

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина»

На правах рукописи

ПЕТРОВ МАКСИМ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОТИВОЭРОЗИОННОГО КОМПЛЕКСА
В АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНЫХ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ
УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор с.-х. наук, профессор
Тойгильдин А. Л.

Ульяновск – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ПОЧВОЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНЫХ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ.....	10
1.1 Теоретические основы построения адаптивно-ландшафтных систем земледелия.....	10
1.2 Факторы проявления и меры борьбы с эрозией почв.....	22
1.3 Влияние лесных полос на агроэкологическое состояние агроландшафтов.....	30
2 ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	36
2.1 Рельеф и почвенно-климатические условия.....	36
2.2 Агрометеорологические условия в годы исследований.....	38
2.3 Схемы полевых опытов и их обоснование	43
2.4 Методика проведения наблюдений, учетов и анализов	48
3 ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОТИВОЭРОЗИОННОГО КОМПЛЕКСА НА ФОРМИРОВАНИЕ АГРОЛАНДШАФТА	51
3.1 Снегоотложение и формирование весеннего стока.....	51
3.2 Особенности накопления продуктивной влаги в почве	56
3.3 Агрохимические показатели плодородия почвы	64
3.4 Агрофизические свойства почвы.....	66
3.5 Урожайность и продуктивность полевых культур	73
4 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ОСНОВНЫХ ТИПАХ АГРОЛАНДШАФТА	80
4.1 Структурно-агрегатный состав почв.....	81
4.2 Снегоотложение и формирование весеннего стока.....	83
4.3 Содержание продуктивной влаги	93
4.4 Урожайность сельскохозяйственных культур	96
4.5 Оптимизация расстояния между лесными насаждениями	101

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОТИВОЭРОЗИОННОГО КОМПЛЕКСА	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ	122
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	122
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	124
ПРИЛОЖЕНИЯ	151

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. В последние годы агропромышленный комплекс показывает внушительные результаты по увеличению производства сельскохозяйственной продукции, однако наряду с этим агрохимические центры страны и ученые все больше констатируют деградацию почвенного плодородия, и, прежде всего, в результате эрозионных процессов (Иванов А. Л. и др., 2020; Кирюшин В. И., 2011). На территории Российской Федерации наибольшую долю среди негативных процессов составляет водная эрозия, которой подвержены 1 823,12 тыс. га или 15,9 % площади, при этом в Приволжском федеральном округе она получила наибольшую распространенность – 972,33 тыс. га (Доклад о состоянии..., 2022).

В Республиках Мордовия, Чувашия и в Татарстане смытые в результате агрогенного воздействия почвы занимают 20–40% от их общей территории, а в Ульяновской области 10–20% почв от общей территории в различной степени смыто в результате агрогенно-индуцированной водной эрозии (Иванов А. Л. и др., 2018).

В результате эрозионных процессов ухудшаются показатели плодородия почвы, прежде всего, ее агрофизические и биологические характеристики, что приводит к недобору урожайности сельскохозяйственных культур. На слабо эродированных почвах урожайность падает на 10–30%, на почвах со средней степенью эрозии – на 30–50%, а на сильно эродированных почвах – на 50–70% (Матюхин Д. А., Крутских О. П., Проняев И. Д. и др., 2024).

Решение проблем отрицательного влияния эрозионных процессов на почвенный покров и продуктивность пашни возможно за счет освоения комплекса взаимосвязанных агротехнических, организационно-хозяйственных, лесомелиоративных и гидротехнических мероприятий (Иванова А. Л. и др., 2020), поэтому исследования по оценке эффективности элементов противоэрозионного комплекса в системе защиты почвы носят актуальный характер.

Работа выполнена в Ульяновском НИИСХ – филиале СамНЦ РАН на территории опытной станции «Новоникулинская» и является разделом НИР

государственной программы «Разработка адаптивно-ландшафтной системы земледелия нового поколения и инновационных агротехнологий, обеспечивающих эффективное использование биоклиматического потенциала при формировании урожайности основных сельскохозяйственных культур и воспроизводство почвенного плодородия в условиях лесостепи Поволжья» (регистрационный номер: FMRW-2022-0015).

Цель исследований: изучить влияние противоэрозионных сооружений и лесомелиоративного обустройства в различных типах агроландшафта на изменения показателей плодородия чернозема, эрозионные процессы и урожайность полевых культур для разработки научной основы проектирования противоэрозионных мероприятий, обеспечивающих повышение продуктивности растениеводства на эродированных землях в условиях Ульяновской области.

Основные задачи исследований:

1. Установить влияние противоэрозионных сооружений, функционирующих более 50 лет, на динамику содержания продуктивной влаги, эрозионные процессы и основные показатели плодородия в ранее деградированных почвах;
2. Выявить влияние лесных насаждений на эрозионные процессы, формирование запасов продуктивной влаги и основные показатели почвенного плодородия в разных типах агроландшафта;
3. Изучить закономерности изменения урожайности и продуктивности полевых культур под влиянием элементов противоэрозионного комплекса в разных типах агроландшафта;
4. Разработать модель для оптимизации расстояния между лесными насаждениями в зависимости от крутизны склона в агроландшафте;
5. Дать эколого-экономическую оценку эффективности элементов противоэрозионных комплексов.

Степень разработанности темы. Вопросы, связанные с изучением эрозии почв и методов борьбы с ней, изложены в трудах В. В. Докучаева (1878, 1953), Г. Н. Высоцкого (1937), Н. И. Суса (1949), С. С. Соболева (1948, 1960), В. Р. Вильямса (1949), С. И. Сильвестрова (1949), А. С. Козменко (1954), И. А. Кузника

(1962, 1968), С. С. Сдобникова (1958), Г. П. Сурмача (1971, 1976), W. H. Wishmeier и P. P. Smith (1958) и др.

Большой вклад в разработку практических и теоретических основ почвозащитного земледелия в условиях Поволжья внесли И. А. Кузник (1962), К. И. Карпович (1977), А. И. Шабает (1988), Н. С. Немцев (1996), К. Н. Кулик (1996), В. М. Петров (1998), П. Н. Проезов (1999), С. Н. Немцев (2005) и др. Основной задачей исследований упомянутых авторов является разработка системного подхода к защите почвенного покрова, включающего комплекс мер по предотвращению эрозии. В межполосных пространствах разрабатывались и совершенствовались агроландшафтные, агротехнические, организационно-хозяйственные и гидротехнические противоэрозионные мероприятия. Системность обосновывалась разработкой и внедрением системы адаптивно-ландшафтного земледелия.

Работа имеет особую актуальность, так как аналогичных исследований в структуре противоэрозионного комплекса, функционирующего более 50 лет, в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья не проводилось.

Научная новизна работы. На территории противоэрозионного комплекса, функционирующего более 50 лет, получены новые знания по влиянию гидротехнических сооружений и лесных насаждений на формирование запасов продуктивной влаги, эрозионные процессы и показатели плодородия чернозема, особенности формирования урожая сельскохозяйственных культур по типам агроландшафта. Установлены объемы стока и смыва почвы, повторяемость проявления водной эрозии во времени, потери гумуса и элементов питания из почвы за 25-летний период. Разработана математическая модель оптимизации расстояния между лесными насаждениями в различных типах агроландшафта для условий Ульяновской области. Дана эколого-экономическая оценка эффективности элементов противоэрозионного комплекса.

Объект и предмет исследований. Объектом исследования являются элементы противоэрозионного комплекса (гидротехническое сооружение лоток-быстроток открытого типа, противоэрозионный вал, лесные полосы), чернозем

выщелоченный, полевые культуры. Предметом исследований являются показатели функционирования агроландшафтов (показатели плодородия почвы, эрозионные процессы, продуктивность культур).

Теоретическая и практическая значимость. Результаты проводимых исследований представляют научную основу проектирования противоэрозионных мероприятий на эродированных землях в адаптивно-ландшафтном земледелии. Установлено, что в условиях Ульяновской области вероятность проявления стока и смыва почвы на склоновых землях составляет 56,0 % (14 из 25 лет наблюдений), при этом в среднем с мелкоземом ежегодно теряется 2,07 т/га почвы (в масштабах региона 1,908 млн. т.), при потерях гумуса 0,10 т/га (92,4 тыс. т.), азота – 2,7 кг/га (2,5 тыс. тонн), фосфора – 3,3 кг/га (3,0 тыс. тонн) и калия 2,7 кг/га (2,5 тыс. тонн). В масштабах Ульяновского региона недобор продукции растениеводства оценивается в 267,4 тыс. з.ед.

Полученные данные по влиянию лесных полос и гидротехнических сооружений в основных типах сельскохозяйственного ландшафта на основные показатели почвенного плодородия, эрозионные процессы и продуктивность полевых культур могут быть использованы для гидролесомелиоративного обустройства агроландшафтов при разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Разработанная математическая модель позволила установить, что при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия и противоэрозионных комплексов для получения продуктивности полевых культур не менее 2,7 тыс. з. ед. или с ее вариацией не более 10% в зависимости от удаленности от лесных насаждений в плакорно-равнинном типе агроландшафта лесные полосы следует размещать на расстоянии до 500–550 м, в склоново-ложбинном типе – не более 400–500 м и в склоново-овражном – на расстоянии не более 300–400 м.

Результаты проведенных исследований были успешно внедрены на опытной станции «Новоникулинская» в Цильнинском районе Ульяновской области. Полученные данные могут быть применены при разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия, функционирующих в условиях региона.

Методология и методы исследования базируются на анализе научной литературы, в том числе трудах как отечественных, так и зарубежных авторов. В ходе исследования используется комплексный метод, который объединяет теоретические и эмпирические способы анализа. Среди теоретических методов выделяется обработка данных с применением статистического анализа и математического моделирования, что обеспечивает выявление значимых закономерностей и тенденций. Эмпирические методы включают полевые опыты и графическое и табличное представление для визуализации и интерпретации данных.

Основные положения, выносимые на защиту:

- закономерности накопления продуктивной влаги, эрозионные процессы и изменения основных показателей почвенного плодородия на разных типах агроландшафта, доказывающие, что лесные насаждения и противоэрозионные сооружения выполняют заданные функции в течение длительного времени;
- особенности формирования урожайности и продуктивности полевых культур под влиянием элементов противоэрозионного комплекса в разных типах агроландшафта, позволяющие установить эффективность противоэрозионных сооружений и оптимизировать расстояния между лесными насаждениями в зависимости от крутизны склона;
- показатели экономической и эколого-экономической эффективности элементов противоэрозионного комплекса.

Достоверность результатов исследования обеспечивается применением комплексного подхода, включающего проведение полевых экспериментов с использованием современных и апробированных методик, теоретические разработки, обширный экспериментальный материал, статистическую обработку данных с применением компьютерных программ, а также необходимое количество повторений учетов и наблюдений.

Апробация результатов. Основные результаты исследовательской работы докладывались на конференциях: международная научно-практическая конференция «Развитие агропромышленного комплекса на основе современных

научных достижений и цифровых технологий», г. Великие Луки, 2022 г.; международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования», г. Воронеж, 2022 г.; международная научно-практическая конференция «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения», посвященная 80-летию федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», 2023 г., Финалист международного конкурса РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и ПАО «ФосАгро» на лучшую прикладную работу «За сохранение здоровья почв, защиту почв от деградации и истощения» в номинации «Лучшая работа молодого ученого в области сохранения здоровья почвы и защиты почвы от деградации и истощения».

В рамках диссертационного исследования было опубликовано 16 научных работ, среди которых 3 публикации в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, а также 2 монографии.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 192 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 5-ти глав, заключения, рекомендации производству, списка использованной литературы и приложений. Она содержит 20 рисунков, 37 таблиц и 51 приложение. Список литературы включает 188 наименований, в том числе 24 на иностранном языке.

Личный вклад автора заключался в разработке комплексной программы научных исследований, обоснованном выборе методологических подходов и инструментов, а также в организации и координации полевых и лабораторных экспериментов. В течение каждого года автор представлял детальные научные отчеты, на основе которых осуществлял систематизацию полученных данных и подготовку диссертационной работы, а также формулировал выводы и рекомендации производству.

1 ПОЧВОЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНЫХ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

1.1 Теоретические основы построения адаптивно-ландшафтных систем земледелия

В контексте устойчивого развития сельского хозяйства Российской Федерации, особенно в эколого-географических условиях Поволжья, адаптивно-ландшафтные системы земледелия (АЛСЗ) представляют собой наиболее рациональный и перспективный подход к повышению продуктивности агропромышленного комплекса при одновременном снижении экологической напряженности. Этот методологический подход, основанный на интеграции принципов агроэкологии, ландшафтного планирования и современных агротехнологий, позволяет оптимизировать использование природных ресурсов и минимизировать негативное воздействие сельскохозяйственной деятельности на окружающую среду (Шабает А.И. и др., 2014).

В соответствии с ГОСТ 16265-89, система земледелия представляет собой целостный комплекс взаимосвязанных организационно-экономических, агротехнических, мелиоративных и почвозащитных мероприятий. Эти меры направлены на оптимизацию использования земельных ресурсов, агроклиматических факторов и биологического потенциала растительных организмов. Основной целью системы земледелия является эффективное использование земли, что, в свою очередь, способствует достижению высоких показателей урожайности полевых культур (Шамин А. Е. и др., 2017).

Адаптивно-ландшафтная система земледелия представляет собой инновационный методологический подход к управлению земельными ресурсами, основанный на интеграции агроэкологических, экономических и социальных факторов. Эта система ориентирована на достижение устойчивого сельскохозяйственного производства, характеризующегося оптимальными параметрами количества и качества продукции, что позволяет удовлетворить

рыночные требования и общественные потребности. В рамках данной системы осуществляется дифференцированное использование земельных участков в зависимости от их агроэкологических характеристик, что способствует минимизации негативного воздействия на окружающую среду и повышению эффективности сельскохозяйственных процессов. В основе адаптивно-ландшафтной системы лежит принцип гармоничного взаимодействия между природными и производственными ресурсами, что способствует поддержанию экологического равновесия агроландшафтов и эффективному воспроизводству почвенного плодородия.

Определение адаптивно-ландшафтной системы земледелия было четко сформулировано В. И. Кирюшиным в его труде «Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов» (2011). В работе очень верно показано, что для достижения оптимальных результатов в землепользовании необходимо учитывать как экологические, так и экономические аспекты. Экологическая устойчивость агроландшафтов зависит от гармоничного взаимодействия природных и антропогенных факторов в системе «климат-почва-вода-фауна-флора». В условиях адаптивной интенсификации растениеводства продуктивные, природоохранные и средообразующие функции агроэкосистем неразрывно связаны, обеспечивая их биосферную совместимость и высокое качество среды для жизни человека (Алтухов А. И., 2013). Поэтому переход регионов России на адаптивно-ландшафтную систему земледелия является не только перспективным, но и необходимым шагом для будущего.

В. И. Кирюшин (2011) в своей работе отмечает, что термин «ландшафтная» в названии системы подчёркивает её формирование в рамках структурно-функциональной иерархии агроландшафта, ориентированной на конкретную категорию. Эта категория трансформируется через агроэкологическую оценку, превращаясь в агроэкологическую группу земель. Термин «адаптивная» в названии системы указывает на её приспособленность ко всему комплексу упомянутых условий.

Адаптивно-ландшафтные системы земледелия представляют собой комплексный подход к управлению земельными ресурсами, направленный на их рациональное использование и минимизацию негативных процессов деградации. В рамках данного подхода учитываются такие уязвимости агроландшафтов, как эрозия, дефляция, заболачивание, засоление и другие деградационные явления. Эти системы предполагают интеграцию современных агротехнологий, оптимизацию севооборотов и пастбищного хозяйства, а также разработку и внедрение защитных лесополос и мелиоративных сооружений, которые адаптированы к специфическим условиям конкретных агроландшафтов (Шабает А. И., Жолинский Н. М., Цветков М. С., 2014; Попов В. Г., 2023).

Систематическое изучение динамики показателей почвенного плодородия в стационарных опытах свидетельствует о значительном изменении содержания органического вещества в почвах регионов нашей страны. Деградация общего почвенного плодородия обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов, включающих некомпенсируемую потерю органических и минеральных элементов с сельскохозяйственной продукцией, а также эрозионные процессы, которые приводят к утрате плодородного слоя. Эти явления имеют значительное негативное влияние на экосистемные функции почв и их способность поддерживать устойчивое агропроизводство (Чекмарев П. А., 2018; Лукин С. В., Заздравных Е. А., Празина Е. А., 2019).

Усилением деградационных процессов почвенного покрова обеспокоены Международные организации (ООН, ЮНЕП, ПРООН), которыми приняты важные документы (Конвенция по борьбе с опустыниванием, Киотский протокол, Конвенция по сохранению биоразнообразия и др.), направленные на решение этой проблемы.

Для эффективного решения экологических проблем, вызванных эрозией почв, необходимо внедрение адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Эти системы базируются на комплексном учете природных и антропогенных факторов, а также на специфике агроэкологических условий и требовательности сельскохозяйственных культур к среде произрастания. Данный подход позволяет

оптимизировать использование ресурсного потенциала и обеспечивает рациональное распределение земельных участков в зависимости от их агроэкологической оценки (Кирюшин В. И., 2011; Барабанов А. Т., 2017; Турусов В. И., Дронова Н. В., 2020).

Адаптивно-ландшафтная система земледелия – это инновационный подход к сельскому хозяйству, который отвечает на современные вызовы, такие как изменение климата, глобальное потепление и волатильность рынков. Данная система предоставляет землепользователям возможность оперативно реагировать на динамические изменения в агроэкологических условиях, что способствует достижению устойчивого и стабильного развития сельскохозяйственного производства. (Baude M., Meyer B. C., Schindewolf M., 2019; Javed A., Ali E., Binte Afzal Kh., 2020).

В целом почвозащитные мероприятия играют важную роль в адаптивно-ландшафтной системе земледелия. Они способствуют сохранению плодородия почвы, устойчивому развитию растений и оптимальным условиям для экосистемы в целом. Это позволяет не только повысить урожайность, но и снизить отрицательное воздействие на окружающую среду, обеспечивая устойчивое развитие сельского хозяйства (Борисов Б. А., Рогожин Д. О., Ефимов О. Е., 2020).

Адаптивно-ландшафтная система земледелия включает в себя ряд почвозащитных мероприятий, направленных на сохранение и улучшение плодородия почвы. Организационно-хозяйственные мероприятия следует проектировать в соответствии с принципами рационального землеустройства, принимая во внимание топографические особенности рельефа, агрохимические характеристики почвенного покрова, степень эрозионной деградации сельскохозяйственных угодий, а также почвозащитное воздействие различных агрокультурных систем (Мамиев Д. М., Абаев А. А., Тедеева А. А., 2018). В контексте управления эрозионными процессами на эродированных и эрозионно-опасных земельных участках необходимо применять комплексные меры, направленные на минимизацию эрозионной активности. На склонах с высокой крутизной рекомендуется формировать рабочие участки в прямоугольной

конфигурации, ориентируя их длинные стороны перпендикулярно направлению основного склонового стока. На более крутых склонах целесообразно применять полосное размещение сельскохозяйственных культур, также ориентированное поперек склона. В структуре севооборотов следует отдавать предпочтение многолетним травам, полностью исключая из пропашные культуры. Эти агротехнические приемы способствуют стабилизации почвенного покрова и снижению эрозионных процессов (Мамиев Д. М., Абаев А. А., 2016; Skuodienė R., Matyžiūtė V., 2022).

В рамках адаптивно-ландшафтных систем земледелия основополагающим аспектом является дифференциация земельных угодий на участки с разнообразными почвенными характеристиками и микроклиматическими параметрами. Данный подход позволяет оптимизировать агротехнические мероприятия, направленные на создание оптимальных условий для культивирования специфических сельскохозяйственных культур (Барабанов А. Т., Дронова Т. Н., Павловский Е. С., 2012). В таких системах, ориентированных на устойчивое земледелие, широко используется контурная обработка почвы. Данный метод представляет собой комплексную агротехническую практику, направленную на оптимизацию водного баланса агроландшафтов. Контурная обработка почвы способствует созданию микрорельефа, минимизирующего поверхностный сток воды, что, в свою очередь, приводит к значительному снижению потерь влаги и предотвращает эрозионные процессы. В результате повышается инфильтрационная и влагоудерживающая способность почвы, что позволяет более эффективно использовать водные ресурсы, обеспечивая долгосрочную продуктивность сельскохозяйственных угодий (Карпович К. И., Петров В. М., 1997; Здоровцов И. П., 2012).

Согласно научным исследованиям Л. П. Шаталиной (2019), перспективы эволюции адаптивно-ландшафтных систем земледелия заключаются в интегративной кластеризации однородных территориальных единиц на основе биоклиматического потенциала и координатной привязки. Данный подход, известный как точное земледелие, обладает значительным потенциалом для

широкого внедрения при условии адекватной государственной поддержки и синергии между научными учреждениями и производителями высокотехнологичной сельскохозяйственной техники, оснащенной передовыми средствами глобального позиционирования.

В исследовании В. И. Кирюшина и др. (2014) было убедительно доказано, что эффективное управление плодородием почв в условиях интенсивного сельскохозяйственного природопользования возможно только на основе методологии адаптивно-ландшафтного земледелия (АЛСЗ) и проектирования соответствующих систем с применением геоинформационных технологий. Для дальнейшего развития данного подхода необходимо интегрировать почвоведение с ключевыми агрономическими дисциплинами, а также создать государственную земельную службу, наделенную функциями почвенно-ландшафтного картографирования, проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия, землеустройства и агроэкологического мониторинга. Такой подход позволит обеспечить устойчивое развитие сельскохозяйственных угодий и рациональное использование земельных ресурсов.

