.); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Ульяновск, 2017 г.); 2-ой Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов с международным участием (Саратов, 2018 г.); Международной научно-практической конференции (Курск, 2019 г.); 3-ей Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов с международным участием (Саратов, 2019 г.); V Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения академика РАСХН А.П. Щербакова (Курск, 2021 г.); Всероссийской агропромышленной выставке «Золотая осень» (Москва, 2021–2022 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 4 – в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ и 1 – в международной базе Scopus.

Внедрение результатов исследования. Результаты проведенных исследований апробированы на опытных станциях «Аркадакская» – филиал ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» (т.п. №1); «Краснокутская» – филиал ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» (т.п. №9) и «Саратовская» ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» (т.п. №5), результатом чего стала бронзовая медаль на выставке «Золотая осень-2021» и золотая медаль на выставке «Золотая осень-2022» (Приложение А).

Структура и объем диссертации. Диссертационное исследование изложено на 175 страницах машинописного текста и состоит из введения, 5 глав, заключения, предложений производству, перспектив дальнейшей разработки темы, списка литературы, приложений. Работа включает в себя 69 рисунков, 7 таблиц, 25 приложений. Список литературы состоит из 169 наименований, в том числе 16 публикаций на иностранных языках.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЛАНДШАФТНО-МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА В АГРОХИМИИ

1.1 Природа ландшафтно-морфологической неоднородности и её влияние на сельскохозяйственное производство

Истоки представлений о неоднородности единой биосферы в разных местах Земли уходят в естествознание XVII–XVIII веков. В работах Ж. Бюффона, Б. Варениуса, М. В. Ломоносова высказывались мысли о взаимосвязанности и взаимозависимости всех природных процессов, как органических, так и неорганических [15, 16, 79]. Эти идеи основывались на зависимости распределения фауны от условий макро- и мезоклимата, их роли в образовании почв, что нашло отражение в гипотезе Снядецкого о существовании биогенного круговорота химических элементов [167]. А. Гумбольдт выявил зональность распространения растений и ввел понятие «ландшафт» [33]. В XIX и XX веках работы Докучаева и его учеников (Г.Н. Высоцкого, Г.Ф. Морозова, Н.М. Сибирцева и др.) привели к осознанию необходимости комплексного учения о взаимосвязанных изменениях органической и неорганической природ. Это учение, названное наукой о биосфере, было разработано В.И. Вернадским, который, вслед за своим учителем, В.В. Докучаевым, смог связать эволюцию органического мира с геисторией других земных сфер [69].

Развивая свое учение, в начале 20-х годов прошлого столетия В.И. Вернадский указывал на необходимость разработки важнейшего его аспекта, а именно – о многообразии проявления дискретности биосферы в различных природных зонах, ландшафтах и других компонентах природы [116].

В.И. Вернадский всегда подчеркивал, что «химический состав не является одинаковым на всем лике Земли, но резко меняется в разных частях биосферы как функция литологического состава верхних частей планеты и климатических зон» [17]. В.И. Вернадский указывал на высоту местности, близость к морю и

химический состав горных пород и их производных, почв, как на факторы изменения химического состава флоры и фауны в различных климатических зонах. Однако он отмечал, что химический состав живых организмов изменяется не «хаотично», но «закономерно». В.И. Вернадский выдвинул точку зрения, что биохимические изменения, химическая структура организмов и их эволюционная история и хронология зависят прежде всего от геохимических условий окружающей среды [69]. Таким образом, было выяснено, что «химический состав элементов биосферы – почв, природных вод, организмов – обнаруживает географическую неоднородность, носит мозаичный характер» [67].

Исторически сложилось так, что развитие теории и методической базы ландшафтоведения на всех его этапах было тесно связано с насущными задачами земледелия.

Крупнейшие естествоиспытатели конца 19-го – начала 20-го века (В.В. Докучаев, К.А. Тимирязев, А.А. Измаильский, А.И. Воейков, П.А. Костычев, А.Н. Энгельгардт, И.А. Стебут) считали, что в сельском хозяйстве необходимо учитывать прежде всего местные географические условия. А.А. Измаильский утверждал: «Сельское хозяйство, прежде всего, есть дело местное, улучшение в нем главнейшим образом обуславливается борьбой с местными препятствиями, оценка которых из прекрасного далека приводит лишь к одним ошибкам. Изучение их «проездом» – тоже дело малопродуктивное».

В работах Андрея Тимофеевича Болотова (1738–1833), являющегося основоположником русской школы агрономии и агроэкологии, впервые дано научное обоснование севооборотов и рационального использования сельскохозяйственных земель.

В период становления научного ландшафтоведения главенствующими стали концепции Докучаева и его геолого-географической школы. В.В. Докучаев исходил из того, что территориальная дифференциация сельского хозяйства должна быть основана на комплексном географическом (ландшафтном) каркасе, который будет главенствующим при зонировании макро- («сельскохозяйственных царств»), мезо- и микро- («типов местной природы») сельскохозяйственных

уровней. Ученики В.В. Докучаева Г.Н. Высоцкий, Н.Н. Сибирцев, С.С. Неуструев, К.Д. Глинка, Б.Б. Польшов, особенно И.В. Ларин и другие развивали теорию ландшафта и считали ее полезной прежде всего в области сельского хозяйства. Морфологический анализ ландшафта (т.е. деление различных местностей на естественные территориальные единицы) был разработан Л.Г. Раменским, в основном для выявления и характеристики «типов местности» с различными входными условиями для роста растений [117].

В середине XX века, в связи с освоением целинных земель, появляется практическая потребность в классификации осваиваемых территорий, их инвентаризации, оценке и районировании. Это в сочетании с потребностью обеспечения планов лучшего использования земельных ресурсов породило необходимость детального изучения этих ресурсов, но главное, формирование цельного представления об их свойствах, их территориальной организации под углом зрения практического хозяйственного использования.

В период развития ландшафтоведения с 1945-го по конец 1960-х годов были сформулированы фундаментальные теоретические положения науки (Д.Л. Арманд, Н.А. Гвоздецкий, А.Г. Исаченко, В.С. Преображенский и др.) и разработаны детальные методики ландшафтно-морфологического деления (К.И. Геренчук, А.Г. Исаченко, Ф.Н. Мильков, Н.А. Солнцев), которые во многом сохранились до настоящего времени [55, 92, 138].

К сожалению, эти результаты не нашли должного применения в сельскохозяйственной практике. Возможно, это явилось следствием того, что ландшафтные исследования велись географами без должного контакта с агрономами, землеустроителями, а методических руководств по интерпретации ландшафтных карт для целей земледелия, написанных понятным для неспециалиста-географа языком, подготовлено не было [63]. Тем не менее, можно отметить работу А.А. Видиной, итогом которой стала карта агропроизводственной группировки сельскохозяйственных земель на природно-ландшафтной основе [18]. К сожалению, данный метод не стал массовым и в

рамках производства продолжилось использование именно агропроизводственной группировки почв.

С 1950-х годов в России были разработаны различные системы земледелия, такие как система Т.С. Мальцева, почвозащитная система А.И. Бараева. В 1980-х годах они были интегрированы в региональные сельскохозяйственные системы. Каждая административно-территориальная единица РФ выпустила рекомендации по этим системам. В 1990-е годы эта система земледелия получила дальнейшее развитие и дифференциацию применительно к различным агроландшафтам в пределах сельскохозяйственных районов в разных природных зонах. Эти системы получили название адаптивно-ландшафтных систем и были сформулированы и обоснованы в 1993 году членом Российской академии сельскохозяйственных наук В.И. Кирюшиным.

Адаптивно-ландшафтная система земледелия (АЛСЗ) – это система использования земли определенной агроэкологической группы, ориентированная на производство продукции экономически и экологически обусловленного количества и качества в соответствии с общественными (рыночными) потребностями, природными и производственными ресурсами, обеспечивающая устойчивость агроландшафта и воспроизводство почвенного плодородия [66, 80].

АЛСЗ стали попыткой связать природную основу и хозяйственную часть, что выразилось в концепции природно-хозяйственных территориальных систем (ПХТС) под которыми Г.И. Швевс предлагает понимать целостный синтез естественных (природных) и хозяйственных (антропогенных) свойств в виде гомогенных участков с определенными исторически сложившимися взаимосвязями и взаимодействиями входных параметров и образующих по К. Марксу «...законченное сущностное единство человека с природой» [63].

Создание региональных систем земледелия имеет большое значение, но имеющиеся научные данные по адаптации сельского хозяйства еще не исчерпали запросы индустрии. Быстрые изменения социально-экономической ситуации требуют от сельского хозяйства адаптации не только к природным условиям, но и к новым производственным отношениям. В связи с этим существующие методы

разработки и проектирования сельскохозяйственных систем перестают быть адекватными. Существующие материалы почвенного картографирования недостаточно полно отражают геологические, литологические и микроклиматические особенности региона, не говоря уже о функциональных связях в агроландшафте [63, 64].

Одной из важных частей этой системы является система применения удобрений. Внесение удобрений в почву - один из самых действенных способов интенсификации земледелия [6, 109].

После стремительной химизации сельского хозяйства на Земле возник природоохранный подход к внесению минеральных удобрений, завещанный еще Д.Н. Прянишниковым, который нашел задачу агрохимии в управлении биологическими циклами веществ в агроценозах. В 80-е годы 20 века этот подход обогатился познаниями о взаимодействии удобрений с сельскохозяйственными культурами и урожаем, а также знанием механизмов управления производственными процессами, а в 90-е годы он эволюционировал к идеям ландшафтной агрохимии.

Развивая это направление посредством многолетних агрохимических опытов, И.Ф. Медведев пришел к выводу, что вертикальное и горизонтальное перераспределение питательных элементов в почве по рельефу (фациям) ландшафта оказывает большое влияние на эффективность вносимых удобрений [87].

Дисбаланс питательных веществ в сельском хозяйстве приводит не только к снижению урожайности основной продукции и качества сельскохозяйственного сырья, но и к понижению устойчивости сельскохозяйственных ландшафтов. В связи с этим компенсация дефицита питательных веществ путем использования органических и минеральных удобрений должна рассматриваться как экологически обусловленная задача, а объектом регулирования биологического круговорота вещества становятся уже не отдельные агроценозы, а вся сельскохозяйственная территория (агроландшафт) с ее горизонтальными и вертикальными геохимическими потоками [66].

По В.А. Николаеву агроландшафт – это трансформированный сельскохозяйственным производством природный ландшафт, как правило, сохраняющий его исходные границы. Следовательно, агроландшафту присущи все свойства ландшафта природного, поэтому к нему применимы и законы, действующие на ландшафт [111, 112].

Согласно Н.А. Солнцеву, географический ландшафт – это то, что можно назвать генетически однородным регионом, в котором регулярно и типично повторяются одни и те же взаимосвязанные комбинации геологической структуры, рельефа, поверхностных и подземных вод, микроклимата, почвенных различий, симбиоза растений и животных. Следует добавить, что во многих случаях эти природные комбинации могут в определенной степени регулироваться вмешательством человека в результате хозяйственной деятельности. В таких случаях, однако, интенсивно изменяются не все компоненты ландшафта, но чаще всего растительность и почвы. Даже в густонаселенных культурных странах ландшафт в целом и его компоненты в частности редко подвергаются фундаментальным изменениям. Примером таких коренных изменений может служить ландшафт большого города с несколькими миллионами жителей [131].

Географический ландшафт — это регулярно повторяющаяся и взаимосвязанная схема нескольких географических участков (или урочищ). Ландшафтные урочища состоят из регулярно упорядоченных и постепенно сменяющих друг друга ландшафтных фаций.

Между ландшафтом и урочищами выделяют местности, а между урочищами и фациями – подурочища. Все это – ландшафтно-морфологические части ландшафта, из которых, как из частей мозаики, состоит рисунок ландшафта. Этот рисунок определяет приход солнечной радиации, выветривание, перераспределение атмосферных осадков, привнесенных химических элементов и т. д. Действуя продолжительное время, эти силы на разных морфологических элементах создают различные условия, к которым приспособляются дикорастущие и культурные растения [131]. Общая динамика ландшафта не

может быть достаточно глубоко познана до тех пор, пока не будет изучена динамика отдельных его морфологических частей.

Попытка дать более или менее углубленное представление о ландшафте, игнорируя необходимое знакомство с его морфологическими единицами, заранее обречена на неудачу. Тем более это справедливо для тех случаев, когда приходится давать те или иные указания в отношении возможности общего хозяйственного использования ландшафта или хотя бы в отношении каких-либо отдельных хозяйственных мероприятий. На все эти задачи можно удачно ответить только в том случае, если хорошо знать, как морфологически построен ландшафт, и что представляют собой отдельные морфологические единицы, которые должны стать объектом интенсивного хозяйственного воздействия [8, 9, 129, 132].

Сельское хозяйство можно назвать устойчивым, если оно полностью адаптировано к природе и характеристикам почвы. Фермер может быть уверен, что он сможет наилучшим образом использовать свой труд и капитал, только если севооборот и практика удобрения на его территории соответствуют характеристикам почвы и, в целом, ландшафта [77].

1.2 Ландшафтно-морфологические условия и их влияние на перераспределение ресурсов в агроландшафте

С тех пор, как В.В. Докучаев выявил, что все компоненты ландшафта (литология, гидрология, растительность, животный мир, климат) взаимно проникают и влияют друг на друга, прошло больше века [39]. Ландшафтоведение, выявив, описав и систематизировав морфологическую структуру ландшафта, смогло объяснить, как складывается его картина, как она функционирует в пространственно-временном разрезе.

Основополагающим в ландшафте является геологический субстрат, который предопределяет рельеф, который, в свою очередь, будет определять

соотношение тепла и влаги в ландшафте (основных агентов перераспределения питательных элементов в почве), а также растительность и животный мир.

Рельеф влияет на влажность и геохимический состав почвы. Влияние рельефа местности настолько велико, что подчас сопоставимо с влиянием почвообразующих пород на количество макроэлементов в почве и с влиянием органических и минеральных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур [78, 127].

Основное влияние рельефа на сельскохозяйственные ландшафты заключается в перераспределении почвенных частиц и связанных с ними химических элементов, а также потоков солнечной энергии и атмосферных осадков. Мезорельеф может резко изменить местный климат и химические элементы в почве, особенно там, где эти элементы ограничены. Например, в сухом климате юго-востока Российской Федерации рельеф оказывает значительное влияние на перераспределение почвенной влаги. Так, накопление снега и талых вод в аккумуляционных формах рельефа (долинах и оврагах) позволяет расти «байрачным» лесам в безлесных степях. Кроме того, небольшие понижения в степи, описанные Докучаевым, позволяют накапливать талую воду весной, что дает возможность расти там более влаголюбивым растениям, чем на окружающей территории. Напротив, более высокие участки степи («жареные бугры») заняты более засухоустойчивыми группами растений [39, 73, 127].

Рельеф местности оказывает влияние на перераспределение температуры воздуха и осадков, что способствует формированию микроклиматических различий местности. Например, на возвышенных участках температура всегда значительно выше, чем в котловинах и впадинах (особенно летними вечерами) [27, 35, 127]. Так, на опытных полях ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» в г. Саратове, по данным Н.Г. Левицкой, различия в температуре между возвышенными участками и пониженными составляют, в среднем, 0,5°C в летнее время [76].

Склоны противоположных экспозиций играют разную роль в формировании снежного покрова, а накопление снега в понижениях местности происходит за счет перераспределения с вышележащих форм рельефа [115, 127].

Так, по данным лаборатории агроландшафтов и ГИС ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», на склоне северной экспозиции запасы воды в снеге в среднем на 17,9% выше, чем на склоне южной экспозиции [86, 106, 165]. А так как в условиях Юго-Востока РФ более 70% влаги – это влага зимних осадков, именно мощность снегового покрова, его плотность, распределение по элементам рельефа и регулируют уровень увлажнения почвы в весенний период [88, 164].

Весенние запасы продуктивной влаги в 50-сантиметровом слое черноземов южных в городе Саратове на склонах северной экспозиции (ССЭ) на 6% выше, чем на склонах южной экспозиции (СЮЭ), но на 3% ниже, чем на водоразделе. Летом запасы продуктивной влаги на СЮЭ уже на 45% ниже, чем на ССЭ, и на 50% меньше, чем на водоразделе. Осенью ситуация стабилизируется, и разница между ССЭ и СЮЭ в Саратове становится равной 12% [86].

Ориентация склона относительно направления света влияет не только на суммарную солнечную радиацию, но и на температуру, влажность и скорость ветра, что влияет на видовой состав флоры и ее жизненные циклы. Количество суммарной солнечной радиации на склонах различной ориентации существенно отличается из-за неодинакового угла падения солнечных лучей, что способствует различиям в общем комплексе микроклиматических факторов [14, 127, 151, 161, 169]. Так, по моделированию прихода солнечной радиации в лаборатории агроландшафтов и ГИС ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», в поселке Росташа Саратовской области инсоляция ССЭ за вегетационный период составляет 3153 мДж/м², водораздела–3173 мДж/м², а СЮЭ–3190 мДж/м² [155, 156, 157, 166]. Еще более контрастные результаты получаются с повышением крутизны склонов. Так, на Приволжской возвышенности в городе Саратове разница между склонами составляет 106 мДж/м². Эти различия между открытыми участками иногда сравнимы с различиями между районами, находящимися на расстоянии нескольких градусов друг от друга по параллели [113]. Так, в отличие от ССЭ, почвенный покров на СЮЭ быстрее прогревается весной, но затем быстрее высыхает, и влажность воздуха на них серьезно понижается. В более влажных регионах России, где наблюдается недостаток тепла, элементы рельефа,

занимающие более высокие позиции, лучше дренируются и лучше прогреваются, особенно на склонах, обращенных к югу [127, 134].

Все эти наблюдения о влиянии различных склонов на растительность отражены в «правиле предварения», сформулированном В.В. Алехиным в 1986 году: «Плакорный вид или плакорная растительность предваряется на юге или на севере в соответствующих условиях местообитания» [2]. Другими словами, растительность, произрастающая на ССЭ, по видам и характеристикам похожа на растительность более северных плакоров, а растительность на СЮЭ – на растительность более южных водораздельных частей [2, 127].

Итак, разноориентированные склоны перемещают местоположение примерно на 10° широты дальше на север или юг. Однако влияние наклона местности не так просто, как влияние географического параллелизма, поскольку территории, прилегающие к склону, оказывают собственное влияние на температуру. Равнины, скорее всего, будут иметь более низкую температуру. Однако такая зависимость все же присутствует, особенно летом, когда склоны южной ориентации сильнее нагреваются Солнцем по сравнению с водораздельными поверхностями и склонами северной экспозиции, что говорит о том, что даже слабовыраженные склоны непрерывно влияют не только на естественную, но и на культурную растительность [3, 83, 127, 149].

Различия между микроклиматическими факторами (солнечная радиация, температура воздуха, температура и влажность почвы) на склонах, обращенных в разные стороны, влияют не только на видовой состав растительности, но и на ее биоэкологическую структуру и ход жизненного цикла [26, 96, 161]. Поэтому многие российские ученые отмечали, что развитие растительности на склонах, обращенных к югу, происходит быстрее и опережающими темпами по сравнению с другими склонами, особенно северными [14, 22, 45, 46, 68, 149]. На СЮЭ, в отличие от склонов противоположного направления, растительность начинает вегетацию раньше и раньше вступает в следующую фенологическую стадию. На СЮЭ ксерофитная растительность обычно образует доминирующую биотическую экосистему. Направление склона оказывает значительное влияние

на архитектурный стиль и привычки многих растений. Например, астрагал шерстистоцветковый, растущий на склоне южной экспозиции, имеет более низкорослую и раскидистую кустовидную форму, в то время как на склоне северной экспозиции он уже прямостоячий, кончики листьев скручены вверх и имеют чашевидную форму [29, 96, 115, 127].

На СЮЭ в 3-5° за вегетационный период сумма активных температур на 1200°C, а на склонах >5° на 3000-3500°C выше, чем на плакорах. Следовательно, и продолжительность периода без мороза на СЮЭ существенно увеличивается (примерно до 20 дней) [127].

С изменением крутизны склона меняется угол падения солнечных лучей, а значит, значительно изменяется и температура почвенного покрова. Поэтому, чем более крутой склон, тем он сильнее прогревается [127]. Поэтому на склонах южной экспозиции наблюдается более интенсивное тепловое выветривание в отличие от северных экспозиций, для которых характерны меньшие суточные колебания температуры и менее теплые дневные температуры, более холодные ночные. В результате для СЮЭ часто характерны грубые отложения почвообразующих пород, что влияет на гранулометрический состав. В результате здесь получают распространение растения-петрофиты [118, 127].

Существующий крутой уклон поверхности стабилизирован и поддерживается активными процессами физического выветривания. Как мощность, так и тесно связанное с ней выветривание почвенного профиля полностью зависят от его положения по рельефу. Развитие растительности в большей степени зависит от гидротермических условий региона, которые лучше коррелируют с толщиной почвенного профиля, чем с обилием макро- и микроэлементов почвенного покрова, который, в свою очередь, зависит от степени экспозиции и крутизны склона [26, 35, 75, 98, 99, 127].

Итак, характер рельефа являются определяющим условием пространственной изменчивости естественной растительности. Фундаментом формирования этой гетерогенности являются температура, влажность и

освещенность, тогда как рельеф является агентом перераспределения влияния этих факторов в пространственно-временном аспекте [27, 127].

Рельеф приводит к перераспределению снежного покрова, дифференциации минеральных питательных веществ и неодинаковой интенсивности водной и ветровой эрозии на склонах разной крутизны и экспозиции. Формирование почвенных и растительных групп и скорость выветривания зависят от уклона. Крутизна склонов и экспозиция влияют на растительный покров через характеристики почвенного покрова, водный и температурный режимы. Повышенный водный сток и смыв почвы с крутых склонов затрудняют рост как естественной, так и культурной растительности [29, 72, 127].

На территории Нижнего Поволжья почвы южных экспозиций обычно менее мощные, нередко более карбонатны. Неравномерность распределения выпадающих осадков на разных частях склонов определяет и интенсивность поверхностного стока. Эродируемость почвы обуславливает её плодородие, в соответствии с изменением которого находится и её агрономическая оценка. Имеющиеся к настоящему времени результаты обследований в основном однозначно констатируют преимущество северного расположения посевов полевых культур [7].

Со времен фундаментального изучения черноземных почв В.В. Докучаевым и П.А. Костычевым почвоведы особое внимание обращают на связь между ориентацией склонов и содержанием гумуса в почвах. Так, П.А. Костычев относительно содержания гумуса в целинных почвах Воронежской области отмечал: «Мы можем до некоторой степени видеть границу между северными и южными склонами, хотя она и не выражена резко, но вообще в склонах, обращенных к югу, содержание перегноя не достигает 7%, тогда как на северных— оно почти во всех без исключения случаях больше 7%». Он пришел к выводу, что «если на склонах в черноземе содержится мало перегноя, то это обуславливается не тем вообще, что это склон, а тем, в какую сторону горизонта склон обращен» [72].

На сегодняшний день определена зависимость плодородия почвы от агрофизических и агрохимических свойств и типов использования земель, определены изменения агрофизических свойств в зависимости от способов обработки почвы, но мало исследований посвящено изучению изменения свойств почвы в агроландшафтах, взятых комплексно, в целом [121]. Важность таких исследований заключается в том, что знание влияния условий выращивания сельскохозяйственных культур и ландшафта на факторы плодородия почвы позволяет прогнозировать изменения свойств во времени и в различных природных условиях. Результаты таких исследований могут быть использованы в первую очередь для дифференцированного внесения удобрений [121, 146, 147].

Рельеф как компонент ландшафта является не только продуктом тектонических и гравитационных процессов, но и оказывает существенное влияние на процессы, происходящие в биосфере. Прямое и косвенное влияние рельефа на почвообразование в качественном аспекте описано С.С. Неуструевым, В.В. Докучаевым, С.А. Захаровым, Г.Н. Высоцким, В.М. Фридландом, А.Д. Джеррардом, но влияние рельефа на почвообразование не было хорошо изучено количественно [21, 36, 40, 47, 110, 139].

В опыте на дерново-подзолистых почвах Тверской области отмечалось уменьшение органического вещества в слое почвы 0–20 см от элювиально-транзитного агромикрорландшафта к аккумулятивным частям подножия склонов на 0,80% по склонам северной и южной экспозиций. Отмечено, что на элювиально-аккумулятивном агромикрорландшафте происходит вымывание органического вещества в иллювиальный горизонт [121].

Также для Тверской области отмечено уменьшение гидролизуемого азота в пахотном слое от вершины катены к ее подножию почти на 50%, что связано с облегчением гранулометрического состава и уменьшением гумусированности почвы.

В. Lozano-García, L. Parras-Alcántara, E.C. Brevik в своей статье указывают, что фактор экспозиции и крутизны склона является основным в распределении гумуса в почвенном покрове [163].

Исследования, проведенные на черноземах южных Саратовской области, показали сходные результаты по снижению гумуса от вершины склона к его подножию с частичной аккумуляцией органического вещества почвы в аккумулятивной фации. По нитратному азоту, подвижным формам фосфора и калия также наблюдалось снижение содержания от элювиальной фации к фациям трансэлювиальной и трансэлювиально-аккумулятивной с частичной аккумуляцией макроэлементов в аккумулятивной фации подножия склонов [89].

В сходных исследованиях на черноземах типичных, выщелоченных и карбонатных Центральной Черноземной области отмечалось снижение гумусированности почв южной экспозиции на 0,4–0,7%, по сравнению с почвами северной экспозиции. По фосфору отмечено его повышение в пахотном слое «холодных» экспозиций, по сравнению с «теплыми». По подвижным формам калия отмечается, что на почвах южных склонов его содержание обычно ниже, чем на северном, но в зависимости от содержания его в материнской породе, может повышаться при увеличении крутизны территории и усилении эрозии [62].

В Республике Башкортостан отмечено изменение в содержании гумуса на почвах одной разности на разных элементах рельефа и экспозиции. Так, в верхних и средних частях склона южной экспозиции этот показатель составлял 6,2%, тогда как в верхней части склона северной экспозиции – 6,4%. Содержание подвижного фосфора в пахотном горизонте изменялось от 7,8 мг/100 г почвы в верхних частях склонов до 8,2 мг/100 г в нижних частях склонов. Содержание обменного калия в пахотном горизонте в верхней и средней частях обоих склонов составляло 8,7 мг/100 г почвы, в нижних частях его содержание оказалось несколько ниже (8,4 мг/100 г почвы на южной и 8,3 – на северной экспозициях).

По аммонийному азоту авторами отмечено, что различия между нижними и верхними частями склонов разных экспозиций составили 50%. Также отмечалось более высокое содержание в начале вегетации нитратного азота на склоне южной экспозиции (8,9 мг/кг), в отличие от склона северной экспозиции (7 мг/кг). Авторами отмечено, что верхние части склонов в начале вегетации более обеспечены нитратными формами азота, тогда как на нижних частях склонов его

повышенное накопление относительно верхних частей происходит уже в фазу кущения [58].

Таким образом, морфометрические характеристики (крутизна, экспозиция, форма склонов) оказывают решающее влияние прихода и перераспределения климатических ресурсов в ландшафте. Не меньшее влияние рельеф оказывает и на процессы выветривания почвообразующих пород, образование и функционирование почв, являясь главной причиной усиления или уменьшения влияния таких процессов, как, например, эрозия почвенного покрова, что прямо влияет на плодородие почвы [108].

1.3 Ландшафтно-морфологические особенности территории как основной фактор продуктивности сельскохозяйственных культур

Для решения проблем адаптивно-ландшафтного земледелия важно знать, как изменяется урожайность и качество сельскохозяйственных культур на почвах, сформированных в разных частях ландшафта. Существуют множество исследований о влиянии рельефа на продуктивность растений. Например, в Алтайском крае, по данным Л.М. Бурлаковой и Е.М. Совриковой, влияние экспозиции склона на урожайность яровой пшеницы не меньше, чем содержание питательных веществ в почве [13].

По данным других сибирских ученых, в Красноярском крае за 2003–2004 гг. урожайность изменяется от минимальных значений в ложбинах (2,28 т/га) к практически идентичным результатам на склоне северной экспозиции и плато (2,70 т/га и 2,69 т/га соответственно) с максимальными значениями на склоне южной экспозиции (2,81 т/га). Результаты, полученные авторами ранее (1998–2000 гг.) на пшенице и ячмене также показали, что продуктивность южной экспозиции выше, чем северной. Урожайность водораздельной части есть среднее между склонами. Но продуктивность ложбин в эти годы была выше, чем в среднем по рассматриваемому ландшафту, что связано с засушливыми

условиями, сложившимися в эти годы. Также авторами отмечено повышение стекловидности, белка и клейковины пшеницы, убранной со склона южной экспозиции, в сравнении с той, которая убрана со склона северной экспозиции. Плато по данным показателям находятся между склонами как в прямом смысле, так и в смысле продукционных результатов [149].

На Европейской части России, в Саратовской области, в Пугачевском районе на черноземах южных получены результаты, согласно которым урожайность озимой пшеницы на элювиальной фации (водораздельная часть ландшафта) получена на 6,2 ц/га выше, чем на трансэлювиальной фации (склоновая часть ландшафта). На элювиальной фации содержание клейковины на контроле было на 4,5% ниже, чем на трансэлювиальной фации южной ориентации [89].

Теми же авторами на черноземах южных города Саратова получены результаты, согласно которым различие уровня урожайности озимой пшеницы между элювиальной и трансаккумулятивной фациями, обусловленное естественным плодородием, составило 0,63 т/га, или почти 50% [32].

Как отмечают Е.Н. Романова, Г.И. Мосолова и И.А. Береснева, помимо изменения урожайности в зависимости от условий местности, меняется и качество яровой пшеницы. Это объясняется тем, что широтный градиент радиационных свойств (прямой радиации, радиационного бюджета и фотосинтетически активной радиации) в 10 раз меньше, чем различия между противоположными склонами в 10°. Другими словами, разница в микроклимате между соседними экспозициями, обращенными на север и юг, соответствует изменению климатических показателей на 10° широты и 1000 м высоты. Склоны северной экспозиции имеют наименьшую солнечную радиацию во все сезоны года [48, 70, 93, 120]. Продолжительность действия солнечного света также различна. Например, в северных регионах южно-ориентированные склоны освещены на один-два часа больше, чем северные. Эта разница уменьшается по мере продвижения на юг. Весной и осенью наблюдаются значительные различия в продолжительности воздействия прямых солнечных лучей на вертикальные

поверхности, обращенные на юг и север [70, 100]. Эти микроклиматические различия оказывают существенное влияние на качество яровой пшеницы. П.Е. Суднов отметил, что массовая доля клейковины в зерне уменьшается на пониженных элементах рельефа, что объясняется развитием грибковой почвенной микрофлоры, особенно на склонах, обращенных на север [136]. Р.Р. Исмагилов и А.А. Нигматьянов в исследовании, проведенном на холмистом поле в Дюртюлинском районе Башкортостана, отметили, что наибольшая урожайность наблюдалась в нижней части склона. В 1996–1997 годах разница между нижней и верхней частями склона составляла около 0,25 т/га, а в 1998 году в год засухи она составила 6 т/га (7,4 т/га на северном склоне и 1,32 т/га на южном) [60].

Качество яровой пшеницы по сведениям тех же авторов также значительно изменялось в зависимости от элемента рельефа. Так, наибольшая массовая доля клейковины в зерне формировалась в верхней части склона южной ориентации (28,5%). В средней и нижней частях данного склона массовая доля клейковины в зерне была 27,7 и 26,7% соответственно. На верхней части склона северной экспозиции массовая доля клейковины также была выше (28,3%), чем на других элементах рельефа данного склона. В среднем за 1996–1998 гг. в верхних частях склона южной экспозиции зафиксировано содержание клейковины в 26,5%, тогда как на тех же частях склонов северной экспозиции – 25,9%. Различия между нижними частями склонов разных экспозиций оказались более существенными, составив 2,2% клейковины с более высокими значениями южно-ориентированных склонов [58].

Р. Jiang и К. Thelen отмечали, что в условиях штата Мичиган совокупное воздействие как почвы, так и рельефа менялось в зависимости от года и обеспечивало от 28 до 85% наблюдаемой изменчивости урожайности кукурузы и сои [162]. Сходные исследования на территории Окского бассейна в РФ позволили сделать вывод, что совместное влияние климата, почв и рельефа на урожайность ярового ячменя составляет от 58 до 69% [145].

С. Yang, С. L. Peterson, G. J. Shropshire, Т. Otawa в своем исследовании районе Палоуза в штате Вашингтон (США) установили посредством

регрессионной модели, что топографические атрибуты, включая высоту, уклон и экспозицию оказывают значительное влияние на урожайность пшеницы. Эти топографические атрибуты смогли объяснить от 49 до 84% изменчивости урожайности пшеницы в данной местности [168].

Таким образом, на сегодня имеется множество исследований, согласно которым элементы рельефа и их положение относительно сторон света оказывают существенное влияние на содержание макроэлементов в почве, урожайность культур и качество продукции. Влияние это тем существеннее, чем более расчленена территория, больше крутизна склонов местности, а также сильнее её континентальность. Учет этих параметров как лабораторно-полевыми методами, так и методами математического моделирования способен улучшить прогнозирование и устойчивость продуктивности [160].

Господствующий в сельскохозяйственной науке подход по дифференциации территории в основном построен на ландшафтно-геохимическом (катенарном) уровне, который не решает вопрос мозаичности посевов в ландшафте. Существующие почвенные карты также не могут удовлетворительно ответить на данный вопрос, так как основная их масса построена в масштабе 1:25000–1:50000, что не позволяет детализировать территорию хозяйств. Предлагаемый нами ландшафтно-морфологический подход есть попытка синтезировать достижения современных ландшафтоведения и агрохимии с целью решения одного из важнейших вопросов сельского хозяйства по устойчивой и предсказуемой продуктивности в пространственно-временном разрезе.

2 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Местоположение тестовых полигонов

Диссертационное исследование проведено в 2019–2021 гг. на базе тестовых полигонов ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» и включало в себя предварительный камеральный этап по построению ландшафтно-морфологических карт объектов исследования, определению на них ключевых участков, на которых в последствии проведены мониторинговые исследования и поставлены агрохимические опыты, непосредственно полевые исследования, обработку полученных почвенных и растительных материалов в химико-аналитической лаборатории и камеральный этап по каталогизированию, математической обработке, обобщению полученной информации.

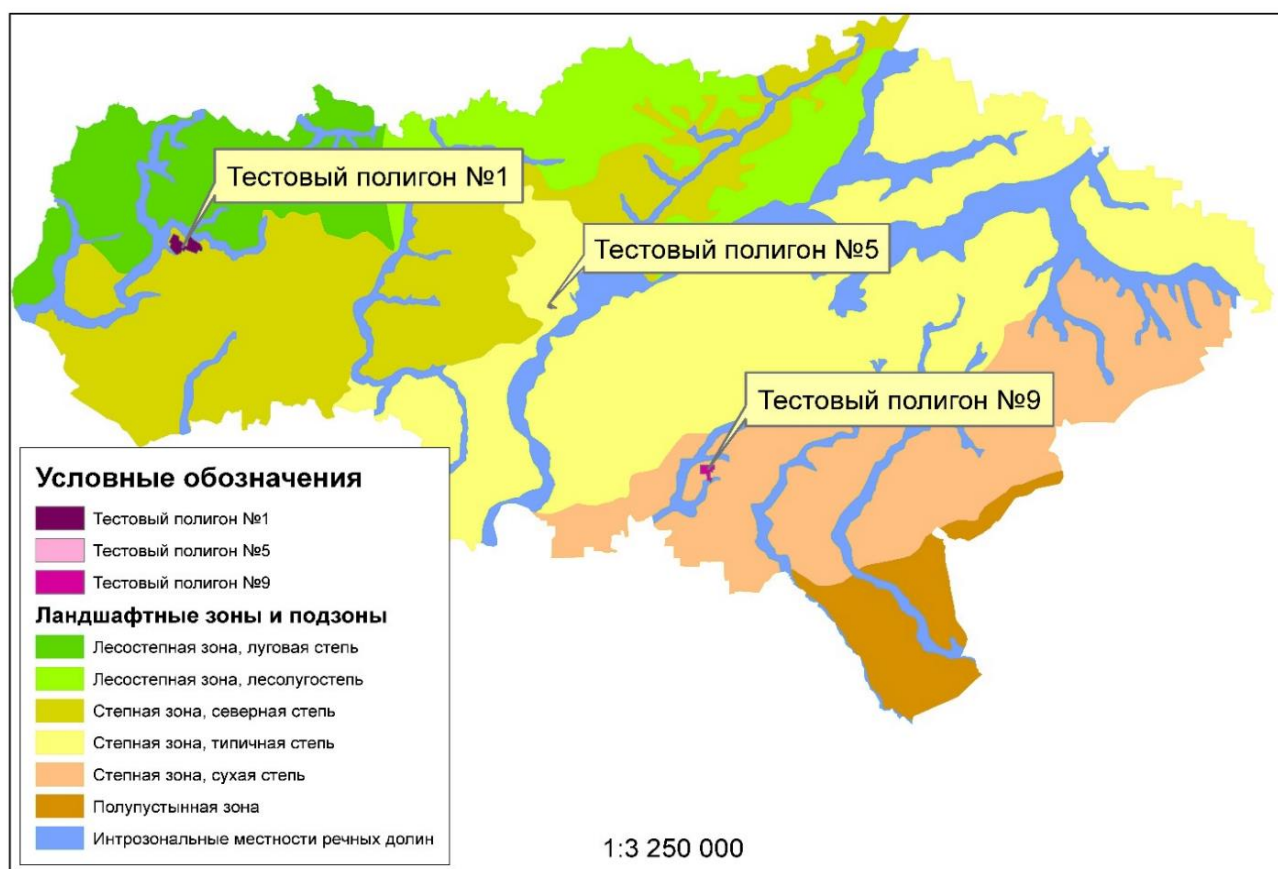


Рисунок 1 – Местоположение тестовых полигонов по ландшафтным зонам и подзонам Саратовской области (составлено авторами по материалам [103, 142])

Административная и ландшафтная характеристика объектов исследования дана по используемым обозначениям лаборатории агроландшафтов и ГИС: п. Росташа, Аркадакский район, Елань-Терсинский ландшафтный район, Большеаркадакско-Грачевская и Грачевско-Ольшанская местности – Тестовый полигон (т.п.) №1; г.Саратов, Чардымо-Курдюмский ландшафтный район, Гусельская местность – Тестовый полигон (т.п.) №5; п. Семенной, Краснокутский район, Еруслано-Бизюкский ландшафтный район, Еруслано-Жидкосолянская местность – Тестовый полигон (т.п.) №9 (Рисунки 1–4).

Условия проведения опыта по исследованию влияния ландшафтно-морфологической структуры территории на сельскохозяйственное производство подразумевали схему, согласно которой точки отбора образцов не находились на одном поле все годы исследования, а располагались на тех полях, где произрастала яровая мягкая пшеница. Единство условий опыта достигалось тем, что закладка происходила на одних и тех же ландшафтно-морфологических единицах тестовых полигонов, с одной и той же почвенной разностью.

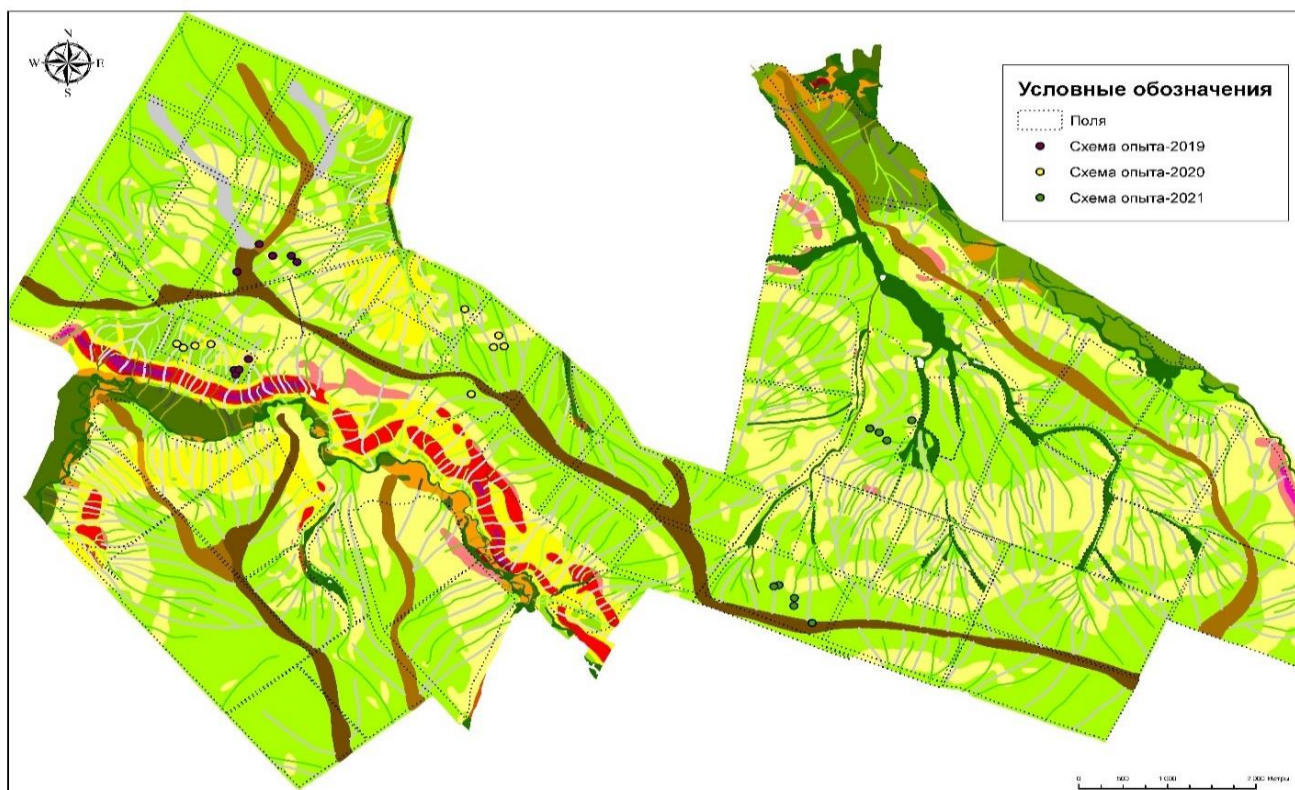


Рисунок 2 – Ландшафтно-морфологическая карта типов фаций тестового полигона №1 со схемой опыта

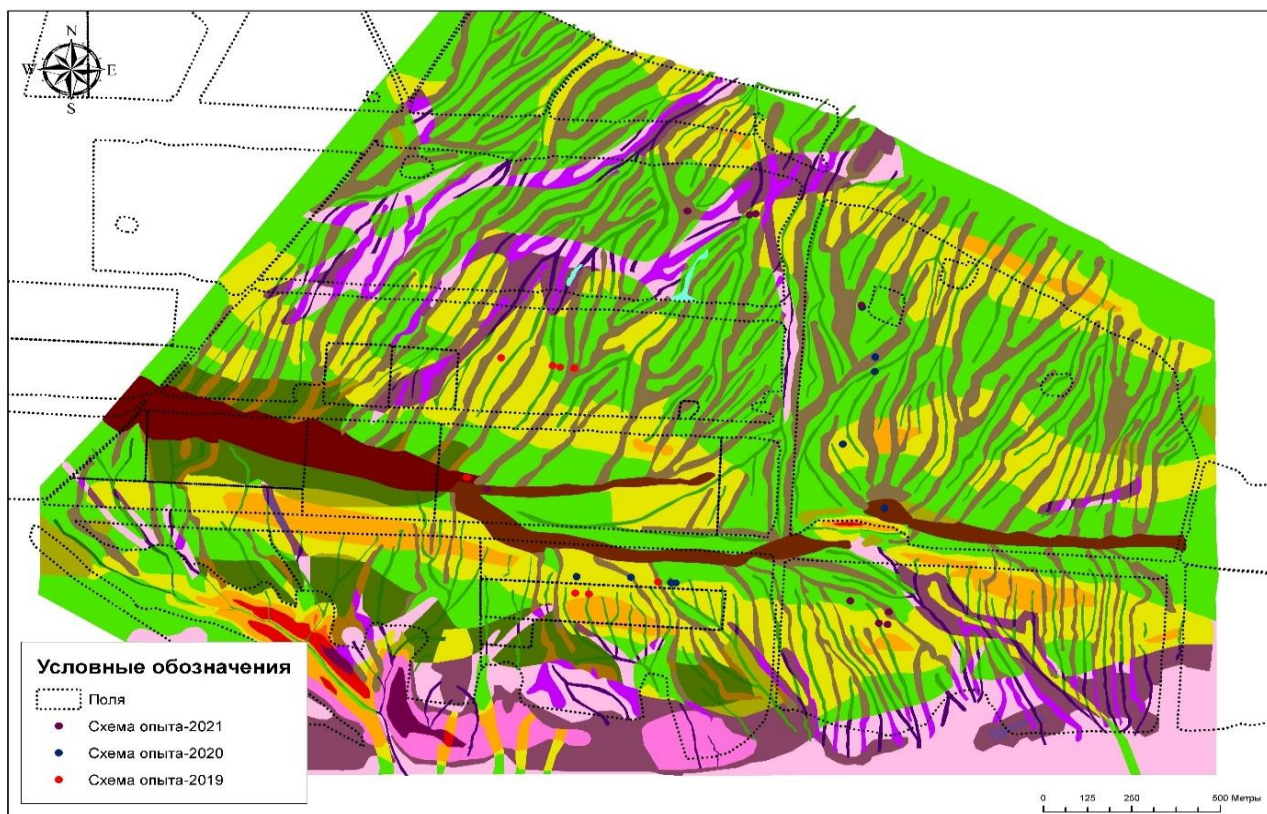


Рисунок 3 – Ландшафтно-морфологическая карта типов фаций тестового полигона №5 со схемой опыта

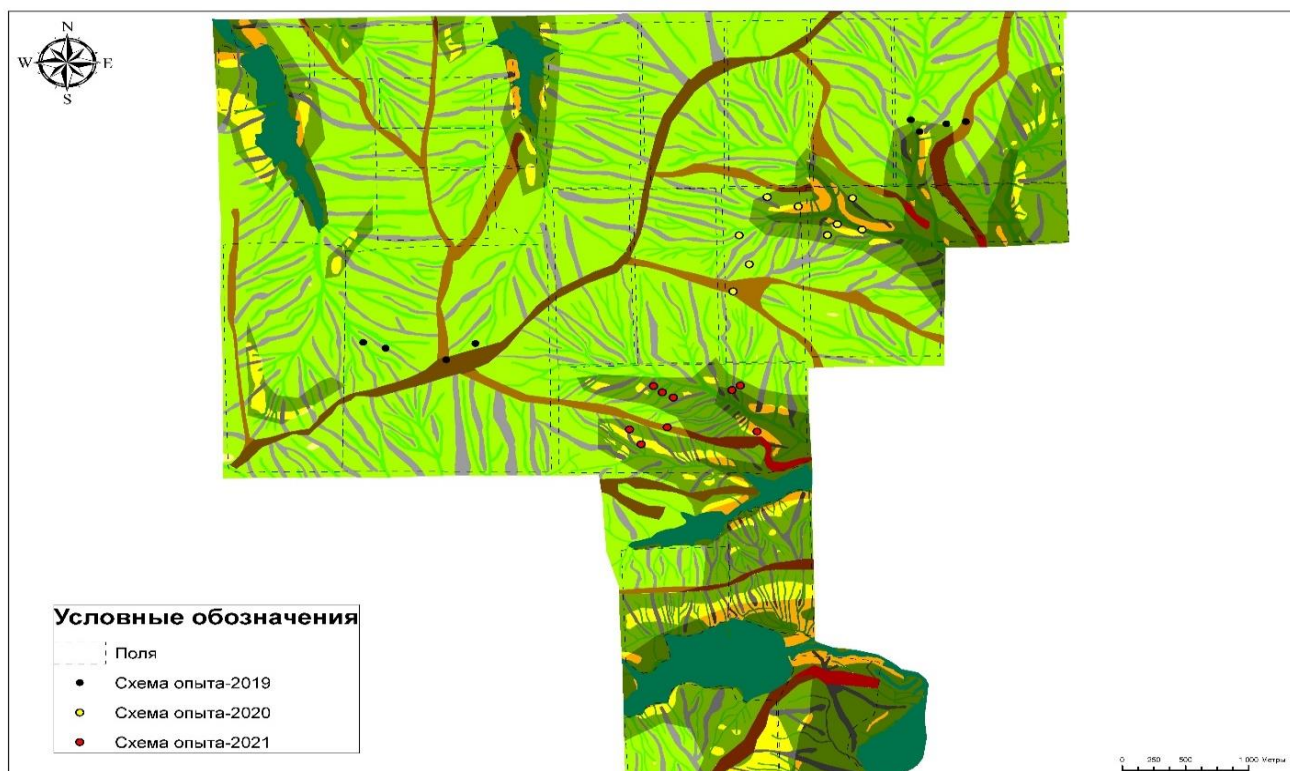


Рисунок 4 – Ландшафтно-морфологическая карта типов фаций тестового полигона №9 со схемой опыта

2.2 Методика построения ландшафтных карт

Ландшафтно-морфологические карты построены по методическим указаниям кафедры физической географии и ландшафтной экологии и лаборатории ландшафтоведения географического факультета МГУ им М.В. Ломоносова [18, 81].

Составление ландшафтно-морфологической карты начинается с создания рабочего набора в ГИС, подбора космоснимков высокого разрешения для последующего дешифрирования и оконтуривания природной основы и структуры землепользования.

Следующим этапом идет рекогносцировка на местности, получение геологических, землеустроительных, почвенных, эрозионных, агропроизводственных карт на изучаемую территорию, с последующей оцифровкой в ГИС.

Рассмотрим пример построения ландшафтной карты тестового полигона №1 (Елань-Терсинский ландшафтный район). Гипсометрическая карта создается на основе оцифрованных изолиний с землеустроительной карты (Рисунок 5) или с ЦМР, взятой из специализированных сервисов. На полученной основе строятся карты уклонов местности (Рисунок 6), экспозиции склонов (Рисунок 7) и карта кривизны (кривизны) поверхности (Рисунок 8).