В рамках исследований, проведенных В. И. Турусовым и др. (2019), было установлено, что создание благоприятных условий почвенной среды достигается посредством применения дифференцированной разноглубинной системы обработки почвы в севообороте. Данная система разрабатывается с учетом почвенно-рельефных характеристик и биологических особенностей культивируемых растений. Кроме того, в исследовании отмечается высокая эффективность минимализации обработки почвы, вплоть до внедрения технологии прямого посева, что способствует оптимизации агротехнических процессов и повышению продуктивности сельскохозяйственных культур.

В своих исследованиях В. И. Турусов и В. М. Гармашов (2020) акцентируют внимание на значимости научно обоснованной системы удобрения, учитывающей почвенные особенности и специфику выращиваемых культур. Применение данной системы способствует оптимизации почвенной среды и поддержанию высокого уровня валовых запасов макроэлементов в чернозёме. В частности,

наблюдается увеличение содержания азота на 7–8%, фосфора на 7–10% и калия на 2–3% по сравнению с контрольными вариантами без внесения удобрений. Кроме того, отмечается положительное влияние данной агрохимической стратегии на структуру микробного сообщества. В частности, наблюдается активизация зимогенной микрофлоры и интенсификация процессов синтеза гумуса, что способствует улучшению биохимических и агрофизических свойств почвы. Эти результаты свидетельствуют о высокой эффективности научно обоснованных подходов к удобрению почв и их значительном вкладе в устойчивое развитие агроэкосистем.

Г. П. Дюзин и А. Г. Дюзина (2013), проведя детальный анализ природных условий Удмуртской Республики, осуществили адаптивно-ландшафтное районирование ее территории. В рамках данного исследования были идентифицированы зоны и типы агроландшафтов, а также дана их комплексная характеристика. На основе полученных данных была составлена картографическая схема, наглядно демонстрирующая распределение агроландшафтов на исследуемой территории. Разработка качественно новых систем земледелия, интегрирующих современные достижения агронауки и учитывающих как природные факторы, так и экономические возможности региона, позволит существенно стабилизировать сельскохозяйственное производство и повысить его устойчивость к внешним воздействиям.

Примеры успешного внедрения адаптивно-ландшафтного земледелия включают опытную станцию «Новоникулинская» (Ульяновский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН), «Центральное» (НИИСХ Юго-Востока), «Елизаветинское» и «Чулпан» (Татарский НИИСХ). В институте НИИСХ Юго-Востока проведена разработка и внедрение ресурсосберегающей гребнекулисной технологии для обработки склоновых агроландшафтов Поволжья (Шабает А. И. и др. 2007; Прянишников А. И., Савченко И. В., Шабает А. И., 2016).

Эффективная организация землепользования и создание агролесомелиоративного экосистемного каркаса на основе лесных насаждений представляют собой фундаментальные компоненты адаптивно-ландшафтного

земледелия. Гидротехнические мероприятия играют ключевую роль в формировании данного каркаса, как при его интеграции в агроландшафтную структуру полей в сочетании со стокорегулирующими лесополосами, так и в автономном режиме на вершине оврагов (Барабанов А. Т., 2020).

Полезащитные лесные полосы создаются для защиты сельскохозяйственных угодий от неблагоприятных погодных условий, а также от промышленного и иного антропогенного загрязнения. Согласно установленным стандартам, их площадь должна составлять примерно 1,5–3 % от общей площади пашни. Однако в зависимости от климатических и географических условий, напряженности ветрового режима, степени расчленения рельефа и эрозии почвы, их площадь может изменяться. Например, на лёгких почвах и склонах с уклоном более 5° она может достигать 5–7 % (Кулик К. Н., Барабанов А. Т., Павловский Е. С., 2012).

Противоэрозионные лесные насаждения создаются, главным образом, на территориях присетевого и гидрографического назначения. Они служат для регулирования водного стока, предотвращения эрозии прилегающих земель и повышения их продуктивности. Площадь таких насаждений определяется степенью расчленённости рельефа, интенсивностью эрозионных процессов и необходимостью оптимизации баланса между лесными, сельскохозяйственными и водными ресурсами в каждом конкретном бассейне или геоморфологической зоне. Обычно эта площадь составляет от 4 до 8 процентов от общей площади склоновых земель, где скорость эрозии превышает скорость почвообразования. В некоторых случаях эти земли подлежат трансформации, включая перевод из пашни в луга или другие угодья, с последующим облесением части территории (Барабанов А. Т., 2016).

Защитные лесные насаждения на аридных пастбищах создают для увеличения кормовой базы и ограждения пастбищных территорий и животноводческих построек от снежных заносов, мелкозема и защиты животных от прямых солнечных лучей и неблагоприятных погодных условий. К таким насаждениям относятся пастбищные защитные, мелиоративно-кормовые, саванные (редколесья), прифермские, затишковые посадки и зеленые зоны.

Необходимость в этих насаждениях зависит от форм и специфики использования пастбищ, а также от их лесорастительных условий (Иванов А. Л. и др., 2008).

А.Т. Барабанов (2017) в рамках своих исследований выявил, что гидротехнические мероприятия, направленные на поверхностное удержание воды и повышение водопоглощающей способности почвы (такие как валы-террасы и водопоглощающие канавы с валиками), демонстрируют высокую эффективность в снижении поверхностного стока на 30–50 мм и уменьшении эрозионных процессов, приводящих к смыву почвы, в 8–12 раз. Однако следует отметить, что данные методы характеризуются относительно высокой экономической стоимостью и требуют строгого соблюдения контурной организации территории, что существенно усложняет их реализацию и эксплуатацию. Эти факторы, в свою очередь, оказывают сдерживающее влияние на их практическое внедрение.

По данным анализа С. Н. Сафонова (2009), освоение систем адаптивно-ландшафтного земледелия обеспечит рост эффективности интенсификации сельскохозяйственного производства за счет более рационального использования ресурсов.

А. Е. Мищенко и др. (2015) выяснили, что противоэрозионные меры в севооборотах ландшафтного земледелия способствуют восстановлению и даже увеличению почвенного плодородия на эродированных склонах. Это достигается за счёт уменьшения стока талых и ливневых вод, а также снижения эрозии почвы. Использование контурно-ландшафтного подхода и почвозащитных обработок позволяет сохранить на поверхности поля до 4 тонн растительных остатков на гектар. Эти остатки уменьшают поверхностный сток воды и эрозию почвы, а иногда полностью её предотвращают.

Соотношение культур, устойчивых и неустойчивых к эрозии, в структуре посевных площадей влияет на интенсивность эрозионных процессов. Многолетние травы, такие как люцерна, обладают высокой устойчивостью к эрозии благодаря своим корневым системам, которые выполняют «армирующую» функцию. В севообороте их доля должна составлять не менее 20%. Оптимальная структура посевных площадей, включающая 10% чистого пара и 20%

многолетних трав, на эрозионно опасных склонах повышает продуктивность севооборота на 18–22% (Гаевая Э. А., 2018).

Научные исследования, проведенные учеными Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, направленные на разработку и внедрение адаптивно-ландшафтной системы земледелия (АЛЗИС) в сельскохозяйственном производстве на территории ФГУП «Кремлевское» Коченевского района Новосибирской области, продемонстрировали высокую эффективность данной агротехнологической парадигмы. Применение принципов АЛЗИС, основанных на агроэкологическом зонировании земель и комплексном землеустроительном подходе к перераспределению и формированию угодий, позволило существенно повысить рентабельность сельскохозяйственного производства. Конкретно, экономический эффект выразился в увеличении рентабельности на 25 %, что свидетельствует о значительных преимуществах адаптивно-ландшафтной системы земледелия в контексте устойчивого и эффективного использования земельных ресурсов (Доброворская Н. И., Дубровский А. В., Троценко Е. С., Капустянчик С. Ю., 2013).

За период исследований, проведенных группой исследователей во главе с И. С. Кочетовым (2000), в условиях ландшафтной системы земледелия на склоне крутизной 1–5° практически полностью прекратился смыв почвы, в среднем на 7 мм повысились запасы воды в снеге и наметилась тенденция увеличения запасов влаги в почве. В рамках традиционной агротехнической системы предотвращение эрозии почвы под воздействием талых вод достигалось исключительно посредством применения безотвальной обработки. В случае же вспашки поперек склона интенсивность эрозионных процессов достигала среднего значения в 1,8 тонн на гектар.

Данные, представленные В. М. Петровым и К. И. Карповичем (1997), подтверждают вышеупомянутые выводы. Обработка почвы вдоль склона способствует значительному увеличению поверхностного стока, который может возрасти в 3,5 раза по сравнению с обработкой, осуществляемой поперек склона.

Белгородский аграрный научный центр разработал систему АЛСЗ, которая применяется в ОПХ «Белгородское». Эта система развивает ранее внедрённые в Белгородской области почвозащитные технологии с контурно-мелиоративной организацией территории. Использование АЛСЗ помогает минимизировать эрозию почвы, поддерживать её плодородие, а также положительно сказывается на экономических показателях и энергетической эффективности сельского хозяйства как на уровне отдельных хозяйств, так и региона в целом. Внедрение АЛСЗ привело к уменьшению площади пашни, увеличению площади лесных полос и почвозащитных севооборотов, а также к значительному росту средней урожайности зерновых и технических культур в хозяйстве (Солдат И. Е., 2020).

На опытной станции «Новоникулинская» был успешно реализован комплексный подход к защите почв от эрозии, основанный на принципах ландшафтного земледелия. Это позволило эффективно остановить деградационные процессы на территории хозяйства и значительно улучшить агрофизические свойства почв, особенно на склоновых участках. В частности, наблюдалось существенное повышение водопроницаемости почвенного покрова. После проведения вспашки этот показатель составил 1,82 мм/мин., тогда как после внедрения почвозащитных мероприятий он возрос до 2,12 мм/мин., что свидетельствует о значительном улучшении структуры и водно-физических характеристик почвы. Анализ содержания водопрочных агрегатов в пахотном слое показал увеличение их доли на 1,1–7,9%, что свидетельствует о повышении устойчивости почв к эрозионным процессам и улучшении их агрономических свойств. Эти изменения положительно сказались на влагоемкости почв, микроклимате полей и гидрологическом режиме территории, что, в свою очередь, способствовало улучшению экологической обстановки в регионе. Результаты внедрения противоэрозионных мероприятий также отразились на продуктивности сельскохозяйственных угодий. За исследуемый период продуктивность увеличилась более чем на 40%, что выразилось в значительном росте урожайности зерновых культур. Если в 1970–1975 годах средняя урожайность составляла 1,63 т/га, то в 1991–1995 годах она возросла до 2,10 т/га. Для

сравнения, в соседних хозяйствах, где подобные мероприятия не проводились, урожайность зерновых культур оставалась на уровне 1,81–1,84 т/га, что подчеркивает эффективность примененных методов защиты почв и повышения их плодородия (Немцев С. Н., Сабитов М. М., Науметов Р. В., Карпович К. И., 2009; Науметов Р. В., 2021).

Адаптивно-ландшафтные системы земледелия представляют собой современный, научно обоснованный подход к управлению агроэкосистемами, который кардинально отличается от традиционных методов агропроизводства. В основе этих систем лежит интеграция принципов ландшафтной экологии, агробиологии и агротехники, что позволяет учитывать сложную мозаику природных и антропогенных факторов, влияющих на продуктивность и устойчивость агроэкосистем. В адаптивно-ландшафтных системах земледелия применяются передовые методы, такие как контурная обработка почвы, севообороты с учетом биологического разнообразия, лесомелиоративные мероприятия и создание гидротехнических сооружений. Эти подходы направлены на оптимизацию использования природных ресурсов, повышение продуктивности сельскохозяйственных угодий и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.

Несмотря на то, что адаптивно-ландшафтная концепция земледелия уже обладает значительной научной базой, продолжающиеся изменения климата, интенсификация сельскохозяйственного производства и необходимость обеспечения продовольственной безопасности требуют постоянного совершенствования методологических подходов. В условиях глобального изменения климатических параметров и увеличения антропогенной нагрузки на экосистемы адаптивно-ландшафтные системы земледелия выступают в качестве ключевого инструмента для повышения устойчивости агроэкосистем и обеспечения их долгосрочной продуктивности.

1.2 Факторы проявления и меры борьбы с эрозией почв

Несмотря на глубокое изучение проблемы, дефляция и водная эрозия остаются ключевыми факторами ухудшения состояния почвенного покрова при интенсификации сельскохозяйственной деятельности. Развитие эрозионных процессов, зависящее от множества факторов, приводит к утрате основных свойств почвы, вплоть до полного исчезновения гумусово-аккумулятивного слоя, особенно заметно это в склоновых сельскохозяйственных районах. Поэтому возникает необходимость в детальном изучении процессов, происходящих на этих территориях, их анализе и диагностике, что в будущем позволит создавать эффективные и устойчивые к эрозии методы ведения сельского хозяйства (Hiltbrunner D., 2013; Mitova M., Rousseva S., 2014; Hristov B., 2014; Switoniak M., 2015; Prasuhn V., 2015; Васильев С. А. и др., 2015; Тойгильдин А. Л., Никифорова С. А., 2025).

На территории Российской Федерации наблюдается тревожная тенденция к деградации почвенных ресурсов, что представляет серьезную угрозу для устойчивого развития аграрного сектора. В ключевых сельскохозяйственных регионах страны степень распаханности земель превышает критические значения и достигает 60-90%. Эрозионные процессы, суховеи и периодические засухи оказывают значительное воздействие на 65% площадей пашни, 50% пастбищ и 28% сенокосов. Согласно данным мониторинга, площадь сельскохозяйственных земель, подверженных эрозионным процессам и дефляции, увеличилась с 104 миллионов гектаров в 1990 году до 126 миллионов гектаров в настоящее время, что свидетельствует о прогрессирующем ухудшении состояния почв. Углубленный анализ показывает, что в результате усиливающейся эрозии 10% пахотных земель потеряли от 30 до 60% своего плодородия, а еще 25% – от 10 до 30%. Эти данные подчеркивают необходимость принятия срочных и комплексных мер по восстановлению и сохранению почвенного покрова, что является

критически важным для обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого развития страны (Кулик К. Н., Власенко М. В., 2024).

В России площадь действующих оврагов уже превышает 900 тыс. га. На Среднерусской возвышенности плотность оврагов составляет от одного до трёх на каждые 100 гектаров. Земли, подвергшиеся овражной эрозии, занимают около 8 миллионов га. Годовые темпы образования оврагов варьируются от 10 до 15 тысяч га, а среднегодовой прирост эродированных территорий достигает 0,4–0,5 миллиона га. В результате дефляции почвы ежегодно в атмосферу выносятся 0,37 тонны пыли на гектар (Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года, 2018).

Водная эрозия представляет собой процесс, при котором поверхностный слой почвы смывается дождевой или талой водой. В результате этого процесса питательные вещества выносятся в виде взвесей в водные объекты, что приводит к их эвтрофикации. Водная эрозия чаще всего наблюдается на сельскохозяйственных угодьях, расположенных на склонах и холмах. Капли дождя, падая на поверхность почвы, нарушают её структурную целостность, вызывая отрыв и перемещение почвенных частиц вниз по склону вместе с водным потоком. Интенсивность водной эрозии и объём смытой почвы зависят от ряда факторов, включая угол наклона поверхности, тип сельскохозяйственной культуры, а также количество растительных остатков, оставшихся на поверхности почвы после уборки урожая (Бондаренко Ю. В. и др., 2007; Карпович К. И., 2015; Танюкевич В. В., 2017).

Органическое вещество играет ключевую роль в жизни сельскохозяйственных культур. Оно представляет собой комплекс соединений, образующихся в результате жизнедеятельности растений, животных и микроорганизмов. В почве органическое вещество разлагается, формируя гумус – ценное питательное вещество, необходимое для развития растений. В последние десятилетия наблюдается значительное усиление интереса к органическому веществу как к ключевому резервуару углерода, что обусловлено острой необходимостью решения проблемы изменения климата. Данный феномен

обусловлен глубокими научными исследованиями и признанием критической роли органического углерода в глобальных углеродных циклах и биогеохимических процессах (Лыков А. М., 2001, 2004; Трофимов С. Я., 2012).

Смыв почвы в процессе эрозионных процессов является серьезной проблемой. Одной из важнейших задач, связанных с этой проблемой, является восстановление плодородия смытых почв. Экологическое состояние склоновых участков характеризуется несколькими ключевыми параметрами. Одним из них является уровень содержания гумуса в почвах. Для успешного выращивания растений в агроландшафтах важно, чтобы этот показатель был высоким. Гумус играет важную роль в обеспечении плодородия почвы, способствуя ее питанию, улучшению структуры, влагоемкости и теплового режима (Кирюшин В. И. и др., 1993).

По данным Е. А. Празина (2018) установлено, что с увеличением степени смывости снижается содержание органического вещества.

Ветровая эрозия – это проблема на всех обрабатываемых землях, независимо от крутизны склона. Сильный ветер поднимает верхний слой почвы и уносит его частицы на значительные расстояния, что приводит к утрате плодородного слоя. Степень интенсивности ветровой эрозии определяется скоростью и частотой ветров, характеристиками почвы, разнообразием рельефа и состоянием растительного покрова. Наибольший ущерб от ветровой эрозии наблюдается на равнинных участках, где отсутствуют лесные и кустарниковые насаждения, что делает их более уязвимыми к выветриванию (Смирнова Л. Г. и др., 2011; Недикова Е. В. и др., 2024; Свинцов И. П., 2025).

Все виды эрозионных процессов наносят огромный экономический ущерб сельскому хозяйству и природной среде. На почвах, которые подвержены дефляции, происходит снос пылевидных почвенных частиц, что влечет за собой засыпание переносимой массой растений и ведет к их гибели. Все это приводит к снижению площадей пахотных земель, общего плодородия почвы, вследствие чего снижается урожайность на 30–70%, и ухудшается качество получаемой продукции (Устроенов А. А., Мурзаев Е. А., 2020).

Донные отложения в водохранилищах необходимо периодически удалять, иначе полезный объем сокращается, воды для орошения становится меньше, а выработка электроэнергии гидроэлектростанциями снижается. Так, емкость Уч-Курганского водохранилища менялась следующим образом: в 1957 году она составляла 54 миллиона кубических метров, в 1963 году – 42 миллиона кубических метров, в 1968 году – 24 миллиона кубических метров, а с 1978 года – всего 15,5 миллиона кубических метров, что в 3,5 раза меньше проектной емкости. В настоящее время водохранилище сильно заилено, и очистка его чаши является важной задачей для поддержания эффективной работы Уч-Курганской ГЭС (Карабаев Н. А. и др., 2022).

В Токтогульское водохранилище, до того как была запущена Камбар-Атинская ГЭС-2, ежегодно поступало около 12,5 миллионов тонн наносов, которые приносили с собой все притоки рек. В Кировское водохранилище, в свою очередь, ежегодно попадало примерно 1,2 миллиона тонн наносов (Юлдашева К. А., 2011).

Полностью ликвидировать эрозию человеку не под силу, однако снизить её негативное воздействие, минимизировать риски и эффективно использовать эродированные территории в сельском хозяйстве вполне возможно. Для этого необходимо принимать меры по рациональному планированию земельных участков, применять обоснованные агротехнические методы и проводить мероприятия по улучшению состояния земной поверхности с использованием лесо- и гидромелиоративных технологий. Все противоэрозионные мероприятия должны быть тщательно спланированы и реализованы в соответствии с установленным графиком работ. При этом важно учитывать степень эрозии земель, рельеф местности и перспективы дальнейшего хозяйственного использования этих участков (Брыжко В. Г., Тарасов Т. В., 2019).

Для успешной борьбы с эрозией необходимо применять комплекс мер, включающий: рациональную организацию территории, соблюдение системы севооборотов, создание противоэрозионных лесных полос, обработку почвы с учетом защиты от эрозии, а также укрепление склонов оврагов с помощью

гидротехнических сооружений и водоотводящих валов (Карпович К. И., 2014; Акперова У. З., 2020).

По классификации, предложенной Г. П. Сурмачем (1971), слабосмытые почвы характеризуются утратой не более 25 % гумусового слоя (A+B₁). Среднесмытые почвы теряют от 25 до 50 % этого слоя, сильносмытые – от 50 до 75 %, а весьма сильносмытые – более 75 %. Почвы, у которых гумусовый горизонт уменьшился не более чем на 3-4 см, считаются несмытыми. С увеличением крутизны склона мощность гумусового слоя снижается, что связано с усилением эрозии. В результате смывости изменяются механический состав и агрохимические характеристики почвы (Петелько А. И., 2007).

В рамках исследований, проведенных С. А. Тарадиной и Е. Н. Нежинской (2018), было установлено, что использование отвальной вспашки приводит к максимальному показателю полного прямого годового ущерба от эрозии, составляющему 6,37 тыс. руб./га. Этот результат обусловлен высокой интенсивностью смыва почвы, достигающей 8,2 т/га. Суммарный годовой экономический ущерб, связанный с выращиванием ярового ячменя на эрозионно-опасных склонах, варьировался в диапазоне от 11,37 до 12,69 тыс. руб./га. Внедрение почвозащитных технологий позволило сократить данный показатель на 1,33 тыс. руб./га, что свидетельствует о значительной экономической эффективности таких мероприятий. Проведенные исследования подтверждают, что достижение экономически целесообразного уровня сельскохозяйственного производства на эродированных почвах невозможно без комплексного подхода, включающего восстановление плодородия почв, внедрение почвозащитных севооборотов и простейших гидротехнических сооружений, а также применение почвозащитных обработок почвы.

В исследованиях Д. А. Савельева и В. К. Каличкина (2021), где применялись данные расчета максимального потенциала эрозии (LSKR), площадь земель с интенсивным и очень интенсивным смывом варьировалась от 160,42 гектара в мае до 1064,22 гектаров в апреле и 1194,5 гектаров в июле. В июле сильной эрозии было подвержено 21,3 % исследованной территории, а очень сильной – 2,3 %. В

апреле эти показатели составляли 19 % и 2 % соответственно. В остальные месяцы площадь участков с сильным и очень сильным эрозионным воздействием была значительно меньше. Например, в мае она не превышала 0,001 %. В целом, большая часть исследуемой территории в течение всех месяцев наблюдений была представлена землями со средним смывом, доля которых изменялась от 78,1 % в июле до 92,7 % в сентябре. Площадь участков с незначительным потенциалом эрозии была небольшой.

По мнению Н. В. Полякова (2007), снижение плодородия эродированных серых лесных почв отражается на их продуктивности. При одинаковой агротехнике урожайность всех культур на смытых видах почв была ниже, чем на несмытых аналогах.

Для предотвращения процессов эрозии, возникающих в период снеготаяния на склонах с уклоном от 1 до 3° в условиях Центрально-Черноземного региона, Е. А. Малышева (2023) предлагает инновационный агротехнический подход. Этот метод заключается в возделывании кукурузы в смешанных посевах с сорго, что позволяет оптимизировать агроландшафт и улучшить агрофизические свойства почвы. Для реализации данной технологии рекомендуется проводить подсев сорго после первой междурядной обработки кукурузы, когда растения находятся в фазе появления четвертого листа. Подсев осуществляется по три рядка в междурядья, с нормой посева 3 миллиона всхожих семян на гектар. Такой подход способствует более равномерному распределению корневых систем растений, что, в свою очередь, улучшает водопоглощение и структурное состояние почвы. После завершения цикла возделывания кукурузы и сбора урожая, подготовка почвы под следующую культуру севооборота, сою, должна осуществляться по безотвальной системе обработки. Эта система включает послеуборочную обработку почвы игольчатыми боронами БИГ-3, зяблевое рыхление плоскорезами КПП-250 на глубину 20–22 сантиметров и весеннюю обработку почвы дисковыми боронами БДТ-3. Такой комплекс агротехнических мероприятий способствует сохранению структуры почвы, предотвращению эрозионных процессов и созданию оптимальных условий для роста последующих культур.

Полевые исследования, проведенные коллективом Башкирского аграрного университета, продемонстрировали, что интеграция органических удобрений с противоэрозионными методами обработки почвы, в сочетании с применением минеральных удобрений, существенно повышает ферментативную активность эродированных почв. Этот вывод основан на комплексном анализе биохимических процессов, происходящих в почвенном профиле под воздействием различных агротехнических приемов. На серых лесных среднеэродированных почвах это достигается чередованием отвальной вспашки (на 18–20 см) и безотвальной глубокой обработки (на 28–30 см). На слабоэродированных карбонатных черноземах эффективна глубокая вспашка (на 28–30 см) с прерывистым бороздованием. Весной, к началу посевного сезона, запасы влаги в метровом слое этих почв за четыре года увеличились на 54,8–89,8 мм в карбонатных черноземах и на 40–50 мм в серых лесных почвах по сравнению с обычной вспашкой. Предотвращение эрозии, улучшение гидротермического режима и создание мощного биологически активного пахотного слоя способствовали повышению ферментативной активности до уровня зональных полнопрофильных почв (Хабилов И. К., Сайфуллин Р. Р., 2022).

Е. В. Полуэктов (2020), анализируя потери почвы от эрозионных процессов в холодное время года за период с 1970 по 2020 гг., отмечал постоянное снижение интенсивности смыва почвы во время таяния снега. Так, с 1970 по 1991 гг. средний ежегодный смыв почвы с зяби составил 7,5 т/га, с посевов озимой пшеницы – 10,2 т/га. В следующие двадцать лет (1991–2009 гг.) потери почвы с зяби составили 4,6 т/га, с посевов озимых культур – 6,8 т/га и в последующие 10 лет соответственно 5,0 и 3,1 т/га.

В результате комплексных исследований, осуществлённых Университетом природных ресурсов и прикладных наук Австрии, было выявлено, что длительное использование различных систем земледелия на крутых склонах привело к существенным изменениям в свойствах почвенного покрова и усилило процессы эрозии. В сравнении с использованием почвосберегающих агротехнологий, на пахотных землях произошли значительные трансформации в водно-физических и

агрохимических характеристиках. В частности, в гранулометрическом составе почвы наблюдалось увеличение содержания песчаных фракций, а в структурно-агрегатной организации – рост доли агрегатов размером 1–2 мм. Также имело место снижение запасов почвенной влаги, что указывает на ухудшение водно-физических свойств почвенного профиля. Почвы, подверженные эрозии, демонстрируют снижение водоустойчивости и водопроницаемости. Также наблюдается уменьшение содержания питательных элементов, таких как азот (N) и фосфор (P), и изменение соотношения углерода к азоту (C/N) на 5-20% (Klik A., 2013).

Таким образом, при агротехническом возделывании сельскохозяйственных культур на подверженных эрозии склонах Нижней Австрии целесообразно применять прямой посев. В случае технологической необходимости допускается использование минимальной обработки почвы. Технология No-till, в сравнении с традиционной вспашкой, демонстрирует высокую эффективность и обладает рядом существенных преимуществ. Она способствует сохранению почвенного плодородия, минимизирует эрозионные процессы и незначительно повышает урожайность. Более того, No-till позволяет сократить затраты труда, уменьшить количество задействованной техники, снизить механическую нагрузку на почву и оптимизировать расход топлива (Strohmeier S., Laaha G., Holzmann H., Klik A., 2016; Комиссаров М. А.).

Таким образом, интенсивность проявления, масштабы распространения и величина ущерба от развития водной эрозии представляют серьезную угрозу для сельскохозяйственного производства и окружающей среды. Учитывая, что около 60% сельхозугодий Ульяновской области размещены на склонах, изучение эрозионно-гидрологических процессов, разработка мероприятий по обустройству склоновых агроландшафтов для данной зоны является актуальной проблемой.

1.3 Влияние лесных полос на агроэкологическое состояние агроландшафтов

За последние сто лет человеческая деятельность значительно усилила своё влияние на биосферу. Это привело к глобальному потеплению, изменению климата в сторону засушливости и ускорению процессов опустынивания. Эти изменения сопровождаются деградацией и разрушением почвенных ресурсов, а также нарушением сложных функциональных связей в экосистемах. В результате снижается способность агроэкосистем к саморегуляции и естественному восстановлению, что угрожает устойчивости и продуктивности аграрных ландшафтов.

Эрозия, дефляция, засухи, суховеи и пыльные бури разрушают 65% пашни, 28% сенокосов и 50% пастбищ России. Неблагоприятная агроэкологическая ситуация усугубляется высокой степенью распаханности земель и низкой лесистостью. В степной зоне пашня занимает 60-80% сельскохозяйственных угодий, в лесостепной – 50–70% и более. Луга и пастбища составляют менее 40% общей площади этих угодий. Проблема усугубляется дроблением земель на мелкие участки без учета их устойчивости к эрозии (Юферов В. Г. и др., 2006; Winston, D., 2007; Шабаев А. И. и др. 2011; Сытин Г. О., Беляков А. М., 2023).

По информации ВНИАЛМИ, в период колхозно-совхозного сельского хозяйства ежегодные потери продукции растениеводства в России достигали 47,3 млн. тонн в зерновом эквиваленте. Это происходило из-за негативного влияния природно-антропогенных факторов. В частности, водная эрозия приводила к потерям в размере 13,3 млн. тонн, дефляция – 4,5 млн. тонн, их совместное воздействие – 3,9 млн. тонн. Овражная сеть уменьшала урожай на 1,4 млн. тонн, а засухи и суховеи – на 24,2 млн. тонн. (Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года, 2018). Для достижения поставленных целей необходимо незамедлительно инициировать комплекс мероприятий, направленных на восстановление природно-ресурсного потенциала и предотвращение процессов опустынивания и деградации

сельскохозяйственных угодий. В контексте глобальных научных исследований и разработок, направленных на решение данных экологических вызовов, наблюдается консенсус среди научного сообщества относительно эффективности и экономической целесообразности применения методов защитного лесоразведения как ключевого инструмента (Медведева И. Ф. и др., 2017; Дрыгина Н. Н., 2018; Кожухов Н. И., Топчиев А. Н., 2019; Юферев В. Г. и др., 2020).

Для обеспечения научно обоснованных норм облесения сельскохозяйственных земель Российской Федерации необходимо увеличить существующие защитные лесные насаждения (ЗЛН) на 4,21 миллиона гектаров к уже имеющимся 2,74 миллионам гектаров. Это позволит ежегодно получать дополнительно 30 миллионов тонн растениеводческой продукции в зерновом эквиваленте (Кулик К. Н., 2009; Шабает А. И. и др., 2011).

В настоящее время площадь искусственных защитных лесных насаждений в России составляет всего 1,3% от общей площади сельскохозяйственных земель, что в 3-6 раз меньше рекомендуемых норм. Увеличение лесистости благодаря лесомелиоративным комплексам улучшает влагооборот, теплообмен, превращая простые аграрные ландшафты в сложные и устойчивые лесоаграрные экосистемы. В этих системах подавляются разрушительные процессы, уменьшается негативное влияние засух и суховеев, а также пыльных бурь. На мелиорированных землях нормализуется гидротермический режим, уменьшается или прекращается поверхностный сток, снижается углеродная нагрузка, ускоряются процессы почвообразования, реки и водоемы становятся чище и полноводнее, а биологическое и ландшафтное разнообразие увеличивается (Вольнов В. В., Бойко А. В., 2009; Кулик К.Н. и др., 2018).

Одно из основных влияний лесных полос на агроландшафты – защита от ветра и эрозии почвы. Лесные пояса служат естественными барьерами, смягчающими силу ветра и предотвращающими сдувание почвы во время сильных ветровых порывов. Кроме того, они создают препятствие для распространения эрозионных факторов, таких как водная и ветровая эрозия, что

способствует сохранению плодородного слоя и качества почвы в агроландшафте (Проездов П. Н. и др., 2014).

Другим важным аспектом влияния лесных полос на агроэкологическое состояние агроландшафтов является их роль в сохранении водных ресурсов. Леса являются естественными водохранилищами и полигональными запирающими экранами, задерживающими и впитывающими влагу в земле. Это способствует увлажнению почвы, подпитке грунтовых вод и снижению вероятности засухи и затопления. Кроме того, лесные пояса способствуют очищению воздуха от загрязняющих веществ и удержанию пыли, что является особенно важным для здоровья растений и животных (Проездов П. Н. и др., 2013; Белюченко И. С., 2019).

Необходимо также отметить, что лесные полосы оказывают положительное влияние на биоразнообразие и экосистему агроландшафтов. Они создают уникальные условия для обитания разнообразных растений и животных, способствуя формированию и сохранению биологических коридоров и экологических угодий. Леса служат убежищем для многих видов, являются местом гнездования и кормовыми площадками для птиц и млекопитающих, а также обеспечивают возможности для экотуризма и рекреации.

Наконец, лесные полосы вносят существенный вклад в улучшение микроклимата агроландшафтов. Они создают приятный теневой режим и уровень влажности, что позволяет снизить температуру воздуха и почвы, защитить растения от перегрева и обеспечить комфортные условия для животноводства. Кроме того, лесные пояса способствуют фильтрации атмосферных осадков и поглощению вредных газов, снижая уровень загрязнения воздуха в агроландшафте (Поташкина Ю. Н., Иванцова Е. А., 2023).

Таким образом, лесные полосы оказывают многочисленное и положительное влияние на агроэкологическое состояние агроландшафтов. Они являются незаменимым элементом устойчивого развития сельского хозяйства, способствуют сохранению природных ресурсов и обеспечению экологической устойчивости агроландшафтных систем (Ганжара Н. Ф., Борисов Б. А., 2019).

В первую очередь, лесные полосы способствуют задержке снежных осадков, предотвращая водоотток. Их вертикальные структуры препятствуют скорому снесению снега ветром, образуя естественные барьеры. Кроме того, деревья и кустарники задерживают снег за счет оседания снежинок на их ветвях, что приводит к образованию более толстого снежного покрова.

Также лесные полосы оказывают благоприятное влияние на качество снежного покрова. За счет фильтрации воздуха и улавливания загрязнений деревья осаждают вредные частицы, которые часто содержатся в снежном покрове. Это способствует сохранению чистоты снега и улучшает его эстетический вид.

Важное значение лесных полос для накопления снежного покрова проявляется в поддержании водного баланса в регионе. Накопленный снег является важным источником пресной воды для гидросистемы местности. Он регулирует режим расширения зимнего водосбора и удерживает весомые объемы воды, предотвращая возможные потоки и наводнения весной. Благодаря этому лесные полосы способствуют сохранению водохранилищ и регулировке стока воды.

Кроме того, лесные полосы оказывают положительное влияние на климатические условия в регионе. Деревья и кустарники создают дополнительный микроклимат, улучшая влажность и снижая сильные проветривания. Это способствует созданию более комфортных условий для животных и растений, а также снижает негативное воздействие ветра на микрорайоны, расположенные поблизости (Шеуджен, А. Х., 2003).

Таким образом, лесные полосы играют роль важного компонента в накоплении снежного покрова. Они задерживают снежные осадки, улучшают качество снега и способствуют поддержанию водного баланса. Благодаря своему влиянию на климат они создают более благоприятные условия для животных и растений, а также помогают предотвращать возможные негативные последствия, такие как наводнения и эрозия. Подобные полосы следует использовать в

практике лесного хозяйства и охраны окружающей среды, чтобы поддержать естественные процессы и обеспечить устойчивое развитие.

В статье В. Б. Троц (2016) приводит результаты исследования, целью которого было изучение влияния полевых лесных полос на накопление снега, уровень плодородия почвы и урожайность сельскохозяйственных культур в условиях Самарской области. Он установил, что полевые лесные полосы позволяют по сравнению с открытыми участками поля накапливать снежную массу в 1,2-1,8 раза больше, при этом влагообеспеченность территории увеличивается в 1,2-2,7 раза. Урожайность ячменя и озимой пшеницы, вблизи лесных полос, в среднем была выше, чем на незащищенных лесом участках (Троц В. Б., 2017).

Расположение лесополос на водосборе относительно преобладающих направлений метелей существенно влияет на их защитные свойства и перераспределение снежного покрова в агролесоландшафте (Узолин А. И., Кулик А. В., 2018).

Лесомелиорация агроландшафтов склоновых земель является экономически выгодным мероприятием. Так, выход продукции с 1 га в зоне влияния лесных полос в среднем по трем типам агроландшафта был выше на 26-30%, а себестоимость полученной продукции в плакорно-равнинном типе агроландшафта оказалась ниже на 18-26%, в склоново-ложбинном – на 12-13%, а в склоново-овражном – на 16-31%, чем на середине поля, где влияние лесополос было минимальным (Карпович К. И., Петров В. М., 1997).

В рамках научного исследования, проведенного А. И. Петелько (2011), были получены результаты, демонстрирующие значительные различия в динамике водного стока на контрольных участках и в системе контурных лесополос. В первый год наблюдений на контрольных участках без лесных полос показатели водного стока варьировались в диапазоне от 28,7 до 36,1 мм, что свидетельствует о его умеренной интенсивности. В то же время на участках, оборудованных контурными лесополосами, наблюдалось снижение интенсивности стока до уровня 8,6–15,7 мм, что позволяет классифицировать его как слабый. На второй

год наблюдений на контрольных участках показатели стока возросли до диапазона 26,8–42,1 мм, что указывает на возможное увеличение водопроницаемости почвы в результате эрозионных процессов. В то же время, на участках с контурными лесополосами водный сток полностью отсутствовал, что свидетельствует о высокой эффективности данных агротехнических мероприятий в контексте регулирования водного режима. Третий год исследований подтвердил тенденцию к умеренному стоку на контрольных участках, варьировавшемся в пределах 20,1–29,1 мм. В то же время, на агрофонах с наличием контурных лесных полос весенний сток не наблюдался, что указывает на полное поглощение талой воды почвой благодаря лесополосам. Данный факт свидетельствует о значительном вкладе данных агротехнических мероприятий в повышение водоудерживающей способности почвы и снижение риска водной эрозии.

Проведенный анализ литературы показывает, что эффективность отдельных противоэрозионных мероприятий (земляных валов, гидротехнических сооружений, агролесомелиорации и т. д.) с точки зрения сохранения зимних осадков и повышения урожайности возделываемых культур на склоновых землях Приволжской возвышенности в литературе освещены недостаточно.

Исследование природных ландшафтов поможет найти гармонию между природными условиями и объемами сельскохозяйственного производства. Это позволит избежать ухудшения состояния почв, значительно увеличить продуктивность сельского хозяйства, уменьшить затраты и разработать научно обоснованные методы для устойчивого развития агроландшафтов.

2 ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Рельеф и почвенно-климатические условия

Лесостепная зона Поволжья охватывает бассейн Средней Волги, простираясь на востоке Русской равнины. В её состав входят Пензенская и Ульяновская области, южные территории Республики Татарстан и северные районы Самарской области (Немцев Н. С., 2000).

Землепользование хозяйства опытной станции «Новоникулинская», на базе которого проводились экспериментальные исследования, расположено в юго-восточной части Цильнинского района Ульяновской области. Расстояние до районного центра, поселка Большое Нагаткино, составляет 32 километра, а до областного центра, города Ульяновска, – 75 километров.

Рельеф местности оказывает значительное влияние на эрозионные процессы. Опытная станция «Новоникулинская» расположена на Приволжской возвышенности, где высоты уменьшаются в северном направлении. Местность здесь представляет собой пологоволнистую равнину с увалами, плавно наклоняющуюся к реке Свияга (Науметов Р.В., 2021).

Климат в районе ОС «Новоникулинская» характеризуется как умеренно-континентальный, что обусловлено значительным сезонным колебанием температур. Лето в данном регионе отличается умеренной теплотой, в то время как зима характеризуется суровыми холодами. В зимний период, характеризующийся малым количеством снега и экстремальными морозами, глубина промерзания почвы может достигать 100-140 см. Это явление может приводить к подмерзанию корневой системы плодовых деревьев и гибели однолетних и многолетних побегов, особенно в низменных участках рельефа. Примером такой зимы является зимний сезон 1968-1969 годов.

Годовое количество осадков в данной местности варьируется в пределах 450-500 мм, что является типичным показателем для умеренно-влажных

регионов. В корнеобитаемом слое почвы, благодаря равномерному распределению осадков, наблюдается постоянное наличие достаточного количества влаги.

Зимние атмосферные осадки, а также их характеристики, включая способность к инфильтрации в почвенный профиль, оказывают значительное влияние на уровень увлажненности грунта в преддверии вегетационного цикла. К концу февраля и началу марта высота снежного покрова достигает максимума, составляя примерно 27 см. Этот снежный покров содержит 80-100 мм воды, которая полностью впитывается в почву при сухой осени. Лесные насаждения способствуют накоплению значительного количества влаги в почве весной, особенно в годы, когда снег выпадает на уже талую землю.

На развитие эрозионных процессов оказывает большое влияние деятельность ручьев и временных водотоков. На территории хозяйства расположены несколько ручьев и мелких рек, которые впадают в бассейн Свияги.

Земли ОС «Новоникулинская» в основном представлены черноземами, а также лесными почвами укороченного типа (рисунок 1).

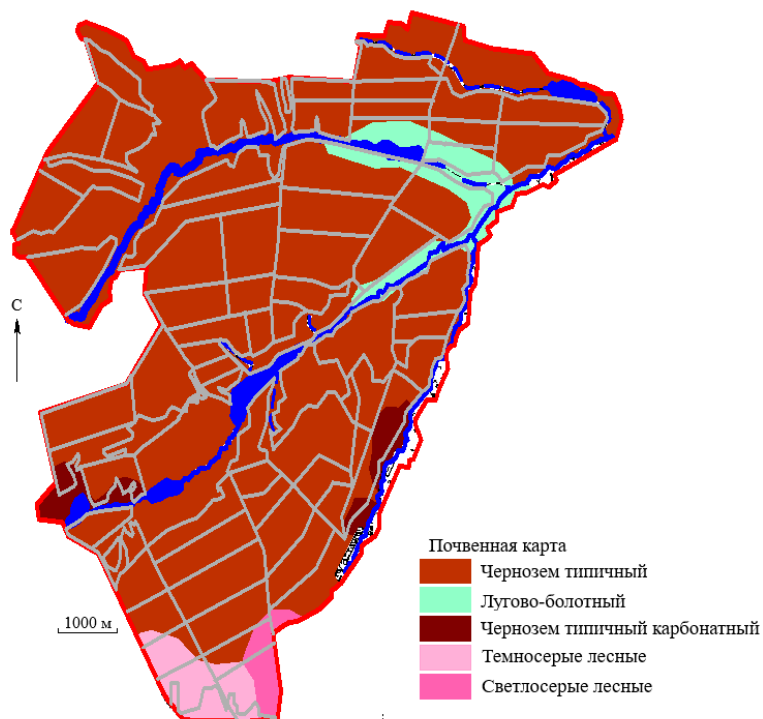


Рисунок 1 – Почвенная карта пахотных земель опытной станции
«Новоникулинская»

Черноземы, являющиеся доминирующим типом почв в агроландшафтах исследуемого хозяйства, занимают 88,6% от общей площади сельскохозяйственных угодий.

В данной местности все типы почв отличаются значительной расчлененностью рельефа и различной степенью подверженности эрозионным процессам.

2.2 Агрометеорологические условия в годы исследований

Ульяновская область, где проводились исследования, входит в лесостепную зону Среднего Поволжья. Климат зоны лесостепного Поволжья – умеренно-континентальный. Уровень увлажнения приближается к нормальному, за исключением Заволжья и некоторых южных участков области (Переведенцев Ю. П., Шарипова Р. Б., 2012).

Снежный покров оказывает значительное влияние на климатическую систему. Его способность отражать солнечные лучи влияет на климатические характеристики региона. Кроме того, низкая теплопроводность снега защищает почву от глубокого промерзания, что особенно важно для сельского хозяйства в зимний период. Снег также способствует успешной перезимовке озимых культур (Немцев С. Н., Шарипова Р. Б., 2021).