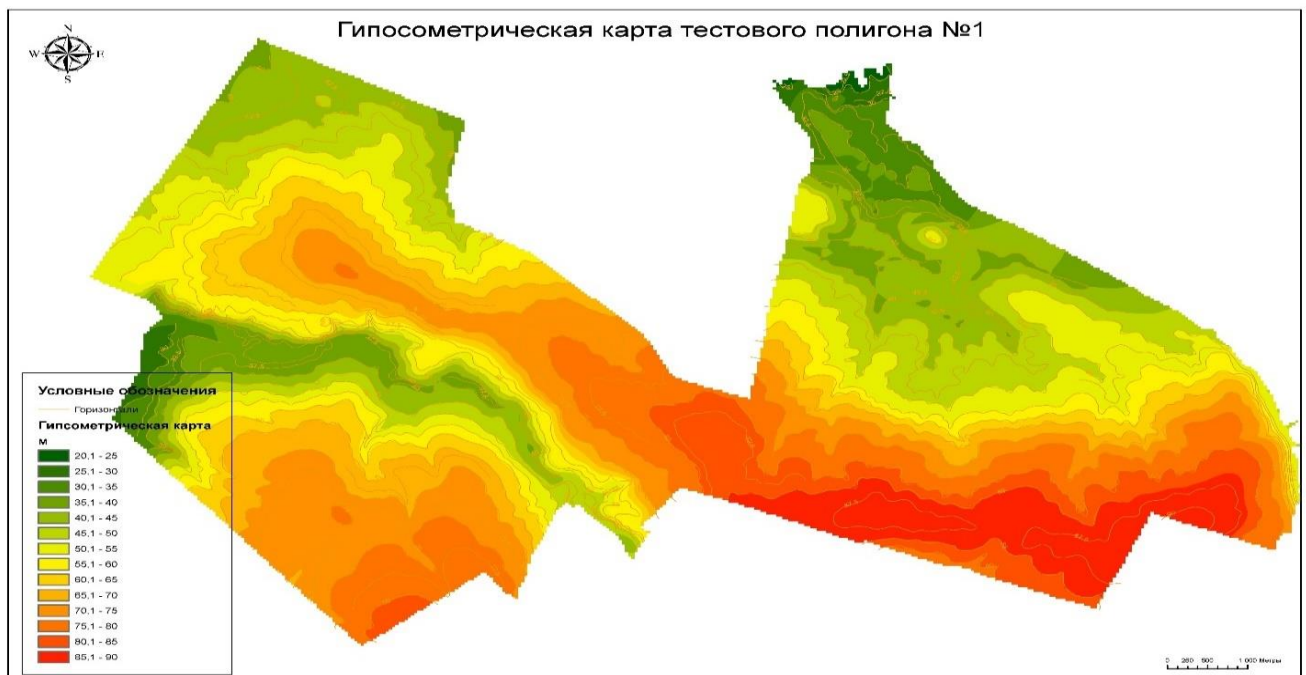


Рисунок 5 – Гипсометрическая карта тестового полигона №1

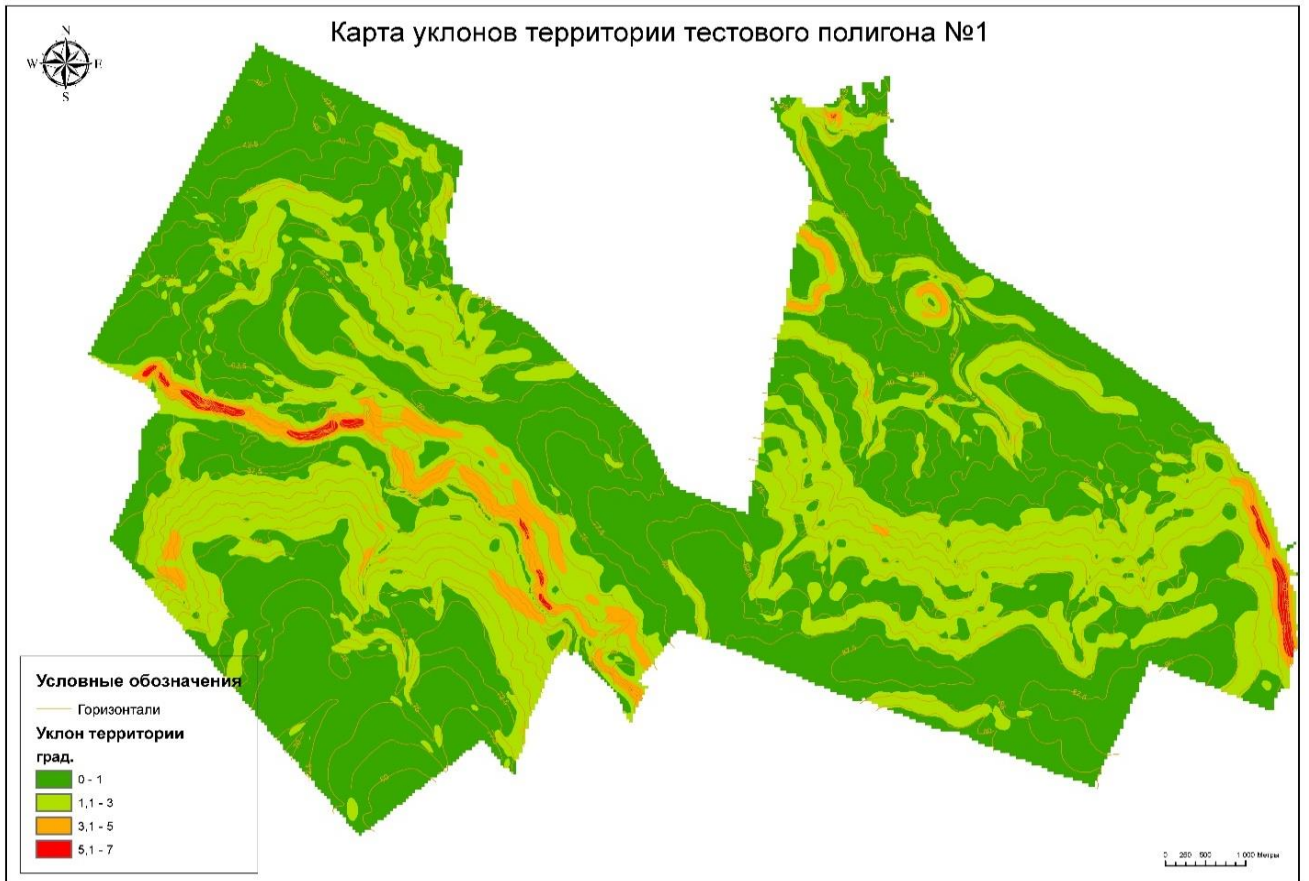


Рисунок 6 – Карта уклонов территории тестового полигона №1

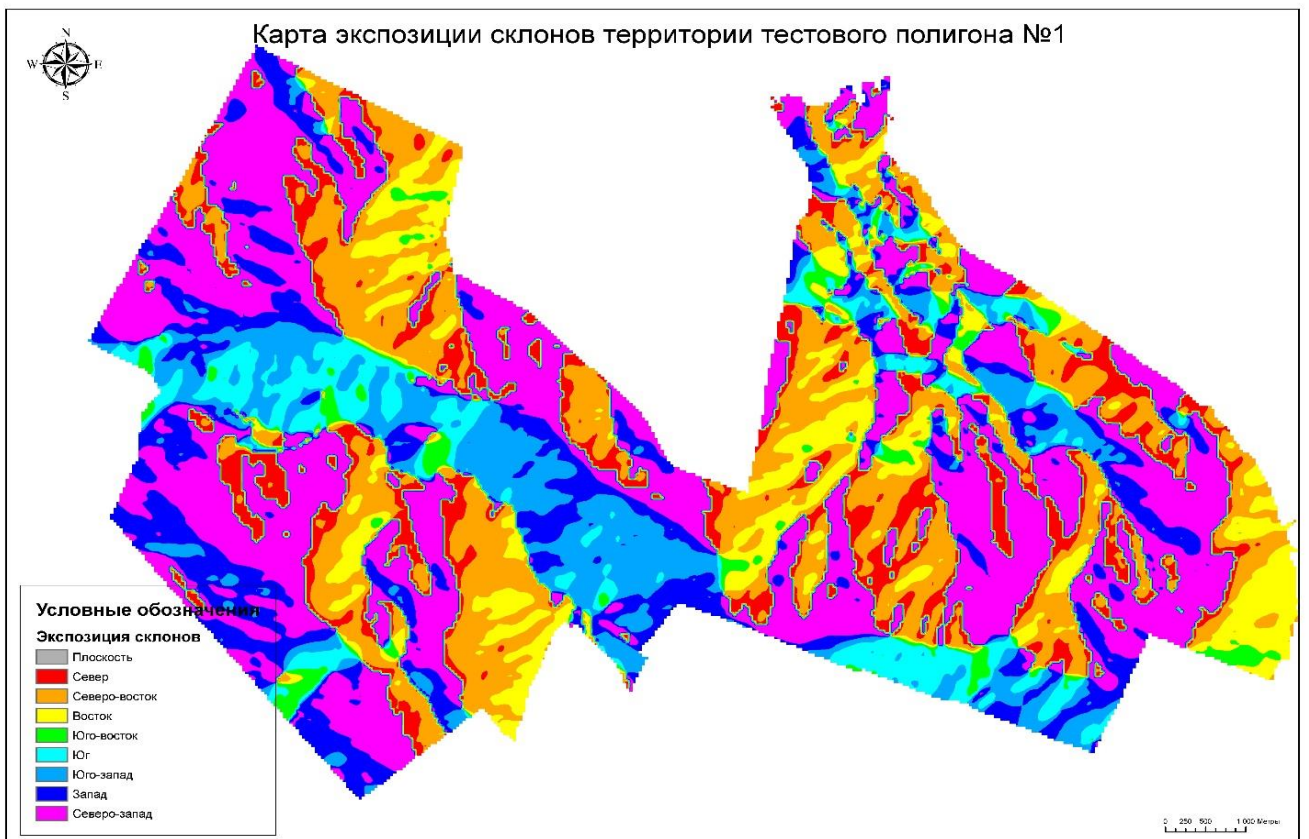


Рисунок 7 – Карта экспозиции склонов тестового полигона №1

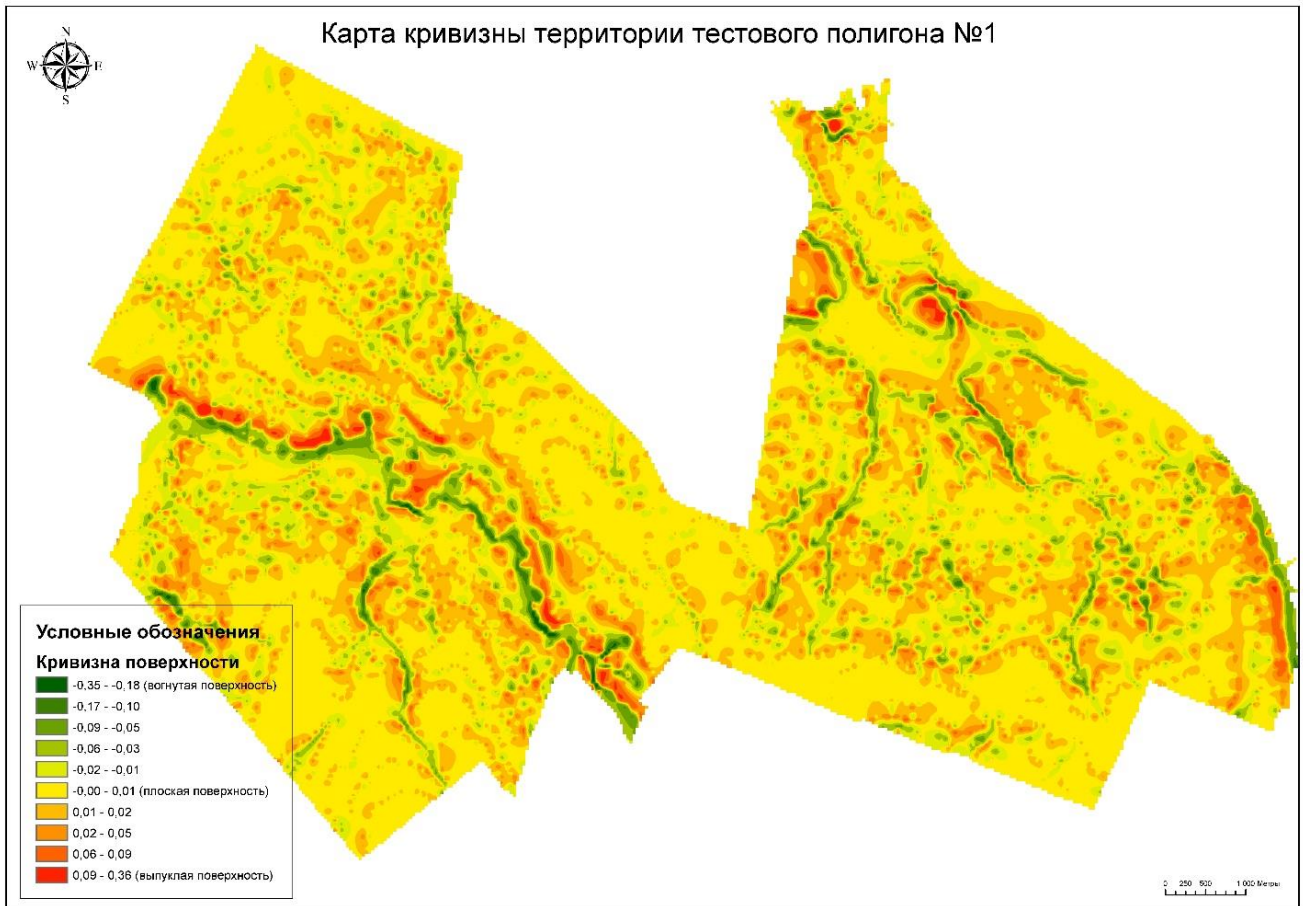


Рисунок 8 – Карта кривизны поверхности тестового полигона №1

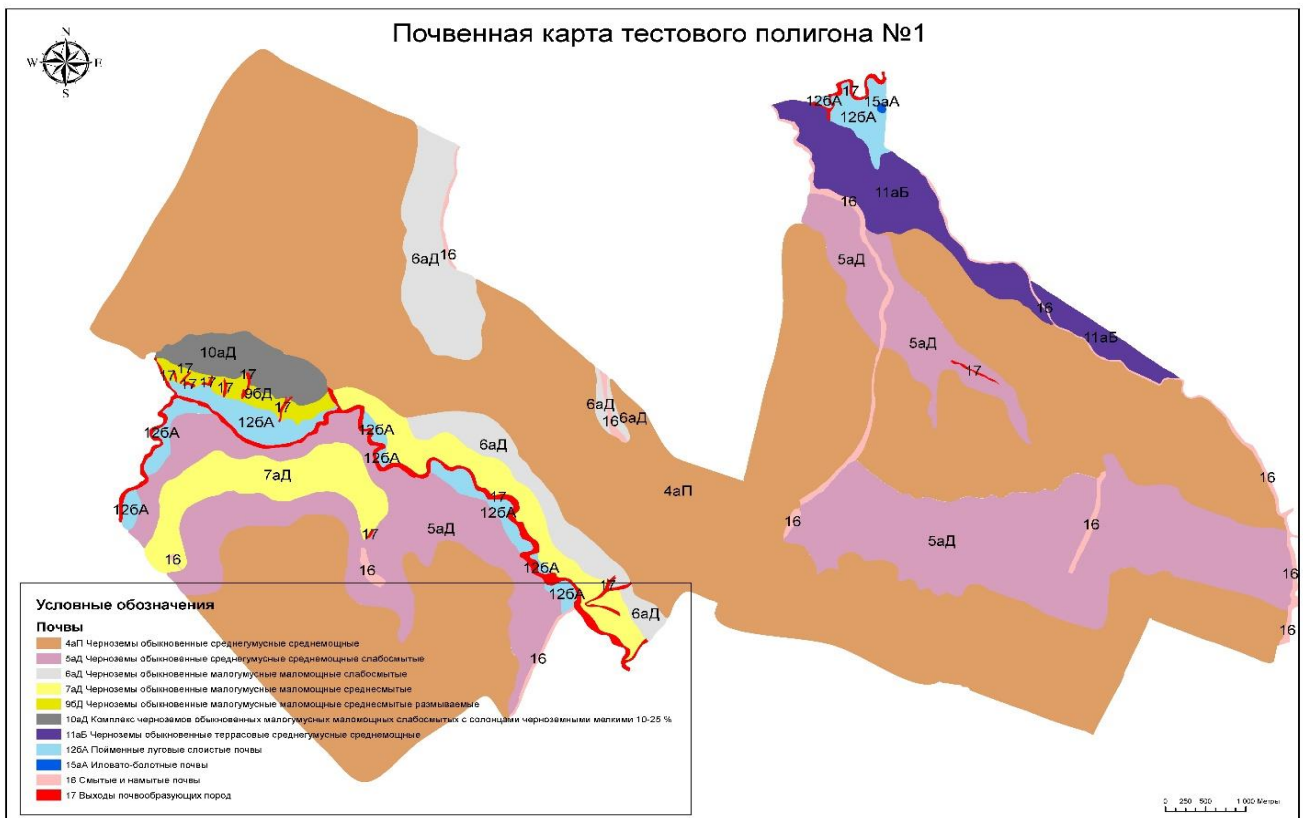


Рисунок 9 – Почвенная карта тестового полигона №1

Далее оцифровывается почвенная карта (Рисунок 9; Приложения Б, Г, Е) и уже методом оверлея (наложения) слоев друг на друга вырисовывается ландшафтно-морфологическая карта (Приложения В, Д, Ж). Одним из главных слоев здесь является космический снимок высокого разрешения, с помощью которого производится корректировка полученных архивных данных.

2.3 Агрэкологические методы исследования

Методологической основой исследований в ландшафтном земледелии является комплекс методов, позволяющих провести правильный сбор, анализ и систематизацию информации о протекающих на территории исследуемого ландшафта процессах [11].

При выполнении научной работы использовали полевые, лабораторно - полевые, лабораторные, статистические и экспедиционные методы.

Почвенные исследования проводились в соответствии с методическими рекомендациями ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», ФГБНУ «Курский ФАНЦ», Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии, Гидрометеослужбы, почвенного института им. В.В. Докучаева, а также с учетом методических разработок Б.А. Доспехова, Е.А. Дмитриева, А.А. Роде [37, 42, 43, 119].

Полевые исследования почвенного покрова включали в себя отбор образцов с горизонта 0–30 см по каждой морфологической единице местности ежегодно до посева и после уборки. Бурение до 1,5 м с целью определения влажности почвы проводилось ежегодно на т. п. №5. Запасы влаги в почве определились термостатно-весовым методом, с последующим пересчетом влажности на запасы продуктивной влаги в мм, в следующие сроки: начало вегетации и перед уходом в зиму с интервалом 10 см в трехкратной повторности.

В полевых условиях ежегодно проводились исследования почвенного покрова по показателю плотности сложения почвы методом режущего кольца в пятикратной повторности для гор. А, В, ВС и С по Качинскому с параллельным определением влажности почвы термостатно-весовым методом.

Зимние микроклиматические измерения на тестовом полигоне № 5 проводились каждую декаду с ноября по март-апрель и включали в себя определение снеготолщин и глубины промерзания почвенного покрова. Снеготолщины определялись по результатам снегомерной съемки, проводящейся по постоянным маршрутам, включающим трансекты. Высота снега измерялась переносной рейкой в 5 повторностях, плотность снега и запасы в нем воды в мм определялись с помощью весового снегомера ВС-43 в 5 повторностях. Измерения проводились в феврале и марте, на пике развития снежного покрова; промерзание почвы определялось с помощью мерзлотомера марки АМ-01.

Учет урожайности яровой мягкой пшеницы проводился методом линейных метров в трехкратной повторности на 3-х объектах исследования по утвержденной схеме; качество зерна определено анализатором качества зерна Infratec™ (FOSS).

Привязка ключевых участков и точек отбора образцов была выполнена GNSS-приемником South в системе координат WGS-84 UTM 38N.

В камеральный период в лаборатории массовых анализов ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» проведены следующие анализы по химическим и физическим свойствам почвы:

Химические свойства почвы: нитратный азот ($N-NO_3$) и $pH_{\text{сол}}$ в почвенных образцах определялся потенциометрическим методом на иономере по ГОСТ 26951-86 и ГОСТ 26423-85 соответственно; нитрификационная способность почвы – по методу Кравкова в модификации Болотиной и Абрамовой – по разности в содержании нитратов в почве до и после инкубации почвы в благоприятных для процесса нитрификации условиях ($24^{\circ}C$, 60 % капиллярной влагоемкости); подвижный фосфор и подвижный калий – в 1% углеаммонийной вытяжке по Мачигину по ГОСТ 26205-91; подвижная сера- по ГОСТ 26490-85; валовое содержание гумуса определялось по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26213-84.

Физические свойства почвы: гранулометрический состав почвы определялся методом пипетки (вариант Н.А. Качинского с подготовкой почвы к анализу пирофосфатным методом по С.И. Долгову и А.И. Личмановой); плотность сложения – методом режущего кольца в пятикратной повторности для гор. А, В, ВС и С по Н.А.

Качинскому.

Определение экономической эффективности технологий возделывания культур выполнялось по методике В.А. Булохова, П.И. Пеннера [12].

Все полученные результаты были обработаны и структурированы с помощью Microsoft Excel и СУБД MySQL, PostgreSQL, а также в созданной на базе ГИС базе геоданных (расширение .gdb для ArcMap и .sqlite; .gpkg для QGIS). Статистическая и математическая обработка полученных результатов проведена методами корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализа по Е. А. Дмитриеву и Б. А. Доспехову в программах Agros, Statistica 13 и Microsoft Excel, а также инструментами ArcMap [37, 153, 42, 43]. Картографический материал визуализирован с помощью программ ArcMap, ArcScene и QGIS.

Статистическая обработка результатов экспериментов включала в себя вычисление средних значений (\bar{x}) расчетного показателя (урожайности и качества яровой мягкой пшеницы), стандартному отклонению (s) и коэффициенту вариации (V), а также дисперсионный, регрессионный анализы.

Шкала градации коэффициента вариации, который стал основой при математических доказательствах существенности влияния (V_1) ландшафтно-морфологического фактора на агрохимические, агрофизические и продукционные параметры, опирается на следующие рамки, принятые в статистике: менее 10% - степень рассеивания данных считается незначительной, от 10% до 20% - средней, от 20% и более – значительной. Для пространственно-временной устойчивости ландшафтно-морфологического фактора (устойчивости качественных различий между типами фаций, V_2) принято, что с коэффициентом вариации менее 33% - совокупность однородна и устойчива, более 33% - неоднородна и неустойчива.

2.4 Схема агрохимического опыта

Размер 5 агрохимических площадок составлял 30 м². Всего 150 м² на одну ландшафтную единицу, которых на каждом тестовом полигоне по условиям опыта

ежегодно было 9 (Рисунки 2–4; Таблица 1; Приложения В, Д, Ж).

Таблица 1 – Схема опыта с удобрениями на тестовых полигонах

Типы фаций (фактор А)	Дозы удобрений (фактор Б)
In	Без удобрений (контроль)
	N ₃₀ (одинарная доза аммиачной селитры)
	N ₆₀ (двойная доза аммиачной селитры)
	N ₉₀ (тройная доза аммиачной селитры)
	NSx (сульфат аммония и аммиачная селитра)
IIn	Без удобрений (контроль)
	N ₃₀ (одинарная доза аммиачной селитры)
	N ₆₀ (двойная доза аммиачной селитры)
	N ₉₀ (тройная доза аммиачной селитры)
	NSx (сульфат аммония и аммиачная селитра)
IIIn	Без удобрений (контроль)
	N ₃₀ (одинарная доза аммиачной селитры)
	N ₆₀ (двойная доза аммиачной селитры)
	N ₉₀ (тройная доза аммиачной селитры)
	NSx (сульфат аммония и аммиачная селитра)
IVn	Без удобрений (контроль)
	N ₃₀ (одинарная доза аммиачной селитры)
	N ₆₀ (двойная доза аммиачной селитры)
	N ₉₀ (тройная доза аммиачной селитры)
	NSx (сульфат аммония и аммиачная селитра)
V	Без удобрений (контроль)
	N ₃₀ (одинарная доза аммиачной селитры)
	N ₆₀ (двойная доза аммиачной селитры)
	N ₉₀ (тройная доза аммиачной селитры)
	NSx (сульфат аммония и аммиачная селитра)
Is	Без удобрений (контроль)
	N ₃₀ (одинарная доза аммиачной селитры)
	N ₆₀ (двойная доза аммиачной селитры)
	N ₉₀ (тройная доза аммиачной селитры)
	NSx (сульфат аммония и аммиачная селитра)
IIs	Без удобрений (контроль)
	N ₃₀ (одинарная доза аммиачной селитры)
	N ₆₀ (двойная доза аммиачной селитры)
	N ₉₀ (тройная доза аммиачной селитры)
	NSx (сульфат аммония и аммиачная селитра)
IIIs	Без удобрений (контроль)
	N ₃₀ (одинарная доза аммиачной селитры)
	N ₆₀ (двойная доза аммиачной селитры)
	N ₉₀ (тройная доза аммиачной селитры)
	NSx (сульфат аммония и аммиачная селитра)
IVs	Без удобрений (контроль)
	N ₃₀ (одинарная доза аммиачной селитры)
	N ₆₀ (двойная доза аммиачной селитры)
	N ₉₀ (тройная доза аммиачной селитры)
	NSx (сульфат аммония и аммиачная селитра)

Примечания: In, IIn, IIIn, IVn, V, Is, IIs, IIIs, IVs – см. в условных обозначениях к Приложениям В, Д, Ж.

Весной перед посевом с каждой делянки с горизонта почвы 0–30 см отбиралась почва для последующего агрохимического анализа на $N-NO_3$ и SO_4 . После получения анализов почвы из агрохимической лаборатории проводился расчет удобрения сульфата аммония и аммиачной селитры (на делянку NSx) под планируемую урожайность на всех трех объектах исследования по формулам расчета удобрений для возделывания зерновых культур по интенсивным технологиям [1].

В фазу всходов на всех объектах исследования проводилось ручное внесение удобрений на каждую делянку каждой фации. Внесение удобрений приурочивалось к дождям с целью минимизации потери действующего вещества удобрений.

Цены на семенной материал и удобрения даны на 2022 год и составили: для аммиачной селитры – 24,49 руб/кг, для сульфата аммония – 28,67 руб/кг, для яровой мягкой пшеницы сорта «Фаворит» – 30 руб/кг, для яровой мягкой пшеницы сорта «Саратовская-76» – 40 руб/кг, для яровой мягкой пшеницы сорта «Альбидум-32» – 50 руб/кг.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Елань-Терсинский ландшафтный район

3.1.1 Ландшафтная характеристика

Территория тестового полигона №1 занимает 2 ландшафтные местности (Большеаркадакско-Грачевскую и Грачевско-Ольшанскую). Границей данных местностей является река Грачевка.

Дочетвертичное строение территории тестового полигона №1 характеризуется кампанским ярусом меловой системы на водоразделах и склонах. Данный ярус сложен песками и песчаниками. Вблизи реки территория подстилаема опоками сантонского яруса.

Четвертичная история развития данной территории связана с ледниковой эпохой, которая существенно повлияла на развитие данной местности. Водораздельная часть и склон северной экспозиции подстилаются лессовидными суглинками, песками, тогда как южная экспозиция – песками, илистыми отложениями, глинами аллювиальных наносов реки Грачевка. Также на южной экспозиции в качестве материнской породы встречаются выходы третичных пород. Северная часть территории сложена супесями, песками, суглинками и глинами четвертой и третьей надпойменных террас реки Большой Аркадак.

Рельеф территории, находящейся на Окско-Донской равнине, равнинный, с абсолютными высотами над уровнем моря от 139 м до 185 м. Склоны, изредка изрезанные лощинами и оврагами, но чаще неглубокими ложбинами, не превышают 1–3°, возрастают при переходе к поймам рек до 3–5°.

Почвенный покров территории представлен черноземами обыкновенными среднегумусными среднемощными на водоразделах и приводораздельных склонах, сменяясь слабосмытыми их разновидностями на склонах 1–3°. В

предбалочных понижениях почвы сменяются на чернозем обыкновенный малогумусный среднесплодный и в самих балках уже представляет из себя смесь намывных почв. При движении к пойме реки Грачевка почвенный покров сменяется по надпойменным террасам с черноземов обыкновенных малогумусных маломощных среднесмытых к пойменным луговым слоистым почвам и выходам почвообразующих пород. На надпойменных террасах более крупной реки Большой Аркадак господствует чернозем обыкновенный террасовый среднегумусный среднесплодный, переходя в пойменные луговые слоистые почвы. В западной части Большеаркадакско-Грачевской местности на площади в 142 га присутствует большое пятно комплекса черноземов обыкновенных малогумусных маломощных слабосмытых с солонцами черноземными мелкими 10–25% (Приложение Б).

Экспозиции склонов Большеаркадакско-Грачевской местности имеют, преимущественно, северную направленность, тогда как Грачевско-Ольшанская – преимущественно южную.

Ландшафтная местность делится на водораздельный, склоновый и долинный тип урочищ, которые, в свою очередь, делятся на типы фаций, площадь и процентное соотношение на местности которых следующее: In (северного склона), Is (южного склона) – почти плоские поверхности, сложенные покровными и делювиальными глинами под глинистыми среднегумусными среднесплодными черноземами обыкновенными (1913 га (23,8% территории) и 561 га (7% территории) соответственно); In, Is – склоны ложбин, сложенные покровными и делювиальными глинами под глинистыми среднегумусными среднесплодными черноземами обыкновенными (In – 222 га, или 2,8%; Is – 41,3 га, или 0,5%); In, Is – слабопологие склоны, сложенные покровными и делювиальными глинами под слабосмытыми глинистыми среднегумусными среднесплодными черноземами обыкновенными (In – 1149,7 га, или 14,3%; Is – 214,9 га, или 2,7%); IVn, IVs – плоские межложбинные водораздельные пространства, сложенные покровными и делювиальными глинами под глинистыми среднегумусными среднесплодными черноземами обыкновенными

(IVn – 428,5 га, или 5,3%; IVs – 67 га, или 0,8%); V – плоские водораздельные пространства, сложенные покровными и делювиальными глинами под глинистыми среднегумусными среднemocными черноземами обыкновенными (290,8 га, или 3,6% территории). На этих доминантных и субдоминантных типах фаций и были развернуты исследования почвенного покрова, продуктивности. Остальные типы фаций, в совокупности занимающие 29,2% территории землепользования, являются эпизодическими и уникальными типами фаций, и в нашем исследовании на них не были заложены опыты (Приложение В).

Климатические условия вегетационного периода за 2019–2021 гг. на тестовом полигоне №1 характеризовались достаточным увлажнением (ГТК от 1 до 1,3 по Селянинову) с влажной весной и засушливым летом в 2020 и 2021 гг. [91, 97, 124]. Напротив, погодные условия в 2019 годы складывались таким образом, что весна была засушливая, тогда как летне-осенний период был избыточно влажным (Приложение И; Рисунок 10).

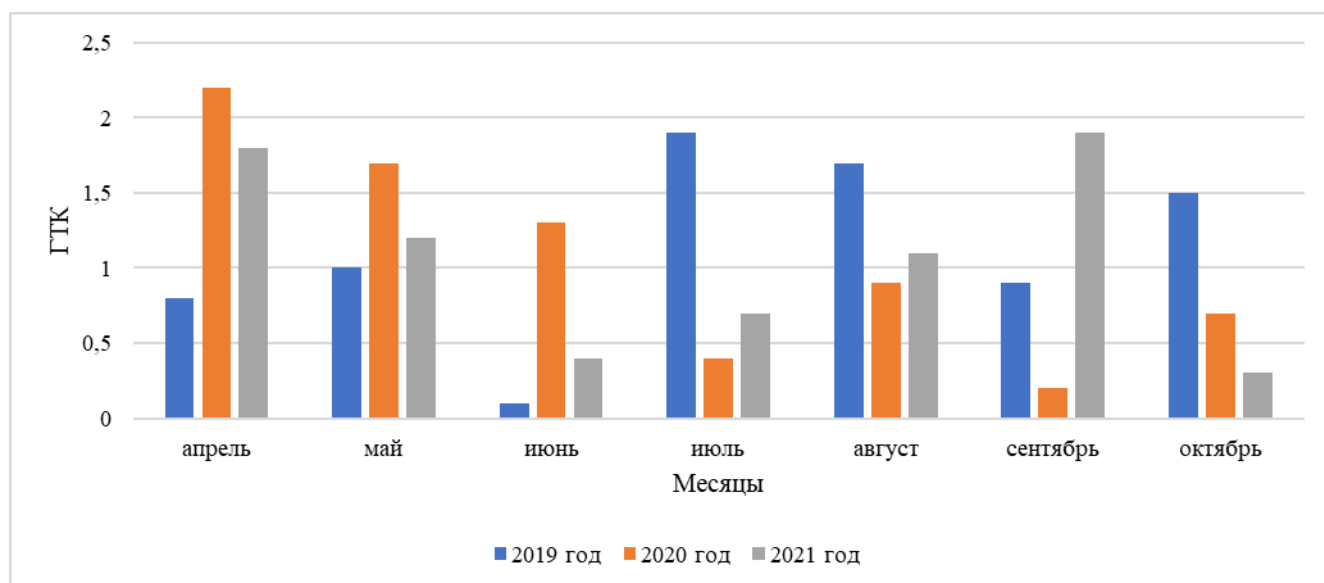


Рисунок 10 – ГТК за вегетационный период на тестовом полигоне №1, 2019–2021 гг.

Суммарная солнечная радиация, характеризующаяся прямой и рассеянной радиацией, в основном, зависит от характера погоды, увеличиваясь при безоблачном небе и уменьшаясь при облачном. Моделирование данного

показателя на т.п. №1 позволяет сделать выводы, что увеличение крутизны на склоне южной экспозиции способствует повышению её прихода, тогда как повышение крутизны на склоне северной экспозиции, напротив, уменьшает данный показатель. Различия по рассматриваемой территории в данном показателе были от 3140 мДж/м² на слабополгих склонах северной экспозиции до 3195 мДж/м² на аналогичных фациях СЮЭ (Рисунок 11).

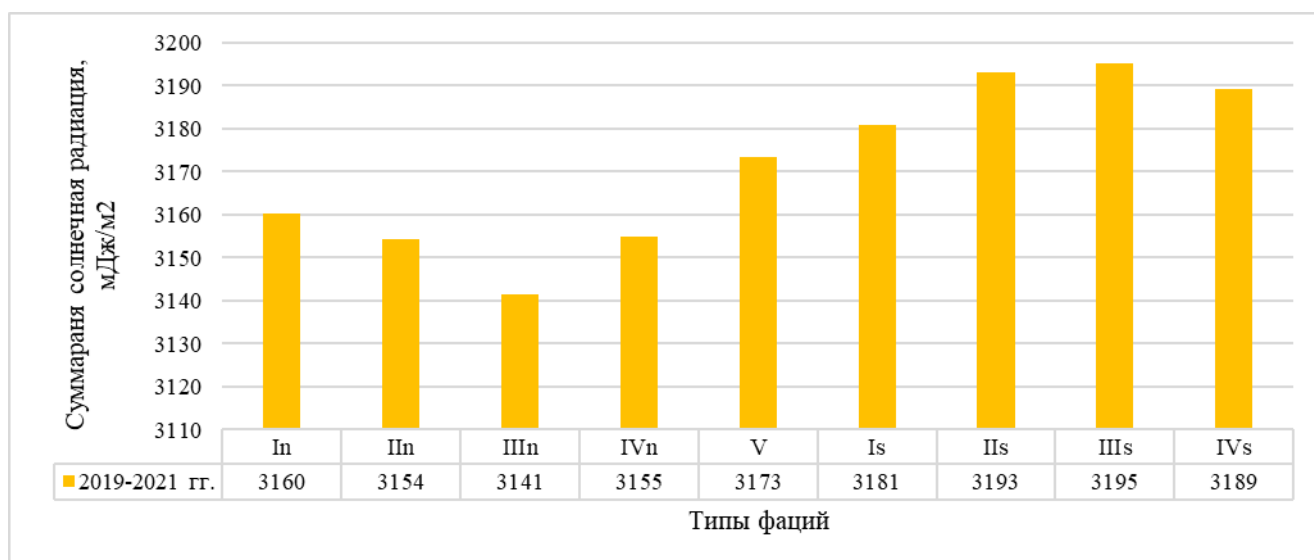


Рисунок 11 – Суммарная солнечная радиация за вегетационный период по типам фаций тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

Таким образом, территория тестового полигона №1 является совершенно типичной для Окско-Донской равнины ландшафтной местностью, равнинный характер которой способствует развитию сельского хозяйства. Указанные выше характеристики оказывают свое существенное воздействие на агрохимическое и агрофизическое состояние почв, а также на продуктивность территории.

3.1.2 Влияние ландшафтно-морфологического фактора на агрохимические и агрофизические особенности почвенного покрова

Агрохимические особенности почвенного покрова. Основными показателями плодородия почвенного покрова являются содержание в нем

органического вещества (гумуса), нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия, серы, а также кислотность почвы.

Гумус является одним из ключевых компонентов, определяющих плодородие почвы и влияющих на ее физические и химические свойства. В процессе минерализации гумуса биологически высвобожденные микро- и макроэлементы становятся доступными как для микроорганизмов, так и для растений. Гумус играет роль в регулировании водного, воздушного и температурного режимов, повышает буферность почвы и обеспечивает устойчивость к неблагоприятным воздействиям различного (природного и антропогенного) происхождения [125].

Органическое вещество почвы на т.п. №1 за годы исследований было на уровне 5,61% в среднем по местности, различаясь по исследуемым модельным участкам от более высоких значений на транзитных типах фаций Пn, Шn, Пs, Шs к более низким на автономных (In, IVn, V, Is, IVs), при различиях в 0,3% в среднем по годам (Приложение К).

Почвы типов фаций водораздельных пространств (V) имеют, наряду с почти плоскими поверхностями (Is) и ложбинами (Пs) южного склона, значения по гумусированности 5,4% (Рисунок 12).

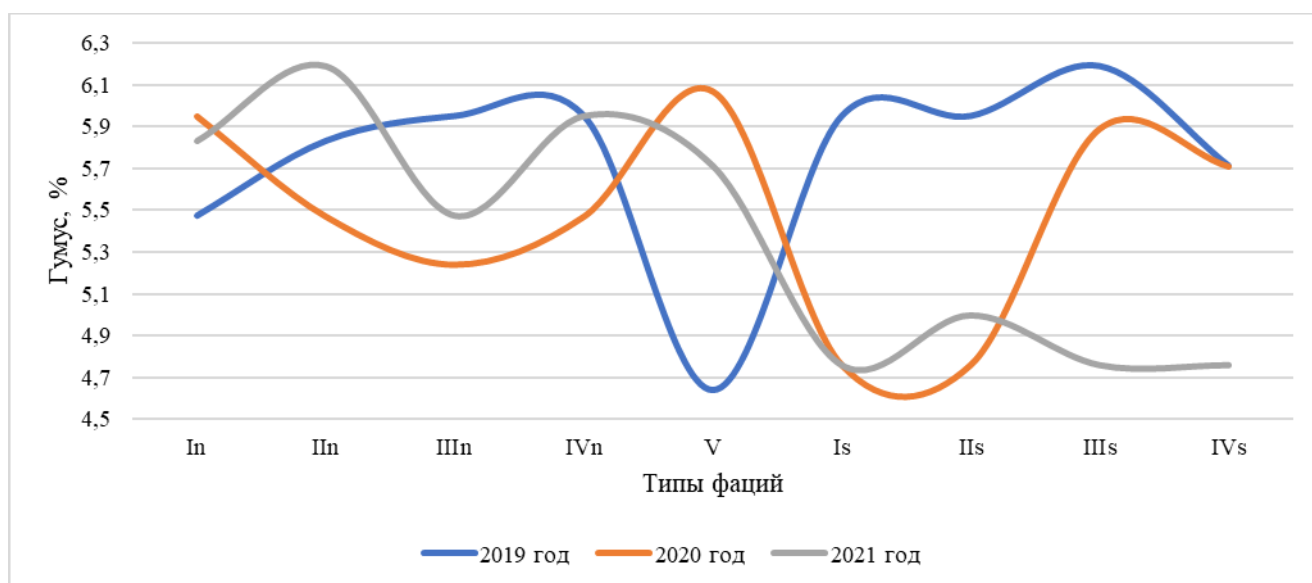


Рисунок 12 – Содержание гумуса в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

Типы фаций почти плоских поверхностей (In), ложбин (In), слабопологих склонов (In) и межложбинных водоразделов (IVn) северного склона имеют средние значения по горизонту 0–30 см 5,7% гумуса. Лучше всего органическим веществом обеспечены типы фаций слабопологих склонов (III_s) и межложбинных водоразделов (IV_s) южной экспозиции со значениями 5,9% гумуса. Азот необходим для роста растений и образования органических веществ, таких как белки, нуклеиновые кислоты и хлорофилл. При недостатке азота в почве растения желтеют, рост и развитие задерживаются.

Азот играет важную роль в образовании гуминовых веществ. Накопление азота в почве является характеристикой почвообразования, а общий запас азота вместе с влажностью почвы определяет потенциальную продуктивность [114, 147, 159].

Как наиболее мобильный элемент, почвенный азот может теряться, мигрируя в нижележащие почвенные горизонты, теряться в газообразной форме или фиксироваться в кристаллических решетках минералов и микробной плазме [123].

За трехлетний период наблюдений на тестовом полигоне №1 среднее содержание нитратного азота в весенний период перед посевом составило 7,3 мг/кг (Рисунок 13).

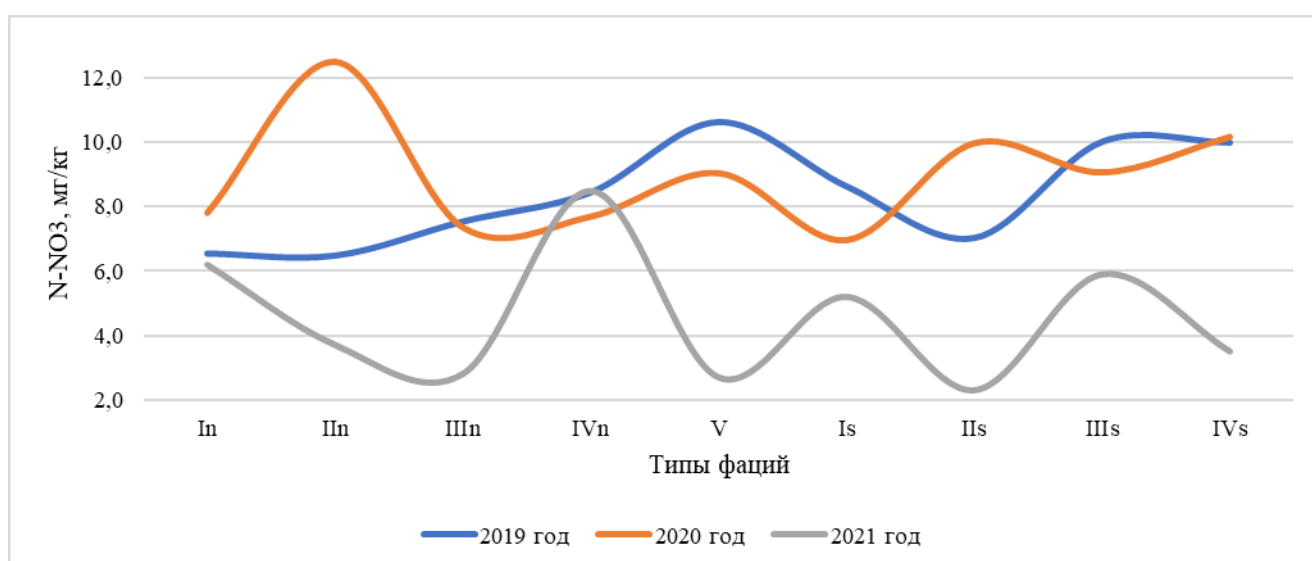


Рисунок 13 – Содержание нитратного азота в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №1 перед посевом, 2019–2021 гг.

В накоплении нитратного азота по типам фаций выявлена высокая корреляция с приходом солнечной радиации ($r=0,72$ по усредненным трехлетним данным, $r=0,5$ за 2019 год, $r=0,53$ за 2020 год и $r=0,72$ за 2021 год). Так, в среднем за 3 года по фации In весеннее содержание нитратного азота составило 6,9 мг/кг при приходе солнечной радиации в 3160 мДж/м², на In – 7,6 мг/кг при 3154 мДж/м², на IIIн – 5,9 мг/кг при 3141 мДж/м², на IVн – 8,2 при 3155 мДж/м², на V – 7,5 мг/кг при 3173 мДж/м², на Is – 6,9 мг/кг при 3181 мДж/м², на IIs – 6,4 мг/кг при 3193 мДж/м², на IIIs – 8,3 мг/кг при 3195 мДж/м², на IVs – 7,9 мг/кг при 3189 мДж/м².

Фосфор играет основную роль в процессах энергетического обмена флоры. Энергия, получаемая от солнечного света в процессе фотосинтеза, и энергия, высвобождаемая при окислении ранее синтезированных органических соединений в процессе дыхания, запасается в растениях в макроэнергетических соединениях в виде фосфатсвязывающей энергии, важнейшим из которых является аденозинтрифосфат (АТФ). Энергия, запасенная в АТФ, используется для всех видов жизнедеятельности, включая рост и развитие растений, поглощение питательных веществ из почвы, синтез и транспорт органических соединений.

При дефиците фосфора обмен энергии и веществ в растениях нарушается. У всех растений дефицит фосфора особенно сильно влияет на формирование репродуктивных органов, тормозит рост, задерживает созревание, приводит к снижению урожайности и ухудшению качества продукции.

Фосфор поступает в почву с растительными и животными остатками, удобрениями, а также с горными породами, из которых состоит почва. Некоторое количество фосфора поступает с осадками, атмосферной пылью, а также антропогенным путем.

Фосфор относительно стабилен в почве и не теряется так легко, как азот, в результате испарения или выщелачивания. Высокая стабильность (или низкая растворимость) фосфора в почве является прямой причиной дефицита фосфора для культурной растительности [123].

Среднее содержание P_2O_5 на т.п. №1 за годы исследований составило 35,9 мг/кг.

В содержании подвижных форм фосфора по типам фаций т.п. №1 выявлена устойчивая тенденция, согласно которой с повышением содержания илистой фракции в слое почвы 0–30 см увеличивается и содержание фосфора, что согласуется с данными, полученными Годуновой Е.И., Чижиковой Н.П., Шкабардой С.Н. на черноземных почвах Ставропольского края (Рисунок 14) [25]. Так, по результатам исследований выявлено, что транзитные типы фаций т.п. №1 (II_n, II_s и III_n, III_s) содержат подвижного фосфора на 25–30% больше, чем фации автономные (I_n, I_s, IV_n, IV_s, V).

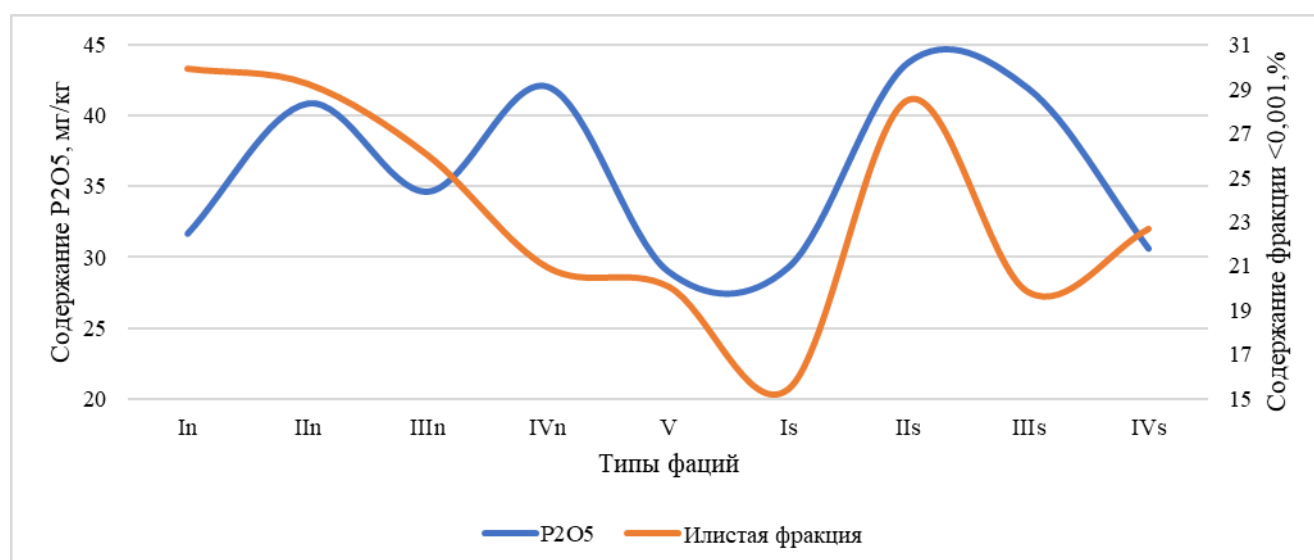


Рисунок 14 – Зависимость содержания подвижных форм фосфора от илистой фракции в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

Калий участвует в синтезе и выработке углеводов в растениях, определяет влагоудерживающую способность клеток и тканей, влияет на устойчивость растений к засушливым условиям и восприимчивость культур к болезням. При дефиците калия клетки растут неравномерно, а листья становятся волнистыми или куполообразными [123].

На почвах тяжелого гранулометрического состава содержание подвижных форм калия может составлять 0,5% и более. Значительно меньше калия в почвах легкого гранулометрического состава.

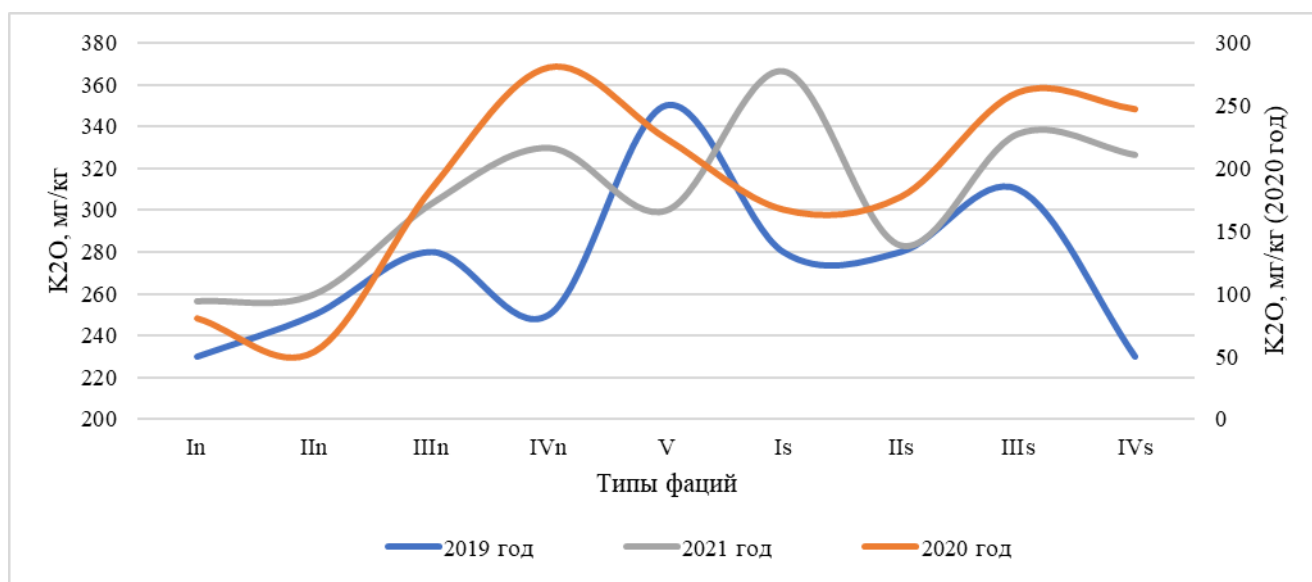


Рисунок 15 – Содержание подвижных форм калия в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

За годы исследований среднее содержание K_2O на местности составило 255 мг/кг (Рисунок 15). Выявлено уменьшение K_2O с уменьшением фракции мелкой пыли (0,005–0,001 мм) (Рисунок 16).

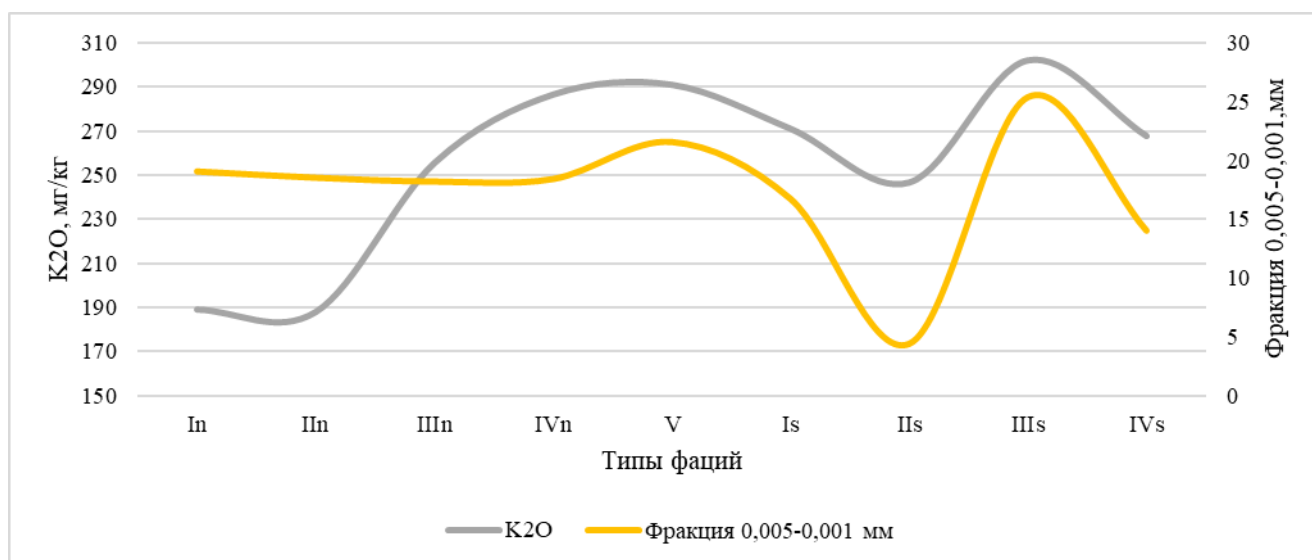


Рисунок 16 – Зависимость содержания подвижных форм калия в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №1 от содержания фракции мелкой пыли

Например, за годы исследований на фациях In, IIIn, IIs зафиксировано содержание подвижных форм калия в 216 мг/кг (при 255 мг/кг в среднем по

местности) и содержание фракции мелкой пыли в 14 % (при среднем значении по местности в 17,4 %).

Одним из важнейших элементов для строительства белковых соединений растительности является сера. Она относится к распространенным в природе химическим элементам.

Кларк ее в литосфере равен 0,05%, почве – 0,1%; а её биофильность равна 1, то есть близка к анионогенным элементам – кислороду (1,5), хлору (1,1), бору (0,83), фосфору (0,75), бромю (0,71). Сера второй после азота протеиногенный элемент, потребляемый растениями из почвы. При ее дефиците нарушается азотный обмен в растении, снижаются интенсивность продукционного процесса и урожай. В живом веществе содержится в среднем $5 \cdot 10^{-2}\%$ серы [31].

В почве сера в основном находится в составе органических соединений, представленных растительными остатками и гумусом (до 98% от валового содержания серы в почве).

Сульфатная сера – наиболее распространенная форма среди неорганических соединений серы в почве. Сульфаты легкорастворимы в воде и содержатся в почвенном растворе большинства типов почв.

На 2009 год около 60% территории пахотных угодий в РФ содержали низкие значения ($<6,0$ мг/кг) по содержанию сульфатной серы, тогда как в 2004 году таких почв было 55%, а в 1990 году – 36% [4]. Такая неблагоприятная обстановка состояния плодородия почв по содержанию подвижной серы может являться одной из причин низкой урожайности возделываемых культур и пониженной эффективности традиционных минеральных удобрений (прежде всего, аммиачной селитры).

Установлено, что тенденция снижения содержания подвижной серы в почвах сопровождается, в числе прочих причин, и ухудшением гумусного состояния почв.

Проведенные исследования на ключевых участках показали, что почвы т.п. №1 относятся к зоне с низким содержанием серы по классификации Агрохимслужбы РФ. Для черноземов обыкновенных т.п. №1 выявлено, что

снижение содержания гумуса в почве ведет к снижению в ней и сульфатной серы (Рисунок 17). Анализ рисунка выявил повышенное накопление подвижных форм серы на фациях II, IVn и IIIs (5 мг/кг), в то время как на остальных фациях (I, IIIn, IVs, V) выявлено содержание подвижной серы на уровне 3,7 мг/кг. (Рисунок 18).

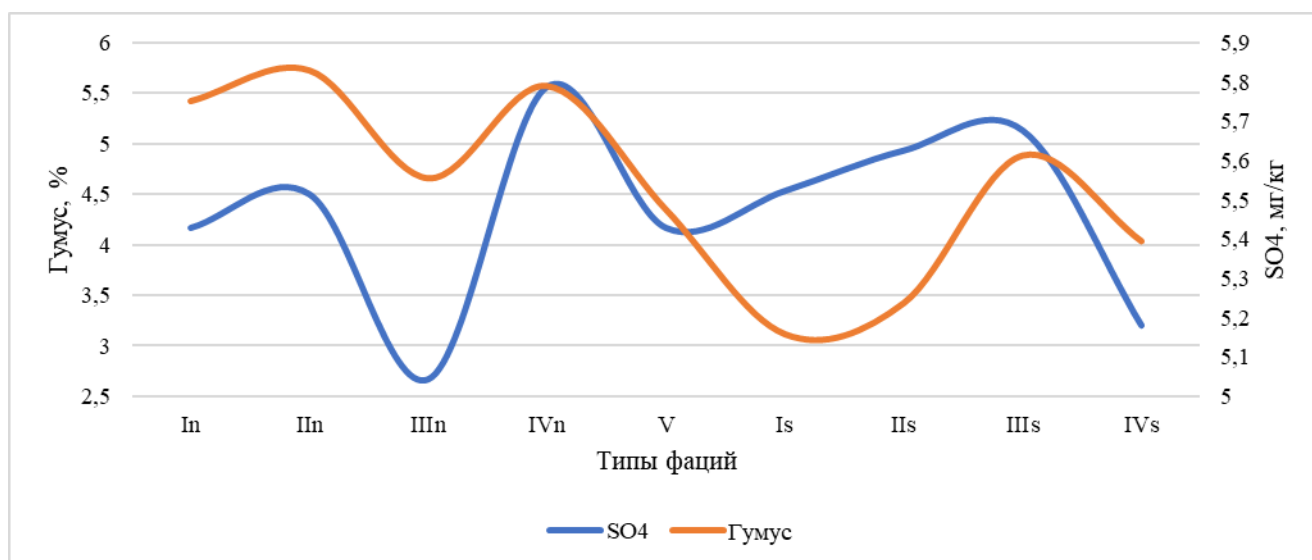


Рисунок 17 – Содержание подвижной серы и органического вещества в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

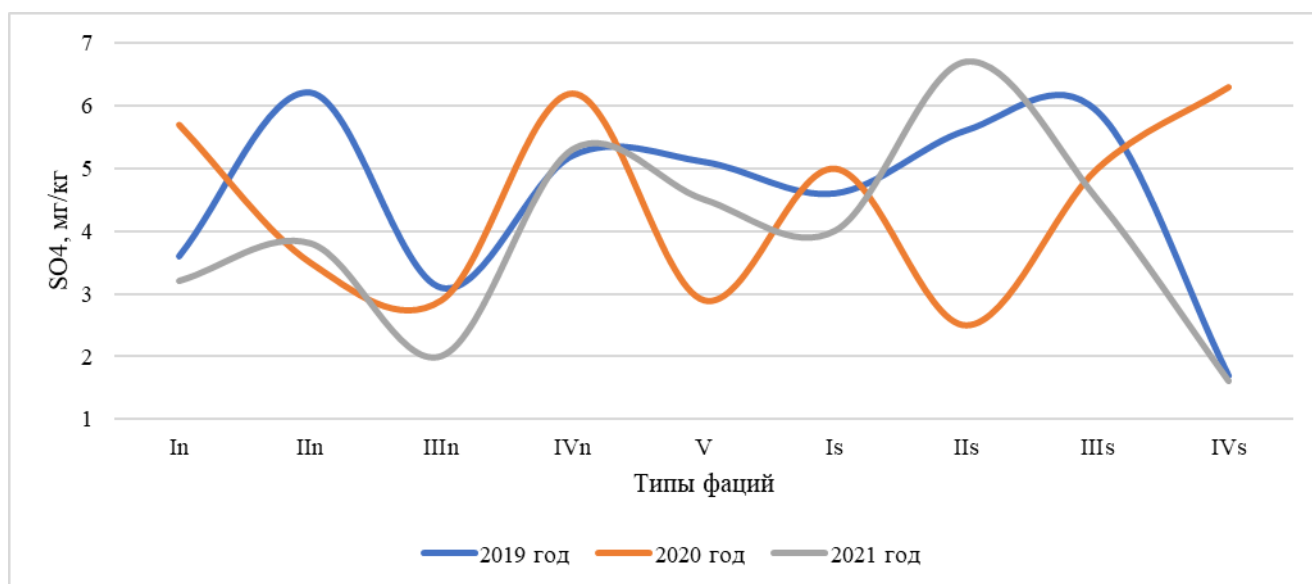


Рисунок 18 – Содержание подвижной серы в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

Кислотность почвы (pH) является важным параметром, который необходимо контролировать. Он влияет на доступность макро- и микроэлементов,

растворимость веществ, микробиологическую активность почвы, развитие и функционирование корневых клеток растений, а также катионообменную способность почвы. Также рекомендуется использовать показатель рН в качестве основной конечной точки при оценке свойств почвы при качественной оценке сельскохозяйственных угодий [128].

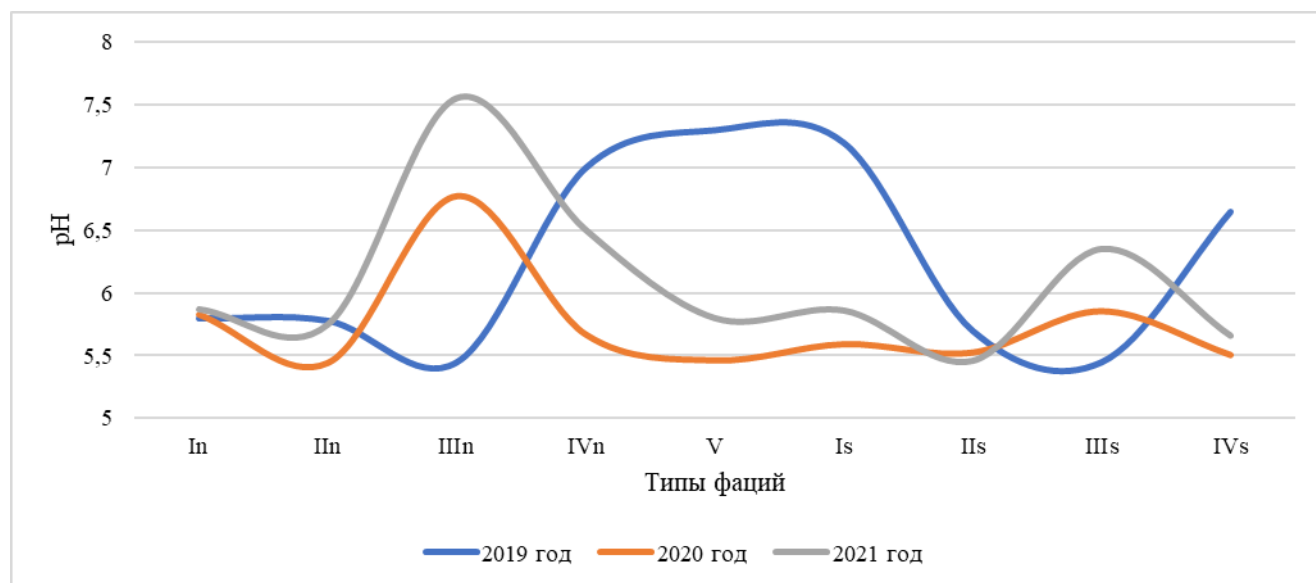


Рисунок 19 – рН слоя почвы 0–30 см типов фаций
тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

Так, почвы т.п. №1 за годы исследований, в среднем, характеризовались близкой к нейтральной реакцией, с показателем $pH_{\text{сол}}$ в 6,02, изменяясь по годам в зависимости от ГТК (Рисунок 19). Например, в 2019 году при ГТК периода с мая по июль в 1,02 показатель рН в среднем по местности составил 6,26 (нейтральные), тогда как в 2020 году, при ГТК того же периода в 1,18 показатель кислотности почвы уменьшился до 5,74 (близкие к нейтральным). Схожие результаты фиксировались и на типичных черноземах лесостепи Среднерусской возвышенности [126].