Зимой в Ульяновской области преобладают ветра юго-западного направления (рисунок 2).

Зимой ветра преимущественно дуют с юго-запада. Это связано с тем, что ось зимнего азиатского максимума давления смещается южнее исследуемого региона. Западный перенос воздушных масс в тропосфере, детерминированный существенными горизонтальными градиентами атмосферного давления, приводит к более частым повторениям западных и южных ветров с высокими скоростями (рисунок 3).

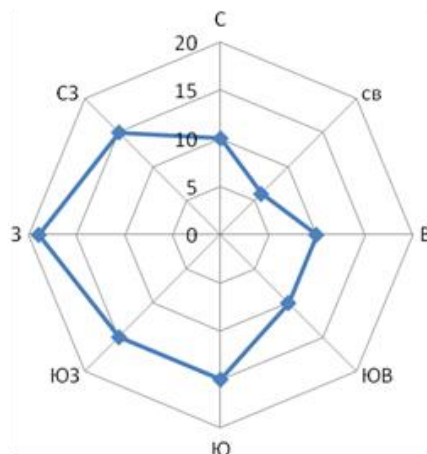


Рисунок 2 – Повторяемость направлений ветра в течение года
(данные за 1961 – 2024 гг.)

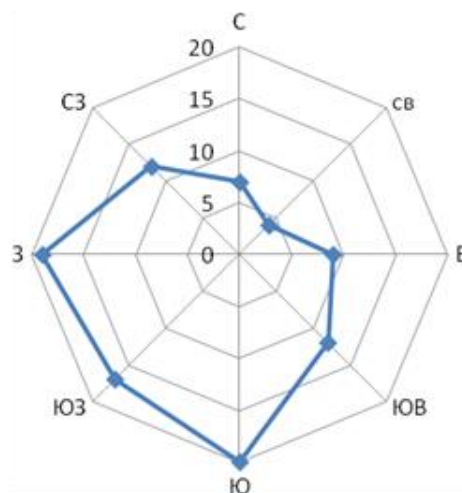


Рисунок 3 – Повторяемость направлений ветра в зимний период
(данные за 1961 – 2024 гг.)

Количество атмосферных осадков – одна из самых нестабильных показателей погоды. В сельскохозяйственные сезоны 2021–2022 и 2023–2024 годов выпало существенно больше осадков, чем в 2022–2023 году и в сравнении со средними многолетними значениями. За период 2021–2022 год выпало 310,2 мм осадков, в 2023–2024 году – 304,6 мм, тогда как в 2022–2023 годах количество осадков составило лишь 249,9 мм, что значительно ниже среднего показателя в 167,0 мм. В 2020–2021 году количество осадков было минимальным и составило 126,6 мм, что на 40,4 мм меньше средних многолетних значений (таблица 1).

Таблица 1 – Значение зимних метеорологических показателей и средних нормативных данных за многолетний период

Показатель	2020-2021 сельскохозяйственный год	2021-2022 сельскохозяйственный год	2022-2023 сельскохозяйственный год	2023-2024 сельскохозяйственный год	Среднее много- летнее
Установление снежного покрова	14 ноября	13 ноября	17 ноября	21 ноября	23 ноября
Разрушение снежного покрова	9 марта	7 апреля	20 марта	11 апреля	3 апреля
Продолжи- тельность залегания снежного покрова	115 дней	146 дней	124 дня	142 дня	132 дня
Количество выпавших осадков, мм					
Ноябрь	18,5	40,5	66,1	20,7	36,0
Декабрь	27,4	33,7	60,9	81,7	36,0
Январь	48,6	99,8	22,0	96,5	34,0
Февраль	32,1	68,0	63,9	49,3	24,0
Март	–	19,5	37,0	47,1	27,0
Апрель	–	48,7	–	9,3	10,0
Сумма:	126,6	310,2	249,9	304,6	167,0

Ключевые особенности снежного покрова включают его образование и таяние. Согласно наблюдениям, перед установлением постоянного снежного покрова наступает нестабильный период, характеризующийся оттепелями, что вызывает таяние снега. Этот процесс наиболее тесно связан с суточными колебаниями температуры воздуха и происходит при её снижении до $-3...-5^{\circ}\text{C}$, когда почва промерзает на глубину 2–5 см. Как правило, первый снег выпадает за 25–35 дней до формирования устойчивого снежного покрова.

Снежный покров считается устойчивым, если он сохраняется на протяжении всей зимы или с интервалами не более трех дней каждые 30 дней. Если весной, в течение трех дней после таяния снега, вновь выпадает снег и лежит не менее 10 дней, это считается непрерывным залеганием. Если перерывы были менее трех дней, они включаются в общее время устойчивого покрова. В

сельскохозяйственном 2021–2022 году устойчивый снежный покров сохранялся 146 дней, что на 14 дней больше, чем среднее многолетнее значение.

Погодные условия вегетационного периода 2021 г. Вегетационный период 2021 года характеризовался весенне-летней засушливой погодой (рисунки 4, 5). Несмотря на выпадение локальных ливневых осадков, влага в пахотном слое во второй половине мая понизилась до критических значений (менее 10 мм), а во второй половине июня и в метровом слое влаги содержалось менее 10 мм. Сумма активных температур за май-июль составила 1947°С при норме 1600°С (положительная аномалия – +347°С). Интенсивно высокий температурный режим способствовал ускоренному темпу развития озимых и яровых посевов и не продуктивному испарению запасов влаги. С мая по август растения развивались в условиях недостаточного увлажнения. За этот период выпало 143 мм осадков, что значительно меньше нормы в 223 мм. В результате гидротермический коэффициент (ГТК) составил всего 0,5, тогда как его нормальное значение равно 1,0 (приложение 1).

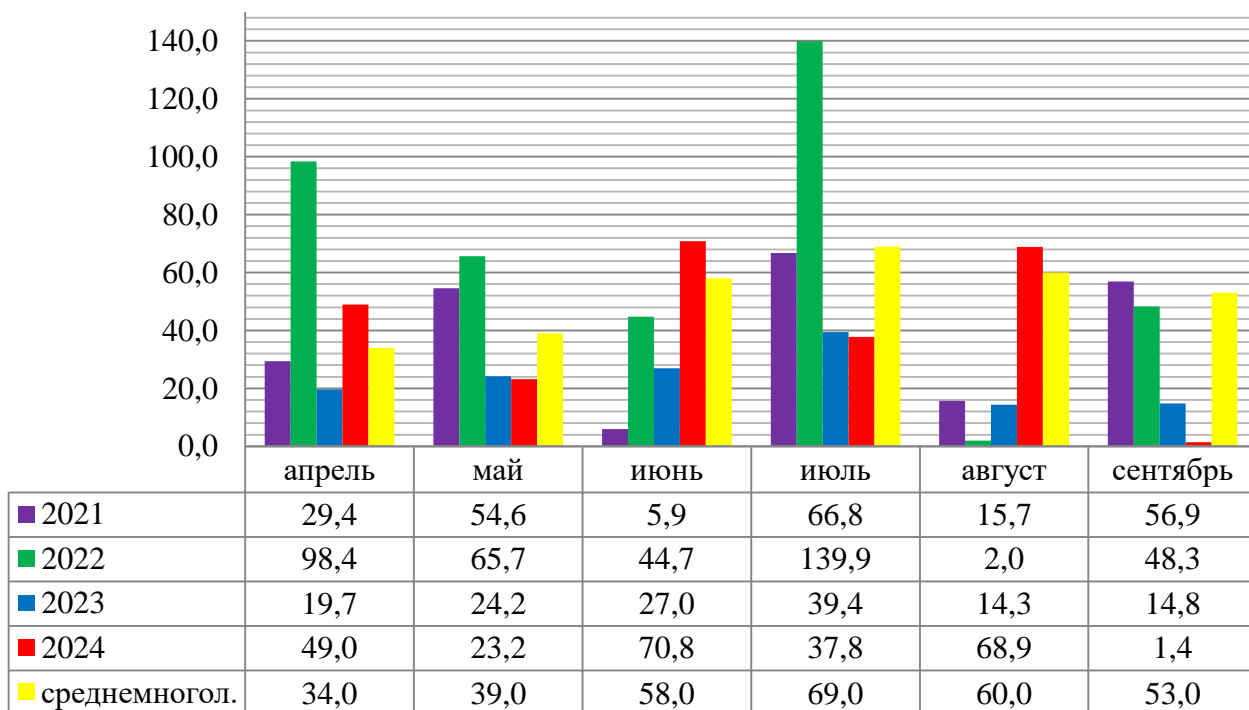


Рисунок 4 – Среднемесячное количество осадков за вегетационный период 2021–2024 гг., мм

Погодные условия вегетационного периода 2022 г. В 2022 году вегетационный период был отмечен прохладной и дождливой погодой в мае, умеренными температурами и осадками в июне, обильными ливнями в июле и жаркой, засушливой погодой в августе. За период с мая по июль сумма активных температур составила 1544°C, что на 56°C ниже нормы в 1600°C. С мая по август выпало 351 мм осадков, что превышает норму в 226 мм. Значение гидротермического коэффициента (ГТК) составило 1,6, что в 1,6 раза превышает норму в 1,0 (приложение 2).

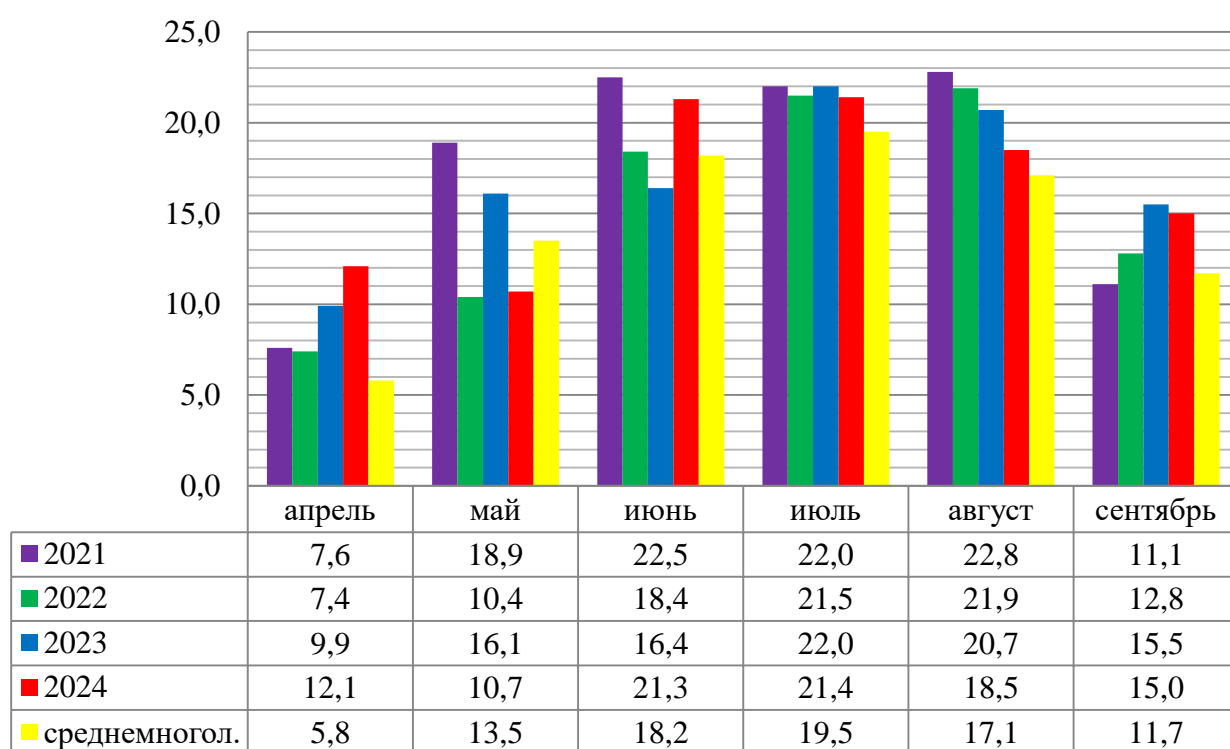


Рисунок 5 – Среднесуточная температура воздуха за вегетационный период за 2021–2024 гг., °С

Погодные условия вегетационного периода 2023 г. В 2023 году вегетационный период отличался умеренной влажностью и теплом в мае, пониженными температурами и небольшими осадками в июне, а также засушливыми условиями с низкими ночными температурами в июле. В августе установилась жаркая и сухая погода. За май-август сумма активных температур

достигла 2316 °С, что превышает норму в 1790 °С. За этот же период выпало 125 мм осадков, что значительно меньше среднего значения в 226 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,5, что ниже нормы в 1,0 (приложение 3).

Погодные условия вегетационного периода 2024 года. Вегетационный период 2024 года был отмечен аномальными погодными условиями. В мае температура была ниже нормы, а осадки незначительными. Июнь, напротив, отличался высокими температурами и частыми дождями. В начале и середине июля преобладала жара и засуха, а в первой половине августа прошли обильные осадки. В целом, за период с мая по август выпало 202,1 мм осадков, что существенно ниже климатической нормы в 279 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) в этом году оказался на уровне 0,7, тогда как норма составляет 1,0 (приложение 4).

Таким образом, исследования были проведены в годы, контрастно отличающихся между собой и по отношению к среднемноголетним значениям, что говорит о репрезентативности полученных результатов.

2.3 Схемы полевых опытов и их обоснование

Исследования проводились на базе опытной станции «Новоникулинская» Цильнинского района Ульяновской области. Поставленные вопросы и задачи решались при закладке и проведении стационарных многолетних полевых опытов.

Опыт № 1: Динамика показателей плодородия, эрозия почв агроландшафтов и продуктивность культур в пределах влияния противоэрозионных гидротехнических сооружений. Исследования были проведены в период с 2021 по 2024 гг. Целью опыта являлось изучение эффективности влияния противоэрозионных сооружений по истечению

длительного срока их эксплуатации на эрозионные процессы, плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в зоне их влияния.

Первым объектом, изученным нами в полевых опытах, является Новоникулинский противоэрозионный вал (рисунок 6). Вал имеет длину 104 м, его водосборная площадь составляет 11 га. Во время строительства вала изначально рабочая высота вала составляла – 1,25 м, но по истечению длительной эксплуатации (более 50 лет) она сократилась до 0,62 м. Схема севооборота: чистый пар – озимая пшеница – яровая пшеница – ячмень. Культуры, возделываемые на опытном поле в годы исследования: ячмень сорта Прерия (2021 г.), чистый пар (2022 г.), озимая пшеница сорта Марафон (2023 г.), яровая пшеница сорта Ульяновская 105 (2024 г.).



Рисунок 6 – Общий вид опытного участка Новоникулинского противоэрозионного вала

Второй объект – гидротехническое сооружение открытого типа, совмещенное с водонаправляющими валами (Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа) (рисунок 7). Протяженность водонаправляющих валов составляет 700 м, общая водосборная площадь 100 га, пропускная способность сооружения 3,9 м³/сек. Схема севооборота: чистый пар – озимая пшеница – подсолнечник. Культуры, возделываемые на опытном поле: озимая пшеница сорта Марафон (2021 г.), подсолнечник гибрид Ультра (2022 г.), чистый пар (2023 г.), озимая пшеница сорта Марафон (2024 г.).



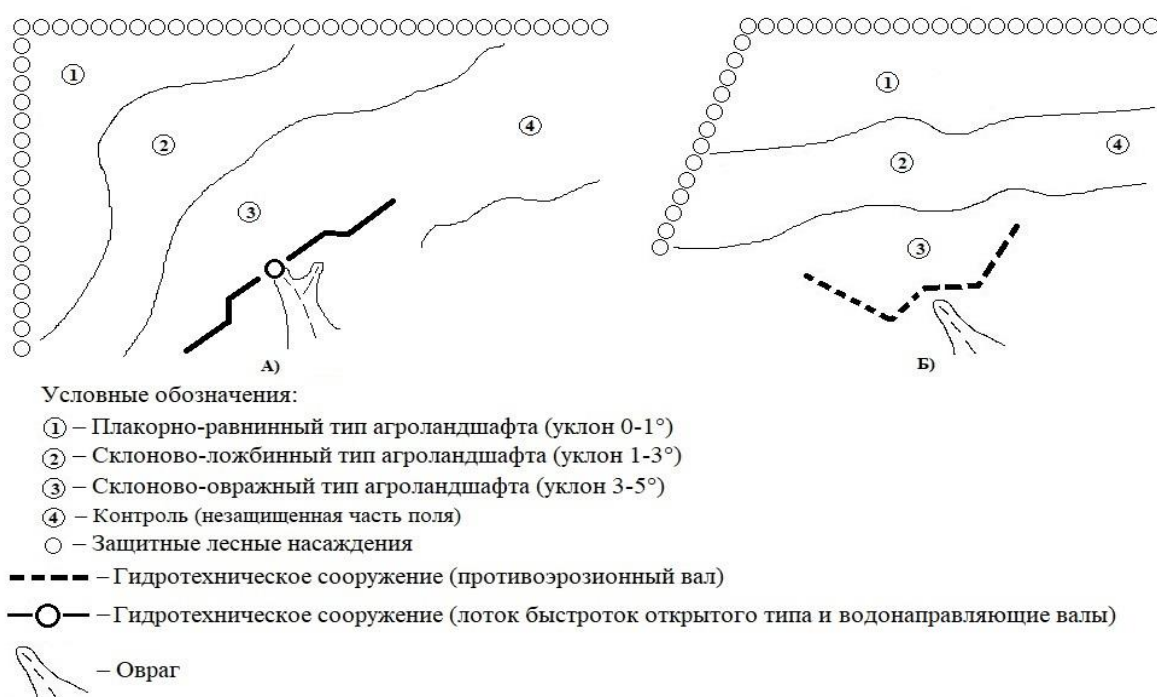
Рисунок 7 – Общий вид опытного участка Тимофеевского лотка-быстротока открытого типа

На этих двух участках ландшафт представляет собой облесенный водосбор с гидротехническим сооружением у вершины оврага, который включает в себя следующие варианты опыта (рисунок 8):

1. Плакорно-равнинный тип агроландшафта (уклон 0-1°);

2. Склоново-ложбинный тип агроландшафта (уклон 1-3°);
3. Склоново-овражный тип агроландшафта (уклон 3-5°);
4. Контроль (незащищенная часть поля).

Севообороты развернуты во времени, размер делянок, находящихся в пределах влияния гидротехнических сооружений – 30 м на 100 м (3000 м²), повторность опыта 3-кратная. Почва опытного участка – чернозём выщелоченный среднемошный среднесуглинистый по гранулометрическому составу.



А – гидротехническое сооружение открытого типа;

Б – противоэрозионный вал.

Рисунок 8 – Схема расположения вариантов опыта

Под все изучаемые культуры проводилась противоэрозионная система обработки почвы, которая представлена в приложении 5. Технология возделывания полевых культур (нормы посева, глубина и сроки посева, дозы удобрения и др.) основывалась на общепринятых в Ульяновской области агротехнических приемах.

Опыт № 2: Динамика показателей плодородия почвы, эрозионные процессы и продуктивность полевых культур и под влиянием лесных насаждений в различных типах агроландшафта.

Исследования агроэкологических условий межполосного пространства на разных типах агроландшафта проводились в 2022-2024 гг. Схема севооборота: чистый пар – озимая пшеница – яровая мягкая пшеница – яровая твердая пшеница. Возделывались следующие культуры: озимая пшеница сорта Марафон (2022 г.), мягкая яровая пшеница сорта Ульяновская 105 (2023 г.) и твердая яровая пшеница сорта Безенчукская 210 (2024 г.).

Схема опыта:

Фактор А – тип агроландшафта:

(A₀) Плакорно-равнинный (0-1°);

(A₁) Склоново-ложбинный (1-3°);

(A₂) Склоново-овражный (3-5°).

Фактор В – отдаленность от лесной полосы:

(B₀) Наветренная сторона (западная), расстояние от лесной полосы – 50 м;

(B₁) Наветренная сторона (западная), расстояние от лесной полосы – 130 м;

(B₂) Центральная часть поля – 260 м;

(B₃) Заветренная сторона (восточная), расстояние от лесной полосы – 130 м;

(B₄) Заветренная сторона (восточная), расстояние от лесной полосы – 50 м.

Исследования проводились в межполосных зонах, которые находятся между продольными лесными насаждениями и расположены перпендикулярно преобладающим юго-западным ветрам. Наблюдения велись на расстояниях 50, 130 и 260 метров от лесных полос (обозначены цифрами), как с наветренной, так и с заветренной стороны в трех типах агроландшафта: плакорно-равнинный (0-1°), склоново-ложбинный (1-3°), склоново-овражный (3-5°) (таблица 2).

Севооборот развернут во времени, повторность опыта – 3-кратная, размер делянок – 50 м на 100 м (5000 м²). Почва опытного участка – чернозём выщелоченный среднесуглинистый по гранулометрическому

составу. Полевые культуры возделывались по технологиям, рекомендованным для Ульяновской области.

Таблица 2 – Схема расположения вариантов в межполосном пространстве стационарного полевого опыта

V Направление господствующих ветров V	Расстояние, м	Тип агроландшафта (Фактор A)	Лесная полоса	Повторность №	Расположение вариантов опыта					Лесная полоса	
	200				Плакорно-равнинный (0-1°)	III	II	I	III		II
	200	Склоново-ложбинный (1-3°)		III	II	I	III	II	I		
	200	Склоново-овражный (3-5°)		III	II	I	III	II	I		
	↑C	Расстояние от лесной полосы, м (Фактор B)			50	130	260	130	50		
	Водоприемник:			№1		№2		№3			

2.4 Методика проведения наблюдений, учетов и анализов

В опытах проводились следующие учёты, наблюдения и анализы:

Учет эрозии почвы. Смыв почвы на опытных участках склонов определяли по объему водороев весной после снеготаяния (Соболев С. С., 1948). Учет поверхностного стока и смыва почвы проводили с помощью временных стоковых площадок (Методические рекомендации..., 1975). Весной перед снеготаянием определяли запасы воды в снеге. На временных стоковых площадках расход воды

определяли вручную объемным методом (Соболев С. С., 1948). Пробы воды отбирали 3-6 раз в сутки в зависимости от интенсивности стока и анализировали на содержание водорастворимых форм питательных веществ: гумуса, аммиачной и нитратной форм азота, фосфора, калия.