По модельным участкам выявлено, что почвы типов фаций III за все время наблюдений характеризовались нейтральной реакцией среды (pH 6,63) тогда как почвы остальных фаций не выходили за рамки близкой к нейтральной реакции среды (pH 5,71).

Агрофизические особенности почвенного покрова. Многие авторы отмечали, что гранулометрический состав почвы оказывает значительное влияние почти на все ее свойства и плодородие [20, 49, 102, 107, 148].

Н.А. Качинский отмечал, что по мере уменьшения диаметра механических частиц во фракциях в десятки раз возрастает содержание гумуса и емкость поглощения [61]. В том же направлении происходит увеличение гигроскопичности, влагоемкости, капиллярности, и уменьшение водопроницаемости фракций. Что касается липкости и пластичности фракций, а также способности их набухать, то эти свойства во фракциях $>0,005$ мм отсутствуют вовсе, а наиболее выражены в иловатой фракции [61]. Отсюда можно сделать вывод, что гранулометрический состав определяет многие стороны сельскохозяйственного использования почв, в том числе такие важные, как содержание элементов питания в почве, ее плотность [19].

В целом стоит отметить, что почвы СЮЭ т.п. №1 содержат на 8% больше фракций «физического песка», чем почвы ССЭ, что неудивительно, если принять во внимание состав почвообразующих пород разнонаправленных склонов.

На т.п. №1 выявлено низкое относительно среднего по местности содержание фракций физического песка на типах фаций почти плоских поверхностей (In) и ложбин (In) северного склона (40,1%), и, напротив, их повышенное содержание относительно средних значений на аналогичных фациях (Is, Is) южного склона (56,5%, при средних значениях по местности 47,3%). Притом содержание фракций физического песка на фациях слабопологих склонов (III_n, III_s) и межложбинных водоразделов (IV_n, IV_s) (46,3%) находится в средних значениях местности (исключением являются фации слабопологих склонов (III_s) южной экспозиции, где наблюдается одно из наименьших значений по местности, составляющее 41%) (Приложение Л).

Плотность сложения является одним из основных показателей физических свойств почв. Это очень динамичный и вместе с тем исключительно информативный показатель, поэтому он широко используется как для

традиционной агрономической и почвенно-мелиоративной оценки почв, так и в генетическом и экологическом направлениях в почвоведении [71].

Плотность сложения по годам исследования на т.п. №1 в середине июня в целом по местности характеризовалась значением $1,30 \text{ г/см}^3$ по горизонту 0-30 см, что соответствует сильно уплотненной пашне по Качинскому (Рисунки 20, 21).

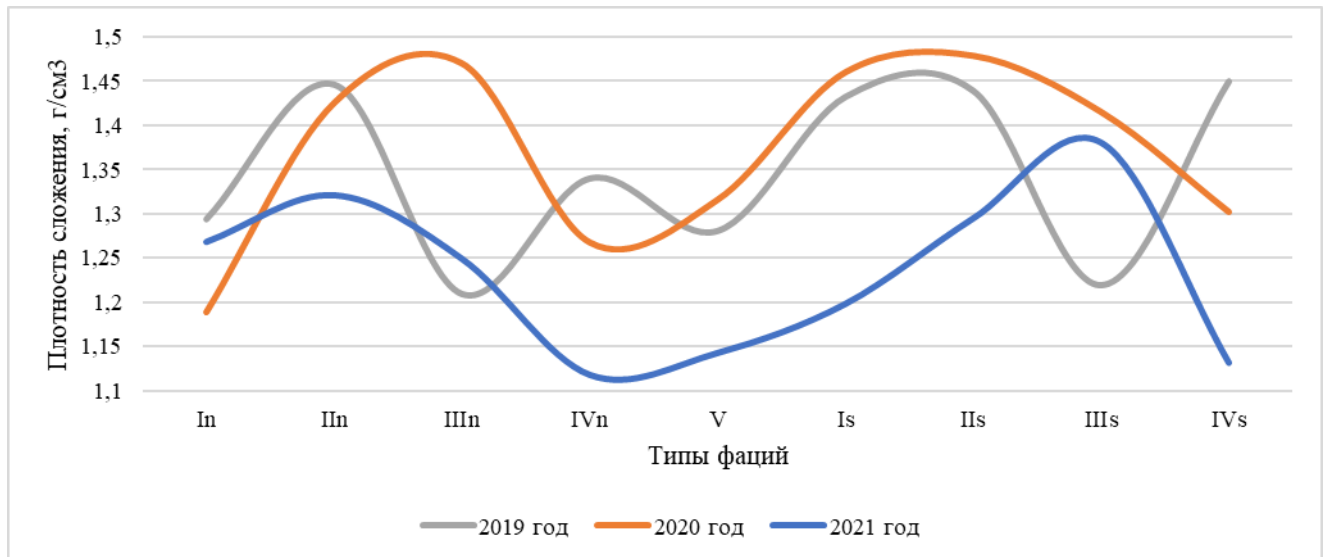


Рисунок 20 – Плотность сложения слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

По типам фаций рассматриваемой местности наблюдались следующие различия: наиболее уплотненными по горизонту 0–30 см являются почвы фаций ложбин (IIIn, IIs) и слабополгих склонов (IIIIn, IIIs) обеих экспозиций, а также почти плоские поверхности (Is) южной экспозиции ($1,40 \text{ г/см}^3$). Менее уплотненными являются почвы типов фаций межложбинных водоразделов (IVIn, IVs), почти плоских поверхностей (In) склона северной экспозиции и водораздельных частей (V) ($1,30 \text{ г/см}^3$).

В результате трехлетних наблюдений за основными агрофизическими показателями черноземов обыкновенных установлено, что с повышением фракций физической глины в почве уменьшается её плотность сложения. Так, в среднем за 3 года, наиболее уплотненными являются почвы типов фаций IIIn ($1,40 \text{ г/см}^3$), IIIIn ($1,31 \text{ г/см}^3$), Is ($1,36 \text{ г/см}^3$), IIs ($1,40 \text{ г/см}^3$), IIIs ($1,34 \text{ г/см}^3$). Гранулометрический анализ показал, что содержание фракций физической глины

в почвах этих фаций составил, соответственно, 59%, 55%, 44%, 43%, 59% (в среднем – 52%). Напротив, наименее уплотненные почвы фаций In ($1,25 \text{ г/см}^3$), IVn ($1,24 \text{ г/см}^3$), V ($1,25 \text{ г/см}^3$), IVs ($1,29 \text{ г/см}^3$) содержали, в среднем, 55% физической глины (Приложение М; Рисунки 20, 22).



Рисунок 21 – Определение плотности сложения почвы на тестовом полигоне №1, 2021 год

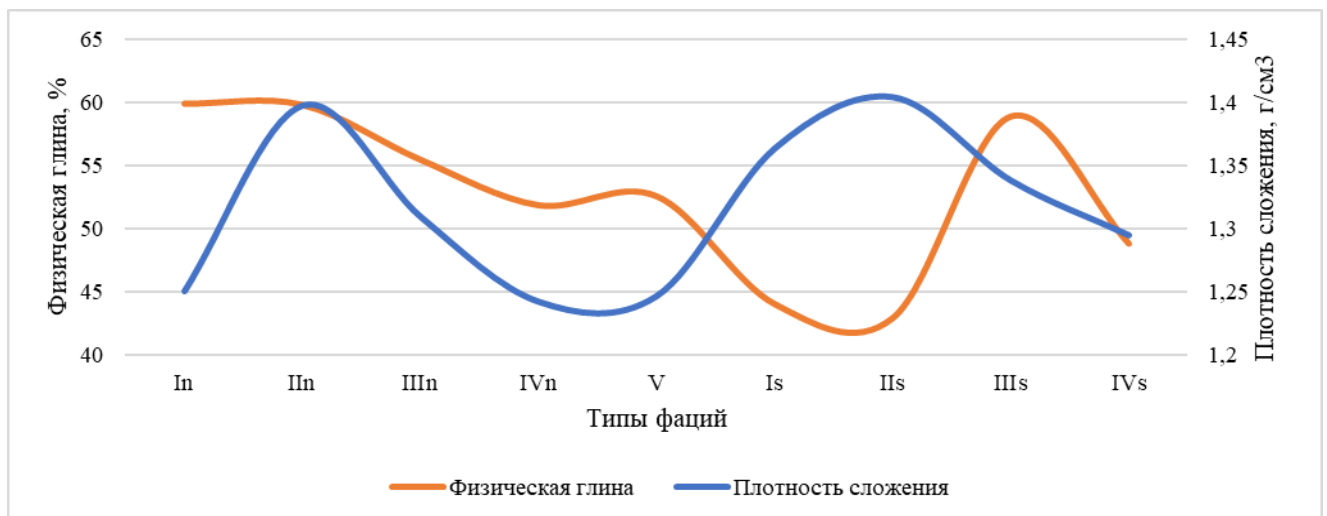


Рисунок 22 – Зависимость плотности сложения слоя почвы 0–30 см от гранулометрического состава, 2019–2021 гг.

Значимость и пространственно-временная устойчивость ландшафтно-морфологического фактора в распределении основных агрохимических и агрофизических параметров почвенного покрова. В результате анализа особенностей накопления, перераспределения основных агрохимических и агрофизических параметров по ландшафтно-морфологическим участкам, а также взаимосвязь и взаимозависимость этих параметров, был сделан вывод о существенном влиянии ландшафтно-морфологического фактора на почвенный покров тестового полигона, что подтвердилось математически.

Так, в результате анализа вариативности отдельных агрохимических параметров в почвах типов фаций т.п. №1 установлено, что статистически значимо различаются показатели содержания нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия, а также серы с коэффициентами вариации от $V_1=12,8\%$ до $V_1=21,2\%$ (Приложение К). Не выявлено статистически значимых различий между почвами типов фаций по показателю гумусированности и рН ($V_1=5,7\%$ и $V_1=4,3\%$ соответственно).

Анализируя показатель пространственно-временной устойчивости ландшафтно-морфологического фактора на эти же параметры плодородия выявлено, что наиболее стабильным по типам фаций за годы исследования является содержание в почвах нитратного азота и подвижной серы ($V_2=7,99\%$ и $V_2=3,33\%$), среднеустойчивым – содержание подвижной формы фосфора ($V_2=27,72\%$), а также органическое вещество почвы ($V_2=11,74\%$) и кислотность ($V_2=29,33\%$). Не выявлено пространственно-временной устойчивости в содержании в почвах по морфологическим единицам подвижных форм калия ($V_2=45,35\%$) (Приложение К).

По одному из основных агрофизических параметров, а именно, по плотности сложения почвы выявлена пространственно-временная устойчивость фактора с коэффициентом вариации (V_2) $6,06\%$.

3.2 Чардымо-Курдюмский ландшафтный район

3.2.1 Ландшафтная характеристика

Дочетвертичное геологическое строение территории землепользования представлено следующими отложениями: 60% территории сложены песками, глинами, алевритами (акчагыльский ярус плиоцена неогеновой системы), альбский ярус нижнего отдела меловой системы, представленный глинами, песками, песчаниками, занимает 30% территории, оставшиеся 10% приходятся на современные аллювиальные отложения четвертичной системы, сложенные песками, галечниками, суглинками, супесями. Распространение их прослеживается по рельефу участка (от более молодых отложений на водоразделе к более древним на средних и нижних частях склонов к современным четвертичным аллювиальным пойменным; они закономерно сменяют друг друга в пространстве) [30].

По характеру четвертичных почвообразующих пород территория разделена на водораздельную и склоновую части, возраст и тип наносов которых различаются: водораздельная часть сложена аллювиально-пролювиальными отложениями средне-плейстоценового возраста. Склоновая же часть моложе, т.к. возраст ее делювиальных отложений почвообразующих пород датируется плейстоцен-голоценом (верхне-современным звеном) [82].

При большем укрупнении масштаба территория землепользования предстает в более детальном виде по характеру материнских пород, но доминирующая порода здесь – темно-желтая делювиальная глина, занимающая 67,2% территории.

Рельеф рассматриваемого участка представляет нижнюю ступень выравнивания Приволжской возвышенности позднеплейстоценового-голоценового возраста. Она расчленена малыми реками – 1-ой и 2-ой Гуселками. Водораздел этих рек, ориентированный в широтном направлении, имеет

мысообразную форму. Водораздел имеет денудационное происхождение и слабо расчленен в приводораздельной части плоскостной эрозией. Склоны северо-восточной и юго-западной экспозиций имеют разную форму и крутизну, создают ступенчатый мезосклон. Южный мезосклон менее протяжен и более крут, в отличие от северного, который заметно длиннее и сильнее выположен. В то же время, северный мезосклон морфологически более расчленен, нежели южный, на котором сложно читаются водоразделы второго порядка и ложбины. Ложбины здесь неглубокие и короткие, чего не скажешь о северо-восточном склоне.

Гипсометрическая карта свидетельствует о том, что перепад высот участка составляет от 118 до 48 метров на северо-восточном склоне и до 53 м на юго-западном.

Морфометрические показатели территории характеризуются доминирующими уклонами поверхности от 1 до 3°, экспозицией, представленной, как сказано выше, двумя мезосклонами северо-восточной и юго-западной экспозиций. Местность в целом имеет ступенчатую форму мезосклонов, вертикальная расчлененность территории варьирует от 0,06 м до 14,20 м при среднем показателе 2,38 м. Горизонтальная расчлененность составляет 9,27 км/км².

Крупномасштабная геоморфологическая карта местности свидетельствует о том, что 32,5% территории занимают слабопологие слабовогнутые склоны, сложенные глинистым делювием. Они являются доминантным образованием. Субдоминантным являются пологие слабовогнутые склоны, сложенные глинистым делювием, занимающие 17,9% территории.

Из геоморфологической карты следует, что наименее расчлененная территория занята глинистыми породами, а наиболее – тяжелосуглинистыми и, на нижних частях склонов, суглинистыми.

В почвенном покрове агроландшафта доминирует, прежде всего, чернозем южный разной мощности: среднемощный и маломощный, составляющий 49% территории. Чернозем выщелоченный развит на участках максимального расчленения как вертикального, так и горизонтального (8,8%), чернозем

обыкновенный маломощный, представлен лишь на водоразделе в небольшом пространственном распространении (4,7%). По оврагам, а также ложбинам, переходящим в лощины почвенный покров слагают сильно эродированные и намывные варианты чернозема южного и обыкновенного (Приложение Г).

Исходя из этого, в рамках водораздельного типа урочищ был выделен тип фаций плоской выпуклой водораздельной поверхности, сложенной темно-желтой делювиальной глиной под распаханной глинистыми черноземами южными (V (27,3 га, или 3,9% от всей рассматриваемой площади)). Данный тип фаций является эпизодическим.

Склоновый тип урочищ включает в себя, прежде всего, доминантный тип фаций, представленный слабопологими вогнутыми склонами, сложенными темно-желтой делювиальной глиной, под слабосмытыми распаханной глинистыми черноземами южными с фрагментами разнотравно-типчаково-ковыльной степи северо-восточной (n) юго-западной (s) экспозиций (In (131,4 га, или 18,5%); Is (52,9 га, или 7,5%)). Субдоминантными типами фаций являются пологие вогнутые склоны, сложенные темно-желтой делювиальной глиной под слабосреднесмытыми распаханной глинистыми черноземами южными (III_n (57,4 га, или 8%); III_s (41,7 га, или 5,9%)) и слабопологие выпуклые склоны водоразделов 2-ого порядка, сложенные темно-желтой делювиальной глиной под слабосмытыми распаханной глинистыми черноземами южными (IV_n (76,4 га, или 10,8%); IV_s (19,8 га, или 2,8%)). Эпизодическими типами фаций являются слабопологие вогнутые склоны ложбин, сложенные темно-желтой делювиальной глиной под слабосмытыми распаханной глинистыми черноземами южными (III_n (24,1 га, или 3,4%); III_s (11,2 га, или 1,6%)) (Приложение Д).

Климатические условия тестового полигона №5, в отличие от т.п. №1, отличались более неустойчивым характером по месяцам (Рисунок 23). Так, в 2020 и 2021 гг. в апреле наблюдалось избыточное увлажнение, тогда как в аналогичный месяц 2019 года – очень засушливые условия. В мае 2021 года, в момент цветения, на данном объекте исследования наблюдалась засуха (с ГТК 0,3), что негативным образом сказалось на будущем урожае. Летние периоды

также не отличались стабильностью. Так, июнь 2020 года характеризовался ГТК 1,3, тогда как июль – 0,1 (Приложение Н).

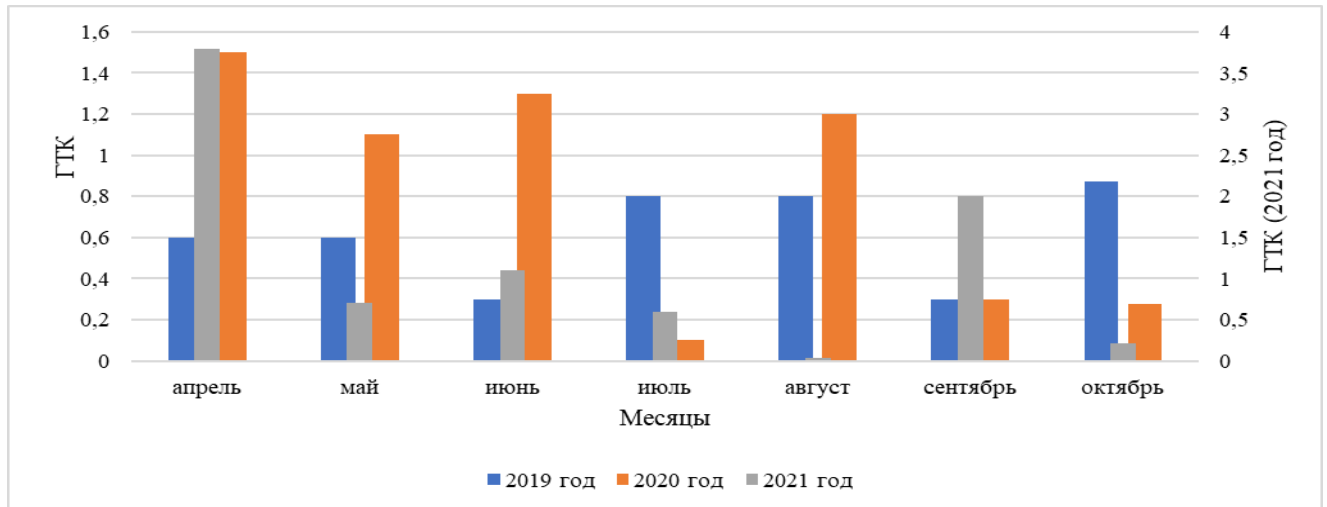


Рисунок 23 – ГТК за вегетационный период на тестовом полигоне №5, 2019–2021 гг.

В целом стоит отметить, что с 2019 по 2021 гг. происходило нарастание гидротермического коэффициента с 0,6 в 2019 году (очень засушливые условия) к 0,8 в 2020 году (засушливые) и 1,2 в 2021 году (слабозасушливые).

Приход солнечной радиации по тестовому полигону №5 характеризовался теми же особенностями, что и на т.п. №1, с той лишь разницей, что здесь, в связи с большей крутизной, разница между наименьшим и наибольшим показателями была значительно выше (Рисунок 24).

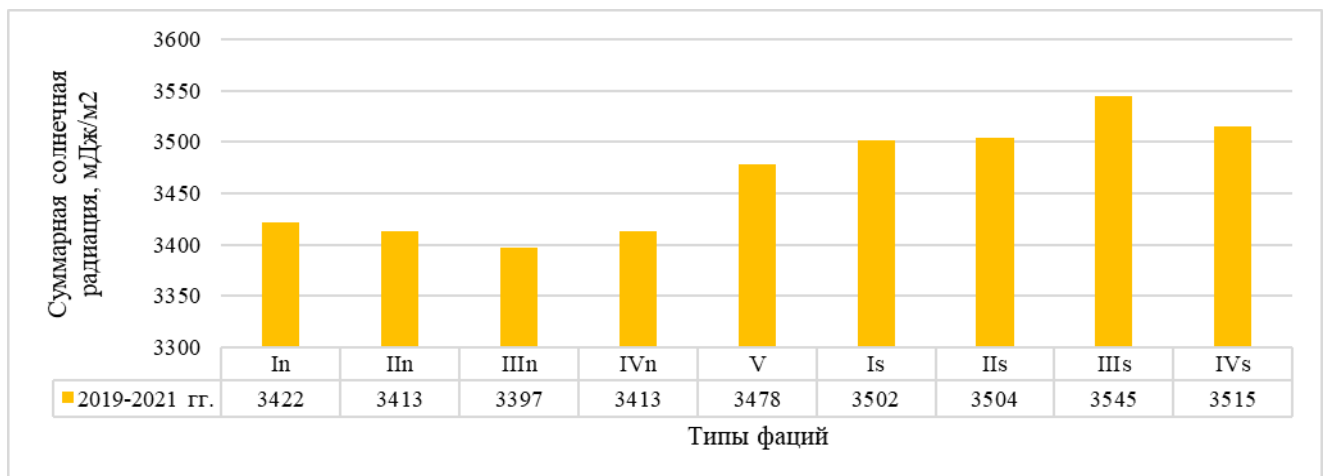


Рисунок 24 – Суммарная солнечная радиация за вегетационный период по типам фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

Так, при средних значениях в приходе солнечной радиации в 3465 мДж/м^2 , разница между пологими склонами северной и южной экспозиций составила 150 мДж/м^2 , тогда как на т.п. №1 эта разница равнялась 55 мДж/м^2 .

Наблюдения за зимним промерзанием почв типов фаций территории тестового полигона №5, проведенные в течение 3-х лет, позволяют сделать вывод, что морфологические единицы, выделенные в качестве модельных, устойчивы во времени по этому показателю ($r=0,60$) (Рисунок 25). Так, стоит отметить повышение глубины промерзания на фациях пологих склонов ($3-5^\circ$) обеих экспозиций (48 см при средних значениях в $39,7 \text{ см}$ по местности), а также уменьшение глубины промерзания на фациях слабопологих склонов ($32,6 \text{ см}$ в среднем за 3 года).

По снегонакоплению за трехлетний период не выявлено устойчивых соотношений по типам фаций ($r=-0,17$). В 2019 году стоит отметить повышенное накопление снега на фациях ложбин северного склона (325 мм) при средних значениях местности в 214 мм . В 2020, малоснежном году, снеготпасы по типам фаций не фиксировались, в 2021 году фации ложбин, обычно с большими запасами снега, накопили 94 мм при средних значениях местности в 113 мм (Рисунок 26).

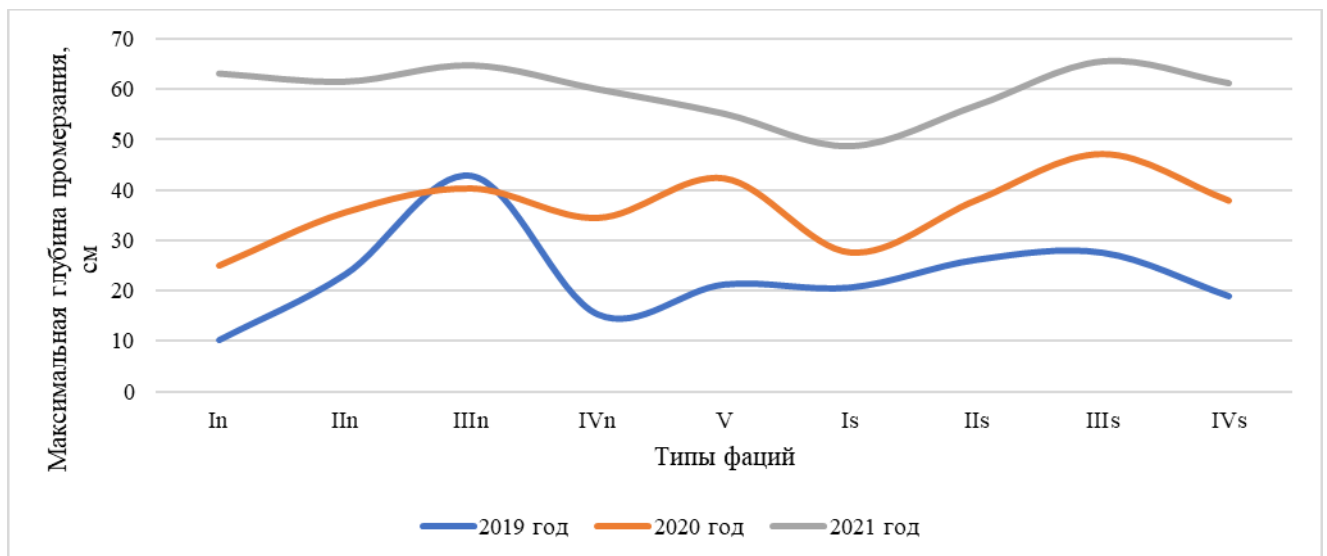


Рисунок 25 – Максимальная глубина промерзания почвы по типам фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

В тесной связи с зимним снегонакоплением стоят весенние запасы продуктивной влаги в почве. Так, выявлена зависимость, согласно которой с повышением снегозапасов на типах фаций растут влагозапасы в слоях почвы 0–50

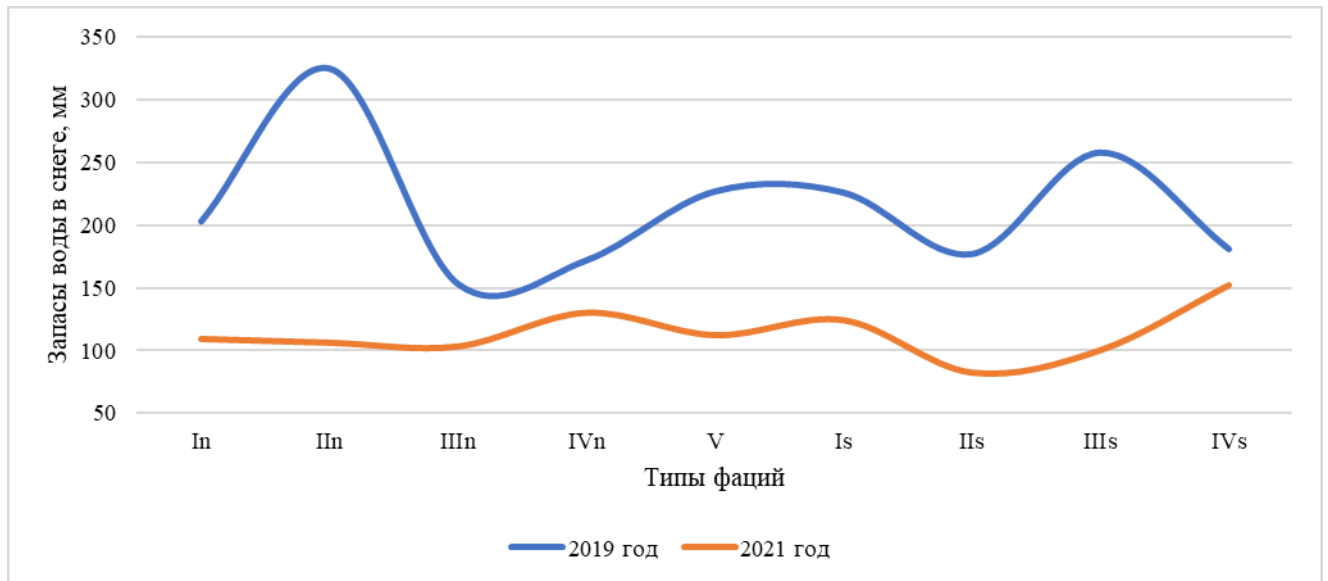


Рисунок 26 – Максимальные запасы воды в снеге по типам фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

см (Рисунок 27) и 0–150 см (Рисунок 28), при этом корреляция растет с глубиной исследования ($r=0,61$ в 50-сантиметровом слое и $r=0,71$ в 150-сантиметровом слое), что связано с вертикальным внутрипочвенным стоком влаги. По типам фаций стоит отметить временную стабильность в продуктивной влажности 150-сантиметрового слоя ($r=0,6$).

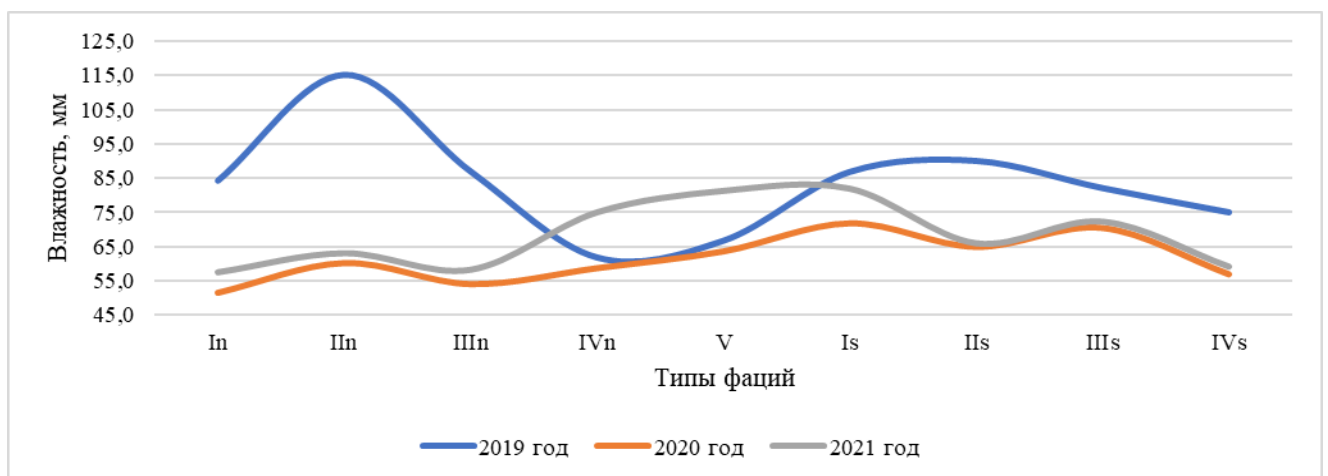


Рисунок 27 – Продуктивная влажность слоя почвы 0–50 см типов фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

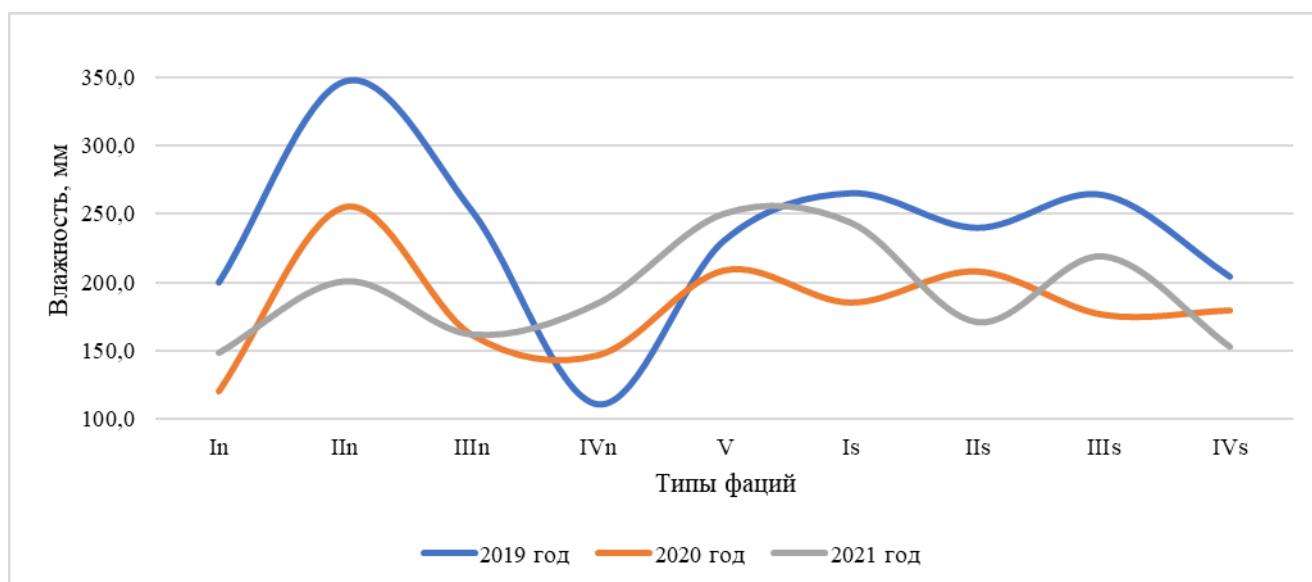


Рисунок 28 – Продуктивная влажность слоя почвы 0–150 см типов фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

Выявлено, что вариабельность в показателе продуктивной влажности типов фаций южного склона ниже, чем северного вследствие меньшей выраженности по рельефу типов фаций там. Так, при средней вариабельности влажности 150-сантиметрового слоя почвы типов фаций северного склона в 30%, аналогичный показатель на южном равняется 13,5%.

3.2.2 Влияние ландшафтно-морфологического фактора на агрохимические и агрофизические особенности почвенного покрова

Агрохимические особенности почвенного покрова. Содержание органического вещества почв типов фаций т.п. №5 незначительно различается между собой. Установлено, что почвы типов фаций склона северной экспозиции имеют вариацию значений 7%, тогда как аналогичные морфологические единицы южной экспозиции – 4%. Данная закономерность очень хорошо объяснима, если учесть, что выраженность рельефа склона северной экспозиции выше, тогда как на склоне южной экспозиции рельеф невыраженный, но с большим уклоном. Так,

почвы склонов северной экспозиции имеют средние значения за 3 года в 3% гумуса, тогда как почвы южной экспозиции-2,7%. Почвы зональные (водораздельный тип фаций) имеют органического вещества на уровне 3,2% (Приложение П; Рисунок 29).

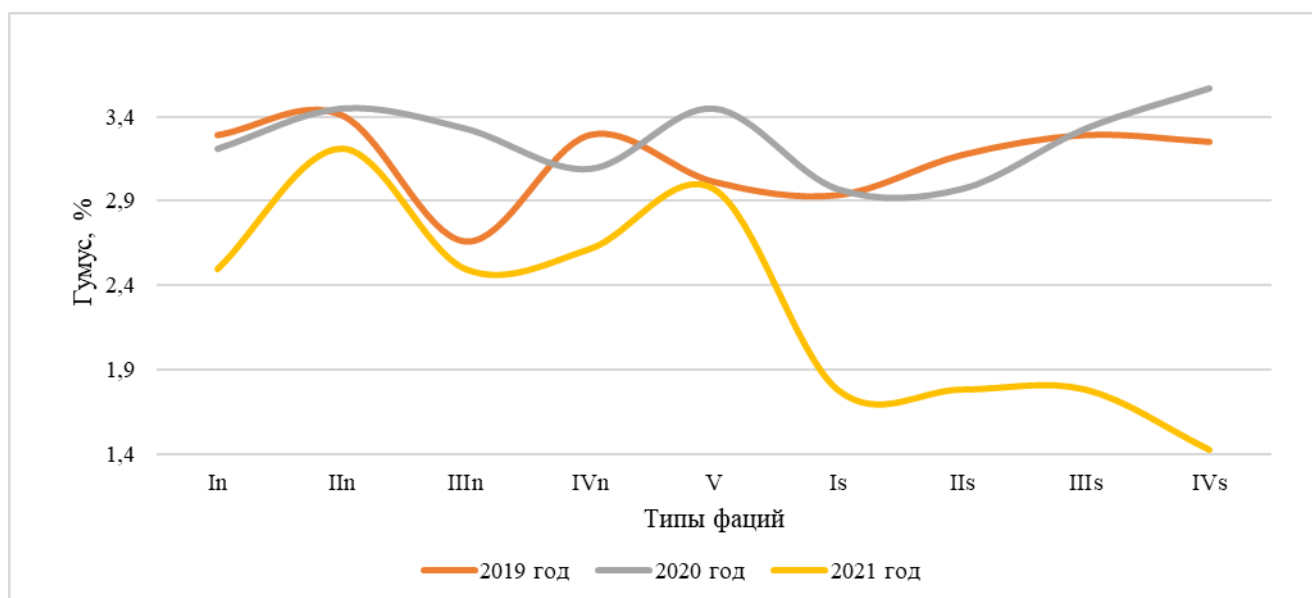


Рисунок 29 – Содержание гумуса в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

По типам фаций установлено накопление гумуса в фациях ложбин северной экспозиции (3,36%), и, напротив, существенное уменьшение на фациях пологих склонов (2,8%). На склоне южной экспозиции различия между типами фаций не выходили за рамки 0,3% [90].

В накоплении нитратного азота на тестовом полигоне №5 по годам исследования выявлена тенденция, согласно которой весной перед посевом наименьшими запасами этого элемента плодородия обладают фации ложбин (II) и водоразделов 2-го порядка (IV) обеих экспозиций и типы фаций главных водоразделов (V). Так, в среднем за 3 года на этих морфологических элементах содержание нитратного азота составило 4,6 мг/кг, тогда как на фациях I и III обеих экспозиций было 5,3 мг/кг. Указанная тенденция устойчива по годам ($r=0,68$). Отметим, что весеннее содержание нитратного азота зависело от ГТК в предшествующий период. Так, в 2019–2020 гг. при ГТК в апреле в 0,6 и 1,5

соответственно содержание нитратного азота составило 6,1 и 5,8 мг/кг. В 2021 году, при ГТК=3,8, весеннее содержание нитратного азота составило 2,8 мг/кг, что указывает на недостаток тепла и переизбыток влаги (Рисунок 30).

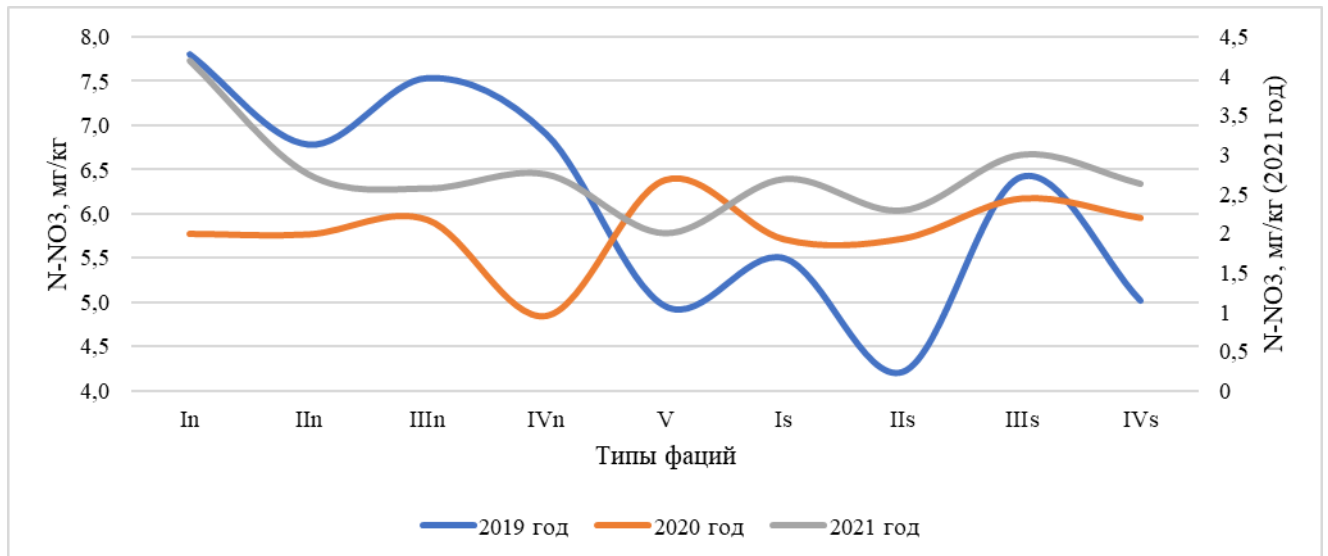


Рисунок 30 – Содержание нитратного азота в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №5 перед посевом, 2019–2021 гг.

Анализ нитрификационной способности, которая показывает потенциальные возможности почвы для образования нитратного азота, также показал, что фации IV, V по этому показателю имеют меньший (4,2 мг/кг) потенциал, чем почвы фаций I, III (5,2 мг/кг). Стоит отметить меньшую вариабельность данного показателя на фациях склона южной экспозиции (Рисунок 31).

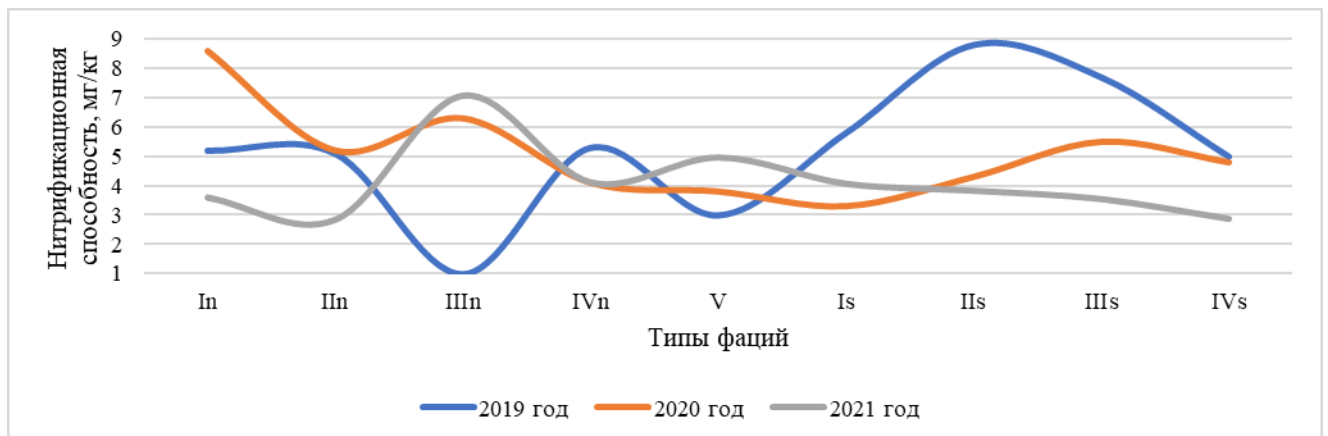


Рисунок 31 – Нитрификационная способность слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

Почвы фаций ложбин обеих экспозиций очень сильно реагируют на ГТК. Так, при общем недостаточном увлажнении в апреле 2019 года (ГТК=0,6) именно там сложились наиболее благоприятные условия на местности, вследствие чего перед посевом показатель нитрификационной способности составил 6,95 мг/кг при средних значениях по местности в 4,71. Напротив, ГТК=3,8 в апреле 2021 года привел к тому, что показатель нитрификационной способности на фациях ложбин составил 3,3 мг/кг при средних значениях местности в 4,3 мг/кг.

Динамика подвижных форм фосфора тестового полигона №5 за годы исследований характеризовалась зависимостью этого показателя от ГТК вегетационного периода. Так, при ГТК=0,6 в 2019 году среднее содержание подвижных форм фосфора составило 34,8 мг/кг, тогда как в 2020 году, при ГТК=0,8 содержание его выросло на 6 мг/кг.

По экспозициям склонов установлено, что почвы типов фаций склона южной экспозиции к моменту посева имеют запасы подвижных форм фосфора на 14 мг/кг меньше, чем почвы типов фаций склона северной экспозиции, что объясняется более увлажненными условиями почв ССЭ, за счет чего чернозем способен поддерживать относительно постоянный уровень содержания подвижного фосфора за счет других, менее растворимых, форм фосфатов, которые при более сухой почве СЮЭ оказываются недоступными. Поэтому почвы более увлажненных местоположений получают за счет этого преимущество в накоплении этого элемента [141]. Так, по типам фаций выявлено, что почвы ложбинных комплексов северной экспозиции на момент посева яровой пшеницы накапливали на 10 мг/кг подвижного фосфора больше, чем остальные комплексы склона северной экспозиции. Установлено, что при накоплении подвижного фосфора в годы с недостаточным увлажнением получают преимущество увлажненные местоположения склона северной экспозиции, тогда как во влажные годы – более сухие местоположения склона южной экспозиции. Так, коэффициент корреляции содержания фосфора с запасом продуктивной влаги почвы в предпосевной период на склоне северной экспозиции в 2019 и 2020 годах был высокий и очень высокий ($r=0,59$ и $0,87$ соответственно), тогда как в

2021 году, при ГТК=3,8 в апреле она была средней ($r=0,48$). На склоне южной экспозиции, напротив, в 2021 году корреляция с запасом продуктивной влаги почвы была очень высокой ($r=0,89$), а в 2019 и 2020 гг. – очень высокая отрицательная ($r=-0,84$) и высокая отрицательная ($r=-0,51$) соответственно (Рисунки 32–34).

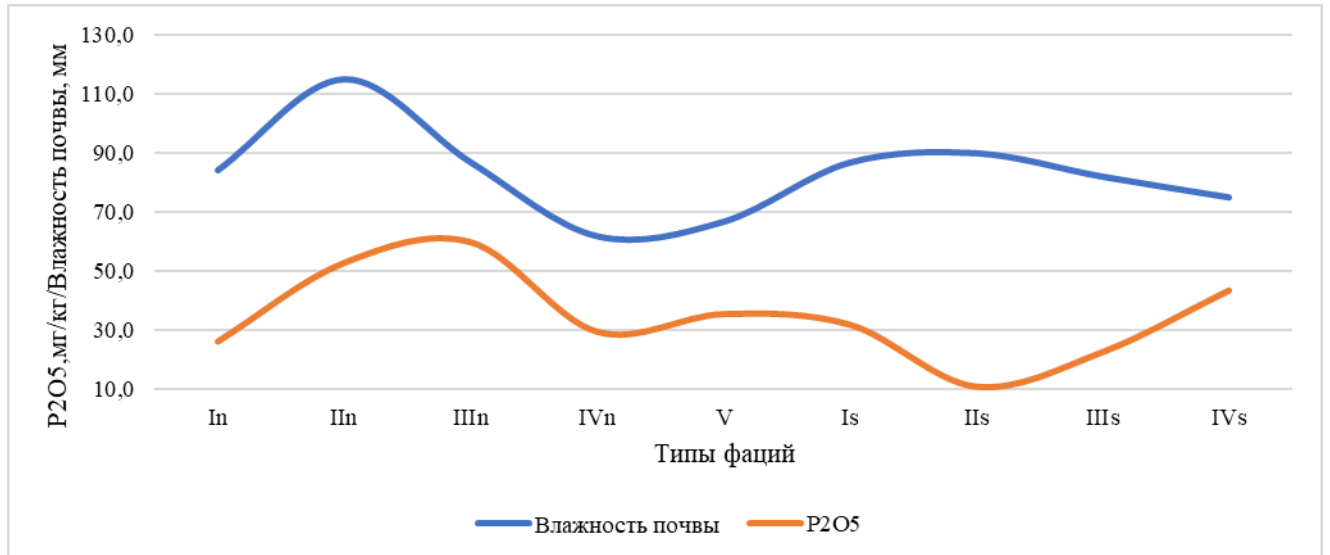


Рисунок 32 – Зависимость содержания подвижных форм фосфора в слое почвы 0–30 см от влажности почвы в слое 0–50 см, 2019 год

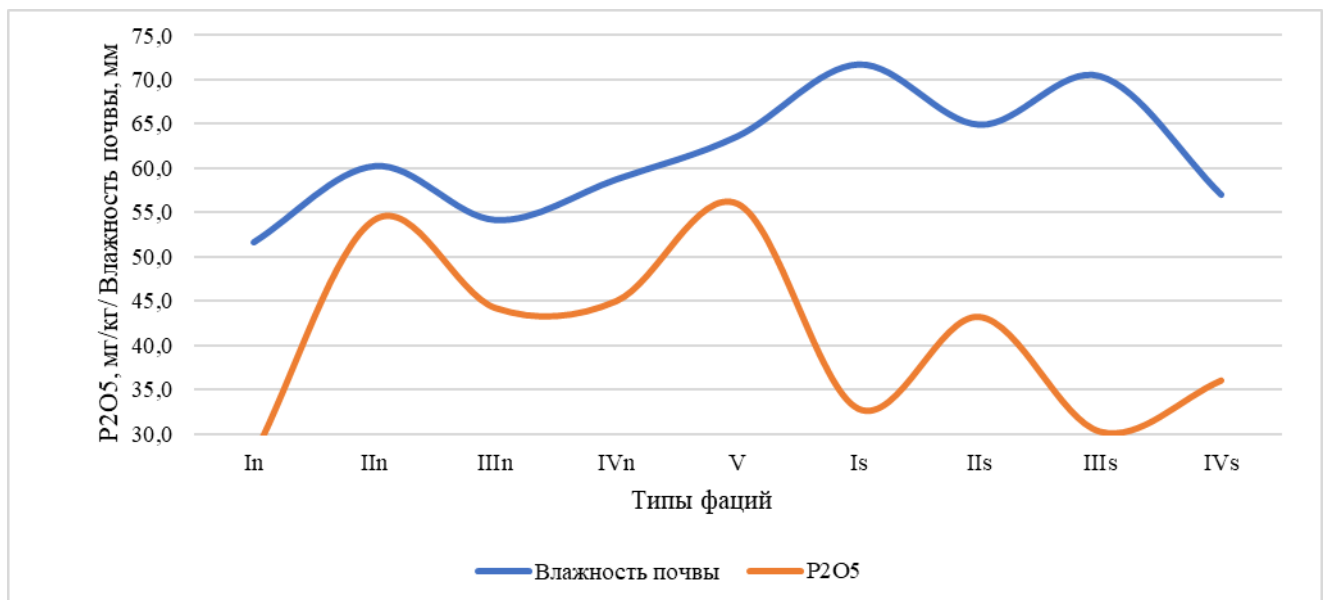


Рисунок 33 – Зависимость содержания подвижных форм фосфора в слое почвы 0–30 см от влажности почвы в слое 0–50 см, 2020 год

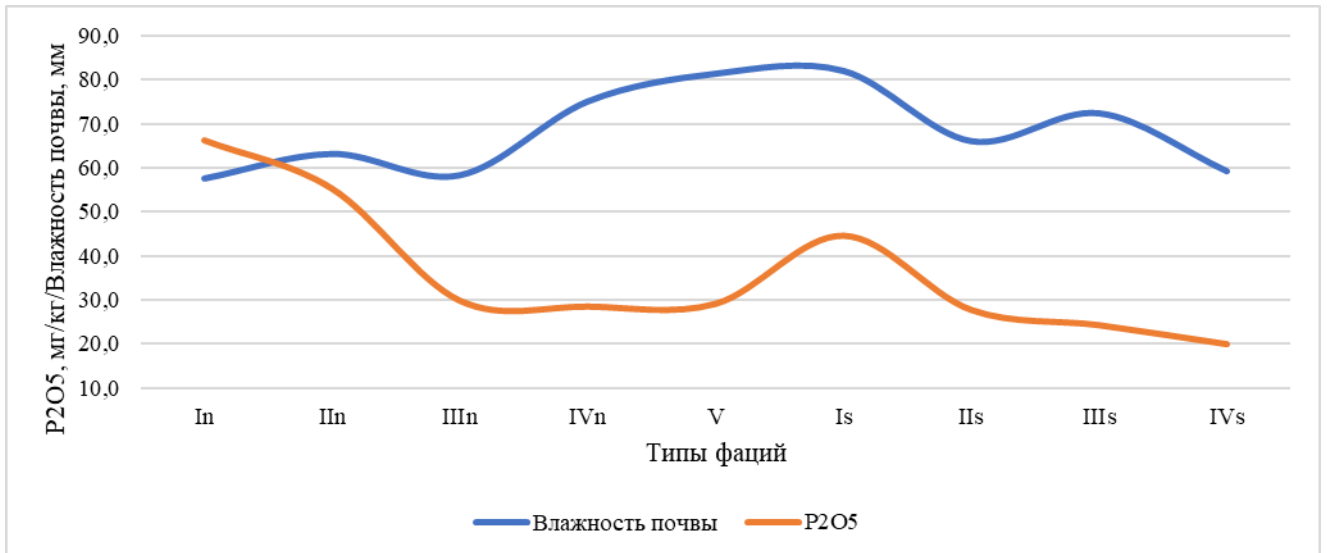


Рисунок 34 – Зависимость содержания подвижных форм фосфора в слое почвы 0–30 см от влажности почвы в слое 0–50 см, 2021 год

Содержание калия в почве, как известно, зависит от ее гранулометрического состава. Коэффициент корреляции этого элемента с «физической глиной» был высоким ($r=0,57$). Тем не менее, уменьшение фракций физической глины в почвенном покрове типов фаций пологих склонов т.п. №5 не ведет к уменьшению калия в пахотном слое почв, что связано, очевидно, с переходом валовых форм калия нижележащих горизонтов в подвижные формы, что компенсирует его потери (Рисунок 35).

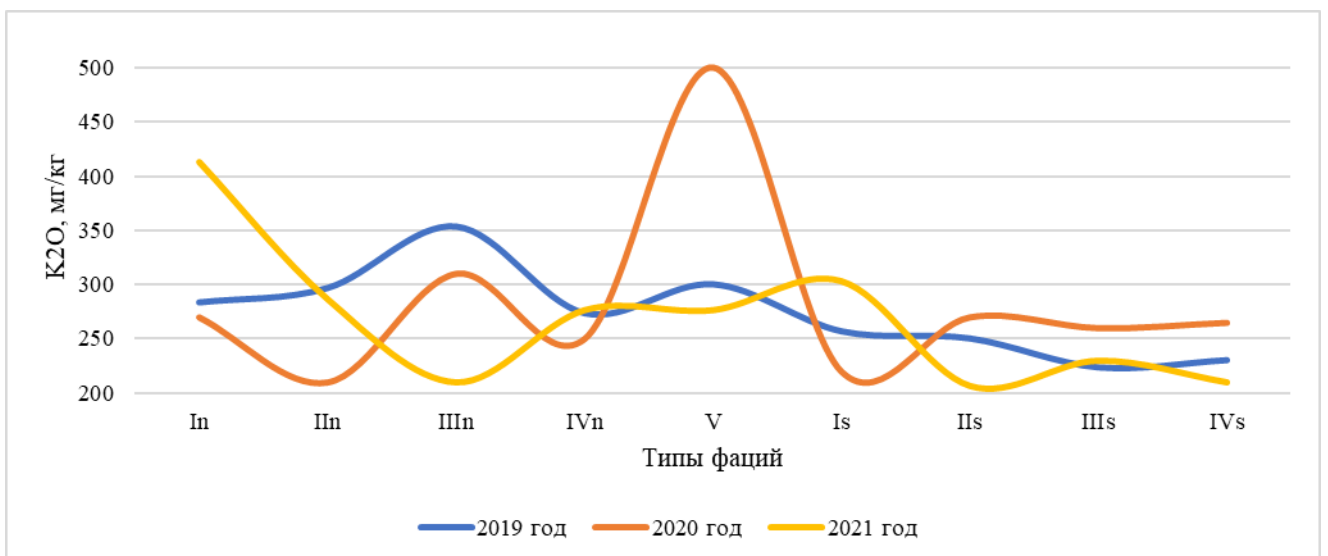


Рисунок 35 – Содержание подвижного калия в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

Установлено, что содержание калия в пахотных почвах Гусельской равнины, так же, как и на т.п. №1, больше зависит от фракций средней и мелкой пыли ($r=0,69$), нежели от илистой фракции ($r=0,01$) (Рисунок 36).

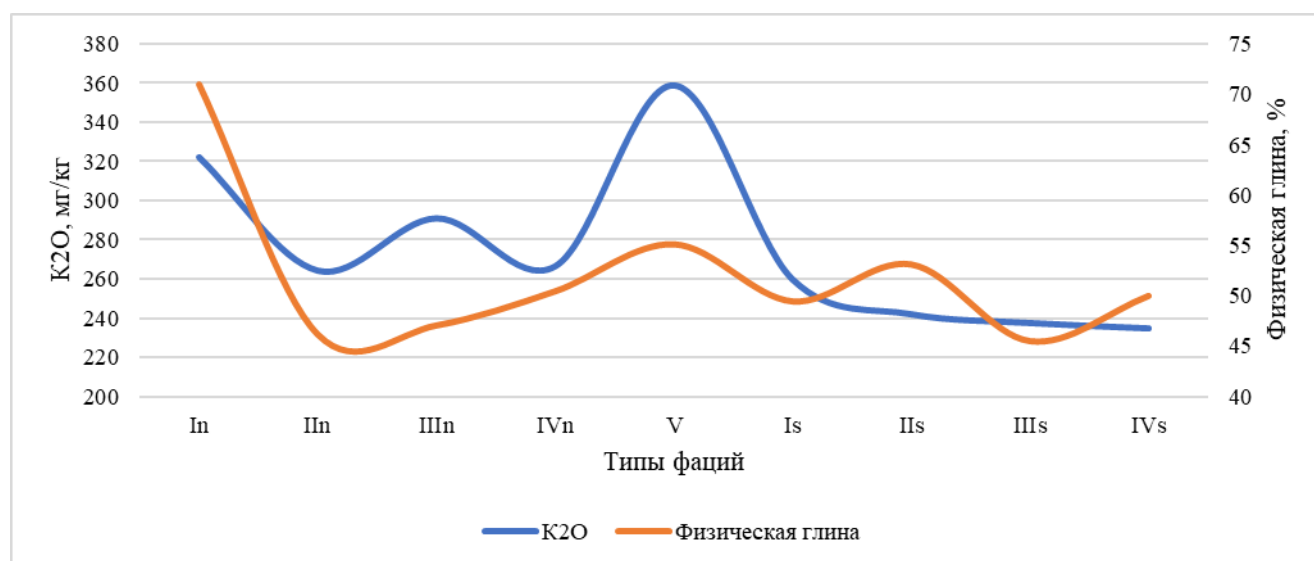


Рисунок 36 – Связь содержания подвижного калия и фракций физической глины в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

В содержании подвижной серы на т.п. №5 выявлено, что понижение гумуса в пахотном слое не всегда ведет к понижению содержания серы. Так, как видно из Рисунка 37, снижение содержания органического вещества почвы до 2,8% и 2,6% на фациях IIIн и Is не повлекло за собой соответственного понижения подвижной серы в пахотном слое, так как нижележащие горизонты содержат этого элемента значительно больше (18,7 мг/кг в слое почвы 80-100 см при средних значениях того же слоя в 13,7 мг/кг), нежели слой почвы 0-30 см, что, учитывая характер этих геосистем и, в целом, местности (повышенная эрозионная нагрузка), обнажает нижележащие и более обеспеченные этим элементом слои.

В результате исследований выявлено, что наиболее эрозионно-опасные типы фаций тестового полигона №5 содержат в почве наибольшее содержание подвижной серы в пахотном слое (Рисунки 38, 39).

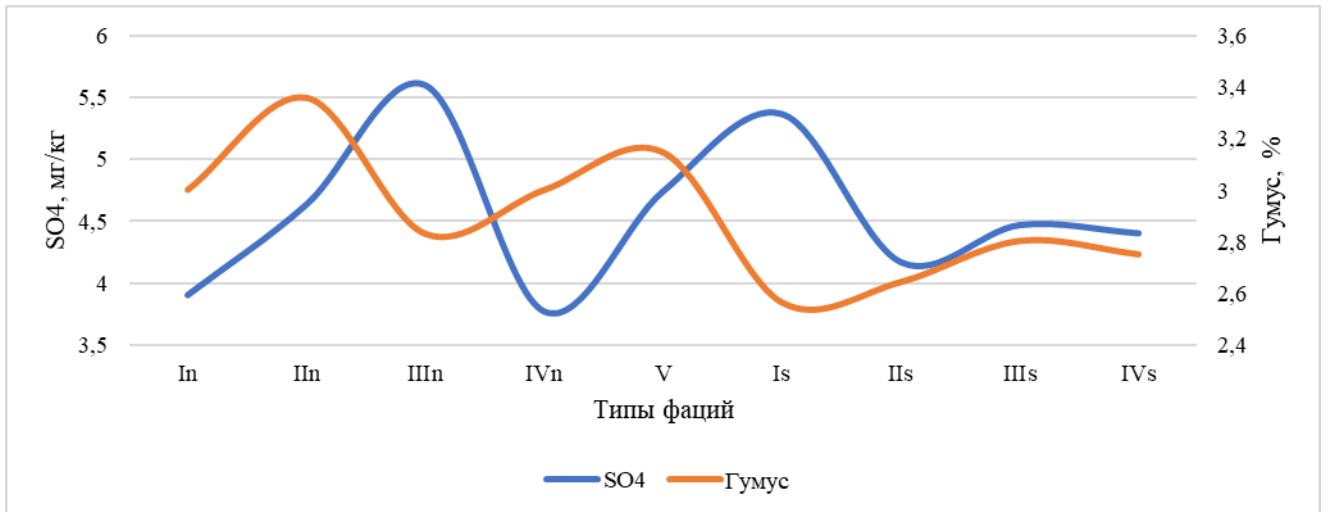


Рисунок 37 – Зависимость содержания подвижных форм серы от гумуса в слое почвы 0–30 см по типам фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

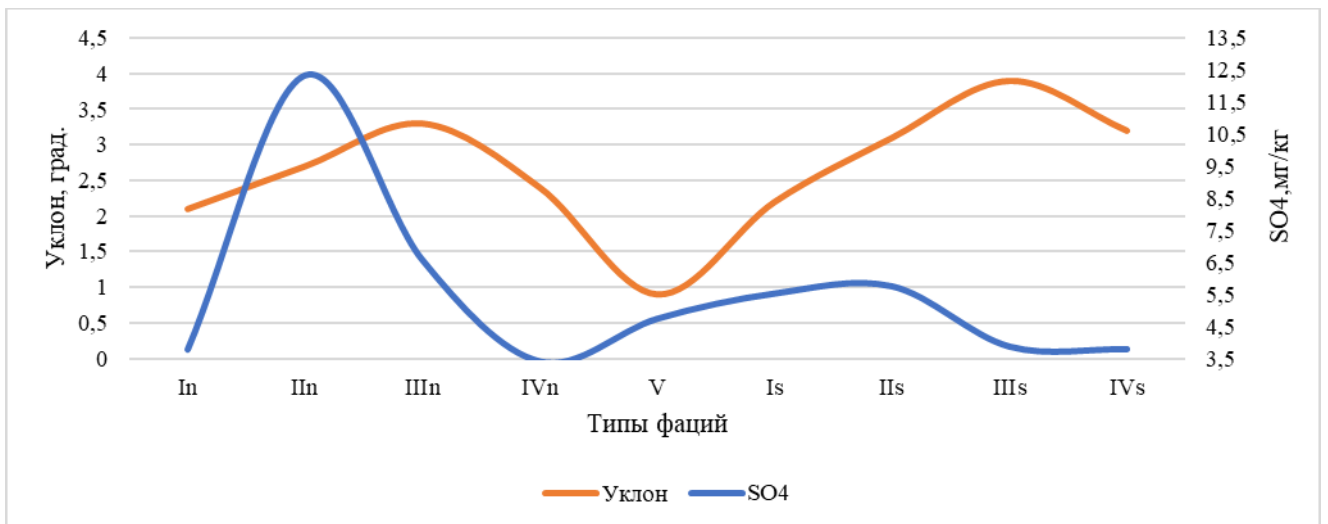


Рисунок 38 – Зависимость содержания подвижной серы в слое почвы 0–30 см от уклона поверхности по типам фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

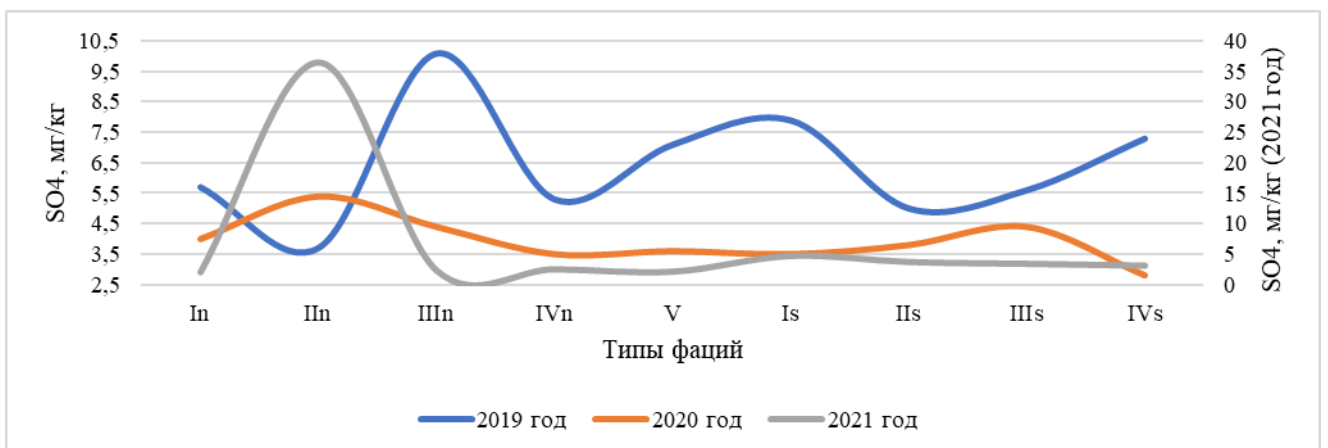


Рисунок 39 – Содержание подвижной серы в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

Кислотность почвы на т.п. №5 за годы исследований характеризовалась нейтральной средой (рН 6,9). Тем не менее выявлено, что почвы склонов северной экспозиции (рН 6,7) по данному показателю отличаются от почв склонов южной экспозиции (рН 7,2) при показателе водораздельных почв в 6,7. По типам фаций выявлено, что почвы типов фаций Is, II, IV, V, характеризующаясь наименьшей крутизной склона ($2,1^\circ$), имеют показатель рН на уровне 6,8, тогда как типы фаций In, III, при крутизне склонов в $2,8^\circ$ – уже 7,1 (Рисунок 40).

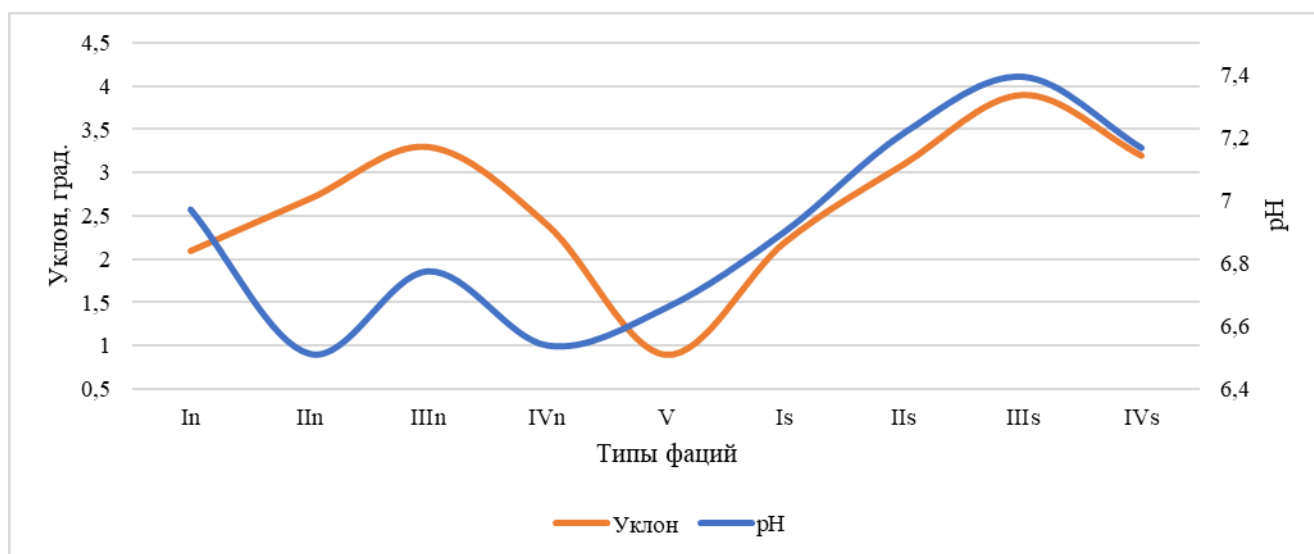


Рисунок 40 – Зависимость кислотности слоя почвы 0–30 см от уклона территории, 2019–2021 гг.

Агрофизические особенности почвенного покрова. Гранулометрический состав чернозема южного тяжелосуглинистый, и только на In – легко глинистый по классификации Н.А. Качинского [61].

По типам фаций выявлено уменьшение фракций физической глины в фациях ложбин и пологих склонов (IIIn – 46,14%, IIIIn – 47,03%, IIIIs – 45,47%) и закономерное увеличение на них фракции физического песка. На фациях In, IVIn, V, Is, IVIs физическая глина преобладает или равна количеству физического песка в структуре почвы, и составляет, соответственно, 70,98%, 50,42%, 55,10%, 49,42%, 49,97% (Рисунок 41; Приложение Р).

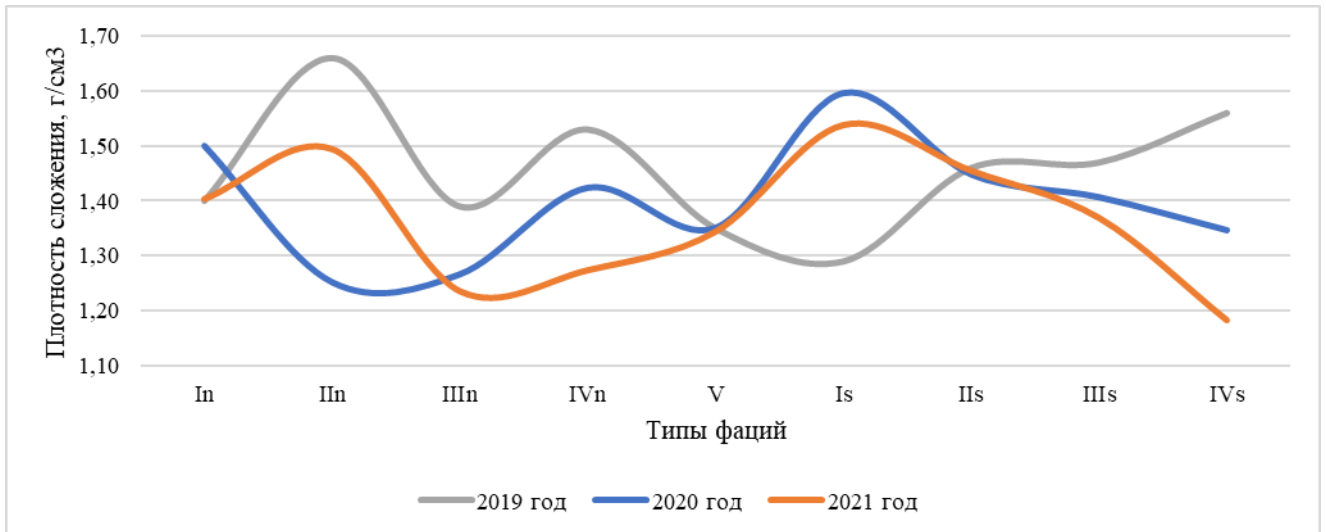


Рисунок 41 – Плотность сложения слоя почвы 0–30 см по типам фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

Отмечено, что на южной экспозиции данной местности наблюдается ухудшение физических свойств почв (в том числе и плотности сложения) при повышении содержания песчаной фракции в почве ($r=0,82$). В результате проведенных исследований это также установлено и для северной экспозиции. Средняя плотность сложения по горизонту 0–30 см растет там, где в почве преобладает физический песок, и снижается при большем количестве физической глины, что, вероятно, связано с увеличением количества макроагрегатов >10 мм ($r=0,97$), снижением содержания агрономически ценных агрегатов ($r=-1$) [10,84, 154,158].

Наиболее уплотненными пахотными горизонтами обладают почвы типов фаций II и IVn (1,47 г/см³ и 1,41 г/см³ на склоне северной экспозиции и 1,45 г/см³ на склоне южной экспозиции соответственно), а также IIIs (1,42 г/см³), I (1,43 г/см³ на северном и 1,47 г/см³ на южном склонах).

Типы фаций III n (1,30 г/см³), V (1,35 г/см³), IVs (1,36 г/см³) – наименее уплотнены, так как именно здесь, в целом, наблюдается преобладание в почве физической глины и уменьшение содержания фракций физического песка (Приложение С; Рисунки 41, 42).

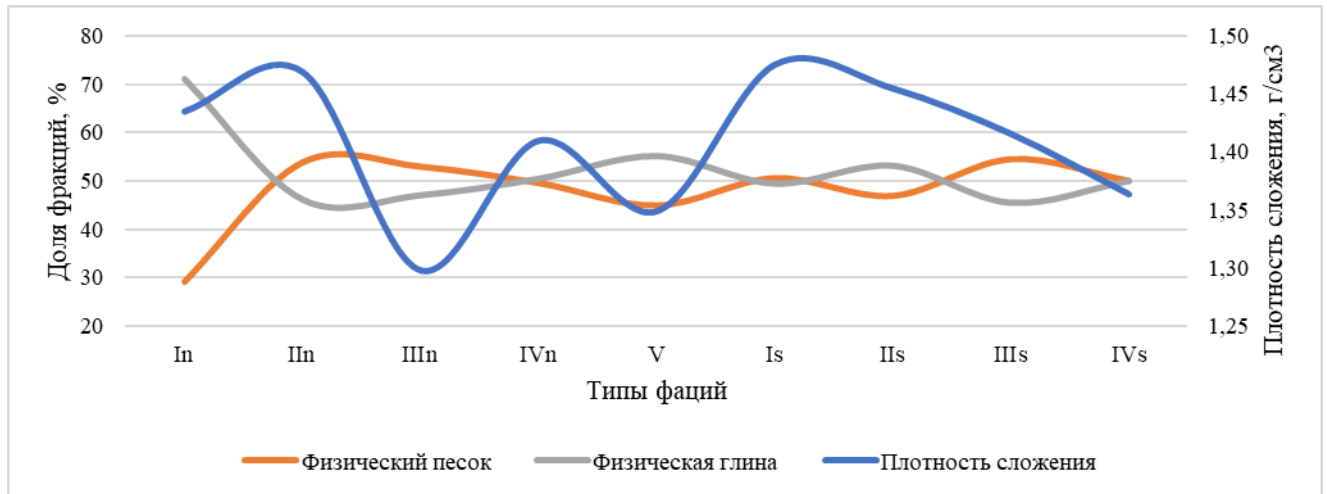


Рисунок 42 – Зависимость плотности сложения слоя почвы 0–30 см от гранулометрического состава, 2019–2021 гг.

Значимость и пространственно-временная устойчивость ландшафтно-морфологического фактора в распределении основных агрохимических и агрофизических параметров почвенного покрова. На т.п. №5, как и на т.п. №1, различия по типам фаций по содержанию в слое почвы 0-30 см нитратного азота, подвижных форм фосфора, калия и серы также оказались статистически значимыми ($V_1=12,3\%$, $V_1=23,5\%$, $V_1=15,2\%$, $V_1=13,7\%$ соответственно), тогда как кислотность почвы и ее гумусированность также не имели статистически значимой дисперсии ($V_1=4,5\%$ и $V_1=8,7\%$ соответственно).

Существенные отличия от т.п. №1 были зафиксированы в пространственно-временной устойчивости ландшафтно-морфологического фактора в распределении рассматриваемых агрохимических и агрофизических параметров типов фаций т.п. №5. Так, если на т.п. №1 самыми устойчивыми оказались весенние запасы в почве нитратной формы азота и подвижной формы серы, то на рассматриваемом объекте исследования они оказались намного хаотичнее ($V_2=48,20\%$ и $V_2=48,43\%$). Не выявили пространственно-временной устойчивости рассматриваемого фактора также показатели подвижной формы калия и гумуса ($V_2=35,90\%$ и $V_2=63,04\%$). Более устойчивыми же параметрами оказались подвижная форма фосфора ($V_2=22,61\%$), кислотность почвы ($V_2=11,96\%$) и плотность сложения почвы ($V_2=4,4\%$).

3.3 Еруслано-Бизюкский ландшафтный район

3.3.1 Ландшафтная характеристика

Тестовый полигон №9, занимая 3221 га в Еруслано-Бизюкском ландшафтном районе, расположен на Еруслано-Жидкосолянской местности. Местность, как следует из названия, на севере ограничена рекой Еруслан, а на юге рекой Жидкая Солянка.

Дочетвертичное геологическое строение территории представлено, прежде всего, песками, песчаниками, опоками, глинами сызранской свиты палеоцена (палеогеновая система), занимающими 91% тестового полигона. Далее, с приближением к реке Жидкая Солянка, можно выделить глины, пески, песчаники альбского (3,8% территории) и аптского (3,2%) ярусов нижнего отдела меловой системы, а также мел, мергели маастрихтского яруса верхнего отдела меловой системы (1,3%) и, наконец, глины, пески, песчаники, фосфориты готеривского и барремского ярусов нижнего отдела меловой системы (0,7%).

Четвертичное строение территории выражено желто-бурыми суглинками и глинами верхней части сыртовой толщи нижне-верхнечетвертичных отложений (95% территории), переходящие в аллювиальные суглинки и глины верхнечетвертичных отложений и в современные аллювиальные отложения суглинков и супесей реки Жидкая Солянка.

Рельеф территории равнинный, с абсолютными высотами от 49 м в пойме реки Жидкая Солянка до 78 м на водоразделе рек Еруслан и Жидкая Солянка.

Почвенный покров местности представляет собой довольно однородную картину и представлен, прежде всего, каштановыми слабосолонцеватыми маломощными тяжелосуглинистыми почвами, занимающими 64,5% от всей территории землепользования и залегающими, преимущественно, на водораздельных и склоновых (0-1°) массивах. Вторым по распространенности видом почвы являются каштановые слабосолонцеватые маломощные

слабосмытые тяжелосуглинистые почвы, занимающие склоны 1–3 градуса (19,5% территории). Лугово-каштановые тяжелосуглинистые почвы, занимая надпойменные террасы и пойменные части реки Жидкой Солянки, а также ее отрогов, стариц, распространены на 16% территории (Приложение Е).

Типы фаций Еруслано-Жидкосолянской местности представлены следующими доминантными и субдоминантными геосистемами: In (северо-западной экспозиции), Is (юго-восточной экспозиции) – почти плоские поверхности, сложенные сырцовыми глинами под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными тяжелосуглинистыми почвами (468,2 га или 14,5% территории и 502,3 га или 15,6% территории соответственно); In, Is – склоны ложбин, сложенные сырцовыми глинами под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными тяжелосуглинистыми почвами (66,8 га или 2,1% территории и 86,4 га или 2,7% территории); In, Is – слабопологие склоны, сложенные делювиальными отложениями сырцовых глин под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными слабосмытыми тяжелосуглинистыми почвами (III) (24,6 га или 0,8% территории и 32,5 га или 1,0% территории); In, Is – выпуклые межложбинные водораздельные пространства, сложенные сырцовыми глинами под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными тяжелосуглинистыми почвами (85,1 га или 2,6% территории и 111,3 га или 3,5% территории); V – плоские водораздельные пространства, сложенные сырцовыми глинами под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными тяжелосуглинистыми почвами (69,0 га или 2,1% территории) (Приложение Ж).

Климатические условия вегетационного периода т.п. №9 за годы исследований характеризовались очень засушливыми в 2019 и 2020 гг. (ГТК=0,48 и 0,47 соответственно) и засушливыми в 2021 году (ГТК=0,72) условиями (Приложение Т; Рисунок 43).

Приход солнечной радиации на т.п. №9 характеризовался, как и на предыдущих объектах исследования, понижением с крутизной на склонах северной экспозиции, и, соответственно, повышением с крутизной на склонах южной экспозиции (Рисунок 44).

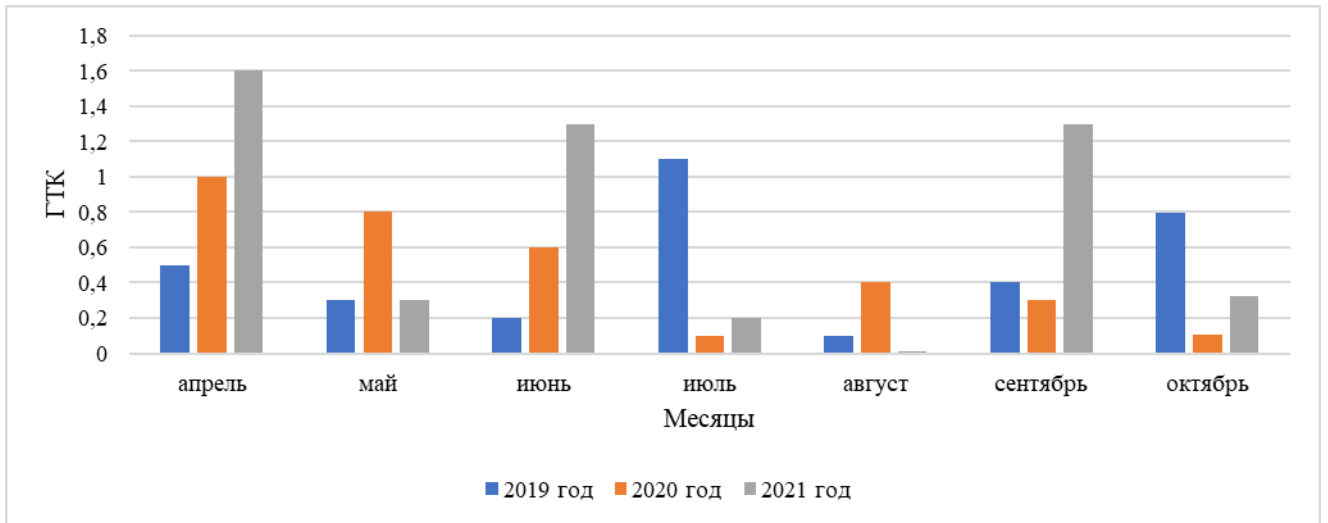


Рисунок 43 – Климатические условия тестового полигона №9
в годы проведения исследований

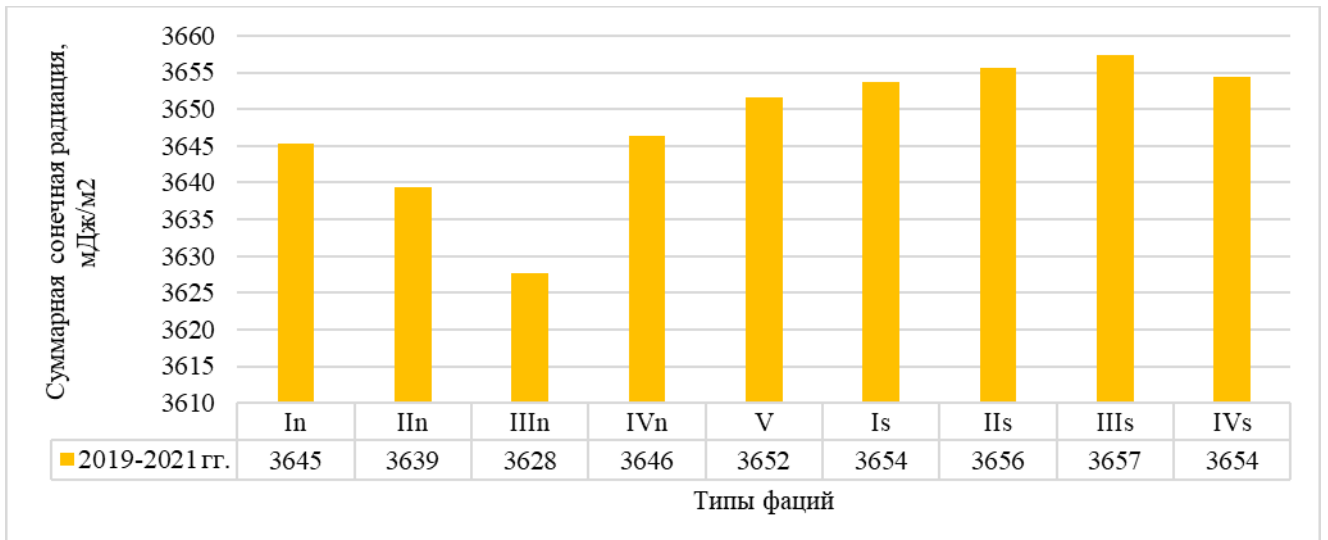


Рисунок 44 – Суммарная солнечная радиация за вегетационный период
по типам фаций тестового полигона №9, 2019–2021 гг.

Средние значения по местности за вегетационный период составили 3648 мДж/м², при отличиях фаций южной экспозиции от фаций северной экспозиции в 15 мДж/м² в пользу первых. Разница между фациями пологих склонов (с минимальным и максимальным значениями по местности) составила 29 мДж/м², что почти в 2 раза меньше аналогичного значения на т.п. №1, обусловлена меньшей здесь крутизной склонов (0,64° на т.п. №9 против 0,95° на т.п. №1) (Рисунок 44).

3.3.2 Влияние ландшафтно-морфологического фактора на агрохимические и агрофизические особенности почвенного покрова

Агрохимические особенности почвенного покрова. Органическое вещество почв Еруслано-Жидкосолянской местности за годы исследований находилось на уровне 2,1% в среднем по местности, повышаясь на фациях I, II (2,2%) и понижаясь на фациях III, IV (2%) при максимальных значениях на водораздельных фациях (2,4%). Стоит отметить, что, как и на предыдущих объектах исследования, на южных экспозициях содержится гумуса меньше (2%), чем на северных экспозициях (2,2%) (Рисунок 45). По градации почв по содержанию гумуса все варианты находятся в низких значениях, и только фации III_s – в очень низких (Приложение У).

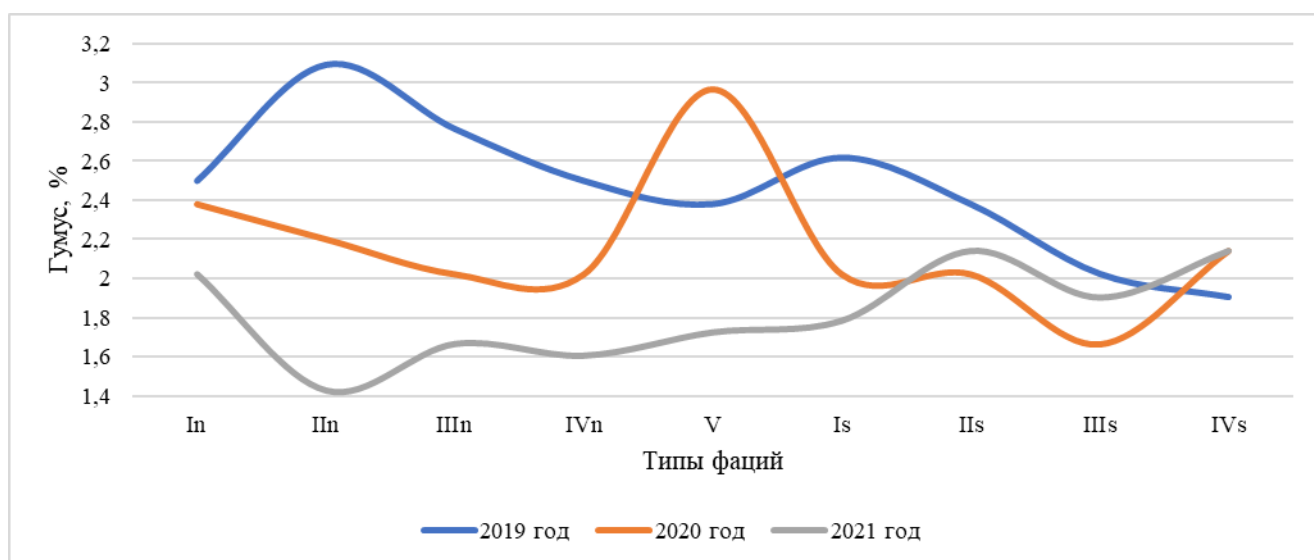


Рисунок 45 – Содержание гумуса в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №9, 2019–2021 гг.

Весеннее содержание нитратного азота на каштановых почвах т.п. №9 за время исследований характеризовалось бóльшим его содержанием на склонах южной экспозиции (5,99 мг/кг) в сравнении с северными (4,36 мг/кг). Пахотный слой почв типов фаций южного склона накапливает весной на 12% больше нитратного азота, нежели почвы фаций северного склона из-за более раннего оттаивания и более продуктивного использования снеготпасов, что позволяет

посевам лучше стартовать, так как почвы южноориентированных склонов оттаивают на 5 дней раньше, чем почвы северной экспозиции [143, 144]. Плакоры характеризовались содержанием азота на уровне 3,86 мг/кг.

За годы исследований выявлено повышенное накопление нитратного азота в почвах ложбин стока (4,6 мг/кг) при среднем значении по местности 4,2 мг/кг, что обусловлено тем, что слой почвы 0-50 см фаций ложбин за 3 года исследований оказался на 2,1 мм влажнее, чем аналогичный слой почв остальных фаций, а также тем, что почвы здесь содержат 26,7% илистой фракции (<0,001 мм при средних значениях на других фациях в 22%), что подтверждается и большим содержанием гумуса. Стоит отметить также пониженное накопление нитратного азота на водораздельной части ландшафта (3,1 мг/кг) (Рисунок 46).

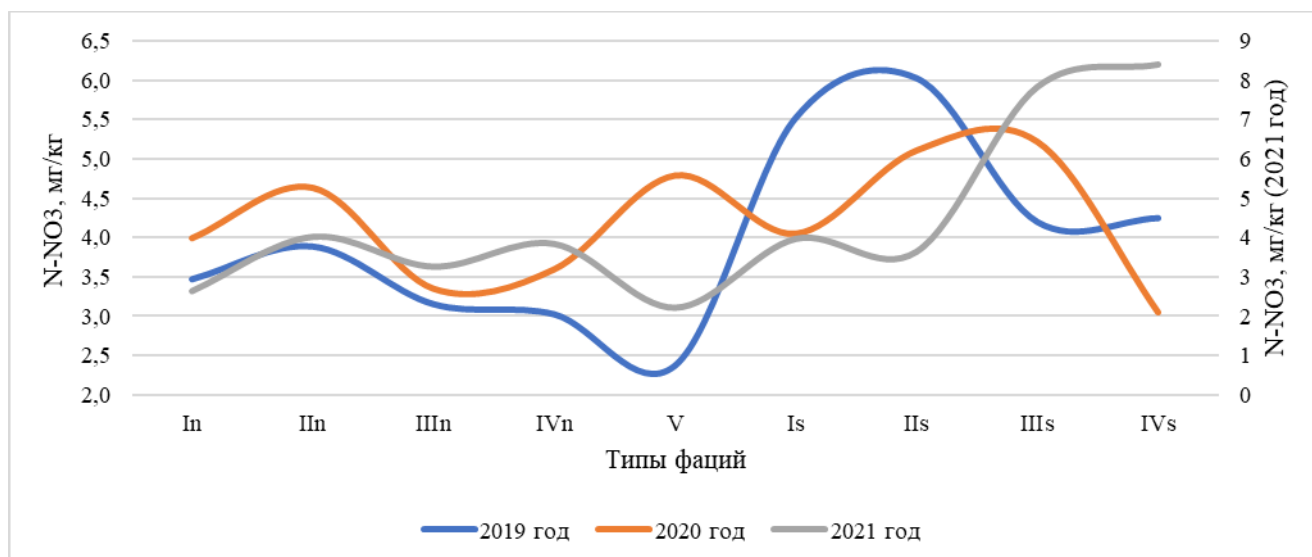


Рисунок 46 – Содержание нитратного азота в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №9 перед посевом, 2019–2021 гг.

Содержание подвижных форм фосфора в слое почвы 0–30 см за годы наблюдений составило 38,8 мг/кг. Между склонами в его накоплении не было выявлено особых различий (39,3 мг/кг на северном склоне и 38,8 мг/кг на южном при 36,9 мг/кг на плакоре). По типам фаций наблюдалось накопление его на склоновых типах фаций I, III, IV (39,9 мг/кг) и уменьшение на фациях II (36,3 мг/кг) (Рисунок 47). В целом, выявлено, что происходит перераспределение доступных для растений форм фосфора с вышележащих форм рельефа

(водоразделы разных порядков) в нижележащие с закреплением на склонах. Сходные результаты получены Р.Р. Исмагиловым и Р.Р. Абдулвалеевым для почв Белебеевской возвышенности Республики Башкортостан, где различия достигали 15–20% на северных склонах и 25% на южных при более высоких количествах на вышележащих формах рельефа [59].

В содержании подвижных форм калия по типам фаций выявлена тенденция, согласно которой с глубиной содержание подвижного калия уменьшается, что согласуется с результатами, полученными П.А. Чекмаревым, С.В. Лукиным, Ю.И. Сискевичем для черноземов типичных и выщелоченных, а также И.Д. Давлятшиным, А.А. Лукмановым, А. Бадиковым для дерново-подзолистых, серых лесных и черноземных почв лесостепи (Рисунок 48) [34, 140].

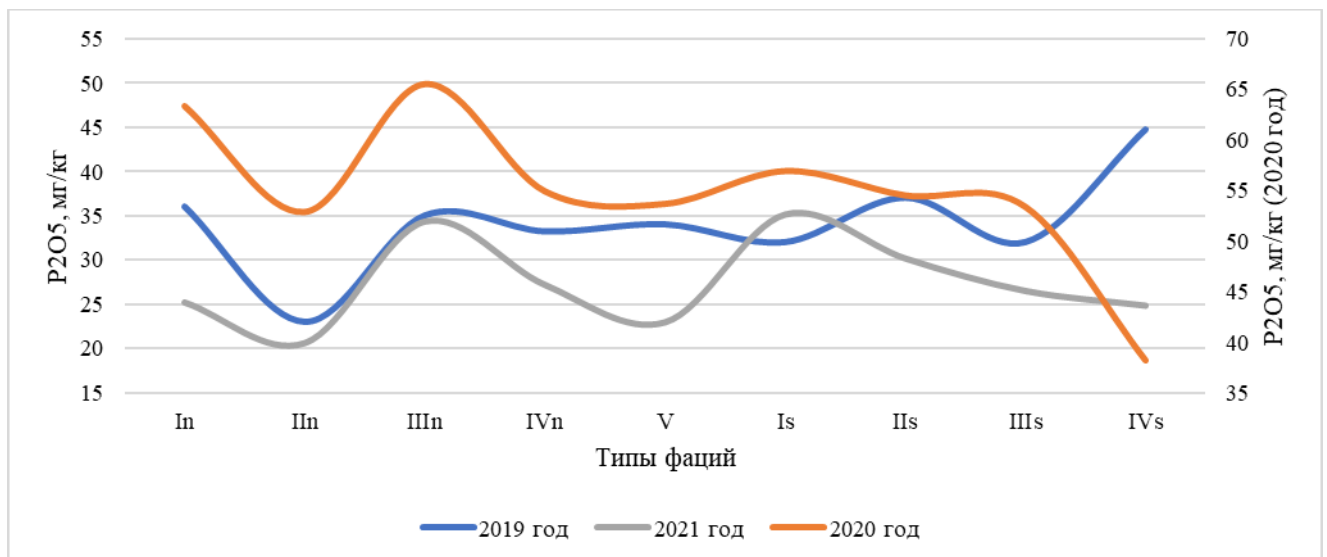


Рисунок 47 – Содержание подвижного фосфора в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №9, 2019–2021 гг.

Л.Д. Стахурлова, А.И. Громовик, Г.Н. Черкасов в своем исследовании на черноземных почвах показали, что содержание подвижного калия сокращается с увеличением эрозионной нагрузки на почвы [135]. Так, на склоновых почвах содержание подвижного калия уменьшается на 5%, в сравнении с почвами водоразделов. В условиях т.п. №9 с повышением крутизны склона происходит уменьшение содержания в пахотном слое почвы калия ($r=-0,51$). За время исследований содержание подвижных форм калия изменялось от относительно

высоких количеств на фациях In, Is, V (335 мг/кг) и III_n, III_s, IV_n, IV_s (327 мг/кг) до 313 на фациях ложбин двух склонов (Рисунок 48).

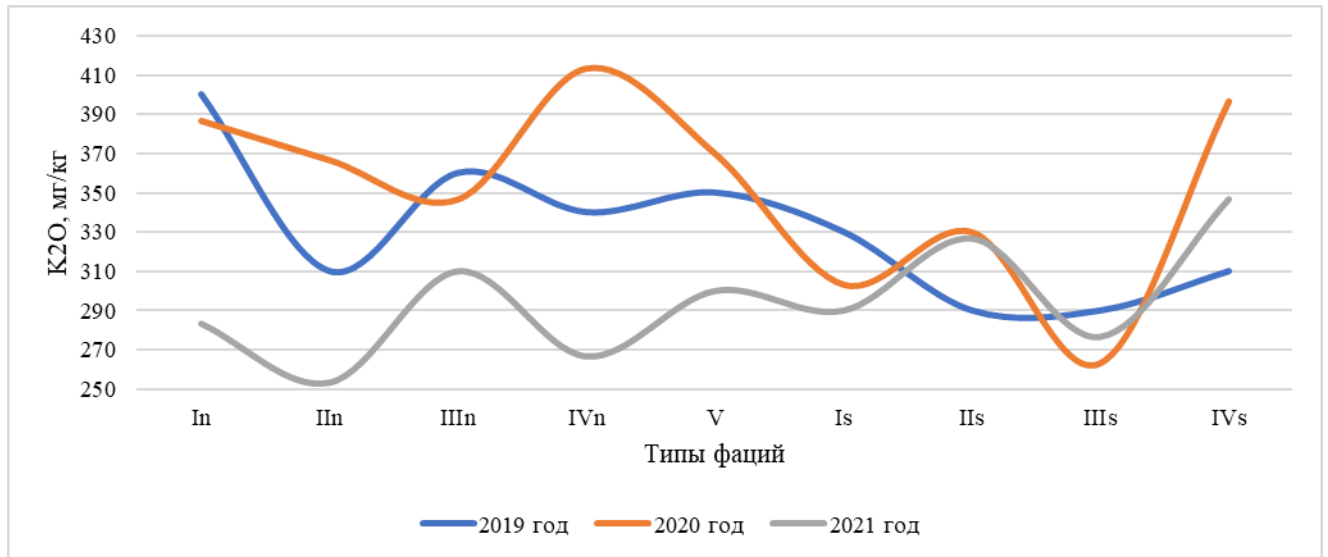


Рисунок 48 – Содержание подвижного калия в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №9, 2019–2021 гг.

В содержании подвижных форм SO_4 в почвах т.п. №9 установлено, что среднее содержание данного элемента находится в очень низких значениях по классификациям агрохимической службы (3,5 мг/кг). Почвы склонов северной экспозиции за годы исследований содержали подвижной серы на 1 мг/кг и 2 мг/кг больше, в отличие от почв южной экспозиции и водоразделов соответственно (Рисунок 49).

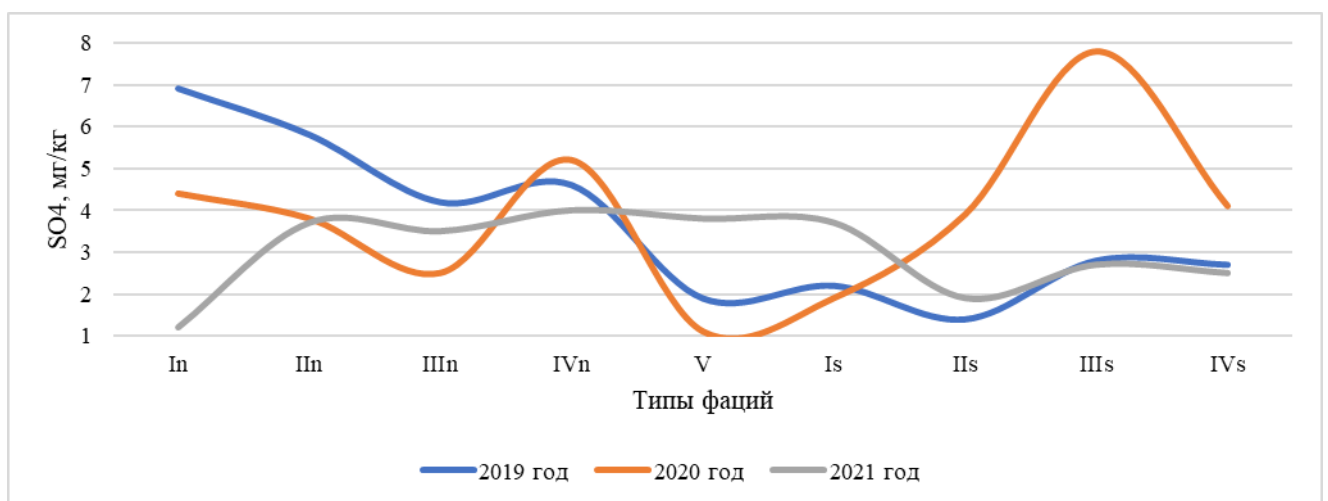


Рисунок 49 – Содержание подвижных форм серы в слое почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №9, 2019–2021 гг.

По типам фаций выявлено увеличение содержания подвижной серы на фациях In, IIn, IVn и IIIs (4,5 мг/кг), тогда как среднее содержание серы на остальных типах фаций составило 2,7 мг/кг.

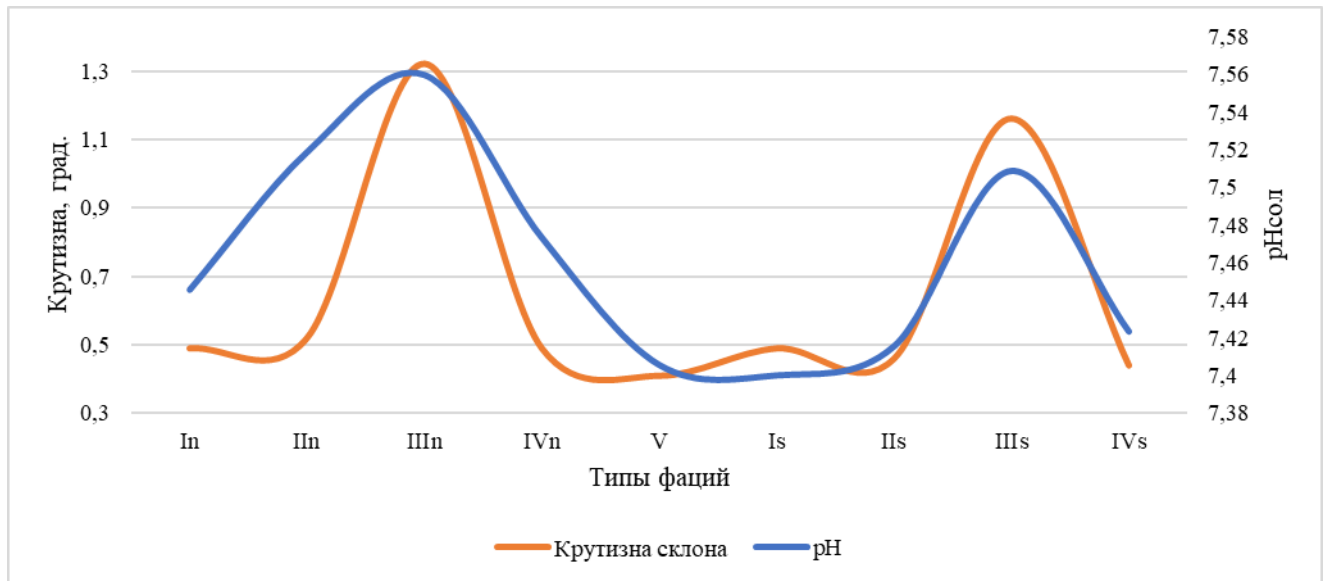


Рисунок 50 – Зависимость $pH_{\text{сол}}$ слоя почвы 0–30 см от крутизны склона по типам фаций тестового полигона №9, 2019–2021 гг.

Реакция среды на т.п. №9 характеризовалась средними значениями по местности нейтральными, граничащими со слабощелочными ($pH=7,3$ в 2019 году, $pH=7,5$ в 2020 году, $pH=7,6$ в 2021 году). По типам фаций, так же, как и на предыдущих объектах исследования, выявлено повышение pH почв на фациях III обеих экспозиций ($pH=7,6$ при средних значениях за трехлетний период местности $pH=7,4$). В целом установлено, как и на предыдущих местностях, что повышение реакции среды происходит с увеличением крутизны склона ($r=0,79$) (Рисунок 50).

Агрофизические особенности почвенного покрова. Почвенный покров т.п. №9 можно охарактеризовать как среднесуглинистый на склоне северной экспозиции и на фациях Is южной экспозиции (среднее содержание фракций физического песка составляет 65%) и тяжелосуглинистый на фациях южной экспозиции (среднее содержание фракций физического песка составляет 50%).

Выявлено, что минимальные значения фракций физического песка находятся в почвах фаций II и III обеих экспозиций (54,7%), тогда как на фациях I, IV, V зафиксировано большее их содержание (64,7%). Указанная закономерность находится в зависимости от крутизны склона, которая на фациях ложбин и пологих склонов составляет, в среднем, $0,9^\circ$, при средних значениях местности в $0,6^\circ$ (Приложение Ф; Рисунок 51). Плотность сложения слоя почвы 0–30 см изменяется от низких значений на фациях In, IIn, V, IIIs ($1,28 \text{ г/см}^3$) до высоких на фациях IIIIn, IVIn, Is, IIs, IVIs ($1,39 \text{ г/см}^3$) (Приложение X; Рисунок 52).

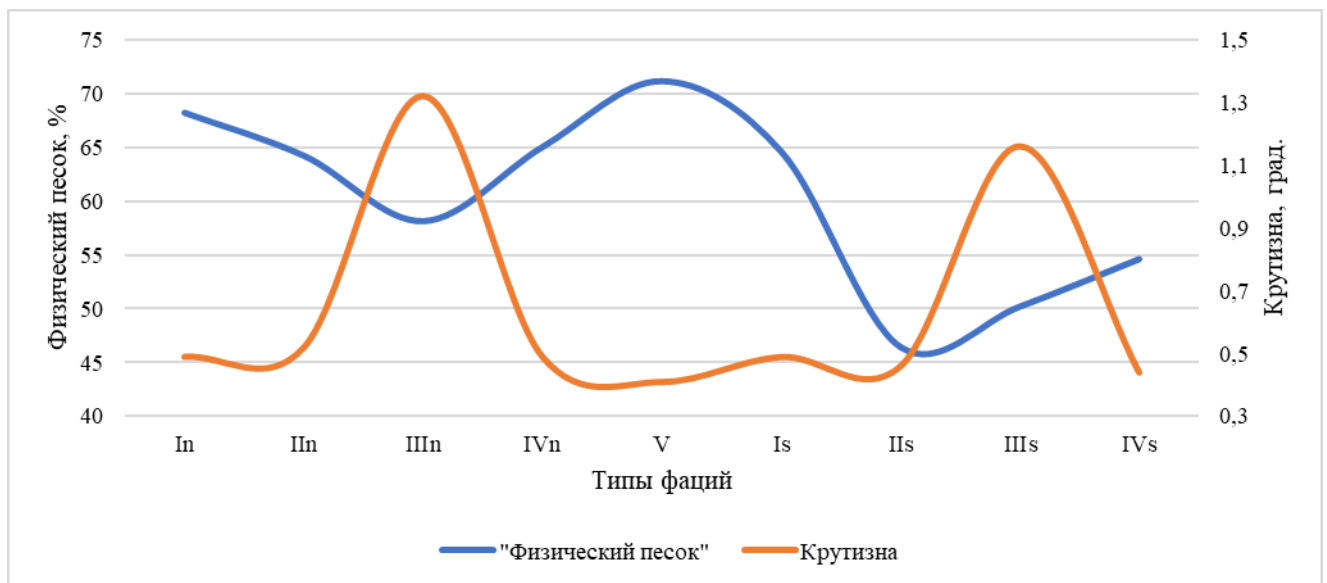


Рисунок 51 – Зависимость содержания фракций «физического песка» в слое почвы 0–30 см от крутизны склона на тестовом полигоне №9

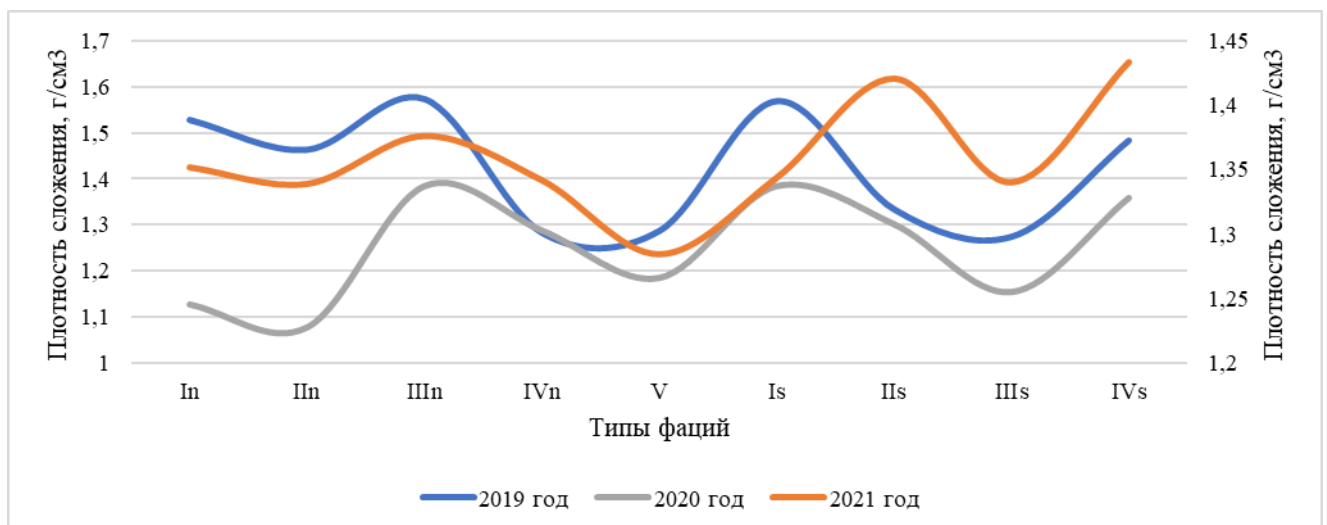


Рисунок 52 – Плотность сложения слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №9, 2019-2021 гг.

Установлено, что уменьшение плотности сложения на каштановых почвах происходит с увеличением в них фракций физического песка ($r=-0,72$) (Рисунок 53).

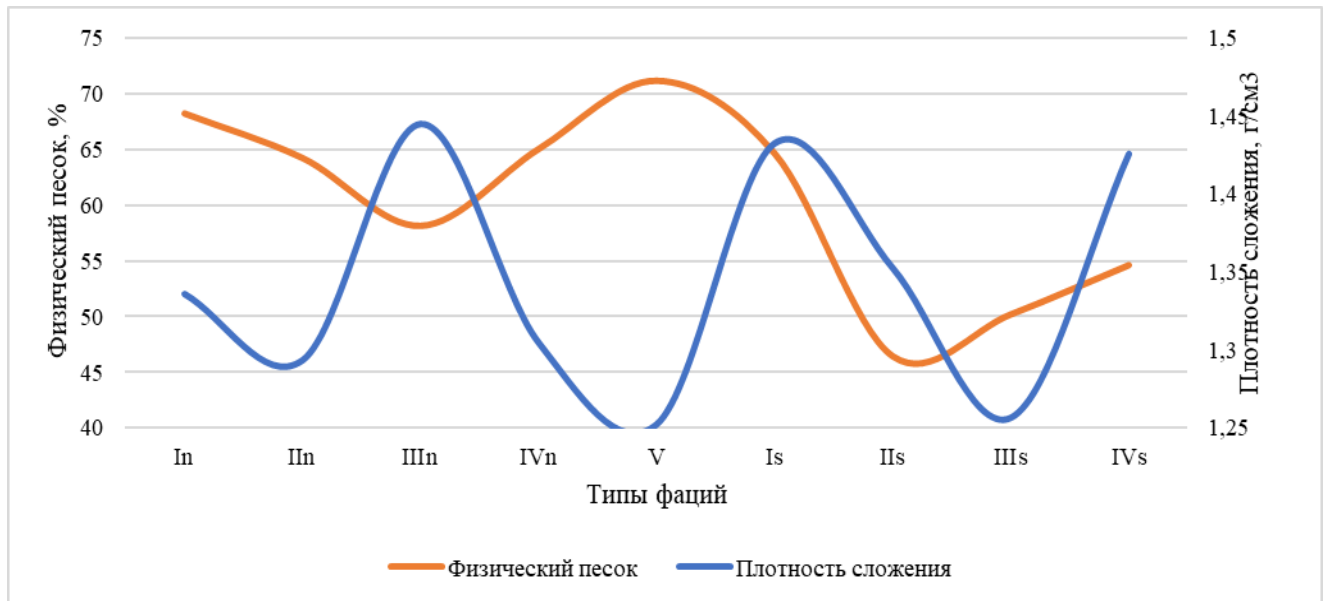


Рисунок 53 – Зависимость плотности сложения слоя почвы 0–30 см от гранулометрического состава почв типов фаций тестового полигона №9

Значимость и пространственно-временная устойчивость ландшафтно-морфологического фактора в распределении основных агрохимических и агрофизических параметров почвенного покрова. Значимость ландшафтно-морфологического фактора для весеннего содержания нитратного азота, подвижной формы фосфора, серы по типам фаций подтвердилось и для т.п. №9 ($V_1=12,0\%$, $V_1=9,7\%$, $V_1=27,0\%$ соответственно), не повторившись лишь для подвижной формы калия ($V_1=7,9\%$). Для гумуса и кислотности почвы также, как и на предыдущих объектах исследования не выявлено существенных статистических различий между исследуемыми ландшафтно-морфологическими участками ($V_1=6,9\%$ и $V_1=0,6\%$ соответственно).