Высота и плотность снежного покрова. Перед началом снеготаяния измеряли высоту и плотность снежного покрова. Высоту определяли металлической рейкой через 5 метров, повторяя замеры 3–5 раз для расчета средней высоты. Плотность измеряли снегомером ВС-43 через 20 метров, повторяя трижды. Объем влаги в снеге рассчитывали по формуле: $У = 10 \times Н \times Р$, где Н – средняя высота снега в см, Р – плотность снега.

Глубина промерзания почвы. Для определения глубины промерзания почвы использованы мерзлотомеры Данилина.

Влажность почвы определялась термостатно-весовым методом с последующим пересчётом содержания влаги (%) в мм продуктивной влаги в слое 0-30 и 0-100 см. Пробы отбирались послойно через 10 см глубиной до 1 м. Взятые образцы помещались в бюксы, взвешивались, затем высушивались при температуре 105 °С в течение 6 часов.

Плотность почвы определяли методом режущих колец. Пробы отбирали в конце вегетации культур с ненарушенным сложением в слоях 0–10, 10–20 и 20–30 см.

Структурно-агрегатный состав почвы определяли в соответствии с методом Н.И. Савинова. Почвенный образец массой 2,5 кг, предварительно высушенный, просеивали через сита. В результате были выделены следующие фракции: 10 мм, 10–7 мм, 7–5 мм, 5–3 мм, 3–2 мм, 2–1 мм, 1–0,5 мм, 0,5–0,25 мм и менее 0,25 мм. Каждая фракция была собрана отдельно, взвешена, и рассчитано её процентное содержание. Фракцию с размером частиц менее 0,25 мм определяли как разницу между общей массой образца и суммой масс всех более крупных фракций. За 100 % принималась масса всего образца, использованного для анализа.

Учет урожайности культур проводили путем определения биологической урожайности. Урожайность зерновых в расчете на гектар в центнерах определяли по следующей формуле: $Y_k = (k \times z \times a) / 10000$; где k – число колосьев на 1 м^2 ; z – число зерен в колосе; a – абсолютный вес зерна, т.е. вес 1000 зерен.

Урожайность подсолнечника определяется на 10–15 растениях, срезанных в фазе физиологической спелости. Для этого определяют средние величины корзинки и высоты растений, затем в анализ включают те растения, высота и диаметр которых наиболее близки к средним показателям выборки на делянке ($n=25$).

Математическая обработка. Результаты исследований обрабатывали с использованием дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа по Б.А. Доспехову (1979, 1985), а так же методами математического моделирования (Звонорев С.В., 2019). Статистическую обработку результатов полевых опытов проводили на персональном компьютере с использованием программы AGROS версия 2.06.

Эколого-экономическая эффективность. Для анализа экономической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур были использованы технологические карты. Экологическую оценку проводили, следуя методике эколого-экономической эффективности агротехнических мероприятий (Голубев А. В., 1997; Рабочев Г.И., 2005).

3 ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОТИВОЭРОЗИОННОГО КОМПЛЕКСА НА ФОРМИРОВАНИЕ АГРОЛАНДШАФТА

3.1 Снегоотложение и формирование весеннего стока

Накопление, сохранение и наиболее полное использование влаги – важная задача для ведения сельского хозяйства в зоне рискованного земледелия, особенно на склоновых землях, где высока вероятность проявления эрозионных процессов. Зимние осадки в условиях часто повторяющихся засух являются основным источником влаги для растений (Максютов Н. А., Зоров А. А., 2016). Как показывают наши исследования, гидротехнические сооружения существенно влияли на влагонакопление, особенно они были эффективны в накоплении снежного покрова (таблица 3).

В результате проведения исследований нами выявлена особенность – высота снежного покрова была связана с крутизной склона, и наиболее мощный слой снежного покрова отмечался в нижней части поля – в склоново-овражном типе агроландшафта на обоих изучаемых объектах.

В среднем за изучаемые годы на Новоникулинском валу средняя высота снежного покрова составляла 34,8 см, тогда как в верхней части склона она была меньше на 3,4 см (31,4 см), а на контрольном варианте (вне зоны действия вала) – на 5,3 см (29,5 см). Аналогичные закономерности были выявлены на Тимофеевском лотке-быстротоке открытого типа в плакорно-равнинном типе агроландшафта, где высота снежного покрова составила 34,1 см, а в склоново-овражном – 39,4 см, что на 5,3 см больше, чем в верхней части склона. В контрольном варианте, на ландшафте вне влияния гидротехнического сооружения, высота снега была наименьшей – 32,3 см.

Следует отметить, что такие результаты наблюдались на протяжении всех лет исследований. Наименьшее количество снега выпало зимой 2022–2023 гг., а наибольшее – зимой 2023–2024 гг.

Запасы воды в снежном покрове в период снеготаяния определялись высотой и плотностью снежного покрова. Плотность снега имела тенденцию повышения от плакорно-равнинного к склоново-овражному типу агроландшафта и изменялась от 0,18–0,25 в 2023 году, до 0,28–0,31 г/см² в 2024 году (приложение 6).

Таблица 3 – Высота снежного покрова по объектам гидросооружений, см (2021–2024 гг.)

Объекты противоэроз ионного комплекса	Годы исследован ий	Тип агроландшафта (расстояние от сооружения, м)			
		Склоново- овражный (50 м, уклон 3-5°)	Склоново- ложбинный (300 м, уклон 1-3°)	Плакорно- равнинный (500 м, уклон до 1°)	Контроль
Новонику- линский вал	2021 г.	31,7±1,8	31,8±1,7	30,3±1,0	28,6±0,8
	2022 г.	30,1±0,9	29,4±0,8	31,1±0,9	30,3±0,9
	2023 г.	26,1±0,9	24,7±0,8	23,2±0,8	20,3±0,9
	2024 г.	51,4±1,2	44,4±1,1	40,9±0,9	38,7±0,8
среднее		34,8	32,6	31,4	29,5
Тимофе- евский лоток- быстроток открытого типа	2021 г.	39,8±1,0	37,6±1,1	35,4±1,2	31,2±0,9
	2022 г.	33,8±1,4	39,1±1,6	36,9±1,7	36,0±1,7
	2023 г.	28,2±0,8	23,0±1,0	20,3±0,8	20,5±0,9
	2024 г.	55,7±1,5	47,4±0,9	43,9±0,9	41,3±1,0
среднее		39,4	36,8	34,1	32,3

В нижней части склона (склоново-овражный тип агроландшафта) наблюдается самый большой прогнозируемый показатель прихода влаги за счет запасов в снежном покрове. На Новоникулинском валу запасы достигали 101,3 мм, а на Тимофеевском лотке-быстротоке открытого типа – 109,9 мм и находились в прямой связи со значениями снегозапасов.

В контрольном варианте наблюдались наименьшие значения влагозапасов в снежном покрове. В частности, в опыте с Новоникулинским противоэрозионным валом данный показатель составил 75,3 мм, а на сооружении лоток-быстроток открытого типа, расположенном за водоотводящим валом и находящемся в естественных природных условиях вне зоны воздействия гидротехнического сооружения, влагозапасы достигли 80,7 мм (таблица 4).

Таблица 4 – Запасы воды в снежном покрове по объектам гидросооружений, мм (2021–2024 гг.)

Объекты противоэроз ионного комплекса	Годы исследован ий	Тип агроландшафта (расстояние от сооружения, м)			
		Склоново- овражный (50 м, уклон 3-5°)	Склоново- ложбинный (300 м, уклон 1-3°)	Плакорно- равнинный (500 м, уклон до 1°)	Контроль
Новоникули нский вал	2021 г.	79,3	73,1	54,5	51,5
	2022 г.	93,3	88,2	87,1	81,8
	2023 г.	73,1	69,2	65,0	54,8
	2024 г.	159,3	133,2	118,6	108,4
среднее		101,3	90,9	81,3	74,1
Тимофеевск ий лоток- быстроток открытого типа	2021 г.	95,5	67,7	63,7	56,2
	2022 г.	98,0	101,7	99,6	93,6
	2023 г.	79,0	64,4	60,9	57,4
	2024 г.	167,1	142,2	127,3	115,6
среднее		109,9	94,0	87,9	80,7

В рамках проведенного корреляционного анализа была выявлена прямая, сильная положительная корреляция между высотой снежного покрова (y , см) и запасами влаги в снежном покрове (x , мм). Данная взаимосвязь характеризуется коэффициентом корреляции $r = 0,894$, что свидетельствует о высокой степени линейной зависимости между этими двумя параметрами. Математическое

выражение этой зависимости представлено уравнением линейной регрессии: $y_1 = 3,0446x_1 - 13,04$ [1].

Таким образом, во все годы исследований наибольшее количество снега и запасов воды в гидротехнических сооружениях накапливалось в нижней части склона – в склоново-овражном типе агроландшафта, что объясняется распределением зимних осадков и стоком талых вод в нижнюю часть склона, это в конечном итоге положительно сказалось на накоплении продуктивной влаги в почве.

В 2021 и 2022 годах на изучаемых объектах сток отсутствовал, что обусловлено тем, что в течение периода снеготаяния наблюдалась чередка положительных и отрицательных температур. Эти температурные изменения привели к затяжному и последовательному процессу таяния снежного покрова с полей (таблица 5). Отсутствие поверхностного стока в 2022 году также обусловлено промерзанием почвы всего на 20 см.

Таблица 5 – Сток и эрозия почвенного покрова по объектам гидротехнических сооружений в 2021–2024 гг.

Годы	Показатели					
	максимальная высота снега, см	запасы воды в снежном покрове, мм	глубина промерзания почвы, см	сток, мм	смыв почвы, т/га	Коэффициент стока
Новоникулинский противоэрозионный вал						
2021	31,8	64,6	56	0	0	-
2022	30,1	87,6	20	0	0	-
2023	26,1	65,5	40	4,30	4,58	0,07
2024	51,4	129,9	12	0,09	0,60	0,00
среднее	34,9	86,9	32	1,10	1,30	0,03
Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа						
2021	39,8	70,8	56	0	0	-
2022	39,1	98,2	20	0	0	-
2023	28,2	65,4	40	6,30	6,60	0,10
2024	55,7	138,5	12	0,03	0,52	0,00
среднее	40,7	93,2	32	1,58	1,78	0,04

В 2023 году на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал возделывалась озимая пшеница, что обусловило меньший смыв почвы, который составил 4,58 т/га (меньше, чем на объекте лоток-быстроток по зяби на 2,02 т/га или на 30,6 %) (таблица 6).

Таблица 6 – Смыв почвы в зависимости от типа ландшафта по объектам гидротехнических сооружений за 2021–2024 гг.

Тип агроландшафта	Смыв почвы, т/га					
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	итого	среднее
Новоникулинский противоэрозионный вал						
Плакорно-равнинный (0-1°)	0	0	0,08	0,05	0,13	0,03
Склоново-ложбинный (1-3°)	0	0	1,80	0,15	1,95	0,49
Склоново-овражный (3-5°)	0	0	2,70	0,40	3,10	0,78
итого	0	0	4,58	0,60	5,18	1,30
Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа						
Плакорно-равнинный (0-1°)	0	0	0,10	0,07	0,17	0,04
Склоново-ложбинный (1-3°)	0	0	2,70	0,10	2,80	0,70
Склоново-овражный (3-5°)	0	0	3,80	0,35	4,15	1,04
итого	0	0	6,60	0,52	7,12	1,78

В 2024 году выявлено, что на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал в 2024 году смыв почвы составил 0,60 т/га (зябь), а на Тимофеевском лотке-быстротоке на зяби объем снизился до 0,52 т/га или на 0,08 т/га или 13,3 % меньше, что также обусловлено возделываемой культурой – озимой пшеницей.

Таким образом, в гидротехнических сооружениях наименьшее количество снега и запасов воды в нем формировалось на водоразделах, а наибольшее – у вершины оврага в склоново-овражном типе агроландшафта. Объёмы стока воды и смыва почвы определялись промерзанием почвы, характером температурного режима в период снеготаяния, а также возделываемой культурой на поле.

В среднем за годы исследований накапливалось от 34,9 (противоэрозионный вал) до 40,7 см (лоток-быстроток открытого типа) снега с запасами воды соответственно 86,9 и 93,2 мм, при этом коэффициент стока

составил 0,03–0,04, а объемы смыва почвы 1,30–1,78 т/га с исследуемого поля. В годы с активным стоком и смывом общие потери почвы достигают 6,6 т/га (2023 г. Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа). Также установлено, что озимая пшеница благодаря покрытию почвы суммарно по типам агроландшафта суммарно снижала смыв почвы на 0,08–2,02 т/га или на 13,3–30,6 % по сравнению с обработанным полем (зябью).

Выявлено, что в среднем за 4 года количество смытой почвы в результате эрозионных процессов существенно отличалось по типам агроландшафта: плакорно-равнинный тип – 0,03–0,04 т/га или 2,2–2,3 %; склоново-ложбинный – 0,46–0,70 т/га или 37,7–39,3 %; склоново-овражный – 0,78–1,04 т/га или 58,4–60,0 % от общего объема потерь почвы на изучаемом объекте.

3.2 Особенности накопления продуктивной влаги в почве

Основным ограничивающим урожайность факторами в агроландшафтах Приволжской возвышенности является влагообеспеченность посевов, кроме того в результате деградации плодородия почвы существенно снижается ее водоудерживающая способность, а на землях с уклоном это приводит к проявлению эрозионных процессов (Карпович К. И., Захаров А. И., 2015).

Недостаток почвенной влаги в большей степени проявляется при возделывании полевых культур в склоновых агроландшафтах, где значительной расходной статьей водного баланса является поверхностный сток. Между тем, исследования и практика свидетельствуют, что рациональное их использование – важное условие борьбы с засухой и повышения урожайности полевых культур (Смирнов П. А., 2014).

Весенние влагозапасы в почве, аккумулированные к моменту посева полевых культур, играют важную роль в обеспечении влагой возделываемых культур. В условиях засушливого климата они становятся практически единственным доступным источником влаги для растений (Тарасов С. А. и др., 2024).

Нашими исследованиями установлено, что в искусственно созданном агроландшафте с водозадерживающими и водонаправляющими валами зимой наблюдалось дополнительное снегонакопление за счет специфического мезорельефа местности. Впоследствии накопление снега сказалось на распределении продуктивной влаги в метровом слое почвы по типам агроландшафта.

В результате исследований выявлено, что к весеннему посеву в зоне вершины межтеррасного пространства (в плакорном типе агроландшафта) в метровом слое почвы накапливалось меньше продуктивной влаги, чем в нижней части склона (склоново-овражный тип агроландшафта). Накопление продуктивной влаги в почве коррелировало с запасами воды в снежном покрове. Причем указанная тенденция просматривалась во все годы исследований (рисунок 9).

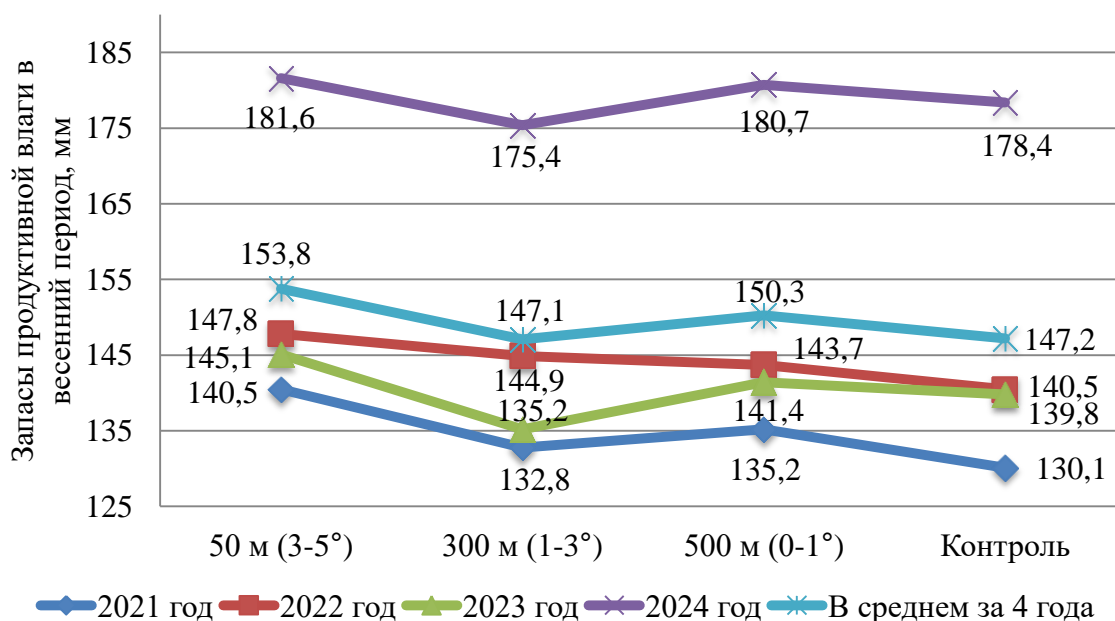


Рисунок 9 – Весенние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал, мм

В 2021 году, как и во все годы, накопление продуктивной влаги к посеву ярового ячменя определялось мощностью снежного покрова и запасами влаги в нём. Запасы продуктивной влаги к посеву ячменя были наименьшими в сравнении

с другими годами, т.к. осень 2020 года характеризовалась как засушливая и выпало 66,3 мм осадков, что в 1,9 раза меньше средних многолетних показателей. Весной в плакорно-равнинном типе агроландшафта запасы влаги в метровом слое составили 135,2 мм. На участке вблизи гидротехнического сооружения в склоново-овражном типе агроландшафта отмечено наибольшее накопление продуктивной влаги, составившее 140,5 мм (приложение 7).

Анализ агрометеорологических условий 2021 года выявил критическое снижение содержания доступной влаги в метровом почвенном горизонте после уборки ячменя, варьировавшееся в диапазоне 38,3–43,4 мм, что обусловлено засушливым характером вегетационного периода, в ходе которого суммарное количество осадков составило лишь 88,4 мм, что вдвое ниже средних многолетних значений. Данный дефицит почвенной влаги, в сочетании с климатическими аномалиями предшествующего года, предопределил формирование весеннего водного потенциала почвы в 2022 году, который варьировался в пределах 140,5–147,8 мм, что в значительной степени было обусловлено накоплением снежного покрова в зимний период, средний уровень которого составил 87,6 мм. К осеннему периоду, предшествующему посеву озимой пшеницы, содержание продуктивной влаги в метровом слое почвы достигло 110,6–119,2 мм. Возобновление вегетации озимой пшеницы в марте 2023 года характеризовалось удовлетворительными показателями запасов влаги в метровом почвенном слое, находилось в диапазоне 135,2–145,1 мм (приложения 8, 9).

В 2024 году в верхней части склона (плакорно-равнинный тип агроландшафта) было зафиксировано содержание продуктивной влаги в метровом слое почвы на уровне 180,7 мм, в склоново-овражном типе агроландшафта отмечалось максимальное накопление, составившее 181,6 мм, в контрольном варианте данный показатель составил 175,4 мм (приложение 10).

В среднем за годы исследований на Новоникулинском водозадерживающем вале количество влаги в слое почвы 0–100 см составило: в нижней части склона – 153,8 мм (склоново-овражный тип агроландшафта), в середине межтеррасного

пространства – 147,1 мм (склоново-ложбинный тип), в верхней части склона – 150,3 мм (плакорно-равнинный тип). Весной поверхностный сток воды увеличивал влагу у основания вала в нижней части склона.

Весной 2021 года на объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа влагозапасы оценивались как удовлетворительные (110,1–134,5 мм), это связано с тем, что почва промёрзла в осенний период и весной формировался сток талых вод (приложение 11).

В засушливое лето 2021 года выпало 88,4 мм осадков (ниже нормы в 2 раза). Запас воды в снежном покрове – 98,2 мм. Это повлияло на запасы влаги в метровом слое почвы весной 2022 года, которые составили 131,6–139,6 мм. Весной 2023 года запасы влаги были удовлетворительными 118,7–136,5 мм (приложения 12, 13).

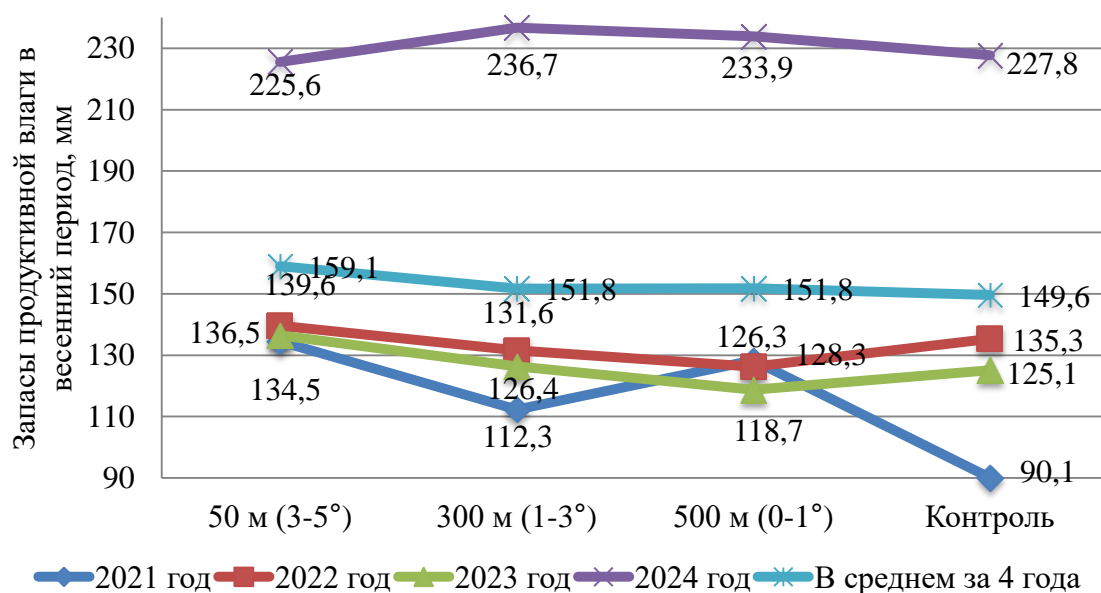


Рисунок 10 – Весенние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа, мм

В 2024 году в метровом слое почвы отмечались наибольшие запасы продуктивной влаги, содержание которых оценивалось как отличное (225,6–233,9 мм) (приложение 14).