По устойчивости в пространстве и времени ландшафтно-морфологического фактора в распределении агрохимических и агрофизических параметров почв типов фаций также, как и для т.п. №1, установлены (хотя и менее устойчивые) положительные коэффициенты по нитратной форме азота ($V_2=31,75\%$),

подвижной сере ($V_2=34,02\%$), фосфору ($V_2=23,12\%$). Также устойчивыми показателями оказались подвижная форма калия ($V_2=24,57\%$) и гумус ($V_2=20,18\%$). Не зафиксирована пространственно-временная устойчивость для рН ($V_2=41,71\%$) и плотности сложения почвы ($V_2=45,9\%$).



Рисунок 54 – Определение плотности сложения почвы
на тестовом полигоне №9, 2021 год

Таким образом, ландшафтно-морфологический фактор существенно влияет на агрохимические и агрофизические параметры почвенного покрова рассматриваемых тестовых полигонов с установленной математической значимостью для нитратных форм азота, подвижных форм калия (кроме т. п. №9), фосфора, серы, плотности сложения; не оказал математически значимого эффекта рассматриваемый фактор на кислотность и органическое вещество почвы; Математически доказана пространственно-временная устойчивость фактора для содержания в почвах типов фаций т.п. №1 нитратного азота, подвижных форм фосфора, серы, а также кислотности почвы, гумуса и плотности сложения. Для

т.п. №5 доказана устойчивость подвижной формы фосфора, кислотности и плотности сложения, а для т.п. №9 – нитратного азота, подвижных форм калия, фосфора, серы и гумуса почвы; пространственно-временная устойчивость основных агрохимических и агрофизических параметров в почвах типов фаций имеет тенденцию к снижению с нарастанием континентальности и напряженности рельефа. Так, если средняя арифметическая устойчивости ландшафтно-морфологического фактора (V_2) на т.п. №1 составляет 16,5%, то на т.п. №5 она уже 33,5%, а на т.п. №9 – 31,6%.

4 ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ДЕЙСТВИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

4.1 Урожайность и качество яровой мягкой пшеницы на тестовых полигонах

4.1.1 Продуктивность Большеаркадакско-Грачевской и Грачевско-Ольшанской, Гусельской и Еруслано-Жидкосолянской местностей

В продуктивности яровой мягкой пшеницы Большеаркадакско-Грачевской и Грачевско-Ольшанской местностей стоит отметить факт, согласно которому типы фаций склонов южной экспозиции оказались продуктивнее типов фаций склонов северной экспозиции на 0,23 т/га, изменяясь по годам исследования в зависимости от изменения ГТК в фазу цветения. Так, изменение ГТК в фазу цветения в первой декаде июля 2019 и 2020 гг. с 0,9 в до 0,4 изменило соотношение урожайности склонов северной и южной экспозиций с 1:1,3 до 1:0,9. В 2021 году, при ГТК июля 0,7, соотношение вернулось к 1:1,2 (Рисунок 55).

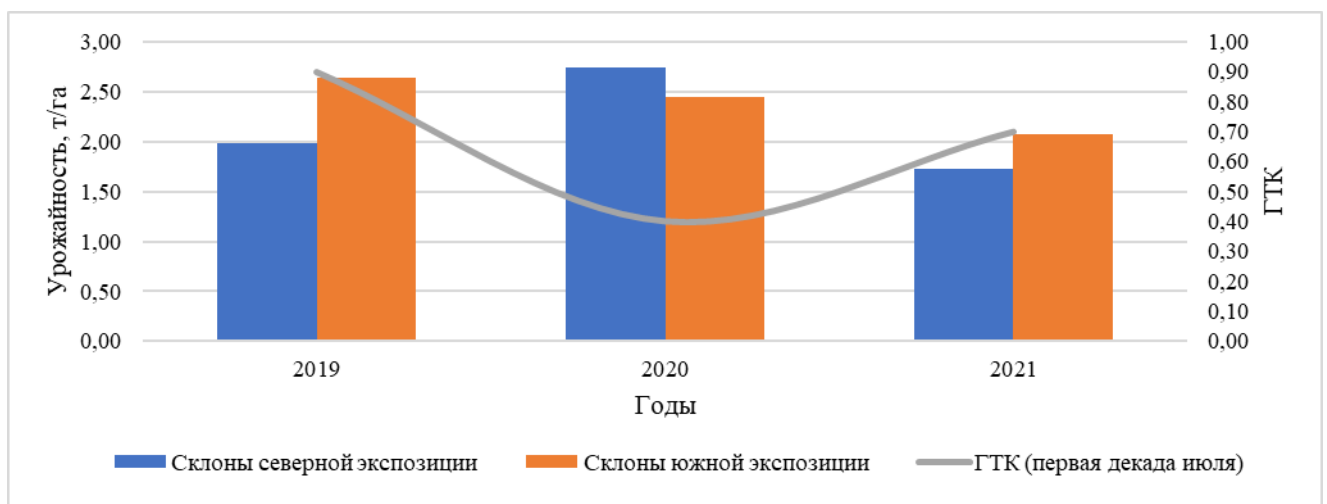


Рисунок 55 – Зависимость продуктивности яровой мягкой пшеницы от ГТК в фазу цветения, 2019–2021 гг.

По типам фаций выявлено, что типы фаций II, занимающие 3,3% территории землепользования, имеют наименьшую за все годы наблюдений урожайность (1,49 т/га при средней в 2,28 т/га). Тем не менее, в годы, когда наблюдаются засушливые условия в ключевые фазы развития пшеницы (цветение), именно на этих фациях наблюдается максимальная урожайность по местности (3,17 т/га при средней по местности в 2,45 т/га). Отметим, что на водораздельных типах фаций получена максимальная среднегодовая урожайность (2,41 т/га). Фации I, занимая 30,8% территории, по среднегодовой продуктивности (2,21 т/га) оказались хуже и фаций III, занимающих 17% территории (2,33 т/га) и фаций IV, занимающих 6,2% территории (2,47 т/га) (Рисунок 56).

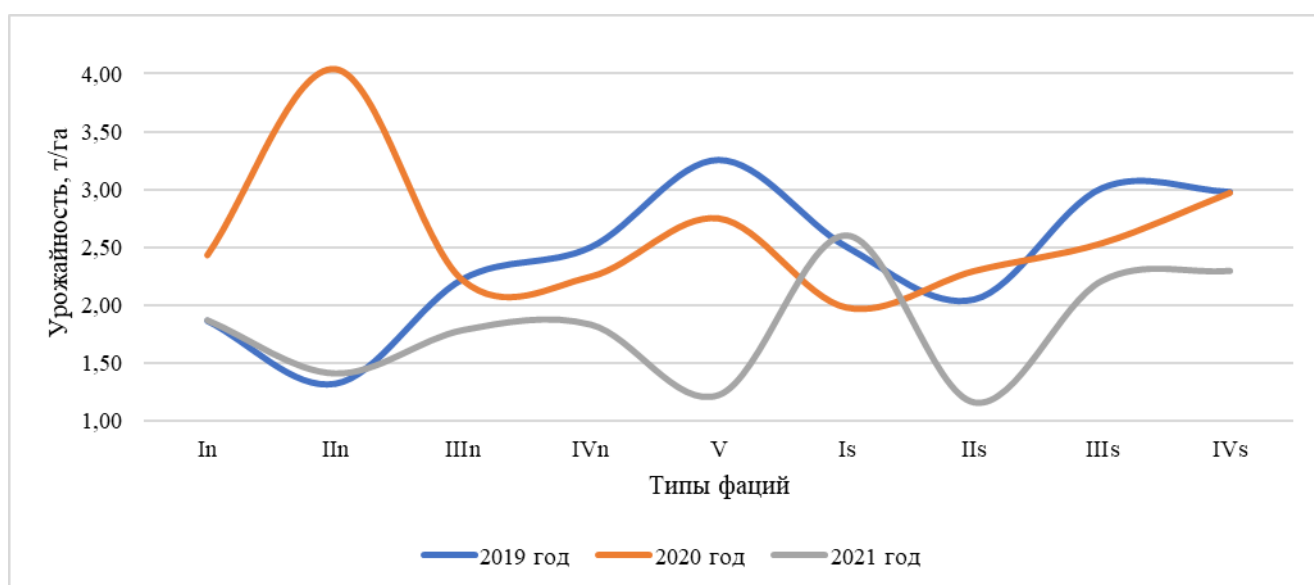


Рисунок 56 – Урожайность яровой мягкой пшеницы по типам фаций тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

В продуктивности Гусельской местности отметим тот же факт понижения урожайности на фациях ложбин (II) обеих экспозиций (0,99 т/га при средней урожайности по местности в 1,31 т/га), занимающих здесь, при более выраженном рельефе, 5% от площади землепользования. Впрочем, на этой местности, так же, как и на предыдущей, при засушливых условиях (ГТК=0,3) в фазу цветения (конец июня-начало июля) в 2019 году урожайность на фации IIIn оказалась максимальной (2,75 т/га при средней урожайности в 1,73 т/га). Отметим

практически одинаковую среднегодовую урожайность на фациях I, III, IV, занимающих 53,5% территории землепользования (1,31 т/га). Впрочем, анализируя отдельные годы, отметим, что, в отличие от тестового полигона №1, фации склонов южной экспозиции менее продуктивны (1,13 т/га), в отличие от типов фаций склона северной экспозиции (1,47 т/га), при средних значениях урожайности на фациях V (1,29 т/га). Исключением стал 2020 год, когда, вследствие довольно влажных условий в апреле-июне (ГТК=1,3) максимальная урожайность была зафиксирована на фациях V (1,85 т/га), тогда как на склонах южной и северной экспозиции она оказалась равной 1,68 т/га и 1,44 т/га соответственно (Рисунок 57).

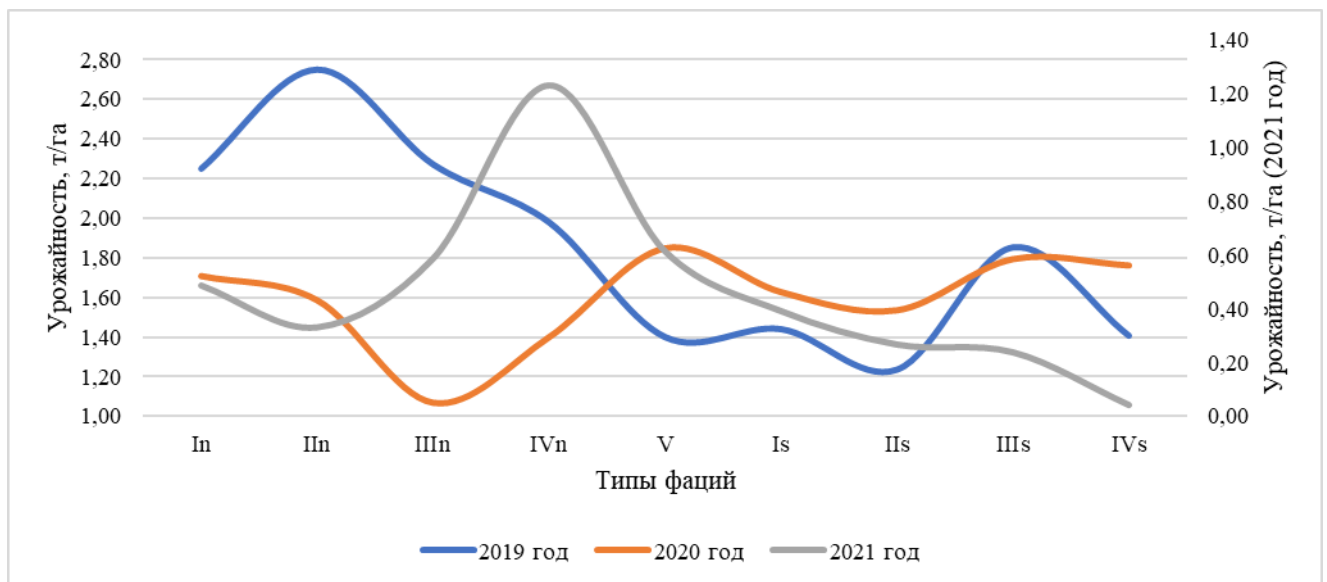


Рисунок 57 – Урожайность яровой мягкой пшеницы по типам фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

В среднегодовой продуктивности яровой мягкой пшеницы по Еруслано-Жидкосолянской местности были получены результаты, согласно которым фации склонов южной экспозиции были более продуктивными (1,15 т/га) тогда как на фациях склонов северной экспозиции среднегодовая урожайность оказалась равной 0,91 т/га при продуктивности водоразделов в 1,05 т/га. Лишь в 2021 году урожайность склонов была примерно равна (1,26 на южной экспозиции и 1,29 на северной экспозиции) при максимуме на типах фаций V (1,48 т/га). Стоит

отметить, что фации ложбин, занимающие здесь 4,8% территории землепользования, в отличие от предыдущих тестовых полигонов, оказались самыми продуктивными (1,21 т/га при средних значениях местности в 1,03 т/га). Их среднегодовые значения оказались даже выше водораздельных фаций (1,05 т/га). Отметим, что острозасушливые условия апреля-июня очень сильно отклоняют в большую сторону урожайность типов фаций II. Так, при ГТК=0,3 данного периода соотношение продуктивности средней по местности и фаций ложбин было 1:1,45, тогда как при ГТК=0,8 аналогичного периода 2020 года соотношение было равно уже 1:1,11. Влажная весна и начало лета 2021 года (ГТК=1) понизили данное соотношение до 1:1,06.

Среднегодовая урожайность типов фаций I, занимающих 30,1% территории, составила 1,01 т/га, тогда как продуктивность типов фаций III и IV, в совокупности занимающих 7,9% территории хозяйства составила 0,96 т/га и 0,93 т/га соответственно (Рисунок 58).

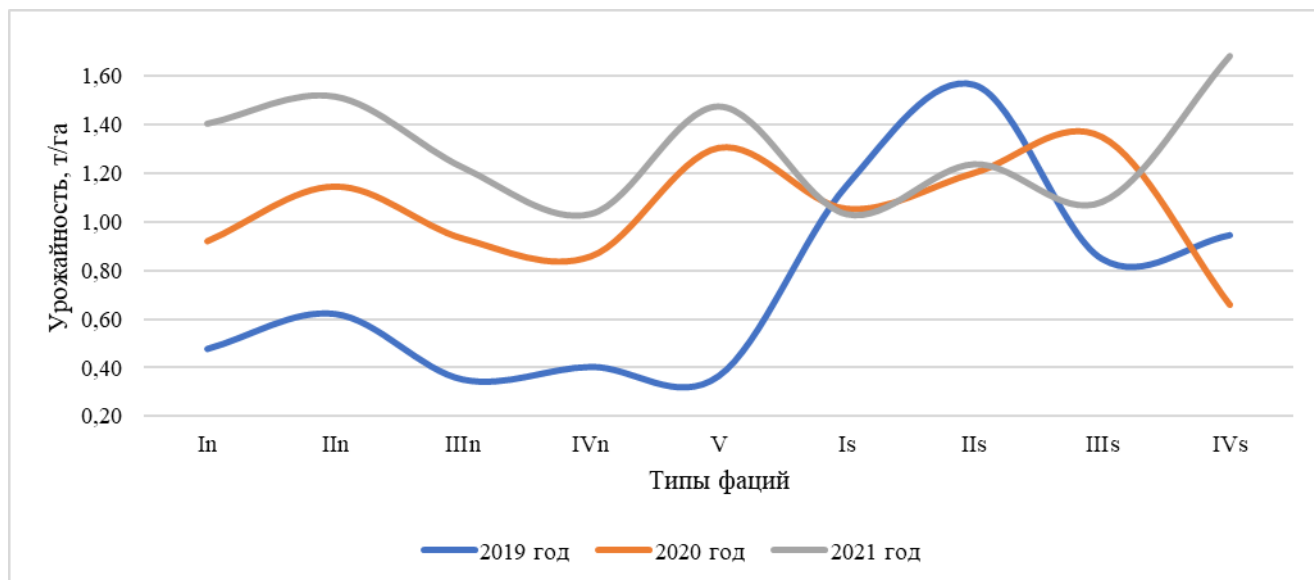


Рисунок 58 – Урожайность яровой мягкой пшеницы по типам фаций тестового полигона №9, 2019–2021 гг.

По результатам регрессионного анализа были получены уравнения линейной регрессии вида:

$$y=1,806048+0,236302*a+(-0,002936)*b+0,001160*c+(-0,151020)*d+(-0,003945)*e+0,035553*f+0,946666*g+(-0,008562)*h+(-0,234759)*i+(-0,543985)*j+(-0,000475)*k$$

($r=0,89$, $r^2= 0,67$) (т.п. №1);

$$y=5,306875+0,361640*a+(-0,005686)*b+(-0,000373)*c+(-0,037269)*d+0,02331*e+0,011192*f+0,817172*g+(0,011421)*h+(-0,067187)*i+(-0,168040)*j+(-0,002145)*k$$

($r=0,95$, $r^2= 0,81$) (т.п. №5);

$$y=2,954125+0,087136*a+(0,004705)*b+(-0,002838)*c+(-0,068567)*d+0,024037*e+0,779275*f+(-0,445746)*g+(-0,054699)*h+(-0,370296)*i+(2,890324)*j+(-0,000003)*k$$

($r=0,92$, $r^2= 0,76$) (т.п. №9),

где а – весеннее содержание нитратного азота;

b – весеннее содержание подвижной формы фосфора, мг/кг;

c – весеннее содержание подвижной формы калия, мг/кг;

d – весеннее содержание SO_4 , мг/кг;

e – гумус, %;

f – $pH_{\text{сол.}}$;

g – плотность сложения почвы, г/см³;

h – высота над уровнем моря, м;

i – уклон поверхности, град.;

j – кривизна поверхности, коэф.;

k – суммарное солнечное излучение, мДж/м².

Анализ уравнений линейной регрессии позволил сделать следующие выводы:

- совокупное влияние морфометрических параметров на продуктивность падает с возрастанием напряженности рельефа (так, значение этих параметров на т.п. №1, 9, которые характеризуются средними уклонами 0-1°, составляет 36,5% и 70% соответственно), тогда как на т.п. №5 со средней крутизной склонов 1-3° значение этих параметров снижается до 16,5%);

- одним из основных морфометрических параметров, прямо влияющий на накопление влаги в почвенном покрове, является кривизна поверхности, значение

которой с нарастанием континентальности только увеличивается (от 25% и 11% на т.п. №1, 5 до 61% на т.п. №9);

- плотность сложения черноземов обыкновенных т.п. №1 и черноземов южных т.п. №5 существенно влияет на продуктивность, составляя долю в 44% и 54% соответственно. На каштановых же почвах доля этого фактора снижается до 9%;

- совокупное влияние агрохимических параметров на продуктивность яровой пшеницы от повышения напряженности рельефа существенно возрастает. Так, составляя долю влияния на т.п. №1 и №9 20%, значение этих параметров на т.п. №5, который находится на Приволжской возвышенности, возрастает до 30%;

- основными агрохимическими параметрами, оказывающими воздействие на продуктивность яровой мягкой пшеницы, на всех тестовых полигонах являются $N-NO_3$ и SO_4 .

В результате проведения вариационного анализа выявлено, что ландшафтно-морфологический фактор оказывает существенное воздействие на продуктивность яровой мягкой пшеницы, изменяясь от $V_1=12,4\%$ на т.п. №1, $V_1=14,8\%$ на т.п. №5 до $V_1=16,4\%$ на т.п. №9. Пространственно-временная устойчивость фактора, напротив, с северо-запада на юго-восток уменьшается, изменяясь от $V_2=12,4\%$ на т.п. №1, $V_2=38,7\%$ на т.п. №5 до $V_2=41,6\%$ на т.п. №9 [105].

4.1.2 Качество яровой мягкой пшеницы Большеаркадакско-Грачевской, Грачевско-Ольшанской, Гусельской и Еруслано-Жидкосолянской местностей

Качество зерна яровой мягкой пшеницы, как известно, возрастает с уменьшением ГТК территории (в РФ, как правило, с северо-запада на юго-восток). На примере Саратовской области, занимающей обширную площадь от южной лесостепи Ртищевского до полупустынь Александрово-Гайского районов,

как нельзя лучше может проиллюстрировать данную закономерность. Так, яровая пшеница т.п. №1, находящегося в северной лесостепи, за годы исследований содержала клейковины и белка, соответственно, 23,8% и 12,2%, тогда как т.п. №5 (типичная степь) – 28,1% клейковины и 13,2% белка. Яровая пшеница т.п. №9 (сухая степь) содержала уже 29,6% клейковины и 13,3% белка.

По разным экспозициям склонов также были найдены существенные различия в качестве зерна яровой пшеницы. Так, на тестовом полигоне №1 выявлено, что склоны южной экспозиции содержали на 4,75% больше клейковины и на 1,5% больше белка, чем склоны северной экспозиции. Водораздельные типы фаций по качеству зерна были ближе к показателям склонов южной экспозиции.

Гусельская местность, обладая более выраженным рельефом и большими различиями в продуктивности на разных типах фаций, по качеству зерна оказалась более стабильной. Так, зерно яровой пшеницы со склонов южной экспозиции за годы наблюдений содержало 29,6% клейковины, тогда как со склонов северной экспозиции – 27,2%, а на водораздельных участках – только 25,7%. Аналогично и по содержанию белка в зерне разница между склонами южной и северной экспозиций составила лишь 0,4% (13,4% и 13%) при значениях на водораздельных типах фаций в 12,75%.

Вариация значений по клейковине и белку в зерне яровой мягкой пшеницы на Еруслано-Жидкосолянской местности оказалась самой значительной среди исследуемых территорий. Так, при значениях клейковины и белка на склонах южной экспозиции в 32,6% и 14,3%, аналогичные значения на склоне северной экспозиции составили 27% и 12,5% при значениях на водоразделах в 27,7% и 12,7%.

По типам фаций установлено, что с нарастанием континентальности и расчлененности рельефа значение прихода солнечной радиации для повышения качества зерновых падает. Так, для т.п. №1 отмечена очень высокая корреляция между качеством яровой мягкой пшеницы и суммарной солнечной радиацией ($r=0,77$), тогда как для Гусельской местности (т.п. №5) и Еруслано-

Жидкосолянской (т.п. №9) она была высокой и составила, соответственно, 0,63 и 0,70 (Рисунок 59).

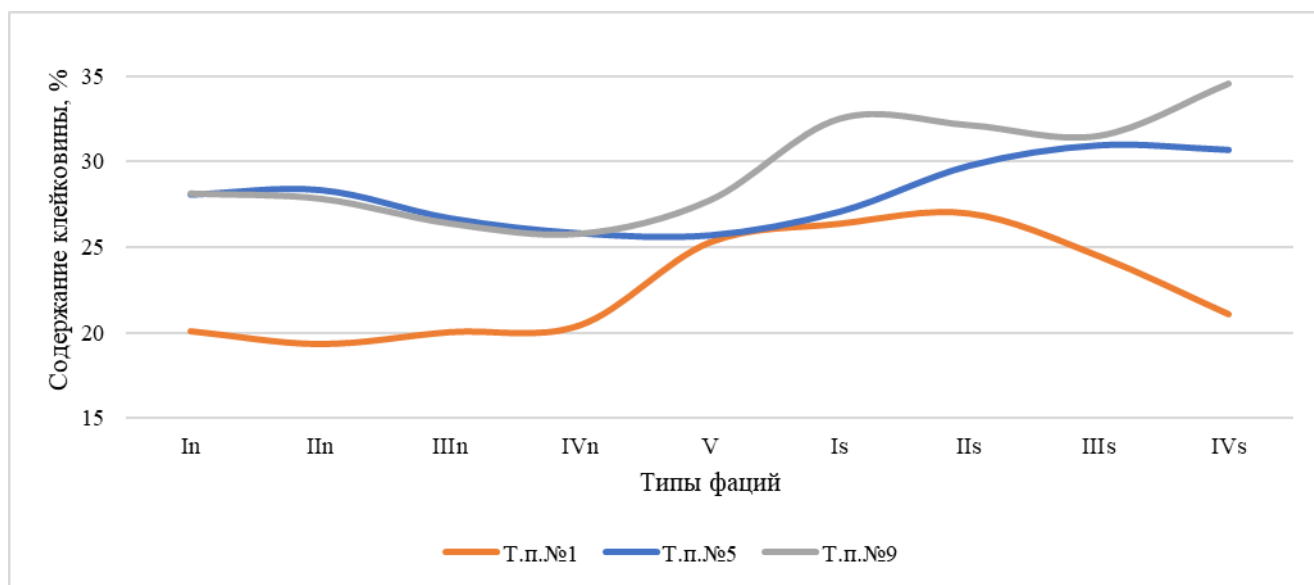


Рисунок 59 – Содержание клейковины в зерне яровой мягкой пшеницы по типам фаций тестовых полигонов, 2019–2021 гг.

По типам фаций объектов исследования выявлено, что на тестовом полигоне №1 происходит существенное снижение качества на фациях ложбин склонов северной экспозиции (21,6% клейковины и 11,4% белка при средних значениях местности в 23,8% и 12,2% соответственно). На т.п. № 5 и №9 различия данных фаций от остальной местности уже менее существенны. Напротив, фации ложбин склонов южной экспозиции т.п. №1 и №5 характеризовались максимальными или околорексимальными значениями клейковины и белка в культуре (27%/13,1% и 29,8%/13,2% соответственно). Лишь на т.п. №9 на фациях ложбин склона южной экспозиции происходило незначительное снижение качества зерна (27,8% клейковины и 12,5% белка при средних значениях на местности в 29,6% и 13,3% соответственно) (Рисунки 59, 60).

На т.п. №1 происходило ухудшение качества яровой мягкой пшеницы от фаций In к фациям II_n и затем улучшение качества к фациям III_n, IV_n, V, Is, II_s с последующим ухудшением на фациях III_s, IV_s. Напротив, на т.п. №5 и №9

происходило ухудшение качества от фаций In к фациям II_n, III_n, IV_n с последующим улучшением на фациях V, Is, II_s, III_s, IV_s (Рисунки 59, 60).

Таким образом, можно сделать вывод, что с нарастанием континентальности уменьшается реакция качества пшеницы на относительные изменения прихода суммарной солнечной радиации и влажности почвенного покрова, которые связаны прежде всего, с ландшафтно-морфологическими условиями территории. Пространственно-временная устойчивость влияния ландшафтно-морфологического фактора снижалась от т.п. №9 к т.п. №1 и т.п. №5 ($V_2=10\%$, $33,8\%$, $65,2\%$ соответственно).

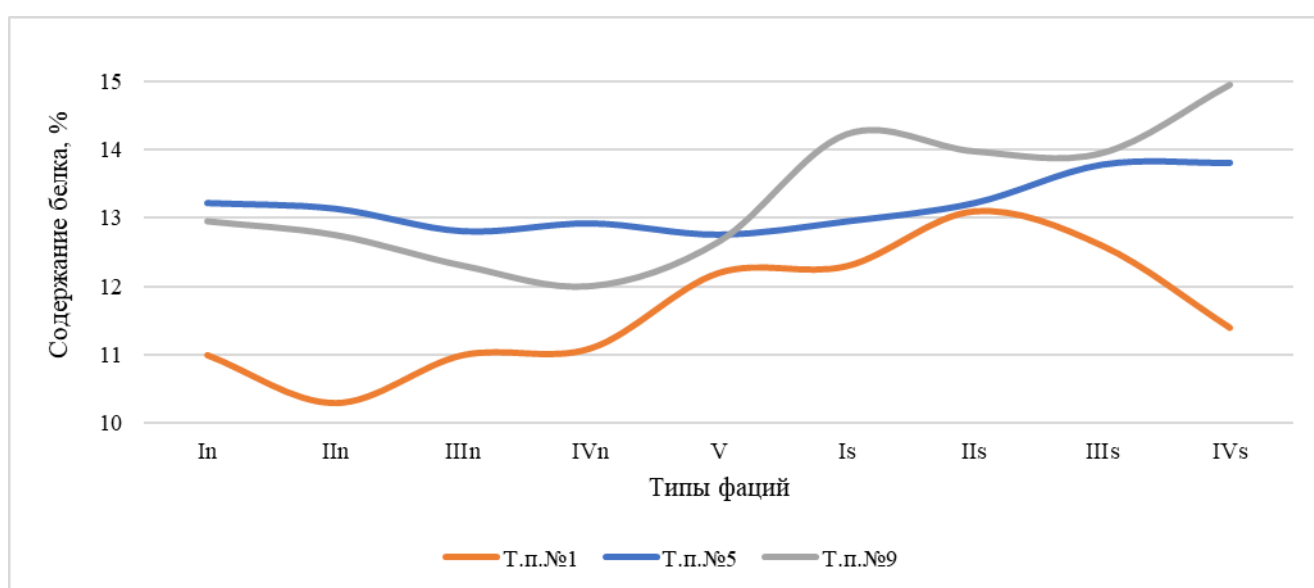


Рисунок 60 – Содержание белка в зерне яровой мягкой пшеницы по типам фаций тестовых полигонов, 2019–2021 гг.

4.2 Применение минеральных удобрений на ландшафтно-морфологической основе как фактор повышения продуктивности и качества яровой мягкой пшеницы

Применение минеральных удобрений на тестовом полигоне №1 в 2019–2021 гг. позволило увеличить урожайность на 0,4 т/га на участках с дозой N30, на 0,3

т/га на вариантах опыта с N60, а также на 0,5 т/га и 0,7 т/га на участках с дозой N90 и расчетной (NSx) (Таблица 2).

Таблица 2 – Урожайность яровой мягкой пшеницы по вариантам опыта на т.п. №1, т/га, 2019–2021 гг.

Годы (Фактор С)	Варианты опыта (Фактор В)									
	контроль		N30		N60		N90		NSx	
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
I (Фактор А)										
2019	1,9	2,5	2,6	3,1	2,0	2,5	2,3	2,8	2,5	3,2
2020	2,4	2,0	3,3	2,5	2,6	2,0	2,9	2,3	3,2	2,6
2021	1,9	2,6	2,0	3,4	1,7	2,7	1,8	3,0	2,1	3,3
II										
2019	1,3	2,0	1,4	2,1	1,6	2,5	2,0	3,1	1,8	2,8
2020	4,0	2,3	4,3	2,5	4,9	2,8	6,2	3,5	5,6	3,2
2021	1,4	1,2	1,5	1,2	1,7	1,4	2,1	1,7	1,9	1,6
III										
2019	2,2	3,0	2,8	3,8	2,3	3,4	2,4	3,1	2,6	3,7
2020	2,2	2,5	2,8	3,2	2,4	2,8	2,3	2,6	2,6	3,1
2021	1,8	2,2	2,3	2,8	1,9	2,4	1,9	2,3	2,1	2,7
IV										
2019	2,5	3,0	2,3	3,0	2,5	2,8	2,7	3,4	3,3	3,7
2020	2,2	3,0	2,1	2,7	2,3	3,1	2,5	3,3	2,9	4,0
2021	1,8	2,3	1,7	2,2	1,8	2,3	2,0	2,6	2,4	2,9
V										
2019	3,3		4,6		4,9		5,4		4,5	
2020	2,7		3,8		3,9		4,5		3,9	
2021	1,2		1,7		1,8		2,0		1,7	
	НСР ₀₅						F _{факт.}		F _{теор.}	
Варианты	1,546						2,618		1,39	
Фактор А	0,399						13,197		2,03	
Фактор В	-						1,675		2,46	
Фактор С	0,230						17,564		3,09	
АВ	0,893						1,598		1,53	
АС	0,691						2,817		1,85	
АВС	1,546						1,515		1,48	
V ₁	12,3		19,2		18,2		19,9		12,5	
V ₂	12,4		18,8		40,5		49,5		23,0	

* – фации северной экспозиции

** – фации южной экспозиции

Выявлено, что лучший отзыв по всем видам удобрений был на типах фаций V (+47,5%). Прибавку в 28,5% и 18% показали фации ложбин и склонов 0-1°

соответственно. Худший же отзыв по всем видам и дозам удобрений зафиксирован на фациях III и IV (+14,8% и +8% соответственно).

Типы фаций на склонах северной и южной экспозиций по-разному реагировали на дозы и виды удобрений. Так, типы фаций V, лучше других реагируя на удобрения в целом, максимальную прибавку показали на участках с N90 (+64,3%). На участках с N60 прибавка составила 46,3%, тогда как от N30 и NSx – 40,5% и 39% соответственно. Типы фаций II хорошо реагировали на аммиачную селитру в дозе N90 (+50,7%), хуже реагируя на NSx (+37,5%) и N60 (+21,1%) и практически не реагируя на N30 (+4,2%).

Типы фаций I, занимая 30,8% территории, лучше всего реагировали на N30 и NSx (+28,3% и +27,5%), хуже реагируя на более высокие дозы (+14,5% на N90 и +1,8% на N60).

Типы фаций III и IV, занимая, соответственно, 17% и 6,2% рассматриваемой территории, плохо реагировали на высокие дозы аммиачной селитры (+4,4% на N90 и +8,3% на N60). Напротив, на участках с сульфатом аммония (NSx) и N30 показывая максимальный прирост (+20,4% и +26,2% соответственно).

По качеству яровой мягкой пшеницы за годы проведения агрохимического опыта выявлено, что с повышением дозы аммиачной селитры с N30 до N90 происходило увеличение клейковины и белка в зерне с 23,8% клейковины/12,2% белка на контрольных вариантах к 24,6%/12,9% и 25,6%/13,3% на N30 и N60 соответственно. Максимальные значения данных показателей качества были зафиксированы на участках с N90 (26,6% клейковины и 13,7% белка). На участках с сульфатом аммония качество яровой пшеницы было на уровне участков с N60 (25,8% клейковины и 13,3% белка).

Установлено, что качество урожайности яровой пшеницы типов фаций разноориентированных склонов также было неоднородно. Так, качество на склонах южной экспозиции от применения удобрений было и изначально выше, и от применения удобрений повысилось больше (Рисунки 61, 62). При показателе клейковины и белка на контрольных участках в 24,8% и 12,3% соответственно, повышение на удобренных участках составило +1,1% как для клейковины, так и

для белка на N30, +1,7%/+1,4% на N60, +3,0%/+2,2% на N90 и +2,4%/+1,7% на NSx. Изменение аналогичных показателей на типах фаций склона северной экспозиции составило +0,3%/+0,6% на N30, +0,6/+0,7% на N60, +1,5%/0,9% на N90 и 0/+0,3% для NSx.

По разным типам фаций выявлено, что на водораздельных участках эффект от применения удобрений на качество оказался максимальным. Так, по показателю клейковины по вариантам опыта (N30-N60-N90-NSx) прирост относительно контроля составил +1,2% – +6,7% – +6,5% – +8,1% соответственно. По приросту белка типы фаций V также показали максимальный рост от применения удобрений, показав прирост относительно контроля в 0,2% на N30, в 1,8% на N60, в 1,9 на N90 и в 2,3% на NSx.

Остальные типы фаций показали меньший прирост в качестве от применения удобрений. Например, на фациях I прирост клейковины и белка по вариантам опыта относительно контроля составил +0,5% по клейковине/+0,55% по белку на N30, +0,7/+0,95% на N60, +2,8%/+1,85% на N90 и +1,2%/+1,45% на NSx. На типах фаций IV прирост качества зерновых от применения удобрений составил +2,9%/+1,85% от дозы N30, +2,9%/+1,75% от дозы N60, +3,8%/+2,05% от N90, +2,2%/+1,25% от NSx. На фациях пологих склонов прирост от применения удобрений составил +0,4%/+0,8% на N30, +0,9%/+1,1% на N60, +1,6%/+1,5% на N90, +1,1%/+1,0% на NSx. И, наконец, хуже всего реагировали на удобрения фации ложбин (II). На N30 прирост в качестве относительно контроля составил -0,7%/0% на N30, 0%/+0,3% на N60, +0,9%/+0,5% на N90 и -0,2%/+0,1% на NSx (Приложение 16; Рисунки 61, 62).

Таким образом, анализ по увеличению качества зерна яровой мягкой пшеницы от применения удобрений позволяет сделать вывод, согласно которому типы фаций, находящиеся на более возвышенных участках местности (типы фаций V, I, IV) имеют больший отзыв от применения удобрений, и, напротив, участки, находящиеся ниже по рельефу (типы фаций III, II), показывают меньший прирост в качестве от применения удобрений.

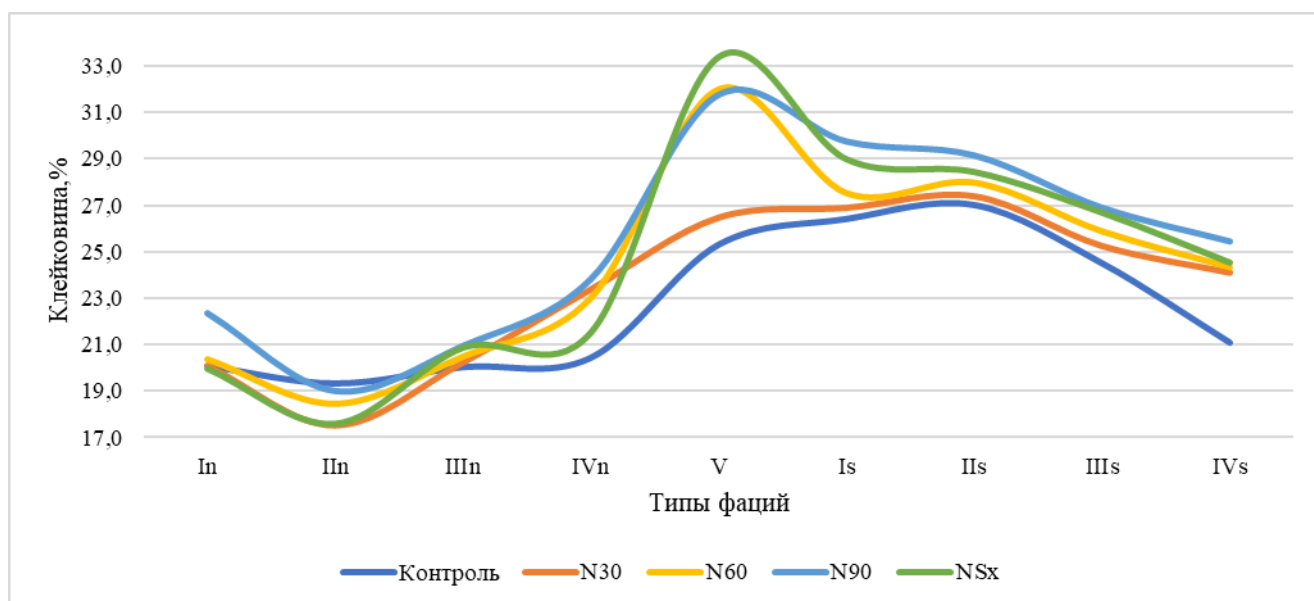


Рисунок 61 – Изменение содержания клейковины в зерне яровой мягкой пшеницы от применения минеральных удобрений по типам фазий тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

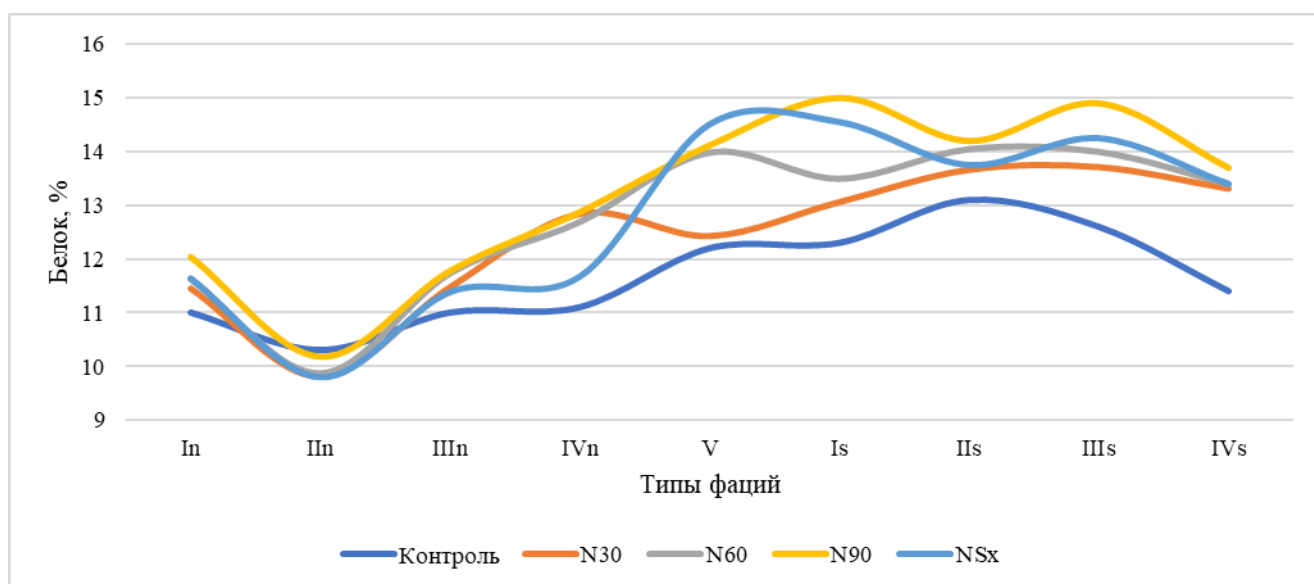


Рисунок 62 – Изменение содержания белка в зерне яровой мягкой пшеницы от применения минеральных удобрений по типам фазий тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

Минеральные удобрения, примененные на Гусельской местности в 2019–2021 гг. позволили в среднем по всем видам и дозам удобрений увеличить урожайность на 28%. Отзыв от удобрений при дозе аммиачной селитры в N90 и N60 составил, соответственно, +53% и +39%. Прибавка на участках с N30 и

дифференцированной дозой сульфата аммония (NSx) составила, соответственно, +9% и +10% яровой пшеницы (Таблица 3).

По склонам разноориентированных экспозиций было выявлено, что склоны южной экспозиции лучше реагировали практически на все виды и дозы удобрений (+58%), тогда как склоны северной экспозиции показали отзв в 1%. Так, разница между склонами (северной и южной экспозиций) по видам удобрений составила: для N30 – 80%, для N60 – 30%, для N90 – 87% и для NSx – 47%. Водораздельные участки (типы фаций V) по всем видам удобрений показали рост в 18%, лучше реагируя на повышенные дозы удобрений.

Модельные типы фаций по-разному реагировали на минеральные удобрения. Так, типы фаций IVn (10,8% территории) и IVs (2,8% территории) относительно средних значений по склонам северной и южной экспозиций были хуже на 30% и лучше на 80% соответственно. Типы фаций IIп (3,4%) и IIс (1,6%) также хуже других участков реагировали на удобрения. Так, отзв на фациях IIп был на 7% ниже аналогичных значений по склону, тогда как на фациях IIс отзв был хуже на 43%. Типы фаций пологих склонов (IIIп, 8% территории) по отзыву на все виды удобрений оказались в средних значениях по склону (+0,5% прибавки против +1% в среднем по склонам северной экспозиции). Максимальный же отзв (+38% относительно средних значений склона) на удобрения за годы исследования показали типы фаций In, занимающие 18,5% рассматриваемой территории. В то же время, фации Is, занимая 7% территории, показали прибавку на 47% хуже средней прибавки на склоне южной экспозиции, где максимальные значения были зафиксированы на фациях IVs, занимающих 6% территории землепользования (+84% относительно средних значений по склону).

Типы фаций также по-разному реагировали на дозы удобрений. Так, на N30 лучше других реагировали типы фаций IIIс, Is, IVs (+33%, +40% и +115% прибавки относительно контроля соответственно). Типы фаций In отреагировали несколько хуже (+4%). На остальных типах фаций не было в среднем за 3 года не зафиксировано прибавки от аммиачной селитры в дозе N30.

Таблица 3 – Урожайность яровой мягкой пшеницы по вариантам опыта на т.п.
№5, т/га, 2019–2021 гг.

Годы (Фактор С)	Варианты опыта (Фактор В)										
	контроль		N30		N60		N90		NSx		
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	
I (Фактор А)											
2019	2,3	1,4	2,2	1,9	3,7	1,0	3,2	2,0	2,8	1,3	
2020	1,7	1,6	1,8	2,2	2,9	1,1	2,5	2,2	2,2	1,4	
2021	0,5	0,4	0,7	0,7	1,0	0,4	0,9	0,7	0,8	0,5	
II											
2019	2,8	1,2	2,0	1,1	3,9	1,6	1,9	2,3	2,2	0,7	
2020	1,6	1,5	1,2	1,3	2,3	1,8	1,1	2,8	1,3	0,9	
2021	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,4	0,3	0,7	0,4	0,2	
III											
2019	2,3	1,9	1,6	2,3	2,7	3,2	2,7	3,3	1,5	2,6	
2020	1,1	1,8	0,8	2,5	1,3	3,4	1,3	3,5	0,7	2,7	
2021	0,6	0,2	0,6	0,4	0,9	0,5	0,9	0,5	0,5	0,4	
IV											
2019	2,0	1,4	1,1	3,6	1,3	3,7	1,6	1,9	1,2	3,1	
2020	1,4	1,8	0,8	3,4	0,9	4,5	1,1	2,4	0,9	4,6	
2021	1,2	0,1	1,0	0,2	1,0	0,2	1,2	0,1	0,9	0,2	
V											
2019	1,4		1,1		1,5		2,2		1,4		
2020	1,9		1,4		2,1		3,0		1,9		
2021	0,6		0,7		0,9		1,2		0,8		
	НСР ₀₅					F _{факт.}			F _{теор.}		
Варианты	2,345					3,123			1,39		
Фактор А	0,605					28,397			2,03		
Фактор В	0,451					3,264			2,46		
Фактор С	-					1,910			3,09		
АВ	1,354					1,953			1,63		
ВС	0,782					2,707			2,03		
АС	-					0,798			1,85		
АВС	-					1,210			1,48		
V ₁	14,8		35,3		39,2		25,1		45,0		
V ₂	38,7		53,0		58,2		40,3		62,3		

* – фации северной экспозиции

** – фации южной экспозиции

От дозы удобрений N60 наибольшие прибавки были зафиксированы на типах фаций IVs, IIIs, In (+153%, +81%, +71% соответственно). Меньший отзыв был зафиксирован на типах фаций Пn, Пs, Пn, V (+45%, +24%, +23%, +15%).

Наибольших прибавок от применения аммиачной селитры в дозе N90 нам удалось добиться на фациях IVs, IIIs, IIс, V (+160%, +89%, +91%, +66%), тогда как прибавка на In, Is, IIIп не превышала 40%.

Наконец, дифференцированная доза сульфата аммония и аммиачной селитры (NSx) не дала существенных прибавок на фациях ложбин обеих экспозиций, а также IIIп, IVп, Is. На типах фаций IVs, IIIs прибавка от NSx составила +138% и +46% соответственно, тогда как на In, V - +31% и +8% соответственно.

Таким образом, за годы проведения агрохимических опытов выявлено, что на большей части территории именно высокие дозы аммиачной селитры (N60, N90) приносили наибольшие прибавки в урожайности, тогда как дифференцированное внесение сульфата аммония и аммиачной селитры (NSx) приносило меньший прирост урожайности.

В результате проведения агрохимического опыта выявлено, что от возрастающей дозы аммиачной селитры происходило повышение качества зерна яровой пшеницы по показателям клейковины и белка. Так, на контрольных участках эти показатели равнялись 28,1% и 13,2% соответственно. На участках с N30 данные показатели относительно контроля повысились на 1,1% и 0,6%, на N60 – на 1,3%/1%, на N90 – на 2,4%/1,5%, и на NSx – на 1,3%/1,2%.

Склоны северной и южной экспозиций также оказали влияние на прибавку в качестве зерна от удобрений. Так, прибавка по клейковине и белку на N30 относительно контроля на склонах северной экспозиции составила +1,7%/0,7%, тогда как на склоне южной экспозиции аналогичная прибавка составила +0,8%/+0,8%. При внесении N60 прибавка по склонам составила +2,0%/+1,4% для склона северной экспозиции и +1,1%/+1,1% для склона южной экспозиции, для N90 – +3,7%/+2,2% и 2,2%/1,6%, для NSx – +2,2%/+1,5% и +1,3%/+1,5%. На фациях V от применения минеральных удобрений качество, напротив, заметно снизилось и по клейковине, и по белку, уменьшаясь на N30 – на 0,5% по клейковине и на 0,4% по белку, на N60 – на 1,1% и 0,4%, на N90 – на 2,3%/1,1% и на NSx – на 2,0% и 1,0% (Рисунки 63, 64).

Изменение качества зерна яровой мягкой пшеницы по типам фаций также было неодинаковым за годы исследований. Так, фации ложбин обеих экспозиций лучше остальных типов фаций реагировали на сульфат аммония (NSx), показав прибавку относительно N90 по белку в 0,4%, но оказавшись хуже по клейковине (-1,3% из-за высоких показателей клейковины на N90 фаций II_s). Стоит, отметить, что прирост в качестве зерна от сульфата аммония оказался максимальным и на фациях III_s (32,3% по клейковине и 15,6% по белку на при NSx и 31,9% и 15% при N90). При этом отметим, что на фациях III_n, напротив, участки яровой пшеницы с сульфатом аммония (27,8% клейковины и 13,2% белка) за годы исследований оказались по качеству хуже и участков с N30 (29,7%/14,4%), и с N60 (30,1%/14,7%), и с N90 (31,3%/15,3%). На фациях водоразделов второго порядка склона южной экспозиции стоит отметить, что яровая пшеница на участках с сульфатом аммония по показателю белка была на уровне с N30 (14,6%/14,5%), тогда как на аналогичных типах фаций склона северной экспозиции – уже, как и в целом на местности, на уровне с N60 (13,8% и 14,1%).

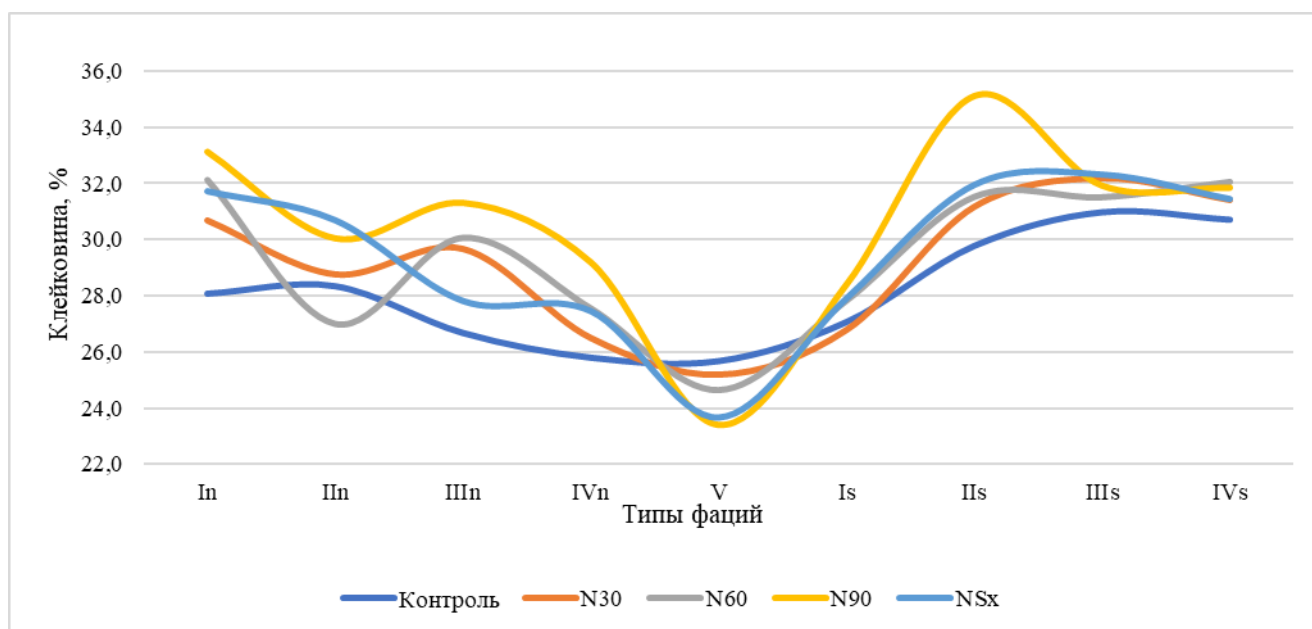


Рисунок 63 – Изменение содержания клейковины в зерне яровой мягкой пшеницы от применения минеральных удобрений по типам фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

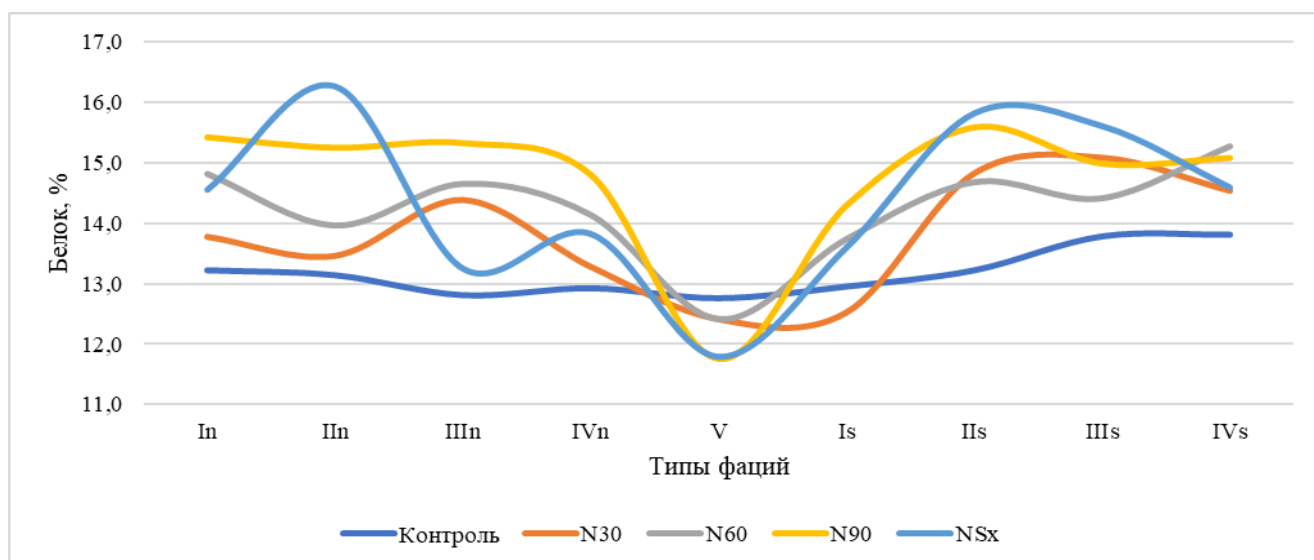


Рисунок 64 – Изменение содержания белка в зерне яровой мягкой пшеницы от применения минеральных удобрений по типам фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

Наиболее предсказуемым и равномерным оказалось изменение качества на типах фаций слабопологих склонов, где изменение качества яровой пшеницы происходило от +1,1% клейковины/+0,1% белка на N30 к +2,4%/1,2% на N60 и +2,2%/+1,0% при NSx до +2,9%/+1,7% на N90 (Приложение III; Рисунки 63, 64).

В результате проведенных агрохимических опытов в 2019–2021 гг. на Еруслано-Жидкосолянской местности выявлено, что от N30 существенного повышения урожайности не происходило, тогда как при возрастающих дозах N60 и N90 прирост составил 7% и 9% соответственно. Лучшее проявил себя сульфат аммония, прибавка от которого составила 12% в среднем по местности (Таблица 4).

На разнонаправленных склонах отзыв от удобрений существенно различался. Так, отзыв от N30 на склоне южной экспозиции составил +13,5%, тогда как на водораздельной части местности и склоне северной экспозиции не выявлено положительного влияния этой дозы на урожайность. На дозу N60 склоны южной экспозиции также были отзывчивее, показав прирост в 11%, тогда как водоразделы только 6%, а склоны северной экспозиции – только 3,1%. На участках с N90 отзыв на склонах южной экспозиции составил 12,1%, тогда как на

склонах северной экспозиции – только 8%, при отсутствии существенного влияния на фациях V. Наконец, при NSx на склонах северной экспозиции наблюдается прирост урожайности в 14%, тогда как на водоразделе и склонах южной экспозиции только 5% и 11,5% соответственно.

Таблица 4 – Урожайность яровой мягкой пшеницы по вариантам опыта на т.п. №9, т/га, 2019–2021 гг.

Годы (Фактор С)	Варианты опыта (Фактор В)									
	контроль		N30		N60		N90		NSx	
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
I (Фактор А)										
2019	0,5	1,1	0,4	1,2	0,4	1,4	0,5	1,5	0,6	1,7
2020	0,9	1,1	0,8	1,2	0,7	1,2	1,0	1,4	1,2	1,5
2021	1,4	1,0	1,3	1,0	1,1	1,1	1,5	1,3	1,8	1,3
II										
2019	0,3	1,6	0,1	2,2	0,3	1,7	0,2	1,9	0,3	1,9
2020	1,1	1,2	0,6	1,7	1,4	1,3	0,9	1,4	1,2	1,4
2021	1,5	1,2	0,8	1,7	1,8	1,3	1,2	1,4	1,6	1,4
III										
2019	0,4	0,8	0,3	1,0	0,4	1,2	0,5	1,0	0,3	0,9
2020	0,9	1,3	0,7	1,6	0,9	1,8	1,3	1,6	0,8	1,5
2021	1,2	1,1	0,9	1,3	1,2	1,4	1,5	1,3	0,9	1,1
IV										
2019	0,4	0,9	0,4	0,8	0,5	0,9	0,5	0,7	0,6	0,8
2020	0,9	0,7	0,8	0,6	1,0	0,6	1,0	0,5	1,2	0,5
2021	1,0	1,7	1,0	1,5	1,2	1,5	1,1	1,3	1,5	1,3
V										
2019	0,4		0,3		0,4		0,4		0,4	
2020	1,3		1,2		1,4		1,3		1,4	
2021	1,5		1,4		1,6		1,5		1,5	
	НСР ₀₅					F _{факт.}			F _{теор.}	
Варианты	0,546					5,207			1,39	
Фактор А	0,141					25,791			2,03	
Фактор В	-					0,951			2,46	
Фактор С	0,081					3,696			3,09	
АВ	0,315					4,994			1,63	
ВС	-					1,116			2,03	
АС	0,244					4,664			1,85	
АВС	0,546					3,701			1,48	
V ₁	16,4		41,3		24,1		25,2		25,1	
V ₂	41,6		40,5		37,5		60,5		45,2	

* – фации северной экспозиции

** – фации южной экспозиции

Типы фаций также существенно различались по реакции на минеральные удобрения. Не зафиксировано существенных прибавок на типе фаций IVs, который занимает 3,5% территории. Типы фаций II_n, занимая 2%, также, как и участки с IVs оказались невосприимчивы к N30, но на участках с N60 показали прирост урожайности в 20,3%. От внесения N90 на фациях III_n была получена прибавка в 31%, тогда как при NSx прибавка была несущественная. Наоборот, на фациях ложбин (II_n), прибавка от N90 оказалась менее существенной, в отличие от участков с N90 (+7%). Типы фаций I_n (14,5% территории) на участках с N30 и N60 не показали существенного прироста, тогда как при дозах N90 и NSx на этих фациях был прирост относительно контроля в 10% и 25% соответственно. Типы фаций IV_n, занимая 2,6% территории, также оказались не восприимчивы к N30, тогда как на участках с N60 и N90 прибавка составила +13%, а на NSx – +45%. На типах фаций III_s на участках с дозой N30 за годы исследований получена прибавка в 21%, на N60 – уже 32,5%, тогда как на N90 – те же +21%, как и на участках с N30. Расчетная доза NSx позволила получить прибавку в 8,5%. На фациях ложбин (II_s), занимающих 2,7% территории, за годы исследований выявлено, что прибавка от N30 составляет 41%, тогда как от N60 и N90, соответственно, +8,6% и 19%. При расчетной дозе сульфата аммония прибавка составила 16%.

Типы фаций I_s, занимающие 15,6% территории, показали лучший отзыв от удобрений. Здесь наблюдается равномерный прирост от применения минеральных удобрений. Так, прирост от N30 составил здесь 5%, от N60 – 14,5%, от N90 – 31% и, наконец, от NSx был получен прирост в 42,5%.

Таким образом, можно констатировать, что дифференцированное внесение сульфата аммония в комплексе с аммиачной селитрой на Еруслано-Жидкосолянской местности оказалось наиболее эффективно, позволив на 33% территории увеличить урожайность на 38%.

Еще более значительно оказалось влияние расчетной дозы сульфата аммония на качество яровой пшеницы. Так, в среднем по всем типам фаций

удалось увеличить содержание клейковины в зерне с 29,6% на контроле до 43,1% на удобренном участке. Прибавка белка составила +5% (Рисунки 65, 66) [104].

При внесении N30 прибавка клейковины и белка в зерне составила 11% и 3,9%. При дозе N60 и N90 прибавка клейковины составила 7,9% и 8,5%, а белка – 2,6 и 3% соответственно.

По склонам северной и южной экспозиции выявлено, что на склонах северной экспозиции отзыв по качеству от доз удобрений N30 и NSx выше, чем на склонах южной экспозиции, тогда как при дозах N60 и N90 ситуация прямо противоположная. Так, на участках с N30 на склоне северной экспозиции прибавка составила +12,9% по клейковине и +4,6% по белку, тогда как на склоне южной экспозиции – +9,3%/+3,2%. При дозе N60 прибавка относительно контроля составила +7,4%/+2,5% на склоне северной экспозиции и +7,9%/+2,6% на склоне южной экспозиции. При внесении N90 прибавка в качестве зерна составила +8,6/+2,9 и +9,4%/3,1%, тогда как при NSx – +14,1%/+5,1% и +13,3%/+5%. Повышение качества зерна от удобрений на водораздельном типе фаций (V) было выше, чем на склоне южной экспозиции, но ниже, чем на северной. Так, при N30 прибавка составила +10,7% по клейковине/+3,7% по белку, при N60 – +9,4%/+3,2%, при N90 – +8,4%/+2,8% и при NSx – +11,9%/+4,6%.

Установлено, что только на двух типах фаций (Is, IIIs), занимающих в совокупности 16,6% территории, повышенные дозы аммиачной селитры (N60 и N90) приводили к повышению качества, в сравнении с N30. На остальных же участках повышение дозы аммиачной селитры способствовало ухудшению качества зерна. На фациях Is зафиксирована и максимально качественная продукция. Так, распределение качества от контроля к минеральным удобрениям здесь изменялось от 32,5% клейковины и 14,2% белка на контроле к 43,6%/17,6% и 46,4%/18,7% на N30 и N60 соответственно до 48,6%/20,1% на N90. Сравнимое качество с N90 на этом типе фаций было зафиксировано на участках с NSx, где клейковина была на уровне 48,7%, а белок – на уровне 20,0%. Хуже всего был отзыв на фациях ложбин южной экспозиции. Так, на фациях IIс прирост по

клейковине и белку на участках с N60 (+3,8%/+1,3%), N90(-0,6%/-0,1%), NSx(+11%/+4,7) был минимальным среди всех типов фаций местности. Тем не менее, прирост качества от N30 по клейковине был на уровне средних значений по местности (+10,5%), а по белку – даже выше среднего (+4,2%) (Рисунки 65, 66).

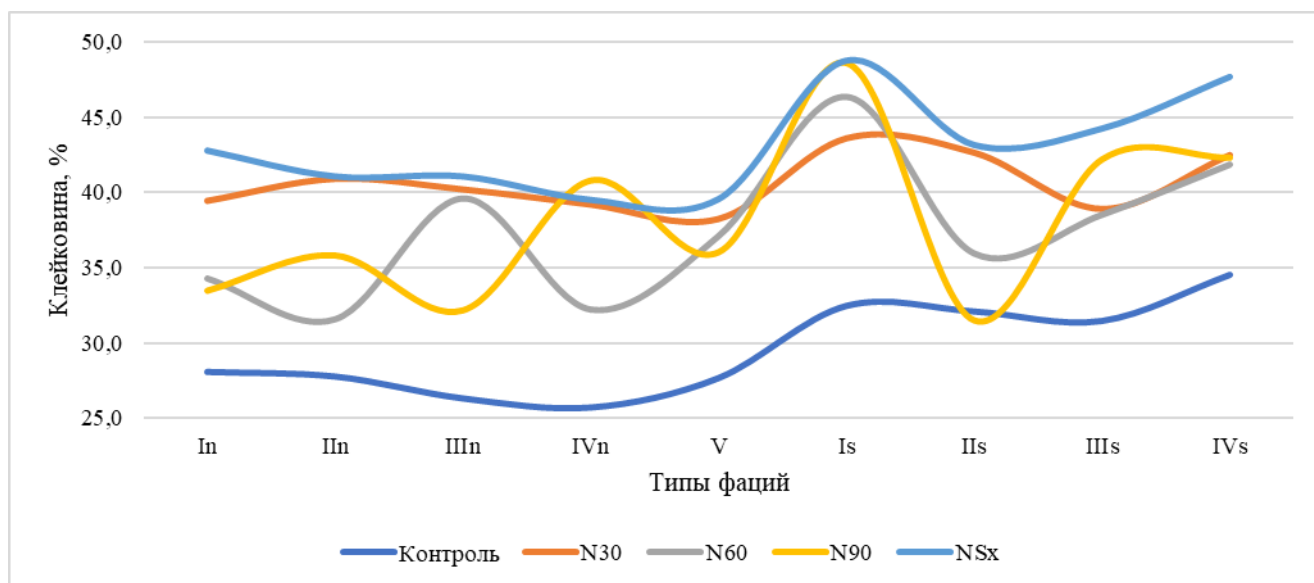


Рисунок 65 – Изменение содержания клейковины в зерне яровой мягкой пшеницы от применения минеральных удобрений по типам фаций тестового полигона №9, 2019–2021 гг.

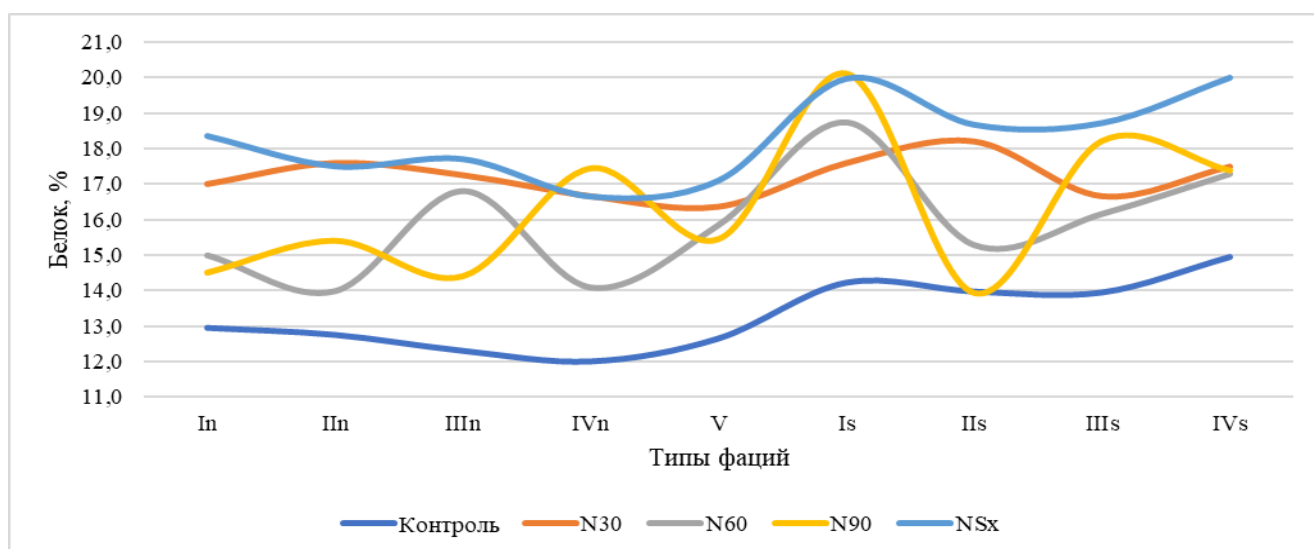


Рисунок 66 – Изменение содержания белка в зерне яровой мягкой пшеницы от применения минеральных удобрений по типам фаций тестового полигона №9, 2019–2021 гг.

На фациях водоразделов 3-ого порядка прирост качества от N90 был существенно выше, чем от NSx (+15% по клейковине/+5,5% по белку на N90 и +13,7%/4,7%), что нарушает закономерность, согласно которой участки с NSx дают максимальный прирост качества на данной местности (Приложение III; Рисунки 65, 66).

Таким образом, анализ распределения качества яровой пшеницы по типам фаций Еруслано-Жидкосолянской местности позволяет сделать вывод, что повышенные дозы удобрений (N60, N90) не приносят ощутимого эффекта в качестве (за исключением фаций III_n, IV_n). Напротив, на большей части территории землепользования именно дозы N30 и NSx приносили ощутимые прибавки в качестве зерна.

Значимость и пространственно-временная устойчивость влияния ландшафтно-морфологического фактора на продуктивность под действием минеральных удобрений. Установлено, что от применения минеральных удобрений роль ландшафтно-морфологического фактора в распределении продуктивности только возрастала в сравнении с контролем на 5%, 21% и 12% соответственно порядковым номерам тестовых полигонов. Устойчивость рассматриваемого фактора по сравнению с контрольными вариантами по продуктивности значительно снижалась, достигая значений $V_2=33\%$, $V_2=53\%$ и $V_2=46\%$ на т.п. №1, 5, 9 соответственно, притом значение V_2 было тем ниже, чем большая доза вносилась.

Для показателя качества зерна выявлено, что применение удобрений повышало значимость (V_1) ландшафтно-морфологического фактора с 10% до 14% на т.п. №1, с 7% до 10% на т.п. №5 и понижало с 10,4% до 10% на т.п. №9. Устойчивость ландшафтно-морфологического фактора (V_2) в распределении качества зерна от применения минеральных удобрений снижалась на т.п. №1 на 1,6%, повышаясь на т.п. №5 с 66% до 50% (что ниже порогового уровня устойчивости) и практически не изменяясь на т.п. №9.

Таким образом, установлены существенные различия в продуктивности и качестве яровой мягкой пшеницы типов фаций объектов исследования, которые

увеличиваются с северо-запада области на юго-восток. Пространственно-временная устойчивость ландшафтно-морфологического фактора в продуктивности яровой мягкой пшеницы объектов исследования, напротив, с северо-запада на юго-восток существенно снижается. Также с нарастанием континентальности уменьшается реакция качества пшеницы на относительные изменения прихода суммарной солнечной радиации и влажности почвенного покрова, которые связаны с ландшафтными условиями территории, пространственно-временная устойчивость влияния ландшафтно-морфологического фактора же снижалась от т.п. №9 к т.п. №1 и т.п. №5 ($V_2=10\%$, $33,8\%$, $65,9\%$ соответственно).

Проведенный агрохимический опыт подтвердил ранее сделанные выводы о пространственно-временной устойчивости ландшафтно-морфологического фактора по отношению к почвенным свойствам модельных типов фаций. Так, на т.п. №1 и №9, где была доказана пространственно-временная устойчивость ландшафтно-морфологического фактора в содержании нитратного азота и подвижной формы серы перед посевом, наибольший прирост продуктивности был зафиксирован от дифференцированной дозы сульфата аммония и аммиачной селитры, которая опирается на предварительный анализ $N-NO_3$ и SO_4 в слое почвы 0-30 см. Напротив, на т.п. №5, где пространственно-временная устойчивость фактора в содержании нитратного азота и подвижной серы ниже порогового уровня (т.е. не доказана), эффективность прибавки от дифференцированной дозы значительно ниже, чем от высоких доз аммиачной селитры N60 и N90.

Применение минеральных удобрений повышало значимость ландшафтно-морфологического фактора для продуктивности и качества зерна, но понижало его устойчивость практически на всех объектах исследования.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УДОБРЕНИЙ ПО ТИПАМ ФАЦИЙ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одними из основных показателей успешности предприятия являются доходы от реализованной продукции, расходы на получение этой продукции, а также себестоимость и рентабельность (Приложение Э, Ю, Я).

Расходная часть сельскохозяйственного производства включает в себя такие показатели, как незавершенное производство, амортизацию, фонд оплаты труда, ГСМ, затраты вспомогательных производств, затраты общепроизводственных расходов, общехозяйственные расходы, внепроизводственные расходы, а также, самое основное, затраты на семена, ядохимикаты для защиты растений, минеральные удобрения. Из вышеназванных доходных и расходных частей по общепринятым формулам получают показатели чистого дохода, себестоимости продукции, её рентабельности [122].

По результатам проведенных исследований выявлено, что рентабельность выращивания яровой мягкой пшеницы в Саратовской области изменяется от 18,5% на т.п. №1, до 3% и 0,4% на т.п. №5 и №9 соответственно, изменяясь по склонам разных экспозиций (Таблицы 5–7).

Таблица 5 – Показатель рентабельности применения удобрений по типам фаций
т.п. №1, 2019–2021 гг.

Типы фаций	Вариант опыта					Среднее по вариантам с минеральными удобрениями	% от общей площади т.п.
	К	N30	N60	N90	NSx		
In	6,9	33,3	1,6	10,6	23,8	17,3	23,8
Пn	17,3	20,2	32,8	59,6	49,9	40,6	2,8
III n	7,9	31,6	6,8	1,7	15,5	13,9	14,3
IV n	14,1	1,3	5,2	12,1	38,8	14,4	5,3
V	25,3	70,1	70,7	77,9	63,5	70,5	3,6
Is	22,8	51,3	16,3	26,6	50,2	36,1	7,0
II s	-4,6	-4,7	7,4	30,5	26,3	14,9	0,5
III s	34,5	63,4	38,4	25,9	52,4	45,0	2,7
IV s	42,8	30,6	33,4	43,3	64,9	43,1	0,8
Среднее	18,5	33,0	23,6	32,0	42,8	32,9	∑ - 60,8
Среднее ССЭ	11,5	21,6	11,6	21,0	32,0	21,6	∑ - 46,2
Среднее СЮЭ	23,9	35,2	23,9	31,6	48,4	34,8	∑ - 11,0

Таблица 6 – Показатель рентабельности применения удобрений по типам фаций
т.п. №5, 2019–2021 гг.

Типы фаций	Вариант опыта					Среднее по вариантам с минеральными удобрениями	% от общей площади т.п.
	К	N30	N60	N90	NSx		
In	17,0	17,6	84,0	54,0	38,7	48,6	18,5
IIн	22,8	-10,1	64,3	-22,8	-11,7	4,9	3,4
IIIн	3,4	-23,2	17,2	16,8	-34,0	-5,8	8,1
IVн	21,4	-28,3	-24,9	-8,4	-32,0	-23,4	10,8
V	1,7	-19,8	8,2	50,1	-0,2	9,6	3,9
Is	-8,9	22,1	-38,5	13,9	-22,0	-6,1	7,5
IIс	-20,0	-30,2	-8,3	35,9	-54,8	-14,4	1,6
IIIс	2,2	30,8	70,5	71,3	33,3	51,5	5,9
IVс	-12,7	80,7	94,9	4,1	92,4	68,0	2,8
Среднее	3,0	4,4	29,7	23,9	1,1	14,8	$\Sigma - 62,5$
Среднее ССЭ	16,2	-11,0	35,1	9,9	-9,8	6,1	$\Sigma - 40,8$
Среднее СЮЭ	-9,8	25,8	29,6	31,3	12,2	24,8	$\Sigma - 17,8$

Таблица 7 – Показатель рентабельности применения удобрений по типам фаций
т.п. №9, 2019–2021 гг.

Типы фаций	Вариант опыта					Среднее по вариантам с минеральными удобрениями	% от общей площади т.п.
	К	N30	N60	N90	NSx		
In	-7,8	-20,6	-33,9	-10,0	5,6	-14,7	14,5
IIн	-3,9	-50,4	6,9	-33,1	-7,0	-20,9	2,1
IIIн	-17,7	-40,0	-24,3	-5,2	-41,4	-27,7	0,8
IVн	-24,5	-30,6	-21,0	-24,4	-1,8	-19,4	2,6
V	3,4	-8,2	1,4	-7,4	-7,2	-5,4	2,1
Is	6,4	7,0	12,6	23,9	33,9	19,4	15,6
IIс	31,7	78,1	32,2	39,1	35,4	46,2	2,7
IIIс	7,8	25,0	31,5	15,6	-1,4	17,7	1,0
IVс	8,2	-9,4	-12,7	-25,0	-22,0	-17,3	3,5
Среднее	0,4	-5,5	-0,8	-3,0	-0,6	-2,5	$\Sigma - 44,9$
Среднее ССЭ	-13,5	-35,4	-18,1	-18,2	-11,1	-20,7	$\Sigma - 20$
Среднее СЮЭ	13,5	25,2	15,9	13,4	11,5	16,5	$\Sigma - 22,8$

Так, установлено, что на Окско-Донской равнине (т.п. №1) и Низкой Сыртовой равнине (т.п. №9) рентабельность выращивания яровой мягкой пшеницы на склонах южной экспозиции выше, чем на склонах северной экспозиции на, соответственно, 12,4% и 27%. На Приволжской возвышенности, наоборот, рентабельность на ССЭ выше, чем на СЮЭ на 26%. На т.п. №5 и №9 выращивание яровой мягкой пшеницы на СЮЭ и ССЭ соответственно, убыточно.

Плакорные (водораздельные) части всех объектов исследования рентабельны, с изменением показателей от 25,3% на т.п. №1 к 1,7% и 3,4% на т.п. №5 и т.п. №9.

Применение всех видов и доз удобрений на т.п. №1 увеличило рентабельность производства в среднем с 18,5% до 32,9% на всем исследуемом массиве (на ССЭ – с 11,5% до 21,6%, на СЮЭ – с 23,9% до 34,8%).

На т.п. №5 рентабельность всей местности от применения минеральных удобрений изменилась с 3,0% до 14,8%, уменьшившись на ССЭ с 16,2% до 6,1% и увеличившись с убыточности на контроле СЮЭ до 24,8% на удобренных участках. На тестовом полигоне №9, который расположен в зоне засушливой степи, применение удобрений в целом оказалось нерентабельным (убыток -2,5 %). Тем не менее, на склоне южной экспозиции применение удобрений повысило рентабельность на 3% (с 13,5% до 16,5%).

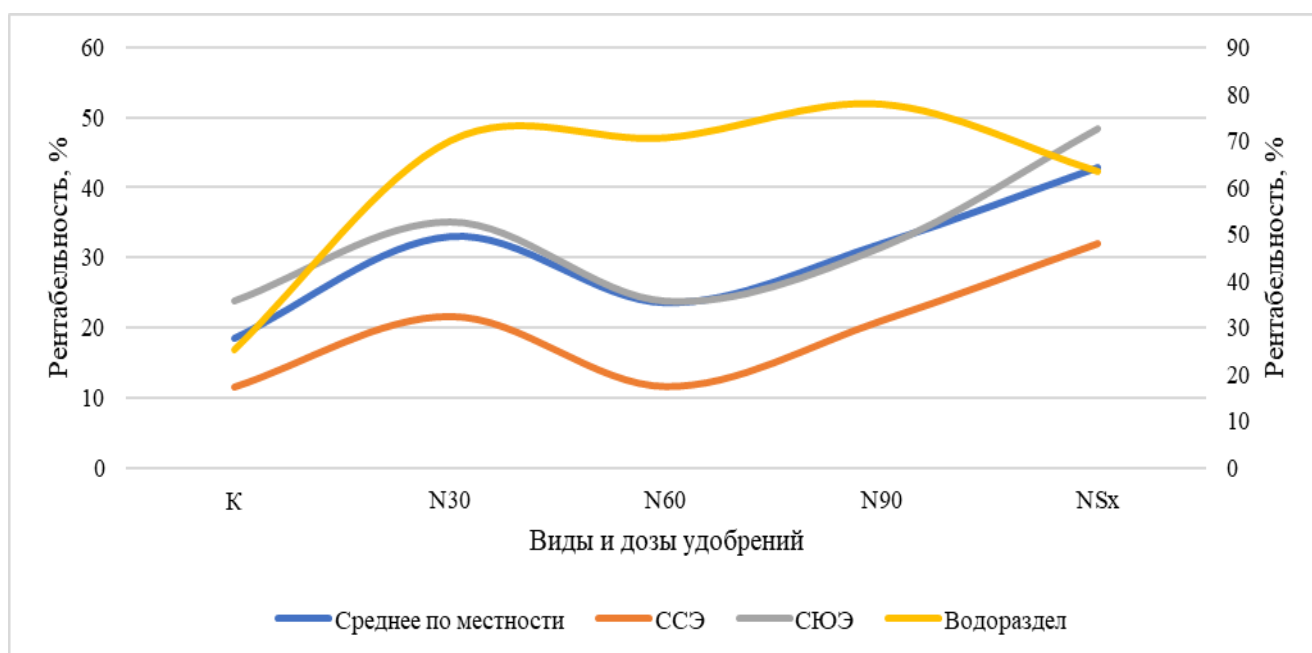


Рисунок 67 – Рентабельность применения минеральных удобрений на уровне местностей и типов урочищ тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

Индивидуализируя минеральные удобрения по видам и дозам, можно сделать вывод, что на тестовом полигоне №1 наиболее рентабельно применение дифференцированных доз сульфата аммония и аммиачной селитры (42,8% в среднем по местности) (Рисунок 67), тогда как на СЮЭ т.п. №9 наиболее

рентабельно применение аммиачной селитры в дозировке N30 (25,2%) (Рисунок 69). На т.п. №5, расположенном на Приволжской возвышенности, наиболее рентабельным на всех типах урочищ (склоны разных экспозиций, водораздельные части), оказались высокие дозы аммиачной селитры (N60 и N90), рентабельность на которых в среднем по местности оказалась равной 29,7% и 23,9% соответственно (Рисунок 68).

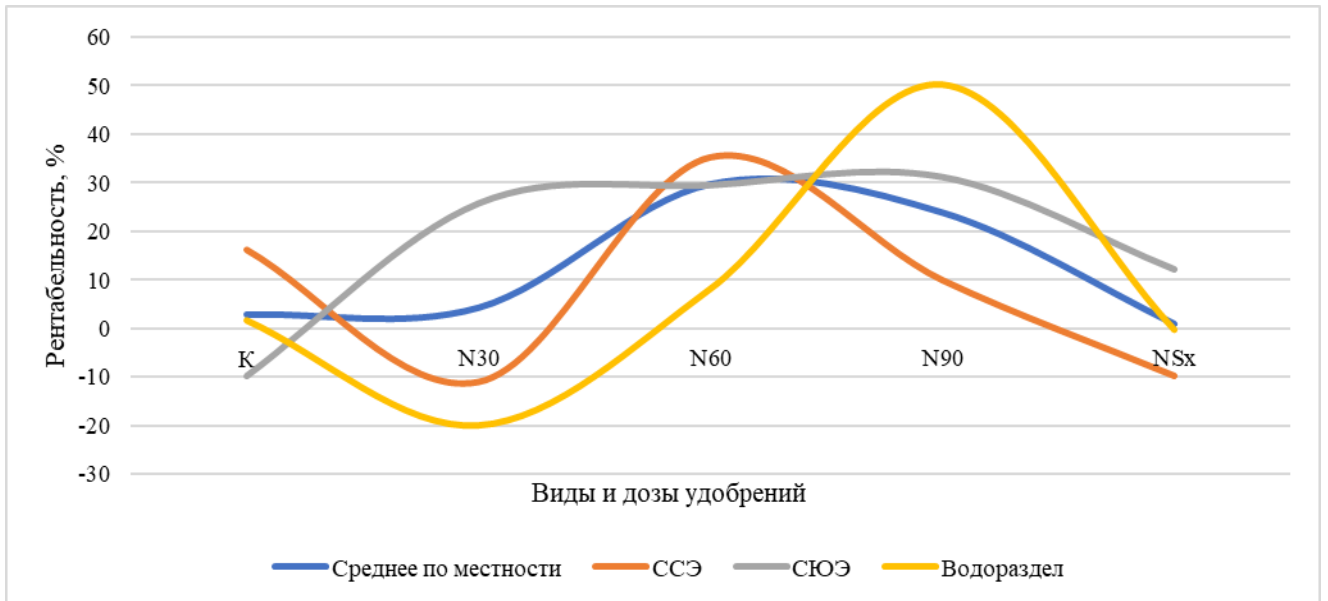


Рисунок 68 – Рентабельность применения минеральных удобрений на уровне местностей и типов урочищ тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

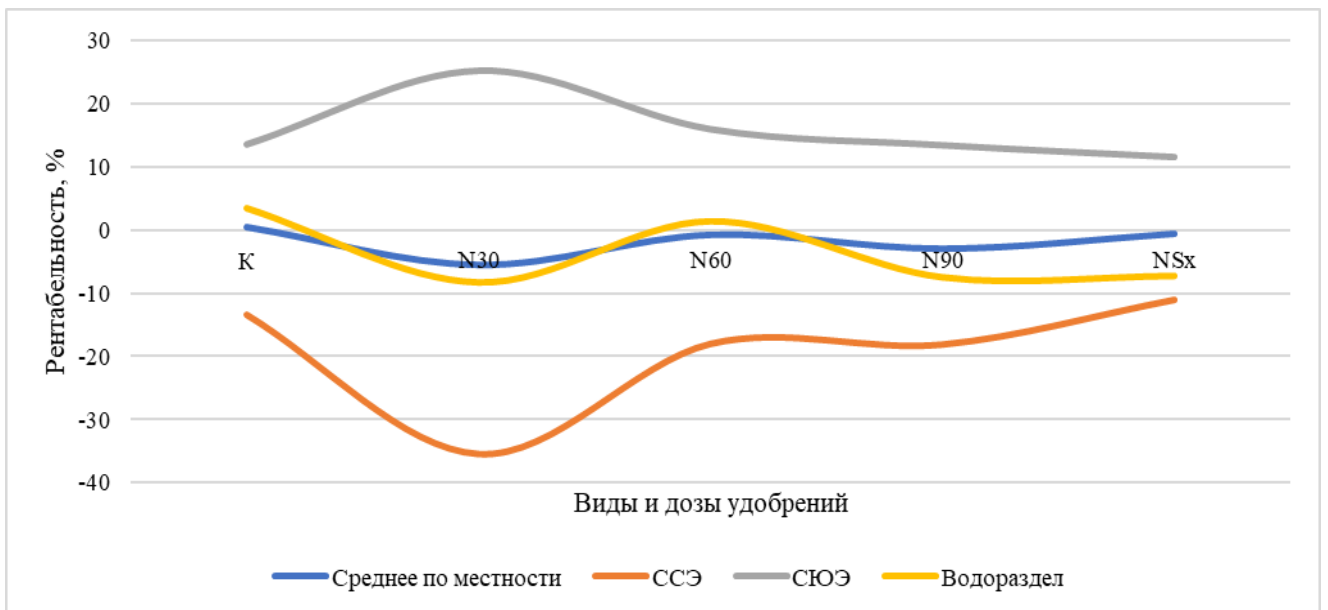


Рисунок 69 – Рентабельность применения минеральных удобрений на уровне местностей и типов урочищ тестового полигона №9, 2019–2021 гг.

Таким образом, анализируя уровень ландшафтных зон, ландшафтов, местностей и урочищ можно сделать вывод, что рентабельность производства яровой мягкой пшеницы в Саратовской области уменьшается с северо-запада на юго-восток (к сходным результатам для ЦЧЗ пришли авторы Н.В. Долгополова, И.Я. Пигорев) [41]. При этом на более выравненных и менее расчлененных Окско-Донской и Низкой Сыртовой равнинах рентабельность на СЮЭ выше, чем на ССЭ, а на более расчлененной и крутосклоновой Приволжской возвышенности производство более рентабельно на склонах северной экспозиции.

Применение удобрений по тестовым полигонам увеличило рентабельность производства по склонам обеих экспозиций на т.п. №1, и по СЮЭ т.п. №5, №9.

Анализ отдельных видов и доз удобрений позволил сделать вывод, что на т.п. №1 и №9 наиболее рентабельным оказалось применение дифференцированной дозы сульфата аммония и аммиачной селитры (NSx) и аммиачной селитры в дозе N30, тогда как на т.п. №5 рентабельнее вносить высокие дозы аммиачной селитры (N60 и N90).

Рентабельность производства на уровне типов фаций объектов исследования также имеет существенные различия в рамках рассматриваемых местностей и типов урочищ. Так, на доминантных типах фаций территории т.п. №1, занимающих 47,8% территории, наиболее рентабельным является внесение аммиачной селитры в дозе N30 на ССЭ (In, III_n) и дифференцированных доз сульфата аммония и аммиачной селитры на СЮЭ (Is, III_s), тогда как на остальной рассматриваемой территории, занимающей в структуре землепользования 13%, более рентабельным является внесение высоких доз аммиачной селитры (N90) и дифференцированных удобрений (NSx).

На т.п. №5 на доминантных типах фаций (I, III_s), занимающих 40% территории землепользования, рентабельнее внесение высоких доз аммиачной селитры, притом на ССЭ (In, III_n), почвы которых в целом более обеспечены питательными элементами, рентабельность дозы N60 выше, чем N90, тогда как на Is, III_s – ниже. На остальной же части территории, занимаемой ложбинными и

водораздельными комплексами разных порядков, рентабельность дозы удобрений N60 оказалась на 15% выше, чем N90.

Рентабельным оказалось внесение удобрений на большей части обрабатываемой территории т.п. №9 (30% от площади всего землепользования), где рентабельность дифференцированной дозы сульфата аммония и аммиачной селитры на типах фаций In, Is составила 19,8%. На типах фаций II рентабельнее вносить дозу N60 (19,5%). Та же самая доза оказалась рентабельной и на IIIs (31,5%).

Итак, на большей части обрабатываемых территорий т.п. №1 и №9 оказалось рентабельным внесение дифференцированной дозы сульфата аммония и аммиачной селитры, тогда как на основных массивах т.п. №5 более рентабельным является внесение повышенных доз аммиачной селитры. Ложбинные и водораздельные комплексы т.п. №5 и №9 рентабельнее удобрять аммиачной селитрой в дозе N60, тогда как аналогичные типы фаций т.п. №1 – аммиачной селитрой в дозе N90 и сульфатом аммония и аммиачной селитрой в расчетной дозе (NSx).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате трехлетних наблюдений за типами фаций модельных местностей получены следующие результаты:

- ландшафтно-морфологический фактор существенно влияет на агрохимические и агрофизические параметры почвенного покрова рассматриваемых тестовых полигонов с установленной математической значимостью и пространственно-временной устойчивостью фактора для содержания в почвах типов фаций т.п. №1 нитратного азота, подвижных форм фосфора, серы и плотности сложения. Для т.п. №5 доказана устойчивость подвижной формы фосфора и плотности сложения, а для т.п. №9 – нитратного азота, подвижных форм калия, фосфора, серы;

- не оказал математически значимого эффекта рассматриваемый фактор на кислотность и органическое вещество почвы всех объектов исследования;

- пространственно-временная устойчивость основных агрохимических и агрофизических параметров в почвах типов фаций имеет тенденцию к снижению с нарастанием континентальности и напряженности рельефа. Так, если средняя арифметическая устойчивость на т.п. №1 составляет 16,5%, то на т.п. №5 она уже 33,5%, а на т.п. №9 – 31,6%;

- среди рассмотренных агрохимических параметров, наибольшее воздействие на продуктивность яровой мягкой пшеницы на всех тестовых полигонах оказали N-NO₃ и подвижная сера;

- совокупное влияние агрохимических параметров на продуктивность яровой пшеницы от повышения напряженности рельефа существенно возрастает. Так, составляя долю влияния на т.п. №1 и №9 20%, значение этих параметров на т.п. №5, возрастает до 30%;

- плотность сложения черноземов обыкновенных (т.п. №1) и черноземов южных (т.п. №5) существенно влияет на продуктивность, составляя долю в 44% и 54% соответственно. На каштановых же почвах доля этого фактора снижается до 9%;

- ландшафтно-морфологический каркас территорий тестовых полигонов существенно влияет на показатель урожайности, повышая значимость фактора с северо-запада на юго-восток ($V_1=12,5\%$, $V_1=14,8\%$ и $V_1=16,4\%$ соответственно на т.п. №1, №5, №9). Напротив, пространственно-временная устойчивость продуктивности с северо-запада на юго-восток существенно снижалась ($V_2=12,5\%$, $V_2=38,7\%$, $V_2=41,6\%$ соответственно);

- совокупное влияние морфометрических параметров на продуктивность по уравнению линейной регрессии падает с возрастанием напряженности рельефа. Так, значение этих параметров на т.п. №1, 9, которые характеризуются средними уклонами $0-1^\circ$, составляет $36,5\%$ и 70% соответственно, тогда как на т.п. №5 (со средней крутизной склонов $1-3^\circ$) значение этих параметров снижается до $16,5\%$;

- одним из основных морфометрических параметров, прямо влияющих на накопление влаги в почвенном покрове, является кривизна поверхности, значение которой с нарастанием континентальности только увеличивается (от 25% и 11% на т.п. №1 и №5 до 61% на т.п. №9);

- пространственно-временная устойчивость влияния рассматриваемого фактора на качество зерна яровой пшеницы существенно снижалась от каштановых к черноземным почвам;

- на т.п. №1 и №9, где была доказана пространственно-временная устойчивость ландшафтно-морфологического фактора в содержании нитратного азота и подвижной формы серы перед посевом, наибольший прирост продуктивности был зафиксирован от дифференцированной дозы сульфата аммония и аммиачной селитры, которая опирается на предварительный анализ нитратного азота и подвижной серы в слое почвы $0-30$ см. Напротив, на т.п. №5, где пространственно-временная устойчивость нитратного азота и подвижной формы серы не доказана, эффективность прибавки от дифференцированной дозы значительно ниже, чем от высоких доз аммиачной селитры N60 и N90;

- в результате поставленных опытов выявлено, что на тестовых полигонах №1, №9 наибольшие прибавки в качестве яровой мягкой пшеницы удалось получить при дифференцированной дозе минеральных удобрений, тогда как на

т.п. №5 наибольший прирост качества зерна был зафиксирован от применения возрастающих доз аммиачной селитры;

- от применения минеральных удобрений роль ландшафтно-морфологического фактора в распределении продуктивности и качества возрастала, тогда как устойчивость напротив, снижалась (за исключением распределения качества на т.п. №5 и №9);

- рентабельность производства яровой мягкой пшеницы в Саратовской области уменьшается с северо-запада на юго-восток, притом на более выравненных и менее расчлененных Окско-Донской и Низкой Сыртовой равнинах рентабельность на СЮЭ выше, чем на ССЭ, а на более расчлененной и крутосклоновой Приволжской возвышенности производство более рентабельно на склонах северной экспозиции;

- на большей части обрабатываемых территорий т.п. №1 и №9 оказалось рентабельным внесение дифференцированной дозы сульфата аммония и аммиачной селитры, тогда как на основных массивах т.п. №5 более рентабельным является внесение повышенных доз аммиачной селитры. Ложбинные и водораздельные комплексы т.п. №5 и №9 рентабельнее удобрять аммиачной селитрой в дозе N60, тогда как аналогичные типы фаций т.п. №1 – аммиачной селитрой в дозе N90 и сульфатом аммония и аммиачной селитрой в расчетной дозе (NSx).

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Исходя из трехлетних исследований, в условиях Саратовской области (за исключением Приволжской возвышенности) рекомендуется размещение посевов яровой мягкой пшеницы на склонах южной экспозиции. Оптимальными видами и дозами удобрений под яровую мягкую пшеницу в местностях, средняя крутизна которых не превышает 2 градусов, являются сульфат аммония и аммиачная селитра из расчета наличия в почве азота и серы под планируемую урожайность и доза аммиачной селитры N30, тогда как в местностях со средней крутизной от 3 градусов и выше рентабельнее внесение повышенных доз аммиачной селитры N60 и N90.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Дальнейшая разработка темы диссертационного исследования планируется по следующим направлениям:

1. Расширение ареала исследований, линейки и доз удобрений, а также включение в исследования других экономически важных сельскохозяйственных культур.

2. Исследования по изменению внутриландшафтной вариативности продуктивности и качества сельскохозяйственных культур от применения различных доз и видов удобрений.

3. Построение прогнозных моделей продуктивности на основе собранных многолетних данных по микроклиматическим, агрохимическим, агрофизическим и продукционным параметрам ландшафтно-морфологических единиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрономическая тетрадь. Возделывание зерновых культур по интенсивным технологиям / Б. П. Мартынов и др. – Москва: Россельхозиздат, 1986. – 234 с.
2. Алехин, В.В. Теоретические проблемы фитоценологии и степеведения / В.В. Алехин. – Москва: Изд-во Московского университета, 1986. – 216 с.
3. Антюфеев, В.В. Динамика продуктивности лугово-степных сообществ крымской яйлы в связи с изменчивостью солнечной радиации / В.В. Антюфеев // Закономерности развития органического мира. – Минск: Наука и техника, 1978. – С. 5.
4. Аристархов, А.Н. Сера в агроэкосистемах России: мониторинг содержания в почвах и эффективность ее применения / А.Н. Аристархов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2016. – № 5. – С. 39–47.
5. Арманд, Д.Л. Наука о ландшафте: Основы теории и логико-математические методы / Д.Л. Арманд. – Москва: Мысль, 1975. – 288 с.
6. Афанасьев, Р.А. Агрохимическое обеспечение точного земледелия / Р.А. Афанасьев // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 3. – С. 46–52.
7. Бабаян, Л.А. Плодородие светло-каштановой почвы Юга Приволжской возвышенности, связанное с элементами рельефа и ориентацией склона / Л.А. Бабаян, А.М. Беляков, В.В. Леонтьев // Научно-агрономический журнал. – 2016. – № 2(99). – С. 49–54.
8. Беручашвили, Н.Л. Геофизика ландшафта: учеб. пособие для геогр. спец. вузов / Н.Л. Беручашвили. – Москва: Высш. шк., 1990. – 287 с.
9. Беручашвили, Н.Л. Четыре измерения ландшафта / Н.Л. Беручашвили. – Москва: Мысль, 1986. – 182 с.
10. Бочков А.А. Рельеф и почвообразовательные процессы на черноземах южных приволжской возвышенности: дис. ... канд. с.-х. наук: 03.02.13 / Бочков Александр Александрович. – Саратов, 2011. – 193 с.

11. Бузуева, А.С. Фациальная обеспеченность питательными элементами и влияние удобрений на продуктивность различных ценозов агроландшафта: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04. / Бузуева Анастасия Сергеевна. – Саратов, 2018. – 22 с.
12. Булохов, В.А. Экономический справочник сельского специалиста / В.А. Булохов, П.И. Пеннер. – Москва: Россельхозиздат, 1983. – 192 с.
13. Бурлакова, Л.М. Моделирование урожайности зерна яровой пшеницы в системе агроландшафтов/ Л.М. Бурлакова, Е.М. Соврикова // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. статей в 3 кн. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2007. – Кн. 1. – С. 49–51.
14. Буторина, Т.Н. Типы леса Восточного Саяна / Т.Н. Буторина // Труды V научной конференции Томского университета. – Томск: ТГУ, 1969. – 234 с.
15. Бюффон, Ж. Всеобщая и частная естественная история / Ж. Бюффон. – Санкт-Петербург, 1789–1808. – Т. 1–10.
16. Варениус, Б. Бернарда Варения Всеобщая география / Б. Варениус; пересмотренная Исаком Невтоном и дополненная Яковом Журейном; Переведена с латинского языка на российской и в некоторых местах присовокуплены примечания; (Перевел П.Б. Иноходцев). – Санктпетербург: При Имп. Акад. наук, 1790. – 8°.
17. Вернадский, В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения / В.И. Вернадский. – Москва, 1965. – 374 с.
18. Видина, А.А. Методические указания по полевым крупномасштабным ландшафтными исследованиям (Для целей сельскохозяйственного производства в средней полосе Русской равнины) / А.А. Видина; под редакцией Николая Адольфовича Солнцева. – Москва, 1962. – 132 с.
19. Воеводина, Т.С. Почвенно-мелиоративная оценка чернозема обыкновенного (Оренбургская область) / Т. С. Воеводина, И.М. Габбасова, Р.Р. Сулейманов и др. // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – № 6(167). – С. 199–206.

20. Воронин, А.Д. Основы физики почв / А.Д. Воронин. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 244 с.
21. Высоцкий, Г.Н. Избранные труды / Г.Н. Высоцкий. – Москва: Сельхозгиз, 1960. – 435 с.
22. Галахов, Н.Н. Климат зоны травяных лесов и островов лесостепи Красноярского края / Н.Н. Галахов // Природное районирование центральной части Красноярского края и некоторые вопросы пригородного хоз-ва. – Москва: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 5–26.
23. Гвоздецкий, Н.А. Основные проблемы физической географии / Н.А. Гвоздецкий. – Москва, 1979. – 222 с.
24. Герасимов, И.П. Генетические, географические и исторические проблемы современного почвоведения / И.П. Герасимов. – Москва: Наука, 1976. – 300 с.
25. Годунова, Е.И. Резервы фосфора в агрочернозёмах Ставропольского края при разной интенсивности их использования в агроландшафте / Е.И. Годунова, Н.П. Чижикова, С.Н. Шкабарда // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 7. – С. 15–17.
26. Голубев, В.Н. О сопряженности продуктивности нагорной луговой степи крымской яйлы с некоторыми элементами экологического режима / В.Н. Голубев // Бюлл. Гос. Никит. ботан. сада, 1971. – Вып. 2 (16). – С. 5–9.
27. Гольцберг, И.А. Микроклимат СССР / И.А. Гольцберг. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1967. – 286 с.
28. Гордеев, А.В. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание / А.В. Гордеев, Д.Н. Патрушев, И.В. Лебедев и др. – Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 48 с.
29. Горышина, Т.К. Экология растений / Т.К. Горышина. – Москва: Высшая школа, 1979. – 368 с.
30. Государственная геологическая карта России (ГГК-1000, ГГК-200) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://geolkarta.ru/index.php>. Загл. с экрана. Яз. рус.

31. Губарев, Д.И. Ландшафтно-морфологический фактор как лимитирующий для содержания серы на черноземе южном в склоновом агроландшафте / Д.И. Губарев, М.Ю. Несветаев и др. // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2020. – № 2(25). – С. 24–26.

32. Губарев, Д.И. Оптимизация земельных ресурсов в агроландшафте / Д.И. Губарев, И.Ф. Медведев, А.А. Вайгант, М.Ю. Несветаев // Фундаментальные и прикладные основы сохранения плодородия почвы и получения экологически безопасной продукции растениеводства: мат-лы Всероссийской науч.-практ. конф. с Международным участием, посвящ. 75-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора, Почетного работника высшего профессионального образования РФ, Заслуженного работника высшей школы РФ, Заслуженного деятеля науки и техники Ульяновской области, заведующего кафедрой «Почвоведение, агрохимия и агроэкология» Куликовой Алевтины Христофоровны (Ульяновск, 21–22 ноября 2017 года). – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2017. – С. 137–143.

33. Гумбольдт, А.Ф. Картины природы / А.Ф. Гумбольдт; Пер. с нем. Т.И. Коншиной. – Москва: Географгиз, 1959. – 269 с.

34. Давлятшин, И.Д. Калий в пахотных почвах лесостепи / И.Д. Давлятшин, А.А. Лукманов, А. Бадиков // Плодородие. – 2013. – № 2(71). – С. 27–29.

35. Дажо, Р. Основы экологии / Р. Дажо. – Москва: Изд-во Прогресс, 1975. – 526 с.

36. Джеррард, А.Д. Почвы и формы рельефа: Комплексное геоморфологопочвенное исследование / А.Д. Джеррард; пер. с англ. Р.В. Фурсенко и Е.М. Видре; под ред. д. г.-м. н. Ю. П. Селиверстова. – Ленинград: Недра. Ленинградское отд-ние, 1984. – 208 с.

37. Дмитриев, Е.А. Математическая статистика в почвоведении / Е. А. Дмитриев. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1972. – 292 с.

38. Добровлянин, В.Д. Цифровизация сельского хозяйства: текущий уровень цифровизации в Российской Федерации и перспективы дальнейшего

развития / В.Д. Добровлянин, Е.А. Антинескул // Цифровые модели и решения. – 2022. – Т. 1, № 2. – С. 5.

39. Докучаев, В.В. Наши степи прежде и теперь: изд. в пользу пострадавших от неурожая / В.В. Докучаев. – Санкт-Петербург, 1892. – 128 с.

40. Докучаев, В.В. Русский чернозем / В.В. Докучаев. – Москва; Ленинград: ОГИЗ – Сельхозгиз, 1936. – 550 с.

41. Долгополова, Н.В. Почвенно-климатические условия и эффективность минеральных удобрений в Центрально-Черноземной зоне / Н.В. Долгополова, И.Я. Пигорев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – Курск, 2016. – № 8. – С. 55–57.

42. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

43. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – Москва: Колос, 1979. – 416 с.

44. Дьяконов, К.Н. Ландшафтоведение в современном обществе и актуальные задачи исследований / К.Н. Дьяконов // Теория, методы, региональные исследования, практика: мат-лы XI Международной ландшафтной конф. / Ред. коллегия: К.Н. Дьяконов (ответственный редактор), Н.С. Касимов и др. – Москва: Географический факультет МГУ, 2006. – 788 с.

45. Елагин, И.Н. Сезонное развитие сосновых лесов / И.Н. Елагин. – Новосибирск: Наука, 1976. – 230 с.

46. Елагин, И.Н. Фенология лесов Красноярской лесостепи / И.Н. Елагин. // Динамика лесных биогеоценозов Сибири; отв. ред. В.Н. Смагин. – Новосибирск: Наука, 1980. – 208 с.

47. Захаров, С.А. Эволюция почвообразования в связи с историей земной коры / С.А. Захаров // Почвоведение. – 1945. – № 1. – 54 с.

48. Захарова, А.Ф. Радиационный режим северных и южных склонов в зависимости от географической широты / А.Ф. Захарова // Уч. записки ЛГУ. Сер. Геогр. – 1959. – Вып.13. №269. – С. 39–56.

49. Зборищук, Ю.Н. Состояние черноземов обыкновенных Каменной Степи / Ю.Н. Зборищук, В.Т. Рымарь, Б.И. Чевердин. – Москва, 2007. – 158 с.
50. Иванов, А.И. Влияние ландшафтных условий на эффективность точной системы удобрения в звене полевого севооборота / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова, Н.А. Цыганова // *Агрохимия*. – 2020. – № 2. – С. 69–76.
51. Иванов, А.И. Методико-технологические аспекты и результаты оценки точных систем удобрения / А.И. Иванов, А.А. Конашенков // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2014. – № 3. – С. 20–24.
52. Иванов, А.И. Оценка параметров пространственной неоднородности показателей почвенного плодородия / А.И. Иванов, А.А. Конашенков, Ю.В. Хомяков, Т.Г. Фоменко, И.А. Федькин // *Агрохимия*. – 2014. – № 2. – С. 39–49.
53. Иванов, А.Л. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия / Под общ. ред. А.Л. Иванова, Л.М. Державина. – Москва: Минсельхоз РФ, РАСХН, 2008. – 392 с.
54. Израэль, Ю.А. Моделирование влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства России / Ю.А. Израэль, О.Д. Сиротенко // *Метеорология и гидрология*. – 2003. – № 6. – С. 5–17.
55. Исаченко, А.Г. География сегодня / А.Г. Исаченко. – Москва: Просвещение, 1979. – 192 с.
56. Исаченко, А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование: учебник / А.Г. Исаченко. – Москва: Высш. шк., 1991. – 366 с.
57. Исаченко, А.Г. Основные вопросы физической географии / А.Г. Исаченко. – Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1953. – 392 с.
58. Исмагилов, Р.И. Качество и технология производства хлебопекарного зерна пшеницы / Р.И. Исмагилов, Р.А. Хасанов. – Уфа, Гилем, 2005. – 200 с.
59. Исмагилов, Р.Р. Изменение уровня минерального питания растений на поле со сложным рельефом / Р.Р. Исмагилов, Р.Р. Абдулвалеев // *Пермский аграрный вестник*. – 2016. – № 4(16). – С. 27–30.

60. Исмагилов, Р.Р. Микроклимат и качество продовольственного зерна пшеницы / Р.Р. Исмагилов, А.А. Нигматьянов // Сельские узоры, 1998. – №1. – С.28.
61. Качинский, Н.А. Физика почвы: учебник для ун-тов. / Н.А. Качинский. – Москва: Высш. школа, 1965. – Ч. 1. – 323 с.
62. Каштанов, А.Н. Агроэкология почв склонов / А.Н. Каштанов, В.Е. Явтушенко; Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. – Москва: Колос, 1997. – 238 с.
63. Каштанов, А.Н. Концепция формирования высокопродуктивных экологически устойчивых агроландшафтов и совершенствования систем земледелия на ландшафтной основе / А.Н. Каштанов, А.П. Щербаков, Г.И. Швец и др. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 1993. – Ч.1. – 98 с.
64. Каштанов, А.Н. Основы ландшафтно-экологического земледелия / А.Н. Каштанов, Ф.Н. Лисецкий, Г.И. Швец. – Москва: Издательство "Колос", 1994. – 127 с.
65. Кирюшин, В.И. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / Под редакцией академика РАСХН В.И. Кирюшина, академика РАСХН А.Л. Иванова. Методическое руководство. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 784 с.
66. Кирюшин, В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика / В.И. Кирюшин. – Москва: Изд-во МСХА, 2000. – 473 с.
67. Ковальский, В.В. Геохимическая экология и ее эволюционное направление / В.В. Ковальский // Изв. АН СССР. Сер. биол., 1963. – № 6. – С. 830–849.
68. Кожевникова, Л.И. К фенологии степных склонов / Л.И. Кожевникова // Научные записки Воронежского отдела Всесоюзного ботанического общества. – Москва: Изд-во АН СССР, 1964. – С. 49–53.
69. Колчинский, Э.И. Эволюция биосферы: Ист.-критич. очерки исслед. в СССР / Э.И. Колчинский. – Ленинград: Наука: Ленингр. отд-ние, 1990. – 235 с.

70. Кондратьев, К.Я. Радиационный режим наклонных поверхностей / К.Я. Кондратьев, З.И. Пивоварова, М.П. Федорова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. – 214 с.

71. Королев, В.А. К методике определения плотности сложения почв тяжелого гранулометрического состава / В.А. Королев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2007. – № 1. – С. 76–79.

72. Костычев, П.А. Почвы черноземной области России: их происхождение, состав и свойства / П.А. Костычев. – Москва: Гос. изд-во с.-х. лит., образцовая тип. им. Жданова, 1949. – 240 с.

73. Культиасов, И.М. Экология растений / И.М. Культиасов. – Москва: Изд-во МГУ, 1982. – 318 с.

74. Лайшев, К.А. Оценка биопотенциала производства продовольствия в Северо-Западном регионе России / Под ред. К.А. Лайшева, М.В. Архипова. – Санкт-Петербург – Пушкин, 2016. – 136 с.

75. Ларионов, А.Г. Влияние крутизны склонов на впитывание воды в почву / А.Г. Ларионов // Эрозия почв и русловые процессы. – Москва: Изд-во АН СССР, 1972. – С. 142–155.

76. Левицкая, Н.Г. Повышение эффективности использования биоклиматического потенциала агроландшафтов Саратовского Правобережья: автореф. дис. ... канд с.-х. наук: 06.01.01 / Левицкая Нина Григорьевна. – Саратов, 2003. – 21 с.

77. Либих, Ю. Химия в приложении к земледелию и физиологии / Ю. Либих – Москва; Ленинград: 16 тип. треста «Полиграфкнига» – Сельхозгиз, 1936. – 407 с.

78. Липкина, Г.С. Почвообразование под лесом и на пашне в различных условиях рельефа / Г.С. Липкина // Почвоведение. – Москва: Изд-во АН СССР, 1987. – №3. – С. 82–93.

79. Ломоносов, М.В. О слоях земных / М.В. Ломоносов // Первые основания металлургии или рудных дел. Прибавление 2. – Санктпетербург: типография Императорской Академии Наук, 1763. – С. 237–416.

80. Лопырев, М.И. Агрolandшафты и земледелие: учебное пособие для студентов по агрономическим специальностям / М.И. Лопырев, С.А. Макаренко. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2001. – 169 с.

81. Макаров, В.З. Ландшафтное картографирование: учеб.-метод. пособие / В.З. Макаров, Н.В. Пичугина, В.А. Данилов, А.В. Федоров. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2013. – 100 с.

82. Макаров, В.З. Эколого-географическое картографирование городов / В.З. Макаров, Б.А. Новаковский, А.Н. Чумаченко. – Москва: Научный мир, 2002. – 196 с.

83. Мандельштам, Н.Л. Инсоляция склонов различной экспозиции и крутизны в условиях Саратовской области / Н.Л. Мандельштам // Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья. – Саратов: Изд-во СГУ, 1966. – С. 122–130.

84. Медведев, И.Ф. Агрофизические особенности почв типов фаций Елшано–Гусельской равнины / И.Ф. Медведев, Д.И. Губарев, М.Ю. Несветаев и др. // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 11. – С. 30–34.

85. Медведев, И.Ф. Агроэкологические основы повышения плодородия склоновых черноземных почв Поволжья: дисс. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.01; 06.01.03 / Медведев Иван Филиппович. – Саратов, 2001. – 384 с.

86. Медведев, И.Ф. Дифференциация структуры ландшафта и экологические индикаторы / И.Ф. Медведев, Д.И. Губарев, С.С. Деревягин и др. // Юг России: экология, развитие. – 2019. – Т. 14. – № 1. – С. 94–104.

87. Медведев, И.Ф. Рельеф и особенности внутрпочвенной миграции питательных элементов в агроландшафте / И.Ф. Медведев, А.С. Бузуева, Д.И. Губарев и др. // Агрохимический вестник. – 2016. – № 6. – С. 14–19.

88. Медведев, И.Ф. Рельефные особенности перераспределения продуктивной влаги по профилю в период замерзания-размерзания Черноземной

почвы / И.Ф. Медведев, Д.А. Анисимов, А.А. Бочков, И.А. Орлова // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2012. – № 11. – С. 25–29.

89. Медведев, И.Ф. Фациальная дифференциация земельных ресурсов как основа повышения экологизации агроландшафта / И.Ф. Медведев, Д.И. Губарев, В.П. Графов // Земледелие. – 2018. – № 1. – С. 10–15.