В результате исследований было установлено, что средние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на плакорно-равнинных агроландшафтах составляют 151,8 мм. Максимальное накопление продуктивной влаги зафиксировано в склоново-овражном агроландшафте – 159,1 мм, тогда как на контрольном варианте этот показатель был наименьшим и составил 149,6 мм (рисунок 10).

Нами была выявлена статистически значимая прямая, положительная корреляционная зависимость между запасами воды в снежном покрове (x , мм) и продуктивной влагой в почвенном слое (0–100 см) в весенний период (y , мм). Коэффициент корреляции составил $r = 0,732$, что свидетельствует о высокой степени взаимосвязи между этими параметрами. Эмпирическое уравнение, описывающее данную зависимость, имеет вид: $y_2 = 1,2777x_2 + 3,9275$ [2].

Суммарное водопотребление полевых культур, возделываемых на изучаемых объектах, складывалось из потребления влаги из почвы и осадков, выпавших в течение вегетации. В 2021 году на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал суммарное водопотребление ячменя, возделываемого на опыте, составило 233,7–243,2 мм, при этом структура источников влаги распределилась следующим образом: почва – 38,8–41,2 %, осадки – 58,8–61,2 %. Урожайность культуры существенно отличалась по агроландшафтам, что сказалось на коэффициенте водопотребления (K_v). В плакорно-равнинном агроландшафте значение коэффициента было наименьшим – 970 м³/т, в склоново-ложбинном типе агроландшафта K_v ячменя составил 1006 м³/т, в склоново-овражном агроландшафте – 1060 м³/т, а на контрольном варианте (в зоне отсутствия влияния противоэрозионного вала) – 1003 м³/т (таблица 7).

В 2023 году на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал в различных типах агроландшафта возделывалась озимая пшеница по чистому пару, суммарное водопотребление которой составило 446,9–457,0 мм.

Таблица 7 – Водопотребление ячменя на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал (2021 г.)

Тип агроландшафта	Запасы продуктивной влаги в метровом слое, мм		Убыло из почвы, мм	Осадки, мм	Водопотребление	
	посев	уборка			Q, мм	Кв, м³/т
Плакорно-равнинный (0-1°)	135,2	43,4	91,8	143,0	234,8	970
Склоново-ложбинный (1-3°)	132,8	38,3	94,5	143,0	237,5	1006
Склоново-овражный (3-5°)	140,5	40,3	100,2	143,0	243,2	1060
Контроль	130,1	39,4	90,7	143,0	233,7	1003
НСР ₀₅	5,3	1,4	-	-	-	-

Превалирующие объёмы влаги поступали с осадками – 67,8–69,6 %, а из почвы они составили 30,4–32,2 %. Установлено, что более рациональное использование влаги на производственный процесс озимой пшеницы отмечалось в плакорных условиях, где Кв составил 863 м³/т. В склоново-ложбинных агроландшафтах данный показатель увеличился до 942 м³/т, в склоново-овражных ландшафтах расход влаги достиг максимального значения – 975 м³/т, на контрольном варианте коэффициент водопотребления был также высоким – 934 м³/т (таблица 8).

Анализ влагопотребления яровой пшеницей в 2024 году на различных типах агроландшафта в условиях объекта Новоникулинский противоэрозионный вал показал, что суммарное водопотребление составило 323,2 – 335,1 мм с распределением по источникам: осадки – 59,9–62,1 % и почва – 37,9–40,1 %.

На плакорно-равнинном типе агроландшафта коэффициент водопотребления яровой пшеницы составил 1216 м³/т. С увеличением уклона возрастал расход влаги: в склоново-ложбинном типе агроландшафта этот

показатель достиг 1369 м³/т, тогда как в склоново-овражном он составил 1724 м³/т. На контрольном участке расход влаги был равен 1588 м³/т. (таблица 9).

Таблица 8 – Водопотребление озимой пшеницы на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал (2023 гг.)

Тип агроландшафта	Запасы продуктивной влаги в метровом слое, мм		Убыло из почвы, мм	Осадки, мм	Водопотребление	
	посев	уборка			Q, мм	Кв, м ³ /т
Плакорно-равнинный (0-1°)	110,6	35,5	135,1	309,8	444,9	863
Склоново-ложбинный (1-3°)	119,2	32,0	147,2	309,8	457,0	942
Склоново-овражный (3-5°)	116,4	30,5	145,9	309,8	455,7	975
Контроль	111,7	29,6	142,1	309,8	451,9	934
НСР ₀₅	Fф<Fт	Fф<Fт	-	-	-	-

Исследования, проведенные на объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа, показали аналогичные закономерности изменения суммарного водопотребления и коэффициента водопотребления возделываемых культур. Во все годы исследований по склону возрастал коэффициент водопотребления культур (приложения 15, 16, 17).

Несмотря на то, что по накоплению продуктивной влаги в почве к периоду весеннего сева изучаемые агроландшафты практически не отличались, более рациональное ее использование из почвы и осадков отмечалось в плакорно-равнинном типе агроландшафта, что подтверждается более низким коэффициентом водопотребления во все годы исследований независимо от гидротехнических сооружений. Данный факт указывает на то, что выпадающие осадки на плакоре в меньшей степени подвержены перемещению. Благодаря

большему содержанию гумуса и более качественным показателям агрофизического состояния, почвы способны накапливать выпавшие осадки и использовать на продукционный процесс растений в отличие от склоновых участков, где происходит сток и смыв почвы.

Таблица 9 – Водопотребление яровой пшеницы на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал (2024 гг.)

Тип агроландшафта	Запасы продуктивной влаги в метровом слое, мм		Убыло из почвы, мм	Осадки, мм	Водопотребление	
	посев	уборка			Q, мм	Кв, м ³ /т
Плакорно-равнинный (0-1°)	180,7	55,5	125,2	200,7	325,9	1216
Склоново-ложбинный (1-3°)	175,4	52,8	122,6	200,7	323,2	1369
Склоново-овражный (3-5°)	181,6	51,2	130,4	200,7	331,1	1724
Контроль	178,4	44,0	134,4	200,7	335,1	1588
НСР ₀₅	8,8	6,4	-	-	-	-

Полученные данные демонстрируют существенное влияние топографических особенностей агроландшафта на эффективность использования продуктивной влаги почвы и выпавших осадков, на водопотребление сельскохозяйственных культур и продукционный процесс полевых культур. Различия в эффективности использовании ресурсов влаги подчеркивают необходимость учета данного фактора при разработке стратегий оптимизации водного режима в технологии возделывания полевых культур.

3.3 Агрохимические показатели плодородия почвы

Мезорельеф поля определял направления и объем стока и смыва, которые происходили по склону агроландшафтов и напрямую влияли на накопление продуктивной влаги в метровом слое почвы, но как показали исследования, на изучаемых объектах продуктивность культур определялась не только влагообеспеченностью, но и определялась другими факторами.

Оценка содержания гумуса и агрохимических показателей плодородия почвы на изучаемых объектах показала существенные изменения величин в зависимости от типов агроландшафта.

На объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа, в верхней части склона, на плакорно-равнинном типе агроландшафта содержание гумуса составило 7,96 %. Почвы на склоново-ложбинном типе агроландшафта в среднем содержали гумуса на 0,53 % (абсолютное значение) меньше – 7,43 %, в склоново-овражном типе этот показатель плодородия уменьшился на 1,03 % и составил 6,93 %. На контрольном участке в зоне отсутствия влияния противоэрозионного объекта содержание гумуса находилось на уровне 7,35 % (таблица 10).

Таблица 10 – Содержание гумуса и агрохимическая характеристика почвы в слое 0-30 см в агроландшафтах с Тимофеевским лотком-быстротоком открытого типа (конец вегетации полевых культур, 2021–2024 гг.)

Тип агроландшафта	Гумус, %	Агрохимические показатели плодородия почвы, мг/кг почвы			
		NO ₃	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
Плакорно-равнинный (0-1°)	7,96	91,8	18,6	215,3	102,1
Склоново-ложбинный (1-3°)	7,43	67,0	16,0	189,3	92,0
Склоново-овражный (3-5°)	6,93	61,7	12,3	167,3	88,9
Контроль	7,22	62,3	13,8	180,8	90,6
НСР ₀₅	0,43	3,6	4,2	18,1	8,2

Анализ агрохимических показателей плодородия почвы также показал снижение содержания аммонийного и нитратного азота, а также обменного фосфора и калия с увеличением крутизны склона. Содержание аммонийного азота на плакоре составляло 18,6 мг/кг почвы и снижалось вниз по склону до 15,8 и до 12,5 мг/кг соответственно на склоново-ложбинном и склоново-овражном типах агроландшафта, а на контрольном варианте данный показатель был на уровне – 14,1 мг/кг почвы. Содержание нитратного азота уменьшалось по мере перехода от плакорно-равнинного к склоново-овражному типу агроландшафта, снижаясь с 91,8 до 61,7 мг/кг почвы.

Динамику содержания обменного фосфора и калия по типам агроландшафта можно описать такими же тенденциями.

Таблица 11 – Агрохимическая характеристика почвы в слое 0-30 см в агроландшафтах с Новоникулинским противозрозионным валом, (конец вегетации полевых культур, 2021–2024 гг.)

Тип агроландшафта	Гумус, %	Агрохимические показатели плодородия почвы, мг/кг почвы			
		NO ₃	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
Плакорно-равнинный (0-1°)	7,47	86,1	20,7	180,1	78,7
Склоново-ложбинный (1-3°)	6,89	74,7	18,2	158,8	72,8
Склоново-овражный (3-5°)	6,37	69,0	15,0	148,5	68,4
Контроль	6,62	72,2	16,0	156,5	68,7
НСР ₀₅	0,26	3,6	2,6	15,6	3,3

Ранее выявленные закономерности подтвердились и на Новоникулинском противозрозионном валу. В почвах плакорно-равнинного типа агроландшафта содержание гумуса оказалось на 0,58% выше, чем в почвах склоново-ложбинного типа, и на 1,10% выше, чем в почвах склоново-овражного типа агроландшафта (таблица 11).

Из представленных данных становится очевидно, что содержание гумуса и питательных веществ напрямую связано со степенью эрозии почв. Вследствие разной степени эродированности, эти показатели значительно варьируются не только на различных участках склона, но и в почвах, сформированных на одном и том же типе агроландшафта (приложение 18, 19).

3.4 Агрофизические свойства почвы

Структурность почвы, под которой понимается способность почвы распадаться на отдельные в виде почвенных агрегатов, склеенных гумусом и иловатыми частицами, является важным фактором, определяющим устойчивости почвы к эрозионным процессам. Структурные почвы обладают хорошей водопроницаемостью, поэтому условий для формирования поверхностного стока на них меньше, чем на бесструктурных, у которых водопроницаемость очень низкая (Дорожко Г.Р. и др., 2017; Ильинская И.Н. и др., 2023).

Агрегатами агрономически ценного размера считаются структурные отдельности от 10 до 0,25 мм. В наших исследованиях количество агрономически ценных агрегатов в почве по изучаемым вариантам составляло в среднем от 76,5 до 81,7 % и существенно не различалось по типам агроландшафта как на объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа, так и в Новоникулинском противоэрозионном валу (таблица 12, 13).

В зависимости от расстояния от водозадерживающего вала и изменения крутизны склона происходило изменение содержания агрономически ценных агрегатов, все варианты имели отличное агрегатное состояние, при коэффициенте структурности от 3,3 до 4,5 (приложения 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27). На всех объектах структурно-агрегатный состав почв в агроландшафтах находится в отличном агрегатном состоянии.

Таблица 12 – Структурно-агрегатный состав почв агроландшафта на сооружении Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа (2021–2024 гг.)

Размер агрегатов, мм	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	Контроль
>10	14,3	14,8	16,8	11,8
7-10	10,3	9,3	9,3	8,5
5-7	10,6	10,8	11,0	10,9
3-5	14,0	16,2	11,8	12,7
1-3	18,3	18,3	21,4	20,0
0,5-1	14,7	15,6	15,0	14,1
0,25-0,5	12,1	11,3	10,6	11,9
<0,25	5,7	3,7	4,2	10,2
0,25-10	80,0	81,4	79,0	78,0
<0,25->10	20,0	18,6	21,0	22,0
К _{стр.}	4,0	4,4	3,8	3,6
0,25-10	НСР ₀₅ = 1,3; p = 2,30%			

Таблица 13 – Структурно-агрегатный состав почв агроландшафта на сооружении Новоникбулинский противоэрозионный вал (2021–2024 гг.)

Размер агрегатов, мм	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	Контроль
>10	18,7	14,8	16,1	14,9
7-10	12,2	10,5	9,0	10,0
5-7	9,5	10,8	9,8	10,7
3-5	12,6	13,5	13,2	13,0
1-3	16,9	20,0	17,0	16,9
0,5-1	15,0	15,6	16,0	15,1
0,25-0,5	10,8	11,3	15,7	10,9
<0,25	4,5	3,5	3,2	8,6
0,25-10	76,8	81,7	80,6	76,5
<0,25->10	23,2	18,3	19,4	23,5
К _{стр.}	3,3	4,5	4,2	3,3
0,25-10	НСР ₀₅ = 2,5; p = 1,92%			

Другим показателем почвенной структуры служит ее устойчивость к воздействию природных факторов, а именно воздействию воды в виде талых вод весной и ливневых дождей. По результатам исследований установлено, что количество водопрочных агрегатов на всех изучаемых объектах характеризовалось как избыточно-высокое, в процентном выражении от 72,8 до 78,6% (таблица 14).

Водопрочность почвы в зависимости от крутизны склона и удаленности от противоэрозионного вала по объектам имела различия, но не значительные, что доказывает прекращение водной эрозии на объектах противоэрозионного комплекса. На объекте с лотком быстройтоком изменение количества водопрочных агрегатов с увеличением уклона было незначительное. На контрольных вариантах количество водопрочных агрегатов было наименьшее (72,8 и 72,9%), что свидетельствует о повышении противоэрозионных свойств почв защищенных агроландшафтов (приложения 28, 29).

Таблица 14 – Содержание водопрочных агрегатов агроландшафта на сооружениях противоэрозионного комплекса, % (2021–2024 гг.)

Объект противоэрозионного комплекса	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
Новоникулинский противоэрозионный вал	77,8	77,3	75,6	72,9
	$HCP_{05} = F\phi < F_T; p = 3,51\%$			
Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа	73,8	76,6	78,6	72,8
	$HCP_{05} = F\phi < F_T; p = 2,54\%$			

Такой показатель, как плотности почвы в земледелии имеет важнейшее значение, особенно ее роль велика в регулировании водопроницаемости и водного режима в целом. От плотности почвы зависит ее водный и тепловой режимы, а также развитие микрофлоры почвы. Движение питательных веществ в почве

зависит от ее физических свойств (Семыкин Н. И. и др., 2012; Солодовников А. В. и др., 2015; Петрова Л. Н., Дридигер В. К., 2015).

Типы агроландшафта и гидротехнические сооружения оказывали существенное влияние на плотность почвенного профиля (таблица 15).

В результате наших исследований выявлено, что на всех сооружениях плотность пахотного горизонта (0-30 см) находилась в пределах оптимальных значениях. На объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа в плакорно-равнинном типе агроландшафта показатель плотности составил 1,01 г/см³, в склоново-ложбинном агроландшафте – 1,03 г/см³, а в склоново-овражном – 1,07 г/см³. В нижней части склона наблюдается незначительное уплотнение за счет переноса более мелких частиц с весенним стоком (приложение 30).

Таблица 15 – Плотность почвы агроландшафта на сооружениях противоэрозионного комплекса, г/см³ (после уборки культуры), (2021–2024 гг.)

Слой почвы, см	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
Новоникулинский противоэрозионный вал				
0-10	1,22	0,93	0,98	0,95
10-20	1,21	1,10	1,05	1,05
20-30	1,09	1,11	1,07	1,13
0-30	1,17	1,04	1,03	1,04
0-30	НСР ₀₅ = 0,06; p = 1,52%			
Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа				
0-10	0,95	0,97	1,02	0,95
10-20	1,03	1,04	1,00	1,03
20-30	1,09	1,09	1,01	1,09
0-30	1,07	1,03	1,01	1,02
0-30	НСР ₀₅ = 0,05; p = 1,97%			

На объекте Новоникулинский противоэрозионный вал наблюдалось уплотнение почвы в зоне прудка до 1,17 г/см³ за счет частиц почвы, задерживающихся у основания вала. В верхней части склона значения плотности

почвы составили – $1,03 \text{ г/см}^3$, что на 15,8 % ниже, чем в нижней части склона у основания вала (приложение 31).

Основным фактором, определяющим структуру почвенного покрова на территории, выступает рельеф. Почвенный профиль агроландшафта очень сильно преобразился под влиянием противоэрозионного вала.

Почва участка плакорно-равнинного типа агроландшафта Новоникулинского противоэрозионного вала – чернозем выщелоченный среднемошный тяжелосуглинистый, мощность горизонта составляет А 40 см, глубина вскипания начинается с 78 см, что обуславливает его выщелоченность (таблица 16, приложение 32).

Таблица 16 – Морфологическое описание почвенного разреза в плакорно-равнинном типе агроландшафта Новоникулинского противоэрозионного вала (Науметов Р.В., 2021)

$A_{\text{пах}}$	0-30 см	темно-серый до черного, влажный, тяжелый суглинок, рыхлый, зернистый, редкая мочковатая корневая система, тонкотрещиноватый, новообразования отсутствуют, присутствует опока, от HCl не вскипает, переход резкий
A_1	30-40	черный, тяжелый суглинок, влажный, зернистый, корней практически нет, рыхлый, тонкотрещиноватый, новообразований нет, от HCl не вскипает, переход ясный
A_1B	40-55	темно-коричневый с гумусовыми затеками, влажный, глина, очень плотный, мелкокомковато-зернистый, тонкотрещиноватый, новообразования и включения отсутствуют, переход постепенный, от HCl не вскипает
B_1	55-78	ярко-коричневый, глинистый, мелкозернисто-мелкокомковатый, влажный, корни отсутствуют, тонкотрещиноватый, очень плотный, новообразований нет, из включений опока, от HCl не вскипает, выщелоченный горизонт ≈ 38 см, переход резкий
B_{Ca}	78 и более	от HCl вскипает слабо
C		элювиальные отложения, корней нет, плотный, от HCl вскипает
D		ярус (верхнемеловые отложения)

В средней части склона, характеризующейся склоново-ложбинным типом агроландшафта, возрастает мощность гумусового горизонта до 46 см, т.к. почва смыывается вниз по склону, в приводораздельной зоне данный показатель увеличивается до 52 см.

Вблизи основания вала (склоново-овражный тип агроландшафта) наблюдается значительный намыв почвенных частиц, что приводит к увеличению мощности гумусового горизонта до 110 см (таблица 17).

Таблица 17 – Морфологическое описание почвенного разреза в области прудка Новоникулинского противозрозионного вала (Науметов Р.В., 2021)

A _{пах}	0-35 см	черный, влажный, тяжелый суглинок, мелкокомковато-зернистый, рыхлый, редкая мочковатая корневая система, тонкотрещиноватый, новообразования отсутствуют, присутствуют включения опоки и карбонатного мергеля (сантонский ярус), переход резкий, от HCl вскипает бурно
A ₁	35-110	черный, тяжелый суглинок, мелкокомковато-зернистый, влажный, корней практически нет, рыхлый, тонкотрещиноватый, новообразований нет, имеются включения намытого песка и прослойки опок (Ø=3-5 мм) на глубине 60-70 см, от HCl вскипает бурно, ослабевающая книзу (до глубины 100 см), переход ясный
A ₁ B	110-130	темно-коричневый с гумусовыми затеками, тяжелый суглинок, влажный, мелкокомковато-зернистый, разреженная мочковатая корневая система, очень плотный, тонкотрещиноватый, новообразований нет, включения опок, от HCl не вскипает, переход постепенный, выщелоченный горизонт равен 40 см,
B	130-240	ярко-коричневый, влажный, глинистый, мелкозернисто-мелкокомковатый, корни отсутствуют, плотный, тонкотрещиноватый и тонкопористый, имеется белоглазка, есть псевдомицелий, из включений щебенчатая опока, переход ясный, от HCl вскипает бурно с глубины 150 см
C	240 и более	делювиальные песчано-глинистые отложения, корней нет, плотный, карбонатная присыпка, от HCl вскипает бурно
D		карбонатный мергель сантонского яруса, светло-серый, влажный, от HCl вскипает бурно

Новоникулинский противоэрозионный вал остановил рост оврага и задержал сток талых вод, переводя их в внутрипочвенную влагу, смытый чернозем с прилегающего водосбора накапливается в зоне прудка в виде мелкозема (таблица 18).

Таблица 18 – Рабочие характеристики Новоникулинского противоэрозионного вала

Показатель	Согласно проекту	Через 55 лет эксплуатации
Водосборная площадь, га	11,0	11,0
Рабочая высота вала, м	1,25	0,62
Протяженность вала, м	104,0	104,0
Количество задержанного объема воды на 1 п. м. вала, м ³	20,2	10,1
Максимальный объем воды задерж. валом, м ³	2100,8	1050,3
Отложилось мелкозема, задержанного 1 п. м. вала, т	-	12,4
Отложилось мелкозема у вала, тонн	-	1290,6

Прудок противоэрозионного вала заилен на 51%, так как в результате функционирования сооружения более 50 лет у его основания накопилось около 1290,3 т. мелкозема. С учетом площади водосбора в среднем за 55 лет ежегодный смыв почвы составил 2,13 т/га с каждого гектара.

В системе противоэрозионных мер, особенно на ранних этапах их внедрения, гидротехнические сооружения играют ключевую роль. Как показывают наши исследования, после длительного использования противоэрозионные насыпные валы, несмотря на снижение их рабочей высоты и количества задерживаемого объема воды продолжают выполнять свою функцию по истечению длительного времени эксплуатации и не теряют свои противоэрозионные свойства.

3.5 Урожайность и продуктивность полевых культур

Исследования показали прямое воздействие гидротехнических сооружений на агрофизические, водные и агрохимические свойства почвы, что существенно отразилось на продуктивности полевых культур.

В рамках проведенных в 2021 году исследований было установлено, что совокупное воздействие различных факторов способствовало достижению максимальной урожайности озимой пшеницы на объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа. Наилучшие показатели были зафиксированы на участке с уклоном склона в 1° (относящемся к плакорно-равнинному типу агроландшафта), где урожайность составила 2,50 т/га. Примечательно, что при увеличении уклона до 3° достоверного снижения урожайности не наблюдалось (2,40 т/га). Однако дальнейшее увеличение уклона до 5° привело к значительному снижению урожайности озимой пшеницы до 1,84 т/га, что составляет 26,4% относительно урожайности, зафиксированной на плакорно-равнинном участке. На контрольном участке наблюдалось аналогичное снижение урожайности по сравнению с плакорным участком на 0,53 т/га (21,2%) (таблица 19).

В 2022 году оценка урожайности подсолнечника по различным агроландшафтам показала, что максимальные показатели были зафиксированы на плакорно-равнинном типе – 2,22 т/га и на склоново-ложбинных территориях – 2,17 т/га. Эти результаты значительно превышают урожайность на склоново-овражных землях и контрольном варианте, где она составила 1,98 т/га и 1,86 т/га соответственно.

В 2024 году урожайность озимой пшеницы уменьшалась по склону с 4,87 т/га на плакорно-равнинном типе агроландшафта, 4,37 т/га на склоново-ложбинном типе агроландшафта (на 0,50 т/га меньше или на 10,3 %) и до 3,12 т/га на склоново-овражном (меньше на 1,75 т/га или на 35,9 %), а на контрольном варианте она составила 3,25 т/га (меньше на 1,62 т/га или на 33,3 %).

Таблица 19 – Урожайность и продуктивность полевых культур на агроландшафтах сооружения Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа

Тип агроландшафта	Урожайность по годам и культурам, т/га			Продуктивность, з. ед., тыс. на 1 га
	озимая пшеница (2021 г.)	подсол- нечник (2022 г.)	озимая пшеница (2024 г.).	
Плакорно-равнинный (0-1°)	2,50	2,22	4,87	2,65
Склоново-ложбинный (1-3°)	2,40	2,17	4,37	2,49
Склоново-овражный (3-5°)	1,84	1,98	3,12	1,97
Контроль	1,97	1,86	3,25	1,99
НСР ₀₅	0,35	0,22	0,31	-

Оценка продуктивности полевых культур за 4 года (с учетом чистого пара в 2023 году) показала, что по выходу зерновых единиц типы агроландшафтов можно расположить в следующий ряд в убывающей последовательности: плакорно-равнинный 2,65 тыс. з.ед. на 1 га > склоново-ложбинный 2,49 тыс. з.ед. на 1 га > склоново-овражный – 1,97 тыс. з.ед. на 1 га > вне зоны действия лотка быстротока открытого типа – 1,99 тыс. з.ед. на 1 га.

Расчёты показали, что на каждый градус склона ландшафта продуктивность пашни снижалась на 0,136 тыс з.е. с 1 га.

Анализ урожайности ячменя в 2021 году на Новоникулинском противоэрозионном валу показал, что присутствует значимая разница по рубежам – по типам агроландшафта, изменяющаяся в пределах 2,29 – 2,42 т/га. В склоново-овражном типе агроландшафта урожайность существенно снижалась по отношению к плакорно-равнинному типу агроландшафта.

В 2023 году был проведен анализ изменений урожайности озимой пшеницы, который позволил выявить определенные закономерности. Наивысшая

урожайность 5,15 т/га зафиксирована на плакоре. На склоново-ложбинном агроландшафте она снизилась до 4,85 т/га, что на 5,8% меньше (0,30 т/га). В склоново-овражном типе снижение урожайности составило 0,48 т/га, что эквивалентно 9,3 % относительно плакорного участка (таблица 20).

Таблица 20 – Урожайность и продуктивность полевых культур на агроландшафтах сооружения Новоникулинский противоэрозионный вал

Тип агроландшафта	Урожайность по годам и по культурам, т/га			Продуктивность З. ед., тыс. на 1 га
	ячмень (2021 г.)	озимая пшеница (2023 г.)	яровая пшеница (2024 г.)	
Плакотно-равнинный (0-1°)	2,42	5,15	2,68	2,56
Склоново-ложбинный (1-3°)	2,36	4,85	2,36	2,39
Склоново-овражный (3-5°)	2,29	4,67	1,92	2,22
Контроль	2,33	4,84	2,11	2,32
НСР	0,11	0,19	0,22	-

В 2024 году максимальная урожайность яровой пшеницы была зарегистрирована в плакотно-равнинном агроландшафте, достигнув значения 2,68 т/га. В склоново-ложбинном агроландшафте урожайность снизилась на 0,32 т/га (11,9%), а в склоново-овражном типе снижение составило 0,76 т/га (28,0%).

Анализ урожайности полевых культур за четыре года исследования, включая чистый пар в 2022 году, выявил различия по выходу зерновых единиц между типами агроландшафтов. На плакотно-равнинном типе агроландшафта он составил 2,56 тыс. з.ед. на 1 га, склоново-ложбинном – 2,39 тыс. з.ед. на 1 га, склоново-овражном – 2,22 тыс. з.ед. на 1 га, а также вне зоны действия противоэрозионного вала – 2,32 тыс. з.ед. на 1 га.

На объекте Новоникулинский противоэрозионный вал на каждый градус склона в агроландшафтах продуктивность пашни снижалась на 0,068 тыс. з.е. с 1 га.

Сравнение эффективности двух сооружений показало, что на противоэрозионном валу отмечалась меньшая дифференциация продуктивности возделываемых культур по типам агроландшафта в пределах изучаемого объекта в сравнении с лотком-быстротоком. Различия в продуктивности на Новоникулинском противоэрозионном валу между плакорно-равнинным (2,56 тыс. з.ед) и склоново-овражным (2,22 тыс. з.ед.) типами агроландшафта составили 0,34 тыс. з.ед, (понижение на 13,3%), тогда как на объекте Тимофеевский лоток-быстроток – продуктивности снижалась с 2,65 тыс. з.ед. до 1,97 тыс. з.ед. на 1 га. или на 0,68 тыс. з.ед. или 25,6 %. Данный факт объясняется тем, что в противоэрозионном валу в нижней части склона (склоново-овражный тип агроландшафта) сохранялась смытая с вершин почва в виде мелкозема, в отличие от лотка-быстротока, на котором смытая почва практически в полном объёме перемещалась на дно оврага, что описано в разделе 3.4.

В результате проведения комплексного статистического анализа, включающего корреляционный и регрессионный методы, были установлены связи между показателями урожайности сельскохозяйственных культур и основными показателями почвенного плодородия [3-56] (таблица 21, 22).

Корреляционный анализ показал прямые связи урожайности культур с содержанием гумуса в почве ($r = 0,910 - 0,996$), с запасами продуктивной влаги в метровом слое почвы ($r = 0,144 - 0,717$), с содержанием водопрочных агрегатов в почве ($r = 0,495 - 0,828$), с количеством агрономически ценных агрегатов ($r = 0,134 - 0,897$) и обратную с плотность почвы ($r = -0,108... - 0,646$).

Аналогичные закономерности установлены на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал.

Таблица 21 – Связь урожайности полевых культур (у, т/га) на объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа с показателями плодородия почвы

Показатели	r	Степень зависимости	Уравнение регрессии
Озимая пшеница (2021 г.)			
запасы продуктивной влаги (0-100), мм	0,290	слабая, прямая	$y_3 = 0,0098x_3 + 1,5008$ [3]
содержание водопрочных агрегатов, %	0,813	сильная, прямая	$y_3 = 0,0366x_4 - 0,7632$ [4]
количество агрономически ценных агрегатов, %	0,449	средняя, прямая	$y_3 = 0,0487x_5 - 1,7341$ [5]
плотность почвы, г/см ³	- 0,108	слабая, обратная	$y_3 = - 1,043x_6 + 3,164$ [6]
содержание гумуса, %	0,996	сильная, прямая	$y_3 = 0,614x_7 - 2,9035$ [7]
содержание в почве NH ₄	0,860	сильная, прямая	$y_3 = 0,0442x_8 + 1,4552$ [8]
содержание в почве NO ₃	0,692	средняя, прямая	$y_3 = 0,0062x_9 + 1,5063$ [9]
содержание в почве P ₂ O ₅	0,812	сильная, прямая	$y_3 = 0,0231x_{10} - 0,812$ [10]
содержание в почве K ₂ O	0,756	сильная, прямая	$y_3 = 0,0313x_{11} + 0,4432$ [11]
Подсолнечник (2022 г.)			
запасы продуктивной влаги (0-100), мм	0,717	сильная, прямая	$y_3 = 0,091x_{12} - 10,413$ [12]
содержание водопрочных агрегатов, %	0,495	средняя, прямая	$y_3 = 0,049x_{13} - 1,7015$ [13]
количество агрономически ценных агрегатов, %	0,897	сильная, прямая	$y_3 = 0,0852x_{14} - 3,931$ [14]
плотность почвы, г/см ³	- 0,357	средняя, обратная	$y_3 = - 1,0843x_{15} + 3,1672$ [15]
содержание гумуса, %	0,880	сильная, прямая	$y_3 = 0,2951x_{16} - 0,0455$ [16]
содержание в почве NH ₄	0,574	средняя, прямая	$y_3 = 0,0435x_{17} + 1,5644$ [17]
содержание в почве NO ₃	0,696	средняя, прямая	$y_3 = 0,0343x_{18} + 1,5478$ [18]
содержание в почве P ₂ O ₅	0,746	сильная, прямая	$y_3 = 0,0039x_{19} + 1,0991$ [19]
содержание в почве K ₂ O	0,432	средняя, прямая	$y_3 = 0,0172x_{20} + 0,263$ [20]
Озимая пшеница (2024 г.)			
запасы продуктивной влаги (0-100), мм	0,144	слабая, прямая	$y_3 = 0,0228x_{21} + 1,1892$ [21]
содержание водопрочных агрегатов, %	0,828	сильная, прямая	$y_3 = 0,1899x_{22} - 8,7188$ [22]
количество агрономически ценных агрегатов, %	0,134	слабая, прямая	$y_3 = 0,0482x_{23} - 0,0844$ [23]
плотность почвы, г/см ³	- 0,646	средняя, обратная	$y_3 = - 6,7467x_{24} + 11,056$ [24]
содержание гумуса, %	0,910	сильная, прямая	$y_3 = 1,7338x_{25} - 8,0718$ [25]
содержание в почве NH ₄	0,815	сильная, прямая	$y_3 = 0,8732x_{26} - 0,025$ [26]
содержание в почве NO ₃	0,935	сильная, прямая	$y_3 = 0,0445x_{27} + 1,8816$ [27]
содержание в почве P ₂ O ₅	0,835	сильная, прямая	$y_3 = 0,029x_{28} - 1,2977$ [28]
содержание в почве K ₂ O	0,673	средняя, прямая	$y_3 = 0,0733x_{29} - 4,5844$ [29]

Таблица 22 – Связь урожайности полевых культур (у, т/га) на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал с показателями плодородия почвы

Показатели	r	Степень зависимости	Уравнение регрессии
ячмень (2021 г.)			
запасы продуктивной влаги (0-100), мм	0,231	слабая, прямая	$y_3 = 0,0051x_{30} + 2,0233$ [30]
содержание водопрочных агрегатов, %	0,171	слабая, прямая	$y_3 = 0,0012x_{31} + 2,2573$ [31]
количество агрономически ценных агрегатов, %	0,931	сильная, прямая	$y_3 = 0,0097x_{32} + 1,5734$ [32]
плотность почвы, г/см ³	- 0,881	сильная, обратная	$y_3 = -0,4853x_{33} + 2,8762$ [33]
содержание гумуса, %	0,993	сильная, прямая	$y_3 = 0,1006x_{34} + 1,6017$ [34]
содержание в почве NH ₄	0,928	сильная, прямая	$y_3 = 0,0112x_{35} + 2,111$ [35]
содержание в почве NO ₃	0,961	сильная, прямая	$y_3 = 0,0047x_{36} + 2,098$ [36]
содержание в почве P ₂ O ₅	0,879	сильная, прямая	$y_3 = 0,0137x_{37} + 1,3246$ [37]
содержание в почве K ₂ O	0,981	сильная, прямая	$y_3 = 0,0178x_{38} + 1,7277$ [38]
озимая пшеница (2023 г.)			
запасы продуктивной влаги (0-100), мм	0,486	средняя, прямая	$y_3 = 0,0493x_{39} + 1,8611$ [39]
содержание водопрочных агрегатов, %	0,732	сильная, прямая	$y_3 = 0,133x_{40} - 5,3671$ [40]
количество агрономически ценных агрегатов, %	0,424	средняя, прямая	$y_3 = 0,0234x_{41} + 3,0612$ [41]
плотность почвы, г/см ³	- 0,746	сильная, обратная	$y_3 = -2,0654x_{42} + 7,4635$ [42]
содержание гумуса, %	0,998	сильная, прямая	$y_3 = 0,3704x_{43} + 2,6625$ [43]
содержание в почве NH ₄	0,833	сильная, прямая	$y_3 = 0,0993x_{44} + 2,9728$ [44]
содержание в почве NO ₃	0,949	сильная, прямая	$y_3 = 0,0204x_{45} + 3,438$ [45]
содержание в почве P ₂ O ₅	0,991	сильная, прямая	$y_3 = 0,02x_{46} + 1,7647$ [46]
содержание в почве K ₂ O	0,879	сильная, прямая	$y_3 = 0,0287x_{47} + 2,8641$ [47]
яровая пшеница (2024 г.)			
запасы продуктивной влаги (0-100), мм	0,328	средняя, прямая	$y_3 = 0,0461x_{48} - 1,3766$ [48]
содержание водопрочных агрегатов, %	0,298	слабая, прямая	$y_3 = 0,0402x_{49} - 0,5127$ [49]
количество агрономически ценных агрегатов, %	0,400	средняя, прямая	$y_3 = 0,0418x_{50} - 1,128$ [50]
плотность почвы, г/см ³	- 0,535	средняя, обратная	$y_3 = -2,7196x_{51} + 4,8775$ [51]
содержание гумуса, %	0,995	сильная, прямая	$y_3 = 0,5983x_{52} - 1,6749$ [52]
содержание в почве NH ₄	0,985	сильная, прямая	$y_3 = 0,1184x_{53} + 0,4726$ [53]
содержание в почве NO ₃	0,934	сильная, прямая	$y_3 = 0,0785x_{54} - 4,1694$ [54]
содержание в почве P ₂ O ₅	0,985	сильная, прямая	$y_3 = 0,013x_{55} - 0,9024$ [55]
содержание в почве K ₂ O	0,946	сильная, прямая	$y_3 = 0,0698x_{56} - 4,9566$ [56]

Проведенные исследования доказывают, что созданная система противозерозионного комплекса формирует качественно новую экосреду с преобразованными экологическими условиями, способствуют более полной реализации биологического потенциала полевых культур. Эти системы выступают в качестве критически важных факторов стабилизации склонового земледелия в условиях засушливой зоны, обеспечивая устойчивость агроландшафтов к эрозионным процессам и способствуя повышению продуктивности агроэкосистем.

4 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ОСНОВНЫХ ТИПАХ АГРОЛАНДШАФТА

В регионе Среднего Поволжья практика полезащитного лесоразведения имеет почти столетнюю историю (Добрынин Ф. Д., 1978). В Ульяновской области наибольшее развитие оно получило к 60-м годам прошлого столетия, когда было заложено всех видов защитных насаждений на площади 53,5 тыс. га, в том числе полезащитных полос – 15,0 тыс. га, прибалочных и приовражных – 17,6 тыс. га, насаждения по укреплению песков – 20,9 тыс. га (Добрынин Ф. Д. и др., 1975).

Водорегулирующие и полезащитные лесные полосы опытной станции «Новоникулинская» созданы из одной главной породы - берёзы повислой (*Bétula péndula Roth.*), которая получила широкое распространение в лесостепных и степных районах европейской части России. По данным В. И. Михина и Е. А. Михиной (2019), данный вид является самым распространенным и занимает около 13% всех защитных лесных насаждений нашей страны. В Ульяновской области на почвах черноземного типа и серых лесных почвах береза повислая в лесных полосах является одной из лучших древесных пород, что объясняется тем, что она обладает мощной корневой системой, простирающейся как в глубину, так и в стороны. В процессе роста она формирует устойчивые и долговечные насаждения ажурно-продуваемой конструкции, которые не нуждаются в проведении дорогостоящих и трудоемких работ по уходу за древостоем в насаждениях в первые два десятилетия их жизни.

В 2022 году исследования показали, что таксационные характеристики березы повислой в лесополосах зависят от типа агроландшафта (таблица 23).

Активный рост деревьев отмечен на плакорно-равнинном агроландшафте, как на западной, так и на восточной сторонах поля (высота 17,3 и 16,1 м, диаметр 24,6 и 21,1 см). На склоново-ложбинных и склоново-овражных агроландшафтах наблюдается снижение роста из-за уменьшения содержания гумуса (6,45% на водоразделе, 6,03-5,78% в нижней части склона).

Таблица 23 – Изменение таксационных характеристик березы повислой (*Bétula péndula Roth.*) на различных типах агроландшафтов и пространственной ориентации относительно земельного участка, (2022 год)

Тип агроландшафта	Западная лесополоса		Восточная лесополоса		Средне содержание гумуса, %
	высота, м	диаметр, см	высота, м	диаметр, см	
Плакорно-равнинный (0-1°)	17,3±0,98	24,6±1,19	16,1±0,51	21,1±0,94	6,45
Склоново-ложбинный (1-3°)	16,6±0,57	23,7±1,20	15,1±0,83	20,1±1,01	6,03
Склоново-овражный (3-5°)	14,6±0,52	19,8±0,95	13,9±0,72	18,5±0,78	5,78

В результате корреляционного анализа установлена сильная прямая корреляционная связь ($r = 0,914$) между содержанием гумуса в почве (x , %) и высотой деревьев (y , м), которую можно описать линейным уравнением следующего вида: $y_4 = 3,7845x_{57} - 6,8685$ [57].

4.1 Структурно-агрегатный состав почв

Длительная практика и наблюдения показывают, что плодородным можно назвать только поле с почвой, обладающей идеальными агрофизическими характеристиками. Окультуренная почва характеризуется способностью полностью поглощать талые воды в период весеннего снеготаяния, что предотвращает поверхностный сток, эрозию и сокращает потери влаги на испарение. В результате в почве формируется устойчивый запас питательных веществ и влаги, доступной для растений (Петелько А. И. и др., 2007).

Как показали наши исследования, лесные полосы оказывали значительное влияние на структурно-агрегатный состав почв, способствуя улучшению их физических характеристик (таблица 24).

Таблица 24 – Структурно-агрегатный состав почвенного покрова под влиянием лесных полос в основных типах агроландшафта, 2022-2024 гг.

Тип агроландшафта	Расстояние от лесной полосы, м	Размер агрегатов (слой: 0-30 см), мм				
		>10	<0,25	0,25-10	<0,25->10	К _{стр.}
Плакорно-равнинный (0-1°)	50	12,6	2,7	84,7	15,3	5,5
	130	16,7	3,0	80,4	19,6	4,1
	260	17,2	3,2	79,6	20,4	3,9
	130	17,8	2,1	80,1	19,9	4,0
	50	12,2	3,4	84,3	15,7	5,4
среднее		15,3	2,9	81,8	18,2	4,5
Склоново-ложбинный (1-3°)	50	12,8	4,0	83,2	16,8	4,9
	130	16,0	2,0	82,0	18,0	4,6
	260	21,5	5,2	73,3	26,7	2,7
	130	20,2	3,2	76,6	23,4	3,3
	50	17,7	2,5	79,8	20,2	3,9
среднее		17,6	3,4	79,0	21,0	3,8
Склоново-овражный (3-5°)	50	18,5	5,0	76,4	23,6	3,2
	130	25,0	3,9	71,2	28,8	2,5
	260	25,7	4,6	69,7	30,3	2,3
	130	18,8	4,6	76,6	23,4	3,3
	50	13,9	3,8	82,3	17,7	4,6
среднее		20,4	4,4	75,2	24,8	3,0
агрономически ценные агрегаты (0,25-10 мм)		НСП ₀₅ = 5,4; НСП А = 4,2; НСП В = 3,6; НСП АВ = 2,8				

В результате наших исследований было выявлено увеличение количества агрегатов размером > 10 мм при увеличении крутизны склона. Максимальным оно было в склоново-овражном типе агроландшафта и в среднем составляло 20,4%, что на 2,8% выше, чем в склоново-ложбинном агроландшафте, и на 5,1% больше, чем на плакоре. Количество агрегатов более 10 мм имело среднюю обратную связь с содержанием гумуса ($r = -0,612$).