90. Медведев, И.Ф. Экологическая оценка уровня почво-агрохимического состояния пашни различных типов фаций внутри типов урочищ агроландшафта Приволжской возвышенности / И.Ф. Медведев, М.Ю. Несветаев, Д.И. Губарев и др. // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 10. – С. 26–29.

91. Методика сельскохозяйственной характеристики климата / Г.Т. Селянинов // В кн.: Мировой агроклиматический справочник. – Ленинград; Москва: Гидрометеиздат, 1937. – 428 с.

92. Методы исследования в ландшафтоведении [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studopedia.ru/7_36625_metodi-issledovaniya-vlandshaftovedenii.html. Загл. с экрана. Яз. рус.

93. Микроклимат холмистого рельефа и его влияние на сельскохозяйственные культуры / Под ред. д-ра геогр. наук И. А. Гольцберг; Глав. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Глав. геофиз. обсерватория им. А. И. Воейкова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1962. – 250 с.

94. Мильков, Ф.Н. Ландшафтная география и вопросы практики / Ф.Н. Мильков. – Москва: Мысль, 1966. – 256 с.

95. Мильков, Ф.Н. Человек и ландшафты: очерки антропогенного ландшафтоведения / Ф.Н. Мильков. – Москва: Мысль, 1973. – 224 с.

96. Миркин, Б.М. Современная наука о растительности / Б.М. Миркин. – Москва: Логос, 2002. – 406 с.

97. Мировой агроклиматический справочник / Под ред Г.Т. Селянинова. – Ленинград; Москва: Гидрометеиздат, 1937. – 428 с.

98. Митусов, А.В. Роль рельефа в формировании плодородия почв биогеоценозов лесостепной зоны европейской части России: автореферат дис. ...

кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.03 / Кур. гос. с.-х. акад. им. И. И. Иванова. – Курск, 2001. – 22 с.

99. Митусова, О. Е. Особенности пространственного прогноза свойств почв на базе расширенной системы морфометрических величин / О. Е. Митусова, А. В. Митусов // Биосферные функции почвенного покрова: мат-лы науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР В.А. Ковды (Пушино, 15–17 февраля 2005 года). – Пушино: Объединенное научно-техническое издательство почвенно-научный центр Российской Академии Наук, 2005. – С. 63.

100. Мосолова, Г.И. Продолжительность освещения и инсоляции для различно ориентированных долин / Г.И. Мосолова // Вестник ЛГУ. Сер. геол. и геогр. – 1963. – №24. Вып.4. – С.62-69.

101. Небольсин, А.Н. Научные основы и технологии использования удобрений и извести/ А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина, Л.В. Яковлева, В.А. Поляков. – Санкт-Петербург.: СЗНИИСХ, 1997. – 52 с.

102. Нерпин, С.В. Физика почв/ С.В. Нерпин, А.Ф. Чудновский. – Москва: Наука, 1967. – 584 с.

103. Несветаев, М.Ю. Влияние агроэкологических условий на продуктивность зональных ландшафтов Саратовской области / М.Ю. Несветаев, Д.И. Губарев, И.И. Демакина и др. // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 12. – С. 45–49.

104. Несветаев, М.Ю. Влияние ландшафтно-морфологического фактора на продуктивность почв / М.Ю. Несветаев, Д.И. Губарев, М.А. Ларькин, В.И. Ефимова // Агрохимический вестник. – 2022. – № 6. – С. 3–9.

105. Несветаев, М.Ю. Гетерогенность ландшафта как основной фактор продуктивности в пространстве-времени / М.Ю. Несветаев, М.А. Ларькин, Д.И. Губарев, В.И. Ефимова // Рациональное землепользование: оптимизация земледелия и растениеводства: сб. док. V Межд. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения академика РАСХН А.П. Щербакова (Курск, 28–30

сентября 2021 года) / – Курск: ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 2021. – С. 187–191.

106. Несветаев, М.Ю. Локальный природно-территориальный комплекс как лимитирующий фактор продуктивности агроценоза / М.Ю. Несветаев, Д.И. Губарев, В.И. Ефимова и др. // Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция (посвящ. 140-летию со дня рождения Плачек Е.М.): сб. док. 2-й Всерос. науч.-практ. интернет-конф. мол. уч. и спец. с межд. уч. (Саратов, 26-28 февраля 2018 г.). – Саратов: Изд-во «Научная книга», 2018. – С. 240–243.

107. Несветаев, М.Ю. Особенности распределения микроэлементов в материнской породе Елшано-Гусельского агроландшафта / М.Ю. Несветаев, А.Ю. Верин, С.С. Деревягин и др. // Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция: сб. док. 3-й Всерос. науч.-практ. интернет-конф. мол. уч. и спец. с межд. уч. (Саратов, 20-22 марта 2019 г.) – Саратов: Изд-во «Научная книга», 2019. – С. 167–169.

108. Несветаев, М.Ю. Роль рельефа в формировании плодородия верхнего слоя почвы в условиях Елшано-Гусельского агроландшафта / М. Ю. Несветаев, И.Ф. Медведев, В.П. Графов, Г.Н. Бажан // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов: сб. док. Межд. науч.-практ. конф. (Курск, 11–13 сентября 2019 г.). – Курск: ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 2019. – С. 429–431.

109. Несветаев, М.Ю. Элементы адаптивно-ландшафтной организации использования пахотных земель в Поволжье / М.Ю. Несветаев, И.Н. Кораблева // Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция: сб. док. 3-й Всерос. науч.-практ. интернет-конф. мол. уч. и спец. с межд. уч. (Саратов, 20–22 марта 2019 г.). – Саратов: Изд-во «Научная книга», 2019. – С. 170–174.

110. Неуструев, С.С. Генезис и география почв / С.С. Неуструев; Послесл. И.П. Герасимова; АН СССР, Всесоюз. о-во почвоведов. – Москва: Наука, 1977. – 328 с.

111. Николаев, В.А. Ландшафтоведение. Семинарские и практические занятия. Изд. 2-е, перераб. и доп. / В.А. Николаев. – Москва: Географический факультет МГУ, 2006. – 208 с.

112. Николаев, В.А. Природно-антропогенные ландшафты (сельскохозяйственные и лесохозяйственные): Учебное пособие / В.А. Николаев, И.В. Копыл, В.В. Сысуев. – Москва: Географический факультет МГУ, 2008. – 160 с.

113. Одум, Ю.П. Основы экологии: пер. с 3-го англ. изд. / Ю. Одум; под ред. и с предисл. д-ра биол. наук Н.П. Наумова. – Москва: Мир, 1975. – 740 с.

114. Окорков, В. В. Серые лесные почвы Владимирского ополя и эффективность использования их ресурсного потенциала / В. В. Окорков, О. А. Фенова, Л. А. Окоркова. – Суздаль–Иваново: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр», 2021. – 188 с.

115. Пикин, С.Ф. Гравитационно-кинетическая модель рельефа / С.Ф. Пикин. – Ставрополь: Изд-во СГУ, 2005. – 380 с.

116. Пугачева, Л.В. Влияние ландшафтных условий на формирование продуктивности зерновых культур в конечно-моренном агроландшафте Центрального района Российской Федерации: Дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09, 06.01.01/Пугачева Людмила Владимировна. – Тверь, 2004. – 155 с.

117. Раменский, Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель / Л.Г. Раменский. – Москва: Сельхозгиз, 1938. – 620 с.

118. Рельеф Алтае-Саянской горной области / Г. А. Чернов, В. В. Вдовин, П. А. Окишев и др.; отв. ред. В. А. Николаев, Г. А. Чернов. – Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1988. – 204 с.

119. Роде, А.А. Почвенная влага / А. А. Роде. – Москва: Изд-во АН СССР, 1953. – 456 с.

120. Романова, Е.Н. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства / Е.Н. Романова, Г.И. Мосолова, И.А. Береснева. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. – 245 с.

121. Рублюк, М.В. Влияние ландшафтных условий и сельскохозяйственных культур на элементы плодородия дерновоподзолистых почв / М.В. Рублюк, Д.А. Иванов, Н.А. Хархардинов // Земледелие. – 2021. – № 5. – С. 8–11.

122. Рыкова, И.Н. Оценка себестоимости и рентабельности производства пшеницы в Российской Федерации / И.Н. Рыкова, А.А. Юрьева, В.А. Морина // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 8(135). – С. 87–103.

123. Самофалова, И.А. Химический состав почв и почвообразующих пород: учебное пособие / И.А. Самофалова; М-во с.-х. РФ, ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА». – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009. – 132 с.

124. Селянинов, Г.Т. Агроклиматическая карта мира / Г.Т. Селянинов. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. – 12 с.

125. Скороходов, В.Ю. Образование и содержание гумуса на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья / В.Ю. Скороходов, Н.А. Зенкова // Плодородие. – 2019. – № 6(111). – С. 28–32.

126. Смирнова, Л.Г. Динамика рН чернозема типичного в условиях краткосрочной климатической изменчивости в агроландшафтах Юга лесостепи Среднерусской возвышенности / Л.Г. Смирнова, Ю.Г. Чендев, Н.С. Кухарук, А.В. Ткаченко // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2015. – № 15(212). – С. 156–162.

127. Соколова, Г.Г. Влияние высоты местности, экспозиции и крутизны склона на особенности пространственного распределения растений / Г.Г. Соколова // Acta Biologica Sibirica. – 2016. – № 2 (3). – С. 34–45.

128. Соколова, Т.А. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и в почвенном растворе / Т.А. Соколова, И.И. Толпешта, С.Я. Трофимов. – Тула, Гриф и К., 2012. – 124 с.

129. Солнцев, В.Н. Системная организация ландшафтов (проблемы методологии и теории) / В.Н. Солнцев. – Москва: Мысль, 1981. – 240 с.

130. Солнцев, Н.А. Некоторые теоретические вопросы динамики ландшафта / Н.А. Солнцев // Вестник Моск. ун-та, серия географ. – 1963. – № 2. – С. 50–55.
131. Солнцев, Н.А. Природный ландшафт и некоторые его общие закономерности / Н.А. Солнцев // Труды II Всесоюзного географического съезда. – Москва: Географгиз, 1948. – Т. I. – С. 258–269.
132. Солнцев, Н.А. Учение о ландшафте (избранные труды) / Н.А. Солнцев. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 2001. – 384 с.
133. Сочава, В.Б. Введение в учение о геосистемах / В.Б. Сочава. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1978. – 319 с.
134. Сочава, В.Б. Закономерности географии растительного покрова горных тундр СССР / В.Б. Сочава. – Москва; Ленинград: Наука, 1956. – 397 с.
135. Стахурлова, Л.Д. Влияние экспозиции склона на основные показатели плодородия черноземов типичных/ Л.Д. Стахурлова, А.И. Громовик, Г.Н. Черкасов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2017. – № 2. – С. 99–105.
136. Суднов, П.Е. Повышение качества зерна пшеницы / П.Е. Суднов. – Москва: Россельхозиздат, 1978. – 95 с.
137. Тобратов, С.А. Продуктивность сельскохозяйственных экосистем и ландшафтно-климатические факторы / С.А. Тобратов, О.С. Железнова // Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина. – 2011. – № 4(33). – С. 105–124.
138. Трофимов, И.А. Развитие системного подхода к изучению сельскохозяйственных земель и управлению агроландшафтами / И.А. Трофимов, Л.С. Трофимова, Е.П. Яковлева // Поволжский экологический журнал. 2016. – № 4. – С. 455–466.
139. Фридланд, В.М. Структуры почвенного покрова мира / В. М. Фридланд. – Москва: Мысль, 1984. – 236 с.

140. Чекмарев, П.А. Калий в земледелии ЦЧО / П.А. Чекмарев, С.В. Лукин, Ю.И. Сискевич и др. // Вестник Международного института питания растений. – 2011. – № 3. – С. 2–6.

141. Чуб, М.П. Эффективность и баланс фосфора в зернопаровом севообороте на черноземе Южном при длительном применении удобрений / М.П. Чуб, В.В. Пронько, Н.В. Потатурина, Г.Н. Бажан // Агрохимия. – 2004. – № 11. – С. 18–26.

142. Чумаченко, А.Н. Учебно-краеведческий атлас Саратовской области/В. В. Аникин, Е. В. Акифьева, А. Н. Афанасьева и др.; гл. ред. А.Н. Чумаченко, отв. ред. В.З. Макаров. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2013. – 144 с.

143. Шабаев, А.И. Адаптивно-экологические системы земледелия в агроландшафтах Поволжья / Шабаев, А.И.; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2003. – 320 с.

144. Шабаев, А.И. Организационно-технологические особенности конструирования основных типов агроландшафтов в Поволжье / А.И. Шабаев // Современные проблемы земледелия и экологии: сб. док. Межд. науч.-прак. конф., Курск, 10–12 сентября 2002 года. – Курск: Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии Россельхозакадемии, 2002. – С. 30–34.

145. Шарый, П.А. Изучение совместного влияния климата, почв и рельефа на характеристики урожайности ярового ячменя на основе баз данных результатов географической сети опытов / П. А. Шарый, Л. С. Шарая, О. В. Рухович, С. И. Шкуркин // Мат-лы Межд. науч. Конф., посвящ. 90-летию ФГБНУ "ВНИИ агрохимии" и 80-летию Географической сети опытов с удобрениями : Тезисы докладов, Москва, 01–02 декабря 2021 года / Под редакцией С.И. Шкуркина. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2022. – С. 219–226.

146. Шафран, С. А. Совершенствование нормативно-справочной базы для определения потребности сельскохозяйственных культур в минеральных удобрениях / С.А. Шафран // Агрохимия. – 2019. – № 7. – С. 27–34.

147. Шафран, С.А. Проблема азота в земледелии России и её решение / С. А. Шафран // Плодородие почв России: состояние и возможности: сб. статей (к 100-летию со дня рождения Тамары Никандровны Кулаковской) / Под редакцией В.Г. Сычева. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2019. – С. 32–39.

148. Шлеймович, П.И. Физические свойства почв / П.И. Шлеймович. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1973. – 182 с.

149. Шпедт, А.А. Оценка влияния рельефа на плодородие почв и урожайность зерновых культур/ А.А. Шпедт, В.К. Пурлаур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 10(190). – С. 5–11.

150. Щербаков, Ю.А. Поступление и отражение прямой солнечной радиации на неодинаково ориентированных склонах в разных условиях / Ю.А. Щербаков // Влияние экспозиции на ландшафты. – Пермь, 1970. – С. 100–133.

151. Щербаков, Ю.А. Из опыта изучения роли экспозиции в ландшафтоведении / Ю.А. Щербаков // Влияние экспозиции на ландшафты. – Пермь, 1970. – 206 с.

152. Якушев, В.П. Реализация системы удобрения в точном земледелии / В.П. Якушев, А.И. Иванов, В.В. Якушев, А.А. Конашенков // Земледелие. – 2008. – № 5. – С. 77–85.

153. ArcGIS Resources [Электронный ресурс]. URL: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.1/>. Загл. с экрана. Яз. рус.

154. Bezabih, B. The effect of land management practices on soil physical and chemical properties in Gojeb Sub- River Basin of Dedo District, Southwest Ethiopia / B. Bezabih, A. Aticho, T. Mossisa, B. Dume // Journal of Soil Science and Environmental Management. – 2016. – Vol. 7. – Pp. 154–165.

155. Fu, P. A geometric solar radiation model and its applications in agriculture and forestry / P. Fu, P.M. Rich // Proceedings of the Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry. – 2000. – V.I. – Pp. 357–364.

156. Fu, P. Design, and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales. P. Fu, P.M. Rich //

Proceedings of the 19th Annual ESRI User Conference, San Diego, USA. – 1999. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.html>.

157. Fu, P. TopoView, Version 1.0 Manual. / P. Fu, P.M. Rich / Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), USA. – 1999. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.hemisoft.com/topoview/manual>.

158. Gadana, D.B. Effect of Soil Management Practices and Slope on Soil Fertility of Cultivated Lands in Mawula Watershed, Loma District, Southern Ethiopia / D.B. Gadana, P.D. Sharma, D.T. Selfeko // *Advances in Agriculture*. – 2020. – Pp.1–13.

159. Geesing, D. Site-specific effects of variable watersupply and nitrogen fertilisation on winter wheat / D. Geesing, M. Diacono, U. Schmidhalter // *J. Plant Nutrit. Soil Sci.* – 2014. – V.177. – Pp. 509–523.

160. Heil, K. Improved evaluation of field experiments by accounting for inherent soil variability / K. Heil, U. Schmidhalter // *Eur J Agron.* – 2017. – V.89. –Pp. 1–15.

161. Isard, S.A. Factor influencing soil moisture and plant community distribution on Niwot Ridge, Front Range, Colorado, USA / S.A. Isard // *Arctic and Alpine Research*. – 1986. – V.18. – Pp. 83–96.

162. Jiang, P. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn–soybean cropping system / P. Jiang, K. D. Thelen // *Agronomy Journal*. – 2004. – Vol. 96. No. 1. – Pp. 252–258.

163. Lozano-García, B. Impact of topographic aspect and vegetation (native and reforested areas) on soil organic carbon and nitrogen budgets in Mediterranean natural areas / B. Lozano-García, L. Parras-Alcántara, E.C. Brevik // *Sci. Total Environ.* 544. – 2016. – Pp. 963–970.

164. Medvedev, I.F. The relief features of redistribution of available moisture on the black soils during its freezing – defrosting / I.F. Medvedev, D.A. Anisimov, A.A. Bochkov, I.A. Orlova // *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta imeni N.I. Vavilova* [Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilova]. – 2012. – No. 11. – Pp. 25–30.

165. Nesvetayev, M.Yu. Structure of the landscape - ecological indicators / M.Yu. Nesvetayev, I.F. Medvedev // Научный диалог в языковом пространстве: Сб. статей II Всероссийской (Национальной) науч.-практ. конф., Саратов, 20 мая 2020 года. – Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2020. – P. 109–112.

166. Rich, P.M. Using Viewshed Models to Calculate Intercepted Solar Radiation: Applications in Ecology / P.M. Rich, R. Dubayah, W.A. Hetrick, S.C. Saving // American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers. – 1994. – Pp. 524–529.

167. Śniadecki, A. Początki chemii. Wilnie: Drukarny Akademickiry, 1800.

168. Yang, C. Spatial variability of field topography and wheat yield in the Palouse region of the Pacific Northwest / C. Yang, C. Peterson, G. Shrofshire, T. Otawa // Trans. ASAE. – 1998. – No. 41. – Pp. 17–27.

169. Zhang, Y.Z. Physical geography in Tibet / Y.Z. Zhang, D. Zheng, Q.Y. Yang // Beijing: Science press. – 2002. – 178 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

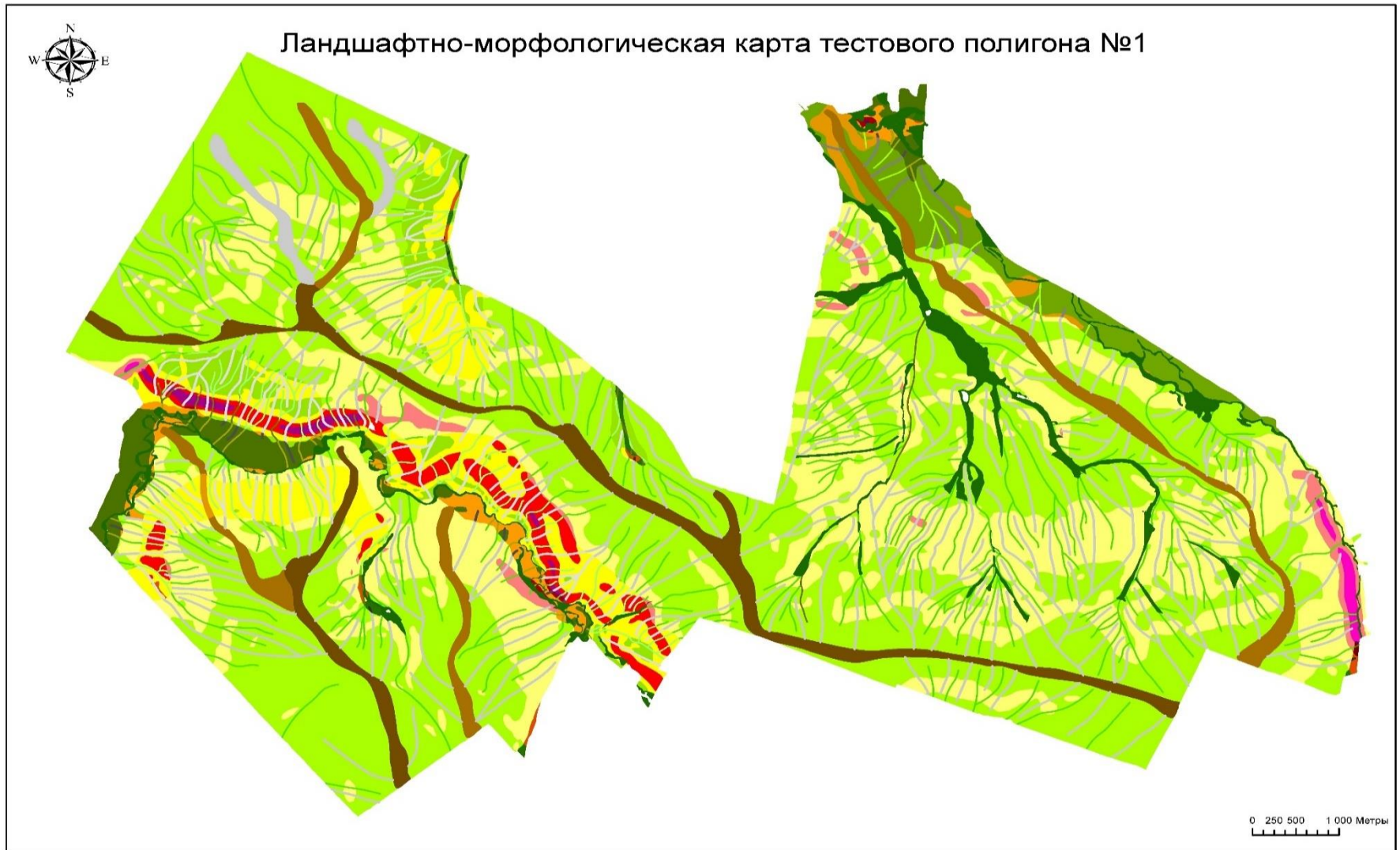
ПРИЛОЖЕНИЕ А



ПРИЛОЖЕНИЕ Б



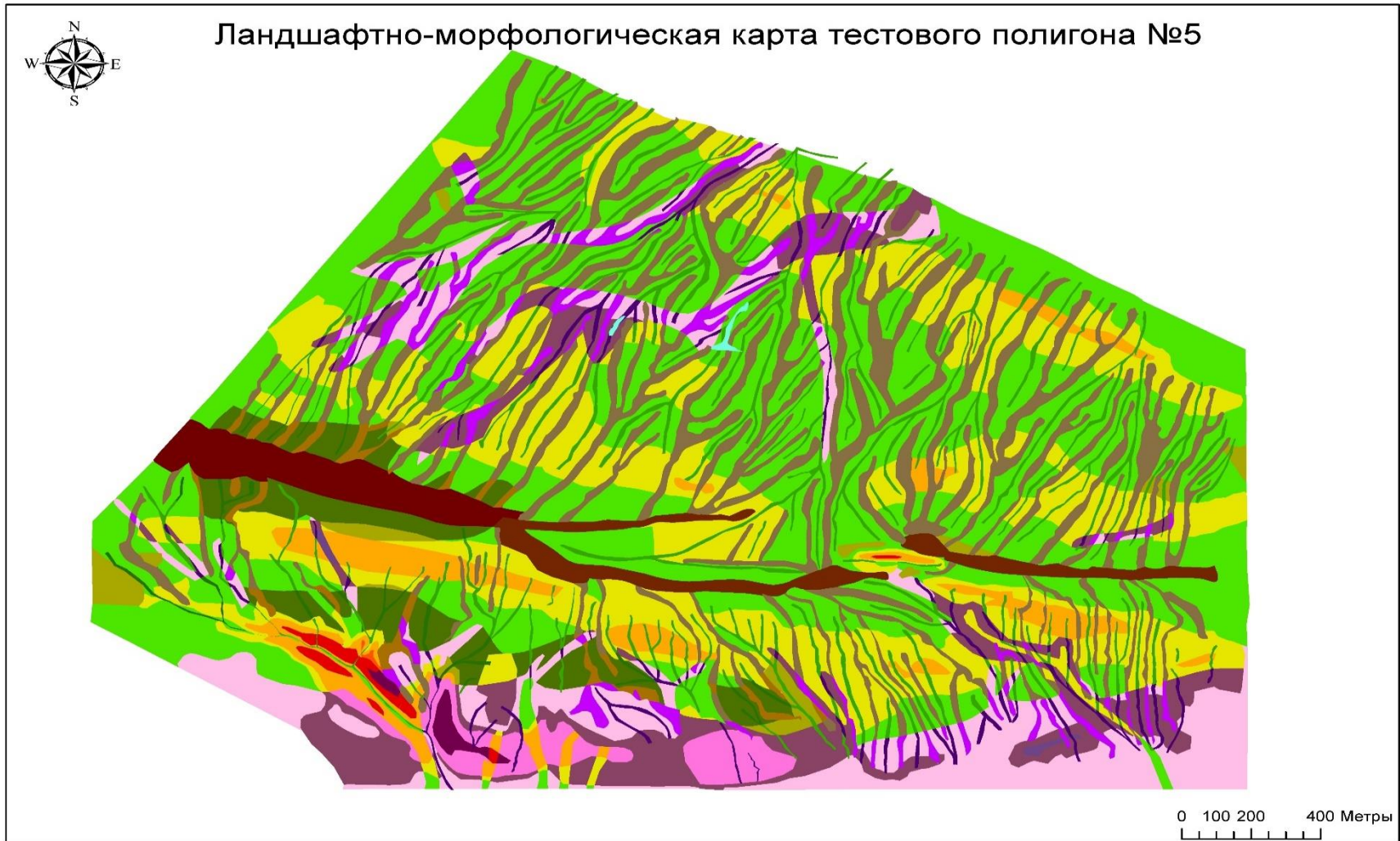
ПРИЛОЖЕНИЕ В



ПРИЛОЖЕНИЕ Г



ПРИЛОЖЕНИЕ Д



ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Д

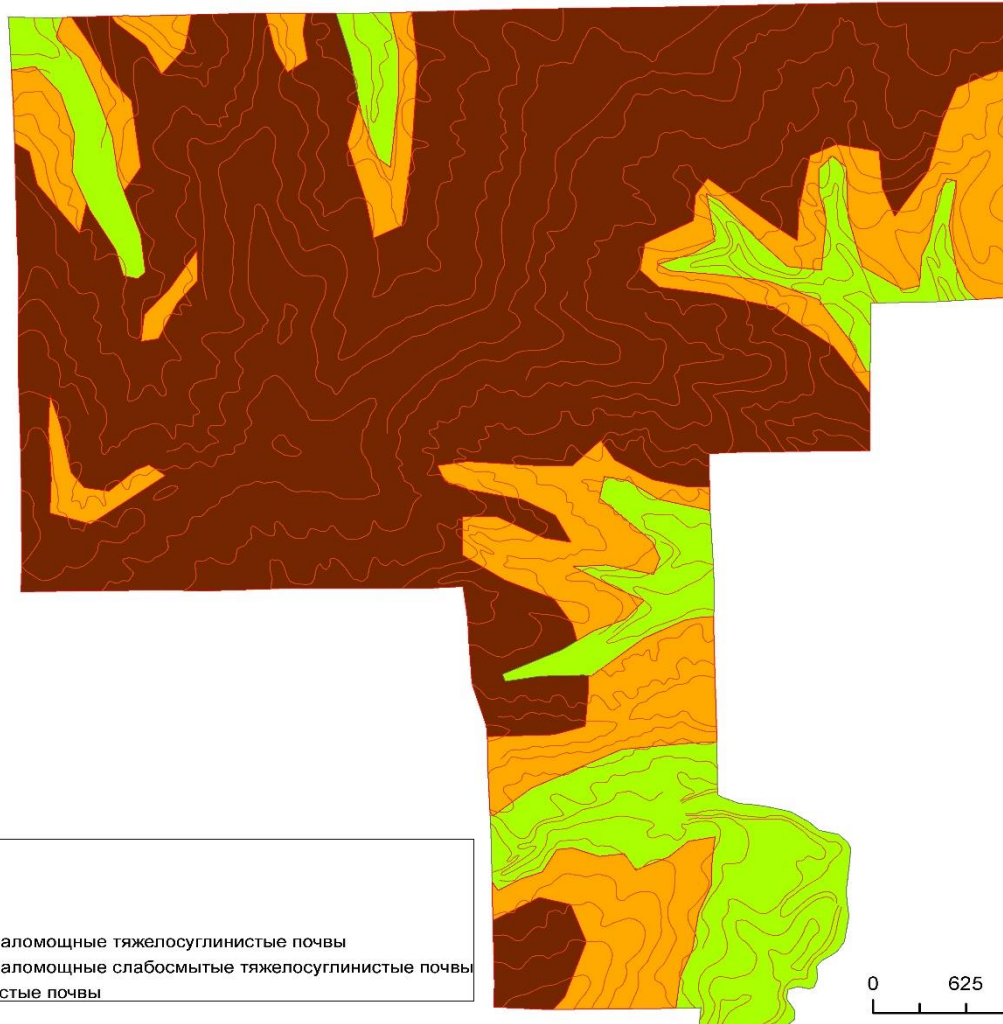
Условные обозначения

Типы фаций

-  Плоская водораздельная поверхность, сложенная темно-желтыми делювиальными глинами под глинистыми распаханными черноземами обыкновенными
-  Плоские водораздельные пространства, сложенные темно-желтой делювиальной глиной под распаханными глинистыми черноземами южными
-  Почти плоские склоны на темно-желтых делювиальных глинах под распаханными глинистыми черноземами южными
-  Слабополгие выпуклые склоны водоразделов 2-ого порядка, сложенные темно-желтой делювиальной глиной под распаханными глинистыми черноземами обыкновенными
-  Слабополгие выпуклые склоны водоразделов 2-ого порядка, сложенные темно-желтой делювиальной глиной под слабосмытыми распаханными глинистыми черноземами южными
-  Слабополгие выпуклые склоны водоразделов 2-ого порядка, сложенные темно-желтой глиной под слабосмытыми распаханными тяжелосуглинистыми черноземами выщелоченными
-  Слабополгие вогнутые склоны ложбин на слабосмытых распаханных делювиальных глинистых черноземах обыкновенных
-  Слабополгие вогнутые склоны ложбин, сложенные темно-желтой делювиальной глиной под слабосмытыми распаханными глинистыми черноземами южными
-  Слабополгие вогнутые склоны ложбин, сложенные темно-желтой глиной, под слабосмытыми распаханными тяжелосуглинистыми черноземами выщелоченными
-  Слабополгие выпуклые склоны на слабосмытых частично распаханных делювиальных глинистых черноземах обыкновенных
-  Слабополгие вогнутые склоны, сложенные темно-желтой делювиальной глиной, под слабосмытыми распаханными глинистыми черноземами южными под фрагментами типчаково-разнотравно-полевой степи
-  Слабополгие вогнутые склоны, сложенные темно-желтой глиной под слабосмытыми распаханными тяжелосуглинистыми черноземами выщелоченными
-  Пологие вогнутые склоны на слабосреднесмытых распаханных делювиальных глинистых черноземах обыкновенных
-  Пологие вогнутые склоны, сложенные темно-желтой делювиальной глиной под слабосреднесмытыми распаханными глинистыми черноземами южными
-  Пологие вогнутые склоны, сложенные темно-желтыми глинами под слабосреднесмытыми распаханными тяжелосуглинистыми черноземами выщелоченными
-  Слабопокатые выпуклые склоны на среднесильносмытых частично распаханных делювиальных глинистых черноземах обыкновенных
-  Слабопокатые вогнутые склоны, сложенные темно-желтой делювиальной глиной под среднесмытыми распаханными глинистыми черноземами южными
-  Слабопокатые вогнутые склоны на среднесмытых частично распаханных делювиальных тяжелосуглинистых черноземах выщелоченных
-  Слабопокатые вогнутые склоны, сложенные темно-желтой глиной под среднесмытыми распаханными суглинистыми черноземами выщелоченными
-  Покатые и сильнопокатые выпуклые склоны, сложенные темно-желтыми делювиальными глинами под сильносмытыми глинистыми черноземами южными
-  Покатые и сильнопокатые выпуклые склоны, сложенные темно-желтыми глинами под сильносмытыми суглинистыми черноземами выщелоченными
-  Гидроморфные участки

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Почвенная карта тестового полигона №9



Условные обозначения

— Изогипсы

Почвы

■ Каштановые слабосолонцеватые маломощные тяжелосуглинистые почвы

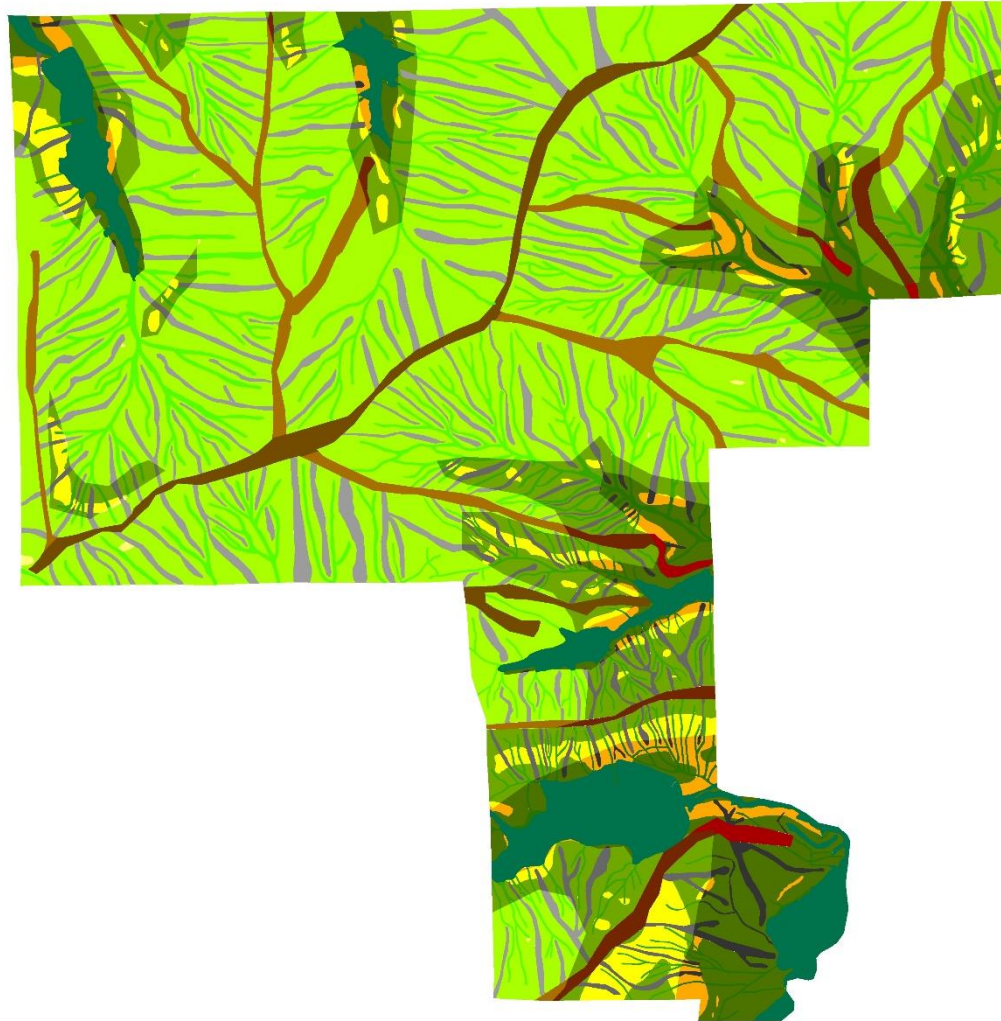
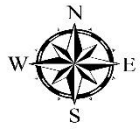
■ Каштановые слабосолонцеватые маломощные слабосмытые тяжелосуглинистые почвы

■ Лугово-каштановые тяжелосуглинистые почвы

0 625 1 250 2 500 Метры

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Ландшафтно-морфологическая карта тестового полигона №9



0 225 450 900 Метры

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Ж

Условные обозначения

Типы фаций

-  Плоские водораздельные пространства, сложенные сырцовыми глинами под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными тяжелосуглинистыми почвами (V)
-  Плоские водораздельные пространства 2-ого порядка, сложенные сырцовыми глинами под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными тяжелосуглинистыми почвами
-  Выпуклые водораздельные пространства 2-ого порядка, сложенные делювиальными отложениями сырцовых глин под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными слабосмытыми тяжелосуглинистыми почвами
-  Плоские водораздельные пространства 2-ого порядка, сложенные древними аллювиально-делювиальными отложениями под лугово-каштановыми тяжелосуглинистыми почвами
-  Выпуклые межложбинные водораздельные пространства, сложенные сырцовыми глинами под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными тяжелосуглинистыми почвами (IV)
-  Выпуклые межложбинные водораздельные пространства, сложенные делювиальными отложениями сырцовых глин под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными слабосмытыми тяжелосуглинистыми почвами
-  Выпуклые межложбинные водораздельные пространства, сложенные древними аллювиально-делювиальными отложениями под лугово-каштановыми тяжелосуглинистыми почвами
-  Склоны ложбин, сложенные сырцовыми глинами под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными тяжелосуглинистыми почвами (II)
-  Склоны ложбин, сложенные делювиальными отложениями сырцовых глин под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными слабосмытыми тяжелосуглинистыми почвами
-  Склоны ложбин, сложенные древними аллювиально-делювиальными отложениями под лугово-каштановыми тяжелосуглинистыми почвами
-  Почти плоские поверхности, сложенные сырцовыми глинами под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными тяжелосуглинистыми почвами (I)
-  Почти плоские поверхности, сложенные делювиальными отложениями сырцовых глин под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными слабосмытыми тяжелосуглинистыми почвами
-  Почти плоские вогнутые поверхности, сложенные древними аллювиально-делювиальными отложениями под лугово-каштановыми тяжелосуглинистыми почвами
-  Слабополгие вогнутые склоны, сложенные сырцовыми глинами под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными тяжелосуглинистыми почвами
-  Слабополгие склоны, сложенные делювиальными отложениями сырцовых глин под каштановыми слабосолонцеватыми маломощными слабосмытыми тяжелосуглинистыми почвами (III)
-  Слабополгие склоны, сложенные древними аллювиально-делювиальными отложениями под лугово-каштановыми тяжелосуглинистыми почвами
-  Пойменные и старичные территории, сложенные древними аллювиально-делювиальными отложениями под аллювиальными и лугово-каштановыми тяжелосуглинистыми почвами

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Таблица 1 – Климатические условия проведения исследований по тестовому полигону №1

Месяц/декада		м/с «Росташи»								
		2019			2020			2021		
		температура воздуха, °С	осадки, мм	ГТК	температура воздуха, °С	осадки, мм	ГТК	температура воздуха, °С	осадки, мм	ГТК
апрель	1	5,3	12		5,0	0		5,0	4	
	2	9,2	6		5,0	20		11,6	9	
	3	12,1	4		9,1	22		8,2	31	
	месяц	8,9	22	0,8	6,4	42	2,2	8,3	44	1,8
май	1	15,8	9		15,7	30		13,1	30	
	2	18,2	33		10,3	21		19,0	30	
	3	18,3	11		13,5	17		18,9	2	
	месяц	17,4	53	1	13,2	68	1,7	17,0	62	1,2
июнь	1	21,8	6		18,6	27		16,8	10	
	2	21,3	1		21,8	1		20,4	7	
	3	21,8	2		18,5	50		26,6	11	
	месяц	21,6	9	0,1	19,6	78	1,3	21,3	28	0,4
июль	1	18,3	17		24,9	11		22,3	1	
	2	18,8	78		20,8	5		25,1	4	
	3	20,2	15		20,2	10		21,9	47	
	месяц	19,1	110	1,9	22,0	26	0,4	23,1	52	0,7
август	1	15,5	80		19,6	38		25,1	5	
	2	20,4	5		15,9	13		24,2	63	
	3	17,2	6		19,0	0		19,5	10	
	месяц	17,7	91	1,7	18,2	51	0,9	22,9	78	1,1
сентябрь	1	15,2	5		18,1	5		12,8	30	
	2	13,7	15		12,6	3		12,7	7	
	3	6,8	11		13,7	0		9,0	28	
	месяц	11,9	31	0,9	14,8	8	0,2	11,5	65	1,9
октябрь	1	10,1	36		12,2	0		6,3	0	
	2	10,3	4		11,2	1		7,7	4	
	3	7,8	3		5,6	21		5,1	2	
	месяц	9,4	43	1,5	9,7	22	0,7	6,4	6	0,3

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Таблица 1 – Агрохимический состав слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

Типы фаций	N-NO ₃ , мг/кг				P ₂ O ₅ , мг/кг				K ₂ O, мг/кг				рН				Гумус, %				SO ₄ , мг/кг			
	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}
In	6,6	7,8	6,2	6,9	36,3	26,2	32,4	31,6	230,0	80,0	256,7	188,9	5,8	5,8	5,9	5,8	5,5	6,0	5,8	5,8	3,6	5,7	3,2	4,2
Пn	6,5	12,5	3,7	7,6	46,9	42,8	32,8	40,8	250,0	53,3	260,0	187,8	5,8	5,4	5,8	5,7	5,8	5,5	6,2	5,8	6,2	3,5	3,8	4,5
Пn	7,6	7,3	2,8	5,9	60,1	18,3	25,4	34,6	280,0	183,3	303,3	255,6	5,4	6,8	7,6	6,6	6,0	5,2	5,5	5,6	3,1	2,9	2,0	2,7
IVn	8,5	7,7	8,5	8,2	40,0	32,9	53,2	42,0	250,0	280,0	330,0	286,7	7,0	5,7	6,5	6,4	6,0	5,5	6,0	5,8	5,2	6,2	5,3	5,6
V	10,6	9,0	2,7	7,4	36,4	24,7	25,8	29,0	350,0	223,3	300,0	291,1	7,3	5,5	5,8	6,2	4,6	6,1	5,7	5,5	5,1	2,9	4,5	4,2
Is	8,7	6,9	5,2	6,9	34,0	19,9	33,9	29,2	280,0	166,7	366,7	271,1	7,2	5,6	5,9	6,2	6,0	4,8	4,8	5,2	4,6	5,0	4,0	4,5
Пs	7,0	10,0	2,3	6,4	68,4	33,9	28,9	43,7	280,0	176,7	283,3	246,7	5,7	5,5	5,5	5,6	6,0	4,8	5,0	5,3	5,6	2,5	6,7	4,9
Пs	10,0	9,1	5,9	8,3	59,2	37,5	29,0	41,9	310,0	260,0	336,7	302,2	5,4	5,9	6,4	5,9	6,2	5,9	4,8	5,6	5,9	5,0	4,5	5,1
IVs	10,0	10,2	3,5	7,9	30,0	38,2	23,5	30,6	230,0	246,7	326,7	267,8	6,6	5,5	5,7	5,9	5,7	5,7	4,8	5,4	1,7	6,3	1,6	3,2
s	1,6	1,8	1,9	1,0	13,7	8,6	8,8	6,1	39,1	78,0	36,6	41,7	0,8	0,4	0,6	0,3	0,5	0,5	0,6	0,2	1,5	1,6	1,5	0,9
\bar{x}	8,4	8,9	6,7	8,0	45,7	30,5	31,6	35,9	273,3	185,6	307,0	255,3	6,3	5,7	6,1	6,0	5,7	5,5	5,4	5,5	4,6	4,0	4,4	4,3
V ₁	18,8	19,6	27,4	12,8	29,9	28,1	27,9	17,0	14,3	42,0	11,9	16,3	12,3	7,3	10,5	5,7	7,9	8,9	10,6	4,3	32,5	39,9	33,9	21,2
2019	1,58				13,68				39,05				0,77				0,46				1,48			
2020	1,75				8,58				78,01				0,42				0,49				1,58			
2021	1,85				8,83				36,61				0,64				0,57				1,51			
s	0,14				2,87				23,23				0,18				0,06				0,05			
\bar{x}	1,73				10,37				51,22				0,61				0,50				1,52			
V ₂	7,99				27,72				45,35				29,33				11,74				3,33			

Примечание: 1 – 2019 год, 2 – 2020 год, 3 – 2021 год; \bar{x} – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение, V₁ – коэффициент вариации для степени влияния ландшафтно-морфологического фактора на параметр; V₂ – коэффициент вариации для пространственно-временной устойчивости влияния ландшафтно-морфологического фактора на параметр.

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Таблица 1 – Гранулометрический состав слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №1, 2020 год

Типы фаций	Песок								Пыль												Ил			
	Средний (1–0,25), %				Мелкий (0,25–0,05), %				Крупная (0,05–0,01), %				Средняя (0,01–0,005), %				Мелкая (0,005–0,001), %				Ил (<0,001), %			
	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}
In	2,5	2,5	2,7	2,6	8,6	8,2	8,6	8,5	27,0	30,5	29,7	29,1	11,4	10,9	10,4	10,9	19,3	18,6	19,5	19,1	31,2	29,3	29,1	29,9
IIн	3,4	3,4	3,7	3,5	17,2	16,8	17,2	17,1	18,4	20,8	19,6	19,6	12,5	11,9	11,8	12,1	18,3	18,2	18,9	18,5	30,2	28,9	28,8	29,3
IIIн	2,7	2,8	2,9	2,8	28,2	27,9	28,7	28,3	12,3	14,0	13,5	13,3	11,6	11,5	11,0	11,4	18,3	18,0	18,6	18,3	26,9	25,8	25,3	26,0
IVн	1,7	1,7	1,9	1,8	28,0	27,2	28,2	27,8	17,0	19,4	19,4	18,6	13,0	12,7	12,3	12,7	18,7	18,5	18,0	18,4	21,6	20,5	20,2	20,8
V	5,1	5,5	5,6	5,4	16,4	15,6	16,2	16,1	24,2	27,5	26,5	26,1	11,4	10,6	10,7	10,9	21,9	21,2	21,6	21,6	21,0	19,6	19,4	20,0
Is	5,4	5,6	6,0	5,7	27,8	26,6	27,0	27,1	21,2	24,5	23,3	23,0	12,4	11,6	11,7	11,9	17,0	16,4	16,8	16,7	16,2	15,3	15,2	15,6
IIс	7,7	7,8	8,5	8,0	29,3	28,2	29,6	29,0	18,5	21,3	20,1	20,0	10,3	9,7	9,8	9,9	4,4	4,8	4,0	4,4	29,8	28,2	28,0	28,7
IIIс	4,4	4,5	4,9	4,6	15,4	15,6	15,4	15,5	19,8	22,4	21,4	21,2	14,2	13,3	13,4	13,6	25,4	25,0	25,3	25,2	20,8	19,2	19,6	19,9
IVс	7,5	7,5	8,1	7,7	20,7	19,8	20,1	20,2	21,5	24,5	23,6	23,2	12,6	11,8	11,9	12,1	14,2	13,9	14,3	14,1	23,5	22,5	22,0	22,7
НСР ₀₅	0,202				0,359				0,484				0,071				0,303				0,358			
F _{факт.}	1090,931				3837,358				778,181				2054,649				3279,412				1787,123			
F _{геор.}	2,59				2,59				2,59				2,59				2,59				2,59			

Примечание: 1 – 1 повторность, 2 – 2 повторность, 3 – 3 повторность; \bar{x} – среднее арифметическое.

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Таблица 1 – Плотность и влажность слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №1, 2019 год

Типы фаций	Плотность сложения, г/см ³						Влажность, мм		
	1	2	3	4	5	\bar{x}	1	2	\bar{x}
In	1,19	1,35	1,24	1,28	1,29	1,27	60,8	62,4	61,6
Пn	1,34	1,31	1,33	1,30	1,32	1,32	64,1	67,5	65,8
Шn	1,16	1,27	1,26	1,28	1,28	1,25	71,7	61,5	66,6
IVn	1,11	1,01	1,14	1,17	1,16	1,12	72,4	66,3	69,3
V	1,08	1,12	1,09	1,17	1,25	1,14	59,3	61,9	60,6
Is	1,20	1,19	1,24	1,15	1,22	1,20	54,3	58,1	56,2
Пs	1,25	1,38	1,25	1,31	1,28	1,30	64,2	60,9	62,6
Шs	1,33	1,43	1,25	1,47	1,42	1,38	69,9	66,4	68,2
IVs	1,10	1,21	1,12	1,13	1,10	1,13	66,6	64,0	65,3
НСР ₀₅	0,068						-		
F _{факт.}	14,947						2,999		
F _{геор.}	2,27						3,44		

Примечание: 1, 2, 3, 4, 5 – повторности; \bar{x} – среднее арифметическое.

Таблица 2 – Плотность и влажность слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №1, 2020 год

Типы фаций	Плотность сложения, г/см ³						Влажность, мм		
	1	2	3	4	5	\bar{x}	1	2	\bar{x}
In	1,24	1,30	1,23	1,31	1,38	1,29	81,5	81,8	81,7
Пn	1,36	1,49	1,35	1,53	1,51	1,45	62,8	60,1	61,5
Шn	1,25	1,24	1,18	1,14	1,24	1,21	77,0	71,9	74,4
IVn	1,27	1,30	1,42	1,34	1,37	1,34	75,3	70,6	72,9
V	1,28	1,30	1,28	1,31	1,24	1,28	78,7	84,6	81,7
Is	1,40	1,37	1,62	1,42	1,35	1,43	68,6	63,3	65,9
Пs	1,54	1,36	1,43	1,34	1,53	1,44	71,0	60,9	66,0
Шs	1,08	1,36	1,31	1,23	1,12	1,22	88,5	79,9	84,2
IVs	1,42	1,44	1,41	1,47	1,50	1,45	74,0	69,7	71,9
НСР ₀₅	0,102						7,731		
F _{факт.}	7,734						11,350		
F _{геор.}	2,27						3,44		

Примечание: 1, 2, 3, 4, 5 – повторности; \bar{x} – среднее арифметическое.

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ М

Таблица 3 – Плотность и влажность слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №1, 2021 год

Типы фаций	Плотность сложения, г/см ³						Влажность, мм		
	1	2	3	4	5	\bar{x}	1	2	\bar{x}
In	1,24	1,18	1,18	1,20	1,13	1,19	61,1	55,2	58,2
II _n	1,33	1,38	1,40	1,52	1,49	1,43	66,1	65,7	65,9
III _n	1,53	1,42	1,50	1,34	1,56	1,47	69,8	65,4	67,6
IV _n	1,23	1,30	1,31	1,22	1,29	1,27	64,5	65,0	64,8
V	1,42	1,31	1,35	1,25	1,25	1,32	57,9	56,1	57,0
Is	1,57	1,38	1,32	1,54	1,49	1,46	62,3	63,6	63,0
II _s	1,48	1,48	1,45	1,49	1,50	1,48	62,5	61,9	62,2
III _s	1,37	1,40	1,42	1,39	1,49	1,42	44,9	45,0	45,0
IV _s	1,28	1,30	1,28	1,32	1,32	1,30	60,7	59,1	59,9
НСР ₀₅	0,084						3,834		
F _{факт.}	12,684						33,130		
F _{теор.}	2,27						3,44		

Примечание: 1, 2, 3, 4, 5 – повторности; \bar{x} – среднее арифметическое.

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Таблица 1 – Климатические условия проведения исследований по тестовому полигону №5

Месяц/декада		м/с «Саратов Ю-В»								
		2019			2020			2021		
		температура воздуха, °С	осадки, мм	ГТК	температура воздуха, °С	осадки, мм	ГТК	температура воздуха, °С	осадки, мм	ГТК
апрель	1	5,8	15		6,9	0,6		5,5	65	
	2	9,2	1		6,0	18		12,5	17	
	3	13,4	2		10,1	15		9,1	21	
	месяц	9,5	18	0,6	7,7	34	1,5	9,0	103	3,8
май	1	16,3	30		16,7	15		15,0	18	
	2	19,7	0		12,3	8		20,4	18	
	3	19,4	5		15,8	25		20,8	2	
	месяц	18,5	35	0,6	14,9	48	1,1	18,7	38	0,7
июнь	1	22,4	19		19,5	14		17,1	60	
	2	22,3	0		22,1	4		21,0	13	
	3	23,6	2		18,9	64		27,3	2	
	месяц	22,8	21	0,3	20,2	82	1,3	21,8	75	1,1
июль	1	21,3	10		26,3	1		23,7	12	
	2	20,8	24		24,3	0		26,5	9	
	3	22,1	16		22,6	4		23,1	24	
	месяц	21,4	50	0,8	24,4	5	0,1	24,4	45	0,6
август	1	17,7	32		21,4	56		25,8	0	
	2	21,4	0		17,3	13		26,6	1	
	3	18,6	15		20,5	0		21,2	2	
	месяц	19,2	47	0,8	19,7	69	1,2	24,5	3	0,04
сентябрь	1	16,0	6		18,0	0		15,3	33	
	2	15,6	3		13,9	14		14,1	1	
	3	8,2	4		13,4	0		10,1	46	
	месяц	13,3	13	0,3	15,1	14	0,3	13,2	80	2
октябрь	1	11,6	24		10,8	0		7,5	0	
	2	11,5	1		11,2	0,8		8,0	2	
	3	9,2	4		5,8	7		7,2	3	
	месяц	10,7	29	0,9	9,3	8	0,3	7,6	5	0,2

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Таблица 1 – Агрохимический состав слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

Типы фаций	N-NO ₃ , мг/кг				P ₂ O ₅ , мг/кг				K ₂ O, мг/кг				рН				Гумус, %				SO ₄ , мг/кг			
	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}
In	7,8	5,8	4,2	5,9	26,2	27,5	66,3	40,0	283,3	270,0	413,3	322,2	7,1	6,3	7,5	7,0	3,3	3,2	2,5	3,0	5,7	4,0	2,0	3,9
II _n	6,8	5,8	2,8	5,1	52,9	54,2	55,3	54,1	296,6	210,0	286,7	264,4	6,1	6,0	7,4	6,5	3,4	3,5	3,2	3,4	3,7	5,4	4,8	4,6
III _n	7,5	5,9	2,6	5,3	59,9	44,2	29,8	44,6	353,3	310,0	210,0	291,1	7,0	5,7	7,6	6,8	2,7	3,3	2,5	2,8	10,1	4,4	2,3	5,6
IV _n	6,9	4,8	2,8	4,8	29,5	45,0	28,5	34,3	273,3	250,0	276,7	266,7	6,4	6,6	6,7	6,6	3,3	3,1	2,6	3,0	5,3	3,5	2,5	3,8
V	5,0	6,4	2,0	4,5	35,5	56,0	29,1	40,2	300,0	500,0	276,7	358,9	6,1	7,3	6,6	6,7	3,0	3,5	3,0	3,2	7,1	3,6	2,1	4,3
Is	5,5	5,7	2,7	4,6	31,9	32,8	44,6	36,4	256,6	220,0	303,3	260,0	7,3	7,4	6,1	6,9	2,9	3,0	1,8	2,6	7,9	3,5	4,7	5,4
II _s	4,2	5,7	2,3	4,1	10,9	43,2	27,7	27,3	250,0	270,0	206,7	242,2	7,3	7,5	6,9	7,2	3,2	3,0	1,8	2,7	5,0	3,8	3,7	4,2
III _s	6,4	6,2	3,0	5,2	22,6	30,2	24,3	25,7	223,3	260,0	230,0	237,8	7,3	7,3	7,7	7,4	3,3	3,3	1,8	2,8	5,6	4,4	3,4	4,5
IV _s	5,0	6,0	2,6	4,5	43,5	36,0	19,9	33,1	230,0	265,0	210,0	235,0	7,2	6,6	7,7	7,2	3,3	3,6	1,4	2,8	7,3	2,8	3,1	4,4
s	1,3	0,4	0,9	0,6	15,3	10,1	15,7	8,8	40,2	86,2	66,0	41,8	0,5	0,6	0,6	0,3	0,2	0,2	0,6	0,3	1,9	0,7	1,1	0,6
\bar{x}	6,1	5,8	1,9	4,6	34,8	41,0	36,2	37,3	274,0	283,9	268,1	275,4	6,9	6,7	7,1	6,9	3,1	3,3	2,3	2,9	6,4	3,9	3,2	4,5
V ₁	20,4	7,3	48,9	12,3	43,9	24,7	43,4	23,5	14,7	30,4	24,6	15,2	7,3	9,5	8,0	4,5	7,5	6,7	26,9	8,7	29,6	18,8	33,5	13,7
2019	1,25				15,27				40,23				0,50				0,24				1,90			
2020	0,42				10,13				86,16				0,64				0,22				0,74			
2021	0,91				15,71				65,96				0,57				0,61				1,06			
s	0,42				3,10				23,02				0,07				0,22				0,60			
\bar{x}	0,86				13,70				64,12				0,57				0,36				1,23			
V ₂	48,20				22,61				35,90				11,96				63,04				48,43			

Примечание: 1 – 2019 год, 2 – 2020 год, 3 – 2021 год; \bar{x} – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение, V₁ – коэффициент вариации для степени влияния ландшафтно-морфологического фактора на параметр; V₂ – коэффициент вариации для пространственно-временной устойчивости влияния ландшафтно-морфологического фактора на параметр.

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

Таблица 1 – Гранулометрический состав слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №5, 2019 год

Типы фаций	Песок								Пыль												Ил			
	Средний (1–0,25), %				Мелкий (0,25–0,05), %				Крупная (0,05–0,01), %				Средняя (0,01–0,005), %				Мелкая (0,005–0,001), %				Ил (<0,001), %			
	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}
In	1,5	1,6	1,5	1,5	5,7	5,5	4,9	5,4	23,3	21,7	21,4	22,1	20,3	19,8	22,2	20,8	20,1	20,7	19,0	19,9	29,1	30,7	31,0	30,3
IIн	3,3	3,6	3,3	3,4	32,6	30,5	28,8	30,6	20,4	18,7	19,9	19,7	9,4	8,7	9,4	9,2	14,0	15,5	14,7	14,7	20,3	23,0	23,9	22,4
IIIн	2,6	2,8	2,7	2,7	34,0	31,3	30,1	31,8	19,4	18,0	18,5	18,6	10,4	9,7	10,5	10,2	14,1	15,0	14,7	14,6	19,5	23,2	23,5	22,1
IVн	2,3	2,5	2,3	2,4	25,6	25,3	23,3	24,7	23,6	21,7	22,4	22,6	9,6	8,8	10,1	9,5	13,6	14,6	13,7	14,0	25,3	27,1	28,2	26,9
V	2,6	2,9	2,7	2,7	18,5	17,7	16,4	17,5	26,1	23,8	24,4	24,8	10,4	9,6	10,3	10,1	16,4	17,5	16,5	16,8	26,0	28,5	29,7	28,1
Is	3,3	3,6	3,4	3,4	24,0	23,0	21,6	22,9	25,1	23,6	25,8	24,8	9,6	9,0	9,7	9,4	16,2	17,3	16,5	16,7	21,8	23,5	23,0	22,8
IIс	4,0	4,3	4,2	4,2	20,5	19,9	17,8	19,4	24,5	22,4	22,9	23,3	10,1	9,3	10,1	9,8	13,1	14,0	13,2	13,4	27,8	30,1	31,8	29,9
IIIс	3,7	4,1	4,6	4,1	35,3	33,3	31,3	33,3	17,3	16,1	16,9	16,8	7,8	7,2	7,8	7,6	12,9	13,8	13,0	13,2	23,0	25,5	26,4	25,0
IVс	2,7	2,9	3,0	2,9	29,5	27,5	25,3	27,4	20,1	19,1	19,9	19,7	8,6	8,0	9,6	8,7	13,9	14,9	14,0	14,3	25,2	27,6	28,2	27,0
НСР ₀₅	0,068				1,214				0,222				0,107				0,084				0,275			
F _{факт.}	1232,564				487,533				1518,229				1440,582				2139,114				865,959			
F _{теор.}	2,59				2,59				2,59				2,59				2,59				2,59			

Примечание: 1 – 1 повторность, 2 – 2 повторность, 3 – 3 повторность; \bar{x} – среднее арифметическое.

ПРИЛОЖЕНИЕ С

Таблица 1 – Плотность и влажность слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №5, 2019 год

Типы фаций	Плотность сложения, г/см ³						Влажность, мм		
	1	2	3	4	5	\bar{x}	1	2	\bar{x}
In	1,44	1,51	1,52	1,52	1,50	1,50	69,3	64,7	67,0
IIн	1,31	1,21	1,30	1,18	1,26	1,25	62,2	61,7	62,0
IIIн	1,32	1,21	1,30	1,28	1,21	1,27	51,5	44,3	47,9
IVн	1,46	1,55	1,39	1,35	1,37	1,42	65,6	60,6	63,1
V	1,46	1,41	1,24	1,37	1,28	1,35	72,8	64,6	68,7
Is	1,61	1,65	1,64	1,57	1,51	1,60	86,5	87,9	87,2
IIс	1,56	1,47	1,39	1,33	1,49	1,45	84,2	81,4	82,8
IIIс	1,52	1,39	1,33	1,35	1,44	1,41	73,6	72,1	72,9
IVс	1,18	1,43	1,26	1,35	1,51	1,35	74,5	68,4	71,5
НСР ₀₅	0,100						5,237		
F _{факт.}	9,868						52,157		
F _{теор.}	2,27						3,44		

Примечание: 1, 2, 3, 4, 5 – повторности; \bar{x} – среднее арифметическое.

Таблица 2 – Плотность и влажность слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №5, 2020 год

Типы фаций	Плотность сложения, г/см ³						Влажность, мм		
	1	2	3	4	5	\bar{x}	1	2	\bar{x}
In	1,44	1,35	1,43	1,36	1,43	1,40	65,7	64,7	65,2
IIн	1,65	1,62	1,61	1,70	1,71	1,66	61,8	56,5	59,2
IIIн	1,37	1,50	1,41	1,36	1,32	1,39	62,9	54,7	58,8
IVн	1,51	1,57	1,61	1,51	1,45	1,53	60,2	53,6	56,9
V	1,31	1,30	1,48	1,27	1,36	1,35	49,8	49,0	49,4
Is	1,21	1,45	1,30	1,29	1,20	1,29	54,8	53,8	54,3
IIс	1,38	1,54	1,43	1,48	1,49	1,46	49,6	49,9	49,8
IIIс	1,44	1,44	1,52	1,48	1,49	1,47	50,6	45,0	47,8
IVс	1,53	1,57	1,63	1,47	1,59	1,56	60,3	59,7	60,0
НСР ₀₅	0,079						5,194		
F _{факт.}	17,013						13,361		
F _{теор.}	2,27						3,44		

Примечание: 1, 2, 3, 4, 5 – повторности; \bar{x} – среднее арифметическое.

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ С

Таблица 3 – Плотность и влажность слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №5, 2021 год

Типы фаций	Плотность сложения, г/см ³						Влажность, мм		
	1	2	3	4	5	\bar{x}	1	2	\bar{x}
In	1,47	1,35	1,40	1,42	1,39	1,40	70,0	65,0	67,5
II _n	1,55	1,59	1,53	1,48	1,32	1,49	85,8	81,7	83,7
III _n	1,31	1,15	1,25	1,24	1,23	1,24	61,1	60,1	60,6
IV _n	1,22	1,34	1,29	1,29	1,23	1,27	64,1	66,1	65,1
V	1,20	1,29	1,31	1,43	1,49	1,34	79,1	74,8	76,9
Is	1,52	1,46	1,65	1,54	1,53	1,54	77,6	76,3	76,9
II _s	1,47	1,53	1,42	1,43	1,42	1,45	94,0	83,4	88,7
III _s	1,32	1,40	1,41	1,35	1,36	1,37	88,7	84,6	86,6
IV _s	1,06	1,20	1,06	1,34	1,25	1,18	89,5	81,5	85,5
НСР ₀₅	0,104						6,125		
F _{факт.}	10,940						30,062		
F _{теор.}	2,27						3,44		

Примечание: 1, 2, 3, 4, 5 – повторности; \bar{x} – среднее арифметическое.

ПРИЛОЖЕНИЕ Т

Таблица 1 – Климатические условия проведения исследований по тестовому полигону №9

Месяц/декада		м/с «Красный Кут»								
		2019			2020			2021		
		температура воздуха, °С	осадки, мм	ГТК	температура воздуха, °С	осадки, мм	ГТК	температура воздуха, °С	осадки, мм	ГТК
апрель	1	6,9	11		4,8	1		5,9	32	
	2	9,2	0		6,3	10		13,1	3	
	3	11,5	2		9,6	11		8,6	9	
	месяц	9,2	13	0,5	6,9	22	1	9,2	44	1,6
май	1	16,0	6		16,4	16		15,4	2	
	2	19,5	4		11,6	10		21,4	9	
	3	18,7	8		16,9	8		22,4	10	
	месяц	18,1	18	0,3	15,0	34	0,8	19,7	21	0,3
июнь	1	22,2	13		20,1	21		17,9	40	
	2	21,7	0		23,5	2		20,8	27	
	3	24,1	0		19,3	15		27,7	16	
	месяц	22,7	13	0,2	21,0	38	0,6	22,1	83	1,3
июль	1	20,9	13		27,4	1		24,7	0,3	
	2	21,0	34		24,9	9		26,7	4	
	3	21,5	24		22,9	0		24,0	12	
	месяц	21,1	71	1,1	25,1	10	0,1	25,1	16	0,2
август	1	17,6	8		22,0	15		26,7	0	
	2	22,5	0,3		17,5	5		28,3	0	
	3	19,2	0		19,5	2		22,4	0,5	
	месяц	19,8	8	0,1	19,7	22	0,4	25,8	0,5	0,01
сентябрь	1	15,4	0		18,3	3		14,8	18	
	2	15,5	11		13,3	11		13,7	0,5	
	3	7,8	6		12,7	0		10,6	32	
	месяц	12,9	17	0,4	14,8	14	0,3	13,0	51	1,3
октябрь	1	11,8	22		10,3	0		7,1	0	
	2	10,2	2		11,8	0,3		7,8	5	
	3	8,2	1		5,3	3		6,1	2	
	месяц	10,1	25	0,8	9,1	3	0,1	7,0	7	0,3

ПРИЛОЖЕНИЕ У

Таблица 1 – Агрохимический состав слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №9, 2019–2021 гг.

Типы фаций	N-NO ₃ , мг/кг				P ₂ O ₅ , мг/кг				K ₂ O, мг/кг				рН				Гумус, %				SO ₄ , мг/кг			
	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}
In	3,5	4,0	2,6	3,4	36,0	63,3	25,2	41,5	400,0	386,7	283,3	356,7	7,3	7,4	7,6	7,4	2,5	2,4	2,0	2,3	6,9	1,2	4,4	4,2
Пn	3,9	4,6	4,0	4,2	23,0	52,9	20,6	32,1	310,0	366,7	253,3	310,0	7,3	7,7	7,7	7,6	3,1	2,2	1,4	2,2	5,8	3,7	3,8	4,4
Шn	3,2	3,3	3,3	3,3	35,0	65,5	34,4	45,0	360,0	346,7	310,0	338,9	7,2	7,6	7,6	7,5	2,8	2,0	1,7	2,2	4,2	3,5	2,5	3,4
IVn	3,0	3,6	3,8	3,5	33,2	54,9	27,2	38,4	340,0	413,3	266,7	340,0	7,3	7,5	7,7	7,5	2,5	2,0	1,6	2,0	4,6	4,0	5,2	4,6
V	2,4	4,8	2,2	3,1	34,0	53,7	22,9	36,9	350,0	370,0	300,0	340,0	7,1	7,5	7,6	7,4	2,4	3,0	1,7	2,4	1,9	3,8	1,1	2,3
Is	5,5	4,0	4,0	4,5	32,0	56,9	35,2	41,4	330,0	303,3	290,0	307,8	7,3	7,3	7,6	7,4	2,6	2,0	1,8	2,1	2,2	3,7	1,9	2,6
Пs	6,0	5,1	3,6	4,9	37,0	54,5	30,2	40,6	290,0	330,0	326,7	315,6	7,3	7,3	7,6	7,4	2,4	2,0	2,1	2,2	1,4	1,9	3,9	2,4
Шs	4,2	5,2	7,8	5,7	32,0	53,4	26,5	37,3	290,0	263,3	276,7	276,7	7,4	7,5	7,7	7,5	2,0	1,7	1,9	1,9	2,8	2,7	7,8	4,4
IVs	4,2	3,0	8,4	5,2	44,7	38,2	24,8	35,9	310,0	396,7	346,7	351,1	7,3	7,3	7,7	7,4	1,9	2,1	2,1	2,0	2,7	2,5	4,1	3,1
s	1,2	0,8	0,6	0,5	5,7	7,7	5,0	3,8	35,9	47,7	29,5	25,6	0,1	0,1	0,0	0,0	0,4	0,4	0,2	0,1	1,9	1,0	2,0	0,9
\bar{x}	4,0	4,2	4,5	4,2	34,1	54,8	27,4	38,8	331,1	353,0	294,8	326,3	7,3	7,4	7,6	7,4	2,5	2,2	1,8	2,1	3,6	3,0	3,9	3,5
V ₁	29,5	18,6	14,4	12,0	16,7	14,0	18,1	9,7	10,8	13,5	10,0	7,9	1,0	1,5	0,6	0,6	14,6	16,7	13,5	6,9	52,0	32,6	51,0	27,0
2019	1,18				5,68				35,86				0,07				0,36				1,88			
2020	0,78				7,68				47,74				0,11				0,36				0,98			
2021	0,65				4,96				29,49				0,05				0,25				1,97			
s	0,28				1,41				9,26				0,03				0,07				0,55			
\bar{x}	0,87				6,11				37,70				0,08				0,32				1,61			
V ₂	31,75				23,12				24,57				41,71				20,18				34,02			

Примечание: 1 – 2019 год, 2 – 2020 год, 3 – 2021 год; \bar{x} – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение, V₁ – коэффициент вариации для степени влияния ландшафтно-морфологического фактора на параметр; V₂ – коэффициент вариации для пространственно-временной устойчивости влияния ландшафтно-морфологического фактора на параметр.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ф

Таблица 1 – Гранулометрический состав слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №9, 2020 год

Типы фаций	Песок								Пыль												Ил			
	Средний (1–0,25), %				Мелкий (0,25–0,05), %				Крупная (0,05–0,01), %				Средняя (0,01–0,005), %				Мелкая (0,005–0,001), %				Ил (<0,001), %			
	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}
In	0,02	0,02	0,02	0,02	41,7	45,6	44,6	44,0	25,7	23,2	23,9	24,3	2,0	1,8	1,9	1,9	7,5	8,5	8,6	8,2	23,1	20,9	21,0	21,7
II _n	0,09	0,13	0,12	0,11	59,4	61,5	60,3	60,4	3,5	3,4	3,3	3,4	1,7	1,6	1,7	1,7	6,6	7,4	7,5	7,2	28,7	26,0	27,1	27,3
III _n	0,19	0,20	0,19	0,19	55,4	57,7	56,5	56,5	6,7	6,4	6,2	6,4	1,2	1,1	1,1	1,1	11,6	13,0	12,2	12,3	24,9	21,6	23,8	23,4
IV _n	0,06	0,06	0,06	0,06	55,6	57,0	56,2	56,3	8,8	8,4	8,2	8,5	3,0	2,8	2,9	2,9	10,4	11,7	11,9	11,3	22,1	20,0	20,7	20,9
V	0,07	0,07	0,07	0,07	67,8	69,2	68,3	68,4	2,4	2,3	2,3	2,3	1,5	1,4	1,5	1,5	8,1	9,1	9,3	8,8	20,1	17,9	18,5	18,8
Is	0,08	0,08	0,08	0,08	62,3	63,6	63,2	63,0	1,5	1,5	1,4	1,5	3,5	3,2	3,4	3,4	9,2	10,4	10,6	10,1	23,4	21,2	21,3	22,0
II _s	0,15	0,15	0,15	0,15	18,6	20,0	19,7	19,4	26,9	27,0	26,4	26,8	10,7	9,8	10,3	10,3	15,5	17,5	17,8	16,9	28,1	25,5	25,6	26,4
III _s	0,22	0,22	0,21	0,22	15,3	16,5	16,3	16,0	34,5	34,1	33,4	34,0	9,1	8,4	8,8	8,8	17,5	19,7	20,0	19,1	23,4	21,1	21,3	21,9
IV _s	0,05	0,05	0,05	0,05	19,5	21,0	20,0	20,2	30,1	31,4	29,6	30,4	10,7	10,4	10,9	10,7	14,5	15,6	16,6	15,6	25,1	21,5	22,8	23,1
НСР ₀₅	0,013				6,822				0,957				0,283				0,535				0,291			
F _{факт.}	254,770				84,396				1952,296				1830,944				555,253				898,318			
F _{теор.}	2,59				2,59				2,59				2,59				2,59				2,59			

Примечание: 1 – 1 повторность, 2 – 2 повторность, 3 – 3 повторность; \bar{x} – среднее арифметическое.

ПРИЛОЖЕНИЕ X

Таблица 1 – Плотность и влажность слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №9, 2019 год

Типы фаций	Плотность сложения, г/см ³						Влажность, мм		
	1	2	3	4	5	\bar{x}	1	2	\bar{x}
In	1,57	1,51	1,46	1,48	1,63	1,53	51,1	46,8	48,9
IIн	1,41	1,42	1,45	1,46	1,58	1,46	62,3	66,8	64,5
IIIн	1,63	1,64	1,43	1,57	1,60	1,57	54,4	52,1	53,3
IVн	1,23	1,28	1,32	1,29	1,30	1,28	50,3	52,2	51,2
V	1,25	1,18	1,33	1,34	1,34	1,29	58,3	56,9	57,6
Is	1,59	1,51	1,65	1,53	1,56	1,57	66,7	64,2	65,5
IIс	1,35	1,36	1,34	1,30	1,31	1,33	71,4	66,6	69,0
IIIс	1,26	1,28	1,20	1,35	1,29	1,28	57,3	59,0	58,2
IVс	1,49	1,49	1,52	1,51	1,40	1,48	53,2	53,4	53,3
НСР ₀₅	0,078						5,039		
F _{факт.}	21,454						20,510		
F _{теор.}	2,27						3,44		

Примечание: 1, 2, 3, 4, 5 – повторности; \bar{x} – среднее арифметическое.

Таблица 2 – Плотность и влажность слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №9, 2020 год

Типы фаций	Плотность сложения, г/см ³						Влажность, мм		
	1	2	3	4	5	\bar{x}	1	2	\bar{x}
In	0,74	1,07	1,26	1,16	1,42	1,13	55,2	57,6	56,4
IIн	1,03	1,07	1,16	1,08	1,05	1,08	62,3	55,5	58,9
IIIн	1,23	1,41	1,53	1,39	1,36	1,39	60,5	60,5	60,5
IVн	1,19	1,38	1,34	1,19	1,34	1,29	60,1	57,4	58,8
V	1,24	1,22	1,21	1,13	1,14	1,19	61,8	58,3	60,0
Is	1,37	1,46	1,35	1,35	1,41	1,39	62,9	63,5	63,2
IIс	1,42	1,33	1,30	1,22	1,24	1,30	72,4	67,2	69,8
IIIс	1,10	1,16	1,16	1,15	1,21	1,15	67,6	65,8	66,7
IVс	1,37	1,36	1,42	1,35	1,30	1,36	62,6	58,8	60,7
НСР ₀₅	0,129						4,775		
F _{факт.}	6,695						8,317		
F _{теор.}	2,27						3,44		

Примечание: 1, 2, 3, 4, 5 – повторности; \bar{x} – среднее арифметическое.

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ X

Таблица 3 – Плотность и влажность слоя почвы 0–30 см типов фаций тестового полигона №9, 2021 год

Типы фаций	Плотность сложения, г/см ³						Влажность, мм		
	1	2	3	4	5	\bar{x}	1	2	\bar{x}
In	1,39	1,38	1,34	1,24	1,41	1,35	52,9	47,6	50,3
II _n	1,30	1,45	1,40	1,28	1,27	1,34	47,3	48,7	48,0
III _n	1,41	1,41	1,35	1,40	1,31	1,38	44,3	43,1	43,7
IV _n	1,33	1,33	1,39	1,36	1,29	1,34	46,7	51,3	49,0
V	1,34	1,28	1,25	1,26	1,29	1,28	51,6	46,5	49,0
Is	1,36	1,28	1,37	1,31	1,40	1,34	39,0	41,4	40,2
II _s	1,39	1,40	1,33	1,51	1,48	1,42	43,0	39,0	41,0
III _s	1,38	1,33	1,33	1,33	1,33	1,34	43,3	41,5	42,4
IV _s	1,40	1,45	1,40	1,45	1,47	1,43	46,7	41,7	44,2
НСР ₀₅	0,070						5,960		
F _{факт.}	3,500						4,349		
F _{теор.}	2,27						3,44		

Примечание: 1, 2, 3, 4, 5 – повторности; \bar{x} – среднее арифметическое.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ц

Таблица 1 – Содержание клейковины в зерне яровой мягкой пшеницы сорта «Фаворит» по типам фаций тестового полигона №1, %, 2019–2021 гг.

Типы фаций	К				N30				N60				N90				NSx			
	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}
In	20,3	19,9	28,4	22,9	19,3	20,6	28,2	22,7	20,2	20,4	28,6	23,0	22,1	21,9	31,2	25,1	19,6	20,1	28,0	22,6
II _n	19,5	19,2	26,2	21,6	16,8	18,2	23,7	19,5	19,6	17,4	25,0	20,6	18,5	19,6	25,7	21,3	16,8	18,4	23,8	19,7
III _n	20,8	19,5	29,2	23,2	21,2	19,3	29,4	23,3	20,8	19,7	29,5	23,3	22,5	19,1	30,1	23,9	22,9	19,1	30,5	24,1
IV _n	19,8	21,1	23,3	21,4	23,8	22,8	26,5	24,4	21,4	24,6	26,2	24,1	23,5	24,4	27,2	25,0	20,7	22,2	24,4	22,4
V	33,2	17,4	28,6	26,4	34,5	18,5	30,0	27,6	41,2	22,4	35,9	33,1	40,9	22,2	35,6	32,9	44,1	22,7	37,8	34,8
Is	27,1	23,5	28,6	26,4	26,6	25,6	28,5	26,9	27,3	25,8	29,7	27,6	29,7	28,2	31,7	29,8	28,7	27,3	31,0	29,0
II _s	26,7	24,5	29,8	27,0	29,0	24,1	29,1	27,4	28,0	26,8	29,2	28,0	28,8	28,6	30,2	29,2	28,2	27,6	29,7	28,5
III _s	24,8	22,0	26,7	24,5	25,5	23,9	26,5	25,3	28,0	22,8	26,9	25,9	26,7	25,8	28,6	27,0	28,5	23,7	27,9	26,7
IV _s	21,3	19,4	22,6	21,1	24,0	22,5	25,8	24,1	24,8	22,6	25,8	24,4	27,8	21,9	27,0	25,5	24,4	23,2	26,2	24,6
s	4,6	2,3	4,1	2,3	5,3	2,7	4,2	2,6	6,7	3,0	5,1	3,7	6,4	3,5	5,1	3,5	8,0	3,3	5,9	4,5
\bar{x}	23,7	20,7	23,8	23,8	24,5	21,7	24,6	24,6	25,7	22,5	25,6	25,6	26,7	23,5	26,6	26,6	26,0	22,7	25,8	25,8
V ₁	19,5	10,9	17,4	9,8	21,6	12,3	17,2	10,6	26,3	13,3	20,1	14,3	24,1	14,7	19,1	13,2	30,8	14,3	22,9	17,5
2019	4,6				5,3				6,7				6,4				8,0			
2020	2,3				2,7				3,0				3,5				3,3			
2021	4,1				4,2				5,1				5,1				5,9			
s	1,2				1,3				1,9				1,5				2,4			
\bar{x}	3,7				4,1				5,0				5,0				5,7			
V ₂	33,8				32,4				37,8				30,0				41,5			
	НСР ₀₅							F _{факт.}							F _{теор.}					
Варианты	0,791							293,311							1,39					
Фактор А	0,204							1031,899							2,03					
Фактор В	0,152							67,202							2,46					
Фактор С	0,118							123,240							3,09					
АВ	0,457							409,548							1,63					
ВС	0,264							51,572							2,03					
АС	0,354							202,798							1,85					
АВС	0,791							215,159							1,48					

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Ц

Таблица 2 – Содержание белка в зерне яровой мягкой пшеницы сорта «Фаворит» по типам фаций тестового полигона №1, %, 2019–2021 гг.

Типы фаций	К				N30				N60				N90				NSx			
	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}
In	11,1	10,9	14,8	12,3	11,2	11,9	15,4	12,8	11,7	11,8	15,7	13,0	12,2	12,0	16,2	13,4	11,6	11,9	15,7	13,0
II _n	10,2	10,4	13,6	11,4	9,4	10,2	12,9	10,8	10,4	9,4	13,0	10,9	9,8	10,6	13,4	11,3	9,4	10,3	12,9	10,8
III _n	11,4	10,8	14,1	12,1	12,0	11,1	14,7	12,5	12,1	11,5	15,0	12,8	12,6	11,0	15,1	12,9	12,3	10,5	14,6	12,4
IV _n	11,0	11,2	12,5	11,6	13,1	12,6	14,5	13,4	12,0	13,6	14,3	13,3	12,7	13,1	14,5	13,4	11,4	12,1	13,2	12,2
V	15,0	9,4	14,0	12,8	15,2	9,8	14,3	13,0	17,0	11,1	16,1	14,7	17,1	11,2	16,2	14,8	18,1	11,1	16,7	15,2
Is	13,0	9,4	14,5	12,3	13,1	11,6	14,7	13,1	13,5	11,4	15,6	13,5	15,0	13,2	16,9	15,0	14,7	12,5	16,6	14,6
II _s	12,8	10,6	15,9	13,1	14,8	10,9	15,4	13,7	14,5	12,5	15,3	14,1	14,3	13,2	15,2	14,2	13,8	12,6	15,0	13,8
III _s	12,9	10,1	14,8	12,6	14,2	12,0	14,9	13,7	15,5	11,5	15,0	14,0	14,8	13,3	16,6	14,9	15,6	11,8	15,5	14,3
IV _s	11,6	9,7	12,9	11,4	13,3	11,7	15,0	13,3	13,7	11,8	14,8	13,4	15,3	10,6	15,2	13,7	13,4	11,9	15,0	13,4
	НСР ₀₅				F _{факт.}				F _{теор.}											
Варианты	0,351				192,726				1,39											
Фактор А	0,091				1014,605				2,03											
Фактор В	0,068				93,296				2,46											
Фактор С	0,052				10,521				3,09											
AB	0,203				253,424				1,63											
BC	0,117				44,728				2,03											
AC	0,157				133,509				1,85											
ABC	0,351				104,855				1,48											

Примечание: 1 – 2019 год, 2 – 2020 год, 3 – 2021 год; \bar{x} – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение; V1 – коэффициент вариации для степени влияния ландшафтно-морфологического фактора на параметр; V2 – коэффициент вариации для пространственно-временной устойчивости влияния ландшафтно-морфологического фактора на параметр.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

Таблица 1 – Содержание клейковины в зерне яровой мягкой пшеницы сорта «Саратовская-68» по типам фаций
тестового полигона №5, %, 2019–2021 гг.

Типы фаций	К				N30				N60				N90				NSx							
	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}				
In	24,3	26,5	33,4	28,1	26,2	30,3	37,1	31,2	27,4	31,1	38,5	32,3	29,6	30,4	39,4	33,1	28,1	29,6	38,0	31,9				
II _n	23,3	20,6	41,1	28,3	24,5	20,2	41,8	28,8	20,5	21,5	39,3	27,1	26,0	20,6	43,4	30,0	25,0	23,2	44,5	30,7				
III _n	22,7	23,3	34,0	26,7	26,2	25,0	37,9	29,7	25,0	27,0	38,4	30,1	24,6	29,3	40,0	31,3	25,5	22,5	35,5	27,8				
IV _n	20,7	19,5	37,4	25,9	20,2	21,3	38,5	26,7	23,0	20,0	39,9	27,6	22,2	22,4	42,1	28,9	22,3	20,6	39,8	27,5				
V	17,1	19,1	40,9	25,7	16,5	19,0	40,1	25,2	16,4	18,9	39,8	25,0	15,8	18,0	37,3	23,7	16,3	17,2	37,7	23,7				
Is	17,1	21,9	41,9	27,0	16,1	22,6	41,5	26,7	17,0	23,1	43,1	27,7	17,2	23,4	44,0	28,2	17,0	23,2	43,2	27,8				
II _s	26,4	21,7	41,2	29,8	28,9	21,7	43,4	31,3	29,3	22,6	44,5	32,1	32,4	24,7	48,6	35,2	29,9	21,7	44,2	31,9				
III _s	27,3	23,9	41,7	31,0	28,8	24,1	43,1	32,0	28,8	23,4	42,5	31,5	27,5	25,8	43,2	32,2	30,1	23,5	43,6	32,4				
IV _s	25,8	24,5	41,9	30,7	26,1	25,5	42,9	31,5	25,4	27,2	43,8	32,1	25,2	26,7	43,5	31,8	27,4	24,2	42,9	31,5				
s	3,8	2,4	8,6	2,0	4,9	3,4	9,0	2,5	4,8	3,9	9,1	2,7	5,4	4,0	9,5	3,3	5,1	3,3	9,2	2,9				
\bar{x}	22,7	22,3	28,1	28,1	23,7	23,3	29,2	29,2	23,6	23,9	29,5	29,5	24,5	24,6	30,5	30,5	24,6	22,9	29,5	29,5				
V ₁	16,6	10,9	30,7	7,1	20,7	14,6	30,8	8,6	20,3	16,3	30,8	9,2	22,1	16,2	31,2	10,9	20,9	14,4	31,2	10,0				
2019	3,8				4,9				4,8				5,4				5,1							
2020	2,4				3,4				3,9				4,0				3,3							
2021	8,6				9,0				9,1				9,5				9,2							
s	3,3				2,9				2,8				2,9				3,0							
\bar{x}	4,9				5,8				5,9				6,3				5,9							
V ₂	65,9				50,2				46,9				45,5				51,4							
	НСР ₀₅								F _{факт.}								F _{теор.}							
Варианты	0,969								662,586								1,39							
Фактор А	0,250								9462,854								2,03							
Фактор В	0,187								45,226								2,46							
Фактор С	0,145								287,356								3,09							
АВ	0,560								253,667								1,63							
ВС	0,323								16,182								2,03							
АС	0,434								82,260								1,85							
АВС	0,969								43,209								1,48							

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Ш

Таблица 2 – Содержание белка в зерне яровой мягкой пшеницы сорта «Саратовская-68» по типам фаций тестового полигона №5, %, 2019–2021 гг.

Типы фаций	К				N30				N60				N90				NSx			
	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}
In	12,1	13,1	14,5	13,2	12,2	14,1	15,1	13,8	13,3	15,0	16,2	14,8	14,6	14,9	16,9	15,4	13,7	14,3	15,9	14,6
II _n	11,9	11,7	15,8	13,1	12,6	11,6	16,2	13,5	11,8	13,4	16,8	14,0	14,5	12,9	18,2	15,1	14,7	15,0	19,6	16,3
III _n	11,6	12,3	14,5	12,8	13,6	13,4	16,3	14,4	13,0	14,5	16,6	14,7	12,9	15,8	17,4	15,3	12,9	11,9	15,0	13,3
IV _n	11,4	11,5	15,9	12,9	11,2	12,5	16,4	13,4	13,0	12,2	17,4	14,2	12,7	13,6	18,2	14,8	12,3	12,2	17,0	13,8
V	9,7	11,4	17,2	12,8	9,4	11,3	16,7	12,4	9,4	11,3	16,7	12,4	8,9	10,6	15,8	11,8	9,3	10,3	15,9	11,8
Is	9,9	11,7	17,1	12,9	9,2	11,8	16,6	12,5	10,2	12,8	18,2	13,7	10,6	13,2	18,9	14,2	10,1	12,6	18,0	13,5
II _s	12,4	11,0	16,3	13,2	14,6	12,0	18,4	14,9	14,2	11,8	18,1	14,7	15,2	12,5	19,2	15,6	15,6	12,4	19,4	15,8
III _s	12,7	12,3	16,4	13,8	14,1	13,0	17,7	14,9	13,8	12,4	17,1	14,4	13,6	14,0	18,0	15,1	15,2	13,3	18,6	15,7
IV _s	12,2	12,3	17,0	13,8	12,7	13,2	17,9	14,6	12,7	14,4	18,8	15,3	12,6	14,1	18,6	15,1	13,4	12,6	18,0	14,6
	НСР ₀₅				F _{факт.}				F _{теор.}											
Варианты	0,486				215,053				1,39											
Фактор А	0,125				2793,317				2,03											
Фактор В	0,094				65,183				2,46											
Фактор С	0,072				106,084				3,09											
АВ	0,281				110,453				1,63											
BC	0,162				42,113				2,03											
AC	0,217				29,759				1,85											
ABC	0,486				25,775				1,48											

Примечание: 1 – 2019 год, 2 – 2020 год, 3 – 2021 год; \bar{x} – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение; V1 – коэффициент вариации для степени влияния ландшафтно-морфологического фактора на параметр; V2 – коэффициент вариации для пространственно-временной устойчивости влияния ландшафтно-морфологического фактора на параметр.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ш

Таблица 1 – Содержание клейковины в зерне яровой мягкой пшеницы сорта «Альбидум-32» по типам фаций тестового полигона №9, %, 2019–2021 гг.

Типы фаций	К				N30				N60				N90				NSx							
	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}				
In	30,4	28,7	25,2	28,1	42,6	38,5	37,4	39,5	34,9	35,5	32,2	34,2	34,8	34,1	31,4	33,4	45,9	42,4	41,0	43,1				
Пn	29,9	28,5	25,0	27,8	44,4	39,9	38,4	40,9	35,5	30,1	29,2	31,6	36,6	37,6	33,4	35,9	42,9	42,5	38,6	41,1				
Шn	29,2	26,1	23,9	26,4	42,1	40,7	37,9	40,2	44,6	37,2	37,1	39,6	33,1	33,6	29,4	32,0	45,8	38,7	38,8	41,1				
IVn	28,6	25,9	22,9	25,8	41,1	39,4	37,2	39,2	34,2	34,0	30,3	32,2	44,1	41,2	38,8	40,8	42,6	38,5	37,5	39,5				
V	29,6	27,5	26,0	27,7	40,9	37,4	36,6	38,3	38,8	37,1	35,7	37,2	38,4	35,5	34,8	36,2	42,0	38,9	37,9	39,6				
Is	37,5	32,6	27,5	32,5	47,5	43,7	39,9	43,7	49,6	47,4	42,2	46,4	50,1	51,5	46,4	49,3	49,3	48,8	48,2	48,8				
Пs	32,8	32,1	31,4	32,1	42,5	43,7	41,7	42,6	37,1	35,6	35,2	35,9	33,6	30,7	30,9	31,7	46,0	41,8	42,5	43,4				
Шs	31,0	31,6	32,0	31,5	39,3	38,0	39,5	38,9	39,6	37,0	39,1	38,5	41,1	43,5	43,2	42,6	44,8	42,6	44,7	44,0				
IVs	38,0	34,6	31,1	34,5	46,8	42,5	38,2	42,5	46,1	41,9	37,7	41,9	46,8	42,5	38,1	42,4	49,1	48,3	44,6	47,3				
s	3,5	3,1	3,8	3,1	2,7	2,4	2,9	1,9	5,5	4,9	5,1	4,7	6,1	6,4	6,1	5,9	2,6	3,8	3,7	3,2				
\bar{x}	31,9	29,7	29,6	29,6	43,0	40,4	40,7	40,6	40,0	37,3	37,6	37,5	39,8	38,9	38,3	38,3	45,4	42,5	43,1	43,1				
V ₁	11,1	10,4	12,7	10,4	6,3	5,9	7,1	4,7	13,7	13,1	13,5	12,7	15,3	16,5	15,8	15,5	5,8	9,0	8,6	7,5				
2019	3,5				2,7				5,5				6,1				2,6							
2020	3,1				2,4				4,9				6,4				3,8							
2021	3,8				2,9				5,1				6,1				3,7							
s	0,3				0,3				0,3				0,2				0,7							
\bar{x}	3,5				2,7				5,2				6,2				3,4							
V ₂	10,0				9,4				5,7				3,2				19,3							
	НСР ₀₅								F _{факт.}								F _{теор.}							
Варианты	0,953								347,779								1,39							
Фактор А	0,246								1784,197								2,03							
Фактор В	0,183								1423,688								2,46							
Фактор С	0,142								2246,512								3,09							
АВ	0,550								346,608								1,63							
ВС	0,318								154,085								2,03							
АС	0,426								181,940								1,85							
АВС	0,953								107,909								1,48							

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Ш

Таблица 2 – Содержание белка в зерне яровой мягкой пшеницы сорта «Альбидум-32» по типам фаций тестового полигона №9, %, 2019–2021 гг.

Типы фаций	К				N30				N60				N90				NSx			
	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}	1	2	3	\bar{x}
In	15,3	13,6	10,1	13,0	19,7	16,4	14,9	17,0	16,5	15,5	13,0	15,0	16,4	14,7	12,5	14,5	21,0	18,0	16,3	18,4
Пn	14,9	13,5	10,0	12,8	20,4	17,4	15,1	17,6	17,0	13,4	11,6	14,0	16,9	16,4	13,0	15,4	19,4	18,5	15,0	17,5
Шn	15,1	12,0	9,8	12,3	19,7	17,3	15,0	17,3	20,4	15,8	14,3	16,8	16,1	15,3	11,9	14,4	21,5	16,2	15,4	17,7
IVn	14,8	12,1	9,1	12,0	19,0	16,4	14,7	16,7	16,5	15,5	12,2	14,1	20,6	18,2	15,6	17,5	19,6	15,8	14,7	16,7
V	14,6	12,5	11,0	12,7	18,7	15,9	14,7	16,4	17,7	15,7	14,4	15,9	17,5	15,0	14,0	15,5	19,3	16,7	15,4	17,1
Is	15,8	14,3	12,7	14,2	18,6	17,6	16,7	17,6	19,8	18,7	17,7	18,7	21,4	21,1	17,9	20,1	20,2	20,0	19,8	20,0
Пs	14,1	14,1	13,9	14,0	17,9	18,9	18,1	18,2	15,6	15,2	15,2	15,3	14,7	13,5	13,8	13,9	19,7	17,9	18,5	18,7
Шs	13,7	14,0	14,2	14,0	16,9	16,4	17,0	16,7	16,7	15,5	16,5	16,2	17,5	18,8	18,6	18,2	19,2	18,1	19,1	18,7
IVs	16,1	15,0	13,8	15,0	17,9	18,6	16,2	17,5	18,6	17,4	16,0	17,3	18,7	17,5	16,1	17,4	20,5	21,1	18,5	20,0
	НСР ₀₅				F _{факт.}				F _{геор.}											
Варианты	0,158				1533,031				1,39											
Фактор А	0,041				8437,826				2,03											
Фактор В	0,030				6599,552				2,46											
Фактор С	0,024				8190,362				3,09											
АВ	0,091				1548,895				1,63											
ВС	0,053				834,792				2,03											
АС	0,071				676,385				1,85											
АВС	0,158				438,772				1,48											

Примечание: 1 – 2019 год, 2 – 2020 год, 3 – 2021 год; \bar{x} – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение; V1 – коэффициент вариации для степени влияния ландшафтно-морфологического фактора на параметр; V2 – коэффициент вариации для пространственно-временной устойчивости влияния ландшафтно-морфологического фактора на параметр.

ПРИЛОЖЕНИЕ Э

Таблица 1 – Экономическая эффективность применения минеральных удобрений по типам фаций тестового полигона
№1, 2019–2021 гг.

Типы фаций	Показатели										
	Варианты опыта	Урожайность, т/га	Прибавка урожая, т/га	Стоимость продукции, руб/га	Стоимость прибавки, руб/га	Материально-денежные затраты, руб./га	Дополнительные материально-денежные затраты, руб/га	Себестоимость 1 т продукции, руб.	Условно-чистый доход, руб/га	Дополнительный доход, руб/га	Уровень рентабельности, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
In	K	2,1	0,0	61701,3	0,0	57744,0	0,0	28075,9	3957,3	0,0	6,9
	N30	2,7	0,6	79840,7	18139,4	57744,0	2135,5	22499,6	19961,2	16003,9	33,3
	N60	2,1	0,0	63005,0	1303,7	57744,0	4271,1	29528,6	989,9	-2967,4	1,6
	N90	2,4	0,3	70936,7	9235,3	57744,0	6406,6	27130,1	6786,1	2828,8	10,6
	NSx	2,6	0,6	78362,0	16660,6	57744,0	5574,1	24240,6	15043,8	11086,5	23,8
IIIn	K	2,3	0,0	67709,3	0,0	57744,0	0,0	25584,7	9965,3	0,0	17,3
	N30	2,4	0,1	71955,1	4245,8	57744,0	2135,5	24965,4	12075,6	2110,3	20,2
	N60	2,7	0,5	82346,0	14636,7	57744,0	4271,1	22593,1	20330,9	10365,6	32,8
	N90	3,4	1,2	102408,3	34699,0	57744,0	6406,6	18792,6	38257,7	28292,4	59,6
	NSx	3,1	0,8	92900,8	25191,5	57744,0	4220,8	20010,0	30936,0	20970,6	49,9
IIIIn	K	2,1	0,0	62309,3	0,0	57744,0	0,0	27801,9	4565,3	0,0	7,9
	N30	2,6	0,5	78774,0	16464,7	57744,0	2135,5	22804,3	18894,5	14329,2	31,6
	N60	2,2	0,1	66214,8	3905,5	57744,0	4271,1	28097,2	4199,8	-365,6	6,8
	N90	2,2	0,1	65266,6	2957,3	57744,0	6406,6	29487,0	1116,0	-3449,3	1,7
	NSx	2,5	0,4	73834,9	11525,5	57744,0	6154,9	25962,9	9936,0	5370,6	15,5
IVn	K	2,2	0,0	65865,3	0,0	57744,0	0,0	26300,9	8121,3	0,0	14,1

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Э

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IVn	N30	2,0	0,0	60684,0	0,0	57744,0	2135,5	29602,3	804,5	-7316,8	1,3
	N60	2,2	0,0	65269,1	0,0	57744,0	4271,1	28504,3	3254,1	-4867,2	5,2
	N90	2,4	0,2	71899,1	6033,8	57744,0	6406,6	26766,9	7748,5	-372,8	12,1
	NSx	2,9	0,7	85663,1	19797,8	57744,0	3986,3	21618,5	23932,8	15811,5	38,8
V	K	2,4	0,0	72362,7	0,0	57744,0	0,0	23939,4	14618,7	0,0	25,3
	N30	3,4	1,0	101829,0	29466,3	57744,0	2135,5	17641,2	41949,5	27330,8	70,1
	N60	3,5	1,1	105865,8	33503,1	57744,0	4271,1	17573,7	43850,7	29232,1	70,7
	N90	3,8	1,4	114116,4	41753,8	57744,0	6406,6	16864,5	49965,8	35347,2	77,9
	NSx	3,3	0,9	100462,2	28099,6	57744,0	3701,8	18348,9	39016,4	24397,8	63,5
Is	K	2,4	0,0	70922,0	0,0	57744,0	0,0	24425,7	13178,0	0,0	22,8
	N30	3,0	0,7	90622,1	19700,1	57744,0	2135,5	19822,8	30742,5	17564,5	51,3
	N60	2,4	0,0	72113,8	1191,8	57744,0	4271,1	25798,8	10098,7	-3079,3	16,3
	N90	2,7	0,3	81187,3	10265,3	57744,0	6406,6	23704,7	17036,8	3858,8	26,6
	NSx	3,0	0,7	90931,7	20009,7	57744,0	2814,3	19979,3	30373,4	17195,4	50,2
IIs	K	1,8	0,0	55100,0	0,0	57744,0	0,0	31439,6	-2644,0	0,0	-4,6
	N30	1,9	0,1	57058,9	1958,9	57744,0	2135,5	31483,0	-2820,7	-176,7	-4,7
	N60	2,2	0,4	66587,2	11487,2	57744,0	4271,1	27940,1	4572,2	7216,2	7,4
	N90	2,8	1,0	83690,9	28590,9	57744,0	6406,6	22995,5	19540,3	22184,3	30,5
	NSx	2,5	0,7	76049,2	20949,2	57744,0	2449,1	23745,1	15856,0	18500,0	26,3
IIIs	K	2,6	0,0	77643,3	0,0	57744,0	0,0	22311,3	19899,3	0,0	34,5
	N30	3,3	0,7	97828,4	20185,0	57744,0	2135,5	18362,6	37948,8	18049,5	63,4
	N60	2,9	0,3	85798,7	8155,4	57744,0	4271,1	21683,9	23783,7	3884,3	38,4
	N90	2,7	0,1	80777,1	3133,7	57744,0	6406,6	23825,0	16626,5	-3272,8	25,9
	NSx	3,2	0,6	95159,5	17516,2	57744,0	4707,9	19688,6	32707,6	12808,3	52,4
IVs	K	2,7	0,0	82482,2	0,0	57744,0	0,0	21002,3	24738,2	0,0	42,8
	N30	2,6	0,0	78212,2	0,0	57744,0	2135,5	22968,1	18332,7	-6405,5	30,6
	N60	2,8	0,0	82731,5	249,3	57744,0	4271,1	22487,8	20716,5	-4021,7	33,4
	N90	3,1	0,3	91946,6	9464,4	57744,0	6406,6	20930,8	27796,0	3057,8	43,3
	NSx	3,5	0,8	105742,8	23260,6	57744,0	6376,2	18191,4	41622,6	16884,4	64,9

ПРИЛОЖЕНИЕ Ю

Таблица 1 – Экономическая эффективность применения минеральных удобрений по типам фаций тестового полигона
№5, 2019–2021 гг.

Типы фаций	Показатели										
	Варианты опыта	Урожайность, т/га	Прибавка урожая, т/га	Стоимость продукции, руб/га	Стоимость прибавки, руб/га	Материально-денежные затраты, руб/га	Дополнительные материально-денежные затраты, руб/га	Себестоимость 1 т продукции, руб.	Условно-чистый доход, руб/га	Дополнительный доход, руб/га	Уровень рентабельности, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
In	К	1,5	0,0	59290,7	0,0	50674,0	0,0	34186,8	8616,7	0,0	17,0
	N30	1,6	0,1	62109,1	2818,4	50674,0	2135,5	34010,8	9299,6	682,9	17,6
	N60	2,5	1,0	101100,3	41809,7	50674,0	4271,1	21738,8	46155,3	37538,6	84,0
	N90	2,2	0,7	87903,3	28612,6	50674,0	6406,6	25974,3	30822,7	22206,0	54,0
	NSx	1,9	0,5	77596,0	18305,3	50674,0	5278,8	28843,1	21643,2	13026,5	38,7
IIIn	К	1,6	0,0	62240,0	0,0	50674,0	0,0	32566,8	11566,0	0,0	22,8
	N30	1,2	0,0	47453,2	0,0	50674,0	2135,5	44515,1	-5356,4	-16922,4	-10,1
	N60	2,3	0,7	90254,7	28014,7	50674,0	4271,1	24351,1	35309,7	23743,7	64,3
	N90	1,1	0,0	44084,7	0,0	50674,0	6406,6	51791,8	-12995,9	-24561,9	-22,8
	NSx	1,3	0,0	51154,5	0,0	50674,0	7261,2	45302,2	-6780,8	-18346,8	-11,7
IIIIn	К	1,3	0,0	52387,6	0,0	50674,0	0,0	38691,6	1713,6	0,0	3,4
	N30	1,0	0,0	40542,2	0,0	50674,0	2135,5	52103,2	-12267,3	-13980,8	-23,2
	N60	1,6	0,3	64383,9	11996,3	50674,0	4271,1	34135,9	9438,8	7725,3	17,2
	N90	1,7	0,4	66683,9	14296,3	50674,0	6406,6	34239,5	9603,3	7889,7	16,8
	NSx	0,9	0,0	36436,5	0,0	50674,0	4521,8	60593,9	-18759,3	-20472,9	-34,0
IVn	К	1,5	0,0	61521,8	0,0	50674,0	0,0	32947,0	10847,8	0,0	21,4

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Ю

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IVn	N30	0,9	0,0	37862,8	0,0	50674,0	2135,5	55790,3	-14946,7	-25794,5	-28,3
	N60	1,0	0,0	41280,1	0,0	50674,0	4271,1	53241,2	-13664,9	-24512,7	-24,9
	N90	1,3	0,0	52280,7	0,0	50674,0	6406,6	43672,4	-4799,8	-15647,6	-8,4
	NSx	1,0	0,0	39567,1	0,0	50674,0	7520,0	58830,7	-18626,9	-29474,7	-32,0
V	K	1,3	0,0	51541,3	0,0	50674,0	0,0	39326,9	867,3	0,0	1,7
	N30	1,1	0,0	42327,8	0,0	50674,0	2135,5	49905,3	-10481,7	-11349,0	-19,8
	N60	1,5	0,2	59452,4	7911,1	50674,0	4271,1	36967,4	4507,3	3640,0	8,2
	N90	2,1	0,9	85679,0	34137,7	50674,0	6406,6	26648,6	28598,4	27731,1	50,1
	NSx	1,4	0,1	55644,3	4103,0	50674,0	5090,1	40086,1	-119,8	-987,1	-0,2
Is	K	1,2	0,0	46149,3	0,0	50674,0	0,0	43921,8	-4524,7	0,0	-8,9
	N30	1,6	0,5	64499,6	18350,2	50674,0	2135,5	32750,3	11690,0	16214,7	22,1
	N60	0,8	0,0	33780,5	0,0	50674,0	4271,1	65061,2	-21164,5	-16639,8	-38,5
	N90	1,6	0,5	64989,1	18839,7	50674,0	6406,6	35132,4	7908,5	12433,1	13,9
	NSx	1,1	0,0	42037,1	0,0	50674,0	3203,1	51266,3	-11840,1	-7315,4	-22,0
IIs	K	1,0	0,0	40538,7	0,0	50674,0	0,0	50000,7	-10135,3	0,0	-20,0
	N30	0,9	0,0	36850,1	0,0	50674,0	2135,5	57323,7	-15959,5	-5824,1	-30,2
	N60	1,3	0,2	50380,2	9841,5	50674,0	4271,1	43624,3	-4564,9	5570,5	-8,3
	N90	1,9	0,9	77597,7	37059,0	50674,0	6406,6	29423,9	20517,1	30652,4	35,9
	NSx	0,6	0,0	24780,5	0,0	50674,0	4191,8	88563,0	-30085,3	-19950,0	-54,8
IIIs	K	1,3	0,0	51813,3	0,0	50674,0	0,0	39120,4	1139,3	0,0	2,2
	N30	1,7	0,4	69083,8	17270,4	50674,0	2135,5	30577,1	16274,2	15134,9	30,8
	N60	2,3	1,0	93666,0	41852,6	50674,0	4271,1	23464,3	38720,9	37581,6	70,5
	N90	2,4	1,1	97762,9	45949,6	50674,0	6406,6	23354,7	40682,3	39543,0	71,3
	NSx	1,9	0,6	75898,1	24084,8	50674,0	6261,9	30006,5	18962,3	17822,9	33,3
IVs	K	1,1	0,0	44257,8	0,0	50674,0	0,0	45799,0	-6416,2	0,0	-12,7
	N30	2,4	1,3	95402,9	51145,2	50674,0	2135,5	22141,7	42593,4	49009,6	80,7
	N60	2,7	1,6	107063,8	62806,0	50674,0	4271,1	20528,0	52118,7	58535,0	94,9
	N90	1,5	0,4	59443,5	15185,8	50674,0	6406,6	38410,0	2362,9	8779,2	4,1
	NSx	2,6	1,5	105658,8	61401,0	50674,0	4234,0	20786,9	50750,8	57167,1	92,4

ПРИЛОЖЕНИЕ Я

Таблица 1 – Экономическая эффективность применения минеральных удобрений по типам фаций тестового полигона
№9, 2019–2021 гг.

Типы фаций	Показатели										
	Варианты опыта	Урожайность, т/га	Прибавка урожая, т/га	Стоимость продукции, руб/га	Стоимость прибавки, руб/га	Материально-денежные затраты, руб/га	Дополнительные материально-денежные затраты, руб/га	Себестоимость 1 т продукции, руб.	Условно-чистый доход, руб/га	Дополнительный доход, руб/га	Уровень рентабельности, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
In	К	0,9	0,0	46706,7	0,0	50674,0	0,0	54247,1	-3967,3	0,0	-7,8
	N30	0,8	0,0	41918,6	0,0	50674,0	2135,5	62990,6	-10891,0	-6923,6	-20,6
	N60	0,7	0,0	36294,1	0,0	50674,0	4271,1	75694,3	-18651,0	-14683,7	-33,9
	N90	1,0	0,1	51392,6	4686,0	50674,0	6406,6	55533,8	-5688,0	-1720,6	-10,0
	NSx	1,2	0,2	58565,5	11858,8	50674,0	4770,8	47335,7	3120,7	7088,0	5,6
IIIn	К	1,0	0,0	48703,3	0,0	50674,0	0,0	52023,1	-1970,7	0,0	-3,9
	N30	0,5	0,0	26212,2	0,0	50674,0	2135,5	100734,6	-26597,3	-24626,6	-50,4
	N60	1,2	0,2	58746,6	10043,2	50674,0	4271,1	46764,5	3801,5	5772,2	6,9
	N90	0,8	0,0	38164,2	0,0	50674,0	6406,6	74782,8	-18916,4	-16945,7	-33,1
	NSx	1,0	0,1	51766,3	3063,0	50674,0	4978,3	53753,4	-3886,0	-1915,3	-7,0
IIIIn	К	0,8	0,0	41726,7	0,0	50674,0	0,0	60721,4	-8947,3	0,0	-17,7
	N30	0,6	0,0	31670,9	0,0	50674,0	2135,5	83372,4	-21138,7	-12191,3	-40,0
	N60	0,8	0,0	41610,9	0,0	50674,0	4271,1	66022,5	-13334,2	-4386,8	-24,3
	N90	1,1	0,2	54116,8	12390,2	50674,0	6406,6	52738,3	-2963,7	5983,6	-5,2
	NSx	0,7	0,0	32853,0	0,0	50674,0	5413,9	85361,7	-23234,8	-14287,5	-41,4
IVn	К	0,8	0,0	38236,7	0,0	50674,0	0,0	66263,6	-12437,3	0,0	-24,5

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Я

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IVn	N30	0,7	0,0	36639,2	0,0	50674,0	2135,5	72066,9	-16170,3	-3733,0	-30,6
	N60	0,9	0,1	43413,3	5176,6	50674,0	4271,1	63281,4	-11531,8	905,6	-21,0
	N90	0,9	0,1	43147,1	4910,4	50674,0	6406,6	66146,5	-13933,5	-1496,1	-24,4
	NSx	1,1	0,3	55459,9	17223,2	50674,0	5783,2	50899,1	-997,3	11440,1	-1,8
V	K	1,0	0,0	52400,0	0,0	50674,0	0,0	48353,1	1726,0	0,0	3,4
	N30	1,0	0,0	48468,5	0,0	50674,0	2135,5	54478,2	-4341,0	-6067,0	-8,2
	N60	1,1	0,1	55691,7	3291,7	50674,0	4271,1	49329,6	746,7	-979,3	1,4
	N90	1,1	0,0	52843,9	443,9	50674,0	6406,6	54008,7	-4236,7	-5962,7	-7,4
	NSx	1,1	0,1	54910,2	2510,2	50674,0	8500,2	53882,7	-4264,0	-5990,0	-7,2
Is	K	1,1	0,0	53907,8	0,0	50674,0	0,0	47000,6	3233,8	0,0	6,4
	N30	1,1	0,1	56502,4	2594,6	50674,0	2135,5	46732,1	3692,9	459,1	7,0
	N60	1,2	0,2	61871,4	7963,6	50674,0	4271,1	44402,6	6926,3	3692,6	12,6
	N90	1,4	0,3	70711,2	16803,4	50674,0	6406,6	40361,8	13630,6	10396,9	23,9
	NSx	1,5	0,5	76992,3	23084,5	50674,0	6805,9	37328,3	19512,5	16278,7	33,9
IIs	K	1,3	0,0	66718,9	0,0	50674,0	0,0	37975,8	16044,9	0,0	31,7
	N30	1,9	0,5	94066,6	27347,7	50674,0	2135,5	28070,3	41257,0	25212,1	78,1
	N60	1,5	0,1	72614,2	5895,4	50674,0	4271,1	37833,5	17669,2	1624,3	32,2
	N90	1,6	0,3	79401,1	12682,2	50674,0	6406,6	35944,5	22320,5	6275,6	39,1
	NSx	1,5	0,2	77403,9	10685,0	50674,0	6489,8	36925,7	20240,1	4195,2	35,4
IIIs	K	1,1	0,0	54618,9	0,0	50674,0	0,0	46388,7	3944,9	0,0	7,8
	N30	1,3	0,2	66030,3	11411,4	50674,0	2135,5	39988,9	13220,7	9275,8	25,0
	N60	1,4	0,4	72277,3	17658,4	50674,0	4271,1	38009,9	17332,2	13387,3	31,5
	N90	1,3	0,2	65968,5	11349,6	50674,0	6406,6	43263,5	8887,9	4943,0	15,6
	NSx	1,1	0,0	56390,0	1771,1	50674,0	6506,6	50701,0	-790,6	-4735,5	-1,4
IVs	K	1,1	0,0	54821,1	0,0	50674,0	0,0	46217,6	4147,1	0,0	8,2
	N30	1,0	0,0	47845,0	0,0	50674,0	2135,5	55188,2	-4964,6	-9111,7	-9,4
	N60	1,0	0,0	47992,4	0,0	50674,0	4271,1	57243,5	-6952,6	-11099,8	-12,7
	N90	0,9	0,0	42785,5	0,0	50674,0	6406,6	66705,5	-14295,1	-18442,2	-25,0
	NSx	0,9	0,0	43469,1	0,0	50674,0	5043,2	64088,3	-12248,1	-16395,2	-22,0