С увеличением крутизны склона количество агрономически ценных агрегатов размером от 0,25 до 10 мм уменьшалось. Кроме того, наблюдалась прямая зависимость между их количеством и содержанием гумуса, коэффициент корреляции составил 0,667.

Наибольшее количество агрегатов менее 0,25 мм находится в нижней части склона из-за водной эрозии, которая снижает устойчивость микроагрегатов и оструктуривание почвы. На склоново-ложбинном ландшафте их доля составляет 4,4%. Коэффициент структурности имеет среднюю прямую связь с содержанием гумуса ($r = 0,646$) (приложение 34, 35, 36, 37).

4.2 Снегоотложение и формирование весеннего стока

Исследования распределения снежного покрова проводились между продольными лесными полосами, расположенными поперек господствующих метелевых ветров на различных типах агроландшафтов.

Современное таксационное состояние древесных насаждений в лесных полосах на изучаемом поле имело влияние на снегораспределение в межполосном пространстве.

За годы проведенных исследований установлено, что наибольшая аккумуляция снежного покрова наблюдается преимущественно на удалении 50 метров от лесных насаждений. При этом на наветренной стороне отмечается более значительное снегоотложение. В частности, в плакорно-равнинном типе агроландшафта на наветренной стороне зафиксировано 48,4 см снежного покрова, тогда как на заветренной стороне этот показатель составил 42,9 см. В склоново-ложбинном типе агроландшафта соответствующие значения составили 43,6 см и 40,1 см. В склоново-овражном типе агроландшафта снегоотложение на наветренной стороне достигло 39,5 см, а на заветренной стороне – 36,4 см (таблица 25).

Таблица 25 – Распределение снежного покрова под влиянием лесных полос на различных типах агроландшафтов, см (2022-2024 гг.)

Тип агроландшафта	Ориентация лесной полосы на земельном участке	Расстояние от лесной полосы, м	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее
Плакорно- равнинный (0-1°)	западная (наветренная)	50	47,1±1,01	35,6±1,02	62,5±1,43	48,4
		130	43,4±1,12	25,5±1,14	57,2±1,33	42,0
	центр поля	260	32,8±1,02	20,6±1,21	41,5±1,21	31,6
	восточная (заветренная)	130	40,6±1,13	28,8±1,11	48,6±1,03	39,3
		50	44,5±1,05	26,9±1,08	57,3±1,31	42,9
среднее			42,3	27,5	53,4	41,1
Склоново- ложбинный (1-3°)	западная (наветренная)	50	43,5±0,87	30,2±0,89	57,2±1,32	43,6
		130	40,2±0,91	25,4±0,86	51,2±1,00	38,9
	центр поля	260	30,7±0,76	19,6±0,95	38,6±0,95	29,6
	восточная (заветренная)	130	38,3±0,80	23,2±0,65	44,2±1,12	35,2
		50	40,1±0,82	27,8±0,71	52,4±1,21	40,1
среднее			39,7	25,2	48,7	37,9
Склоново- овражный (3-5°)	западная (наветренная)	50	38,5±0,75	29,8±0,71	50,1±1,15	39,5
		130	33,1±0,81	24,3±0,82	41,5±1,04	33,0
	центр поля	260	28,5±0,79	18,3±0,79	32,7±0,97	26,5
	восточная (заветренная)	130	33,4±0,75	22,7±0,68	38,5±0,99	31,5
		50	36,1±0,67	25,8±0,93	47,4±1,12	36,4
среднее			33,2	24,2	42,0	33,1

По мере удаления от лесных насаждений на расстояние до 130 метров наблюдалось последовательное уменьшение высоты снежного покрова. На плакорно-равнинном типе агроландшафта данный показатель составил 42,0 и 39,3 см, на склоново-ложбинном типе – 38,9 и 35,2 см, а на склоново-овражном типе – 33,0 и 31,5 см. В центральной зоне поля, на расстоянии 260 метров, толщина снежного покрова на ландшафтах плакорно-равнинного, склоново-ложбинного и склоново-овражного типа составила 31,6, 29,6 и 26,5 сантиметра соответственно.

В ходе исследования было установлено, что с увеличением крутизны склона наблюдается закономерное снижение запасов снежного покрова. В плакорно-равнинном агроландшафте средняя высота снежного покрова составила 41,1 см. В склоново-ложбинном агроландшафте этот показатель оказался на 3,2 см ниже, а в склоново-овражном – на 8,0 см меньше по сравнению с плакором.

Аэродинамические свойства лесных полос оказывали влияние не только на распределение снежного покрова в межполосном пространстве, но и на его плотность.

Проведенные исследования демонстрируют, что плотность снежного покрова на расстоянии 50 и 130 метров от лесной полосы на всех типах ландшафтов оставалась практически неизменной и варьировалась в диапазоне от 0,25 до 0,31 г/см³. В то же время, в центральной части поля, на удалении 260 метров от лесного массива, наблюдалось значительное уплотнение снежного покрова, что выражалось в вариативности данного показателя в пределах от 0,27 до 0,33 г/см³ (приложение 38).

Результаты анализа толщины и плотности снежного покрова в межполосных пространствах агроландшафтов продемонстрировали их роль в формировании водного баланса в период снеготаяния. Проведенные расчеты показали, что наибольший ожидаемый приход весенней влаги за счет таяния снега в межполосном пространстве складывался на плакорно-равнинном типе агроландшафта. В условиях удаленности от наветренной лесной полосы на 50 и 130 метров соответствующие показатели составили 133,3 и 119,1 мм, в то время как с заветренной стороны они достигли значений 114,5 и 109,7 мм. По мере удаления от лесополосы к центру поля на расстояние 260 метров обеспеченность влагой за счет снеготаяния значительно снизилась до 95,8 мм (таблица 26).

Аналогичная закономерность наблюдается и в склоново-ложбинных, и в склоново-овражных агроландшафтах. Однако при увеличении крутизны склона до 3°-5° прогнозируемый запас воды в снежном покрове снижается, составляя в среднем 105,5 мм и 96,4 мм соответственно.

Таблица 26 – Запасы воды в снежном покрове под влиянием лесных полос на разных типах агроландшафтов, мм (2022-2024 гг.)

Тип агроландшафта	Пространственная ориентация лесной полосы на земельном участке	Расстояние от лесной полосы, м	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее
Плакорно- равнинный (0-1°)	западная (наветренная)	50	122,5	96,1	181,3	133,3
		130	108,5	71,4	177,3	119,1
	центр поля	260	88,6	65,9	132,8	95,8
	восточная (заветренная)	130	101,5	72,0	155,5	109,7
		50	115,7	67,3	160,4	114,5
среднее			107,3	74,5	161,5	144,4
Склоново- ложбинный (1-3°)	западная (наветренная)	50	108,8	81,5	171,6	120,6
		130	104,5	66,0	153,6	108,0
	центр поля	260	89,0	60,8	119,7	89,8
	восточная (заветренная)	130	103,4	62,6	132,6	99,5
		50	104,3	72,3	152,0	109,5
среднее			101,9	68,7	145,9	105,5
Склоново- овражный (3-5°)	западная (наветренная)	50	100,1	71,5	145,3	105,6
		130	96,0	65,6	128,7	96,8
	центр поля	260	91,2	60,4	107,9	86,5
	восточная (заветренная)	130	93,5	63,6	115,5	90,9
		50	97,5	67,1	142,2	102,3
среднее			95,6	65,6	127,9	96,4

В результате применения корреляционного анализа была выявлена статистически значимая положительная корреляция ($r = 0,893$) между высотой снежного покрова (y , см) и его влагозапасами (x , мм). Данная корреляционная зависимость позволяет построить уравнение регрессии вида: $y_5 = 2,4312x_{58} + 16,666$ [58] (рисунок 11).

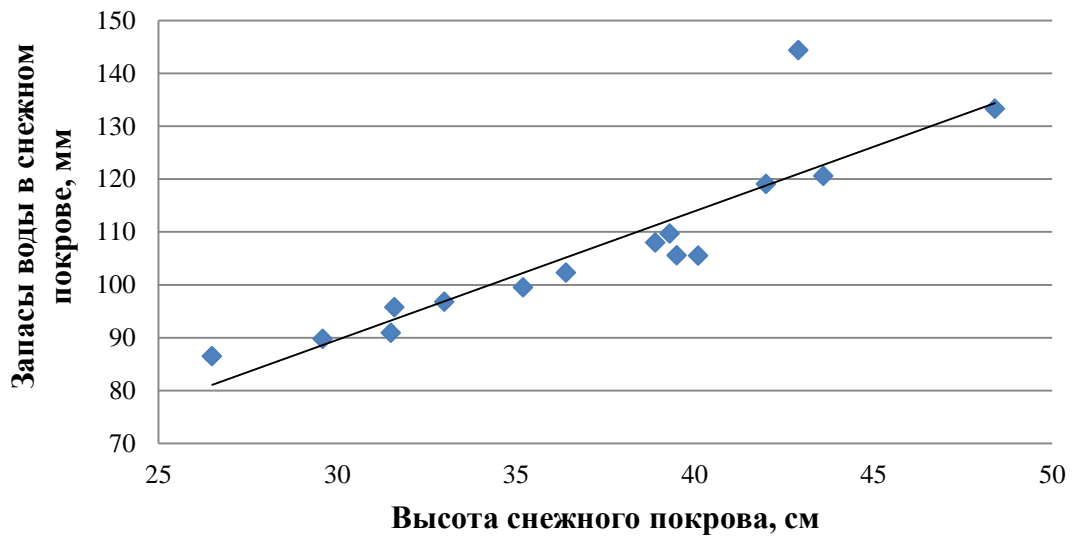


Рисунок 11 – Связь запасов воды в снежном покрове (у, мм) с высотой снежного покрова (х, см), по данным исследований за 2022-2024 гг.

В 2022 году, не смотря на высокие запасы воды в снежном покрове, сток отсутствовал, что обусловлено тем, что в течение периода снеготаяния наблюдалась чередка положительных и отрицательных температур. Эти температурные флуктуации привели к затяжному и последовательному процессу таяния снежного покрова с полей (таблица 27). Отсутствие поверхностного стока также обусловлено небольшой величиной промерзания почвы. Высота снега оказывала значительное влияние на промерзание почвы, так зимой 2022 года при средней высоте снежного покрова 38,1 см глубина промерзания почвы составила 20 см.

В условиях аномально низкого снежного покрова, зафиксированного в 2023 году (средняя высота составила 25,6 см), почвенный горизонт подвергся значительному промерзанию, глубина которого достигла 40 см. Это обстоятельство привело к интенсификации весеннего стока и эрозионных процессов, что проявилось в максимальных показателях - 6,3 мм для стока и 6,65 т/га для смыва почвы.

Таблица 27 – Сток и эрозия почвенного покрова на опытном поле

Годы	Показатели					
	максимальная высота снега, см	запасы влаги в снегу, мм	глубина промерзания почвы, см	сток, мм	смыв почвы, т/га	коэффициент стока
2022 г.	38,1	101,7	20	0,00	0,00	0,00
2023 г.	25,6	69,6	40	6,30	6,65	0,09
2024 г.	48,1	145,1	12	0,09	0,67	0,00
среднее	37,3	105,5	24	2,13	2,44	0,02

При самой снежной зиме в 2024 году (48,1 см) глубина промерзания почвенного профиля снизилась до 12 см. Также в этом году был зафиксирован незначительный объем стока, который составил 0,09 мм, несмотря на постепенное таяние снежного покрова и относительно небольшую глубину промерзания почвы. Значительные запасы воды в снежном покрове (145,1 мм) также оказали влияние на данный показатель.

В 2023 году, который характеризовался высоким уровнем стока из-за сильного промерзания почвенного покрова и резкого схода снега, наблюдались процессы стока и эрозии почв на всех типах агроландшафтов. С осени была проведена поперечная минимальная обработка почвы на глубину 10-12 см. После завершения стока были выполнены замеры интенсивности смыва по методу водоройн (таблица 28).

Таблица 28 – Смыв почвы в зависимости от типа ландшафта за 2022-2024 гг.

Тип агроландшафта	Смыв почвы, т/га				
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	итого	среднее
Плакорно-равнинный (0-1°)	0	0,15	0	0,15	0,05
Склоново-ложбинный (1-3°)	0	2,60	0,17	2,77	0,92
Склоново-овражный (3-5°)	0	3,90	0,50	4,40	1,47
итого	0	6,65	0,67	6,72	2,44

Исследования показали, что за три года (2022-2024 гг.) на поле с плакорно-равнинным типом агроландшафта интенсивность смыва была минимальной и равнялась 0,15 т/га (2,2%), на склоново-ложбинном типе агроландшафта объем смыва составил 2,77 т/га (41,2%). Наибольший уровень интенсивности зафиксирован у основания водосбора в склоново-овражном агроландшафте, где это значение достигло 4,40 т/га (65,5% от общего смыва).

В результате продолжительного мониторинга процессов стока талых вод на склоне экспериментального участка на территории противоэрозионного комплекса «Новоникулинский» показало высокую эффективность внедренных методов по защите почв от эрозии.

Исследования, проведенные в период с 1969 по 1978 годы Ф. Д. Добрыниным, К. И. Карповичем, П. Т. Петровым и А. М. Прокофьевым, были направлены на изучение процесса стока талых вод с зяблевых полей. В рамках данной работы было установлено, что интенсивность формирования стока на склоновых землях находилась в диапазоне слабой интенсивности, согласно шкале интенсивности стока по Г. П. Сурмачу (Карпович К. И., Науметов Р. В., 2013).

В рамках наших последующих исследований, охватывающих период с 2000 по 2024 годы, был проведен анализ динамики стока талых вод. Среднее значение стока составило 3,33 мм, что соответствует коэффициенту стока 0,04 (очень слабый согласно шкале интенсивности стока по Г. П. Сурмачу).

Анализ временных рядов демонстрирует, что из 25 анализируемых лет в одиннадцати случаях (2002, 2003, 2004, 2007, 2011, 2016, 2017, 2019, 2021, 2022, 2024 гг.) сток талых вод отсутствовал. В шести годах (2001, 2008, 2009, 2012, 2013, 2014 гг.) интенсивность стока характеризовалась как крайне низкая. В оставшиеся восемь лет (2000, 2005, 2006, 2010, 2015, 2018, 2020, 2023 гг.) наблюдался сток слабой интенсивности (таблица 29).

В итоге из 25 лет исследований установлено, что сток и смыв почвы повторялись 14 раз, т.е. вероятность составила 56,0 %, следует отметить, что за последние 10 лет сток и смыв почвы отмечались 4 раза (чаще средней интенсивности, повторяемость 40,0 %) по сравнению с предыдущим

пятнадцатилетним отрезком, в котором сток и смыв повторялись чаще (10 лет, повторяемость 67,3 %).

Таблица 29 – Формирование весеннего стока талых вод на водосборе южной экспозиции с уклоном до 5° (2000-2024 гг.) (Науметов Р.В., 2021 и данные автора)

Годы наблюдений	Запас воды в снеге, мм	Объем стока, мм	Коэффициент стока	Мутность стока, мг/л	Смыв элементов питания, кг/га			
					N	P	K	сумма
2000	138,7	12,8	0,09	следы	4,4	6,9	4,3	15,6
2001	123,6	3,30	0,02	следы	1,6	2,0	1,2	4,8
2002	80,9	0,09	0	следы	0	0	0	0
2003	40,5	0	0	-	0	0	0	0
2004	51,9	0	0	-	0	0	0	0
2005	118,3	9,06	0,07	следы	4,0	3,6	5,0	12,6
2006	115,1	8,61	0,07	следы	2,8	6,8	2,0	11,6
2007	81,5	0,09	0	следы	0	0	0	0
2008	82,0	4,06	0,05	следы	1,3	1,6	2,6	5,5
2009	45,5	1,46	0,03	следы	1,0	0,4	0,4	1,8
2010	86,3	7,66	0,09	следы	3,6	2,1	3,2	8,9
2011	191,7	0,03	0	-	0	0	0	0
2012	141,1	5,40	0,03	следы	3,2	3,6	3,6	10,4
2013	73,6	4,14	0,05	следы	3,9	3,8	2,6	10,3
2014	72,0	2,10	0,02	следы	1,2	1,9	1,1	4,2
2015	55,0	5,18	0,09	следы	3,4	4,7	3,2	11,3
2016	77,5	0	0	-	0	0	0	0
2017	81,5	0	0	-	0	0	0	0
2018	81,9	6,79	0,08	следы	2,9	3,7	4,3	10,9
2019	78,9	0	0	-	0	0	0	0
2020	81,5	6,03	0,09	следы	3,7	2,9	3,1	9,7
2021	77,0	0	0	-	0	0	0	0
2022	101,7	0	0	-	0	0	0	0
2023	69,6	6,30	0,09	следы	1,0	1,7	0,6	3,3
2024	145,1	0,09	0	следы	0	0	0	0
Среднее (2000-2024 гг.)	91,7	3,33	0,04	-	2,7	3,3	2,7	8,6
Среднее (1969-1978 гг.)	70,8	9,30	0,13	-	6,8	8,5	7,0	22,3

Корреляционный анализ выявил наличие слабой прямой связи между запасами воды в снежном покрове и объемом стока ($r = 0,222$). Данный результат указывает на то, что динамика стока обусловлена не только объемом запасов в снеге воды, но и комплексом взаимосвязанных факторов. В частности, на формирование стока значительное влияние оказывают температурный режим в период активного снеготаяния, глубина промерзания почвенного профиля и

водопроницаемость. Эти параметры, в свою очередь, формируют условия для эффективного перераспределения талой воды в системе почва-грунт, что определяет интенсивность и величину стока.

Из данной таблицы видно, что за 2000-2024 годы исследований смыв элементов питания зависел, главным образом, от степени интенсивности стока с поверхности почвы и находился в пределах 1,8-15,6 кг/га. Таким образом, за временной период наблюдений с 2000 по 2024 год объем стока снизился в три раза, а количество запасов воды в снеге на водосборе возросло на 20,9 мм по сравнению с исследованиями, проведенными с 1969 по 1978 годы.

В результате наших исследований обнаружена корреляционная связь между объемом стока (x , мм) и смывом элементов питания (y , кг/га), выражаемая уравнением регрессии: $y_6 = 1,328x_{59} + 0,4159$ [59] при коэффициенте корреляции 0,930 (рисунок 12).

Проведенные расчеты показали, что в контексте Ульяновской области ежегодные потери сельскохозяйственной продукции, вызванные эрозией почв, превышают 267,4 тыс. тонн. Еще более убедительной для сельскохозяйственного производства стала, часто не видимая глазу, плоскостная эрозия (смыв почвы), при которой вместе со смывом почвенного горизонта медленно теряется плодородие.

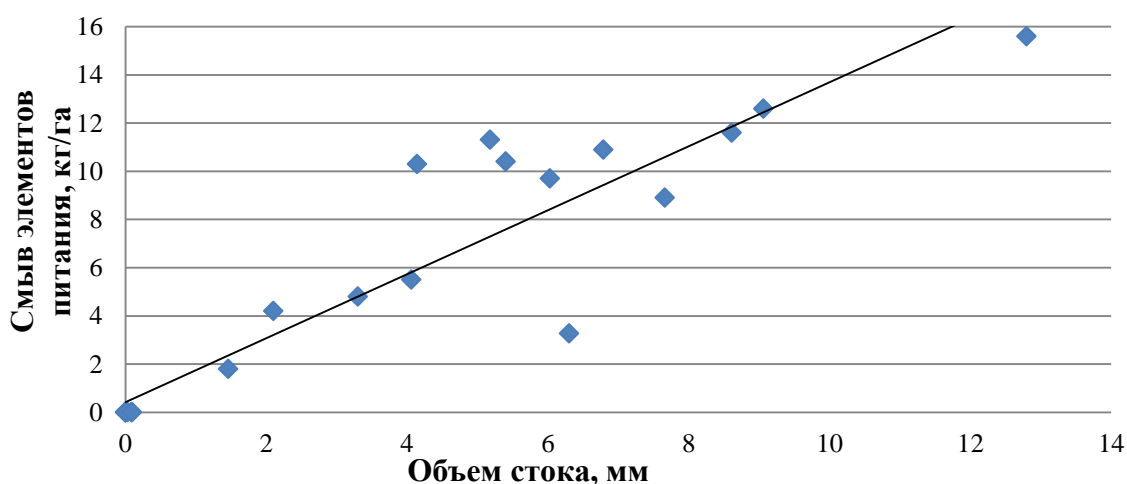


Рисунок 12 – Связь смыва элементов питания (кг/га) с объемом стока (мм), по данным исследований за 2000-2024 гг.

По данным Ульяновского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба», по состоянию на 01.01.2025 г. площадь сельхозугодий, подверженных деградации (эрозии и дефляции) на территории Ульяновской области, составляет 922 тыс. га. В процессе эрозионных процессов происходят недобор продукции и ежегодное вымывание значительного количества гумуса, макроэлементов, включая азот, калий и фосфор (таблица 30).

Таблица 30 – Некомпенсированные потери с деградированных земель в среднем за год (на примере Ульяновской области)

Основные показатели	Всего
Площади смытых и дефлированных земель, тыс. га	922
Недобор продукции, тыс. з.е. с 1 га	0,29
Недобор продукции в регионе, тыс. з.ед.	267,4
Ежегодные потери почвы, т/га	2,07
Потери гумуса с мелкоземом, тыс. т.	92,4
Потери азота (2,7 кг/га), тыс. т.	2,50
Потери фосфора (3,3 кг/га), тыс. т.	3,00
Потери калия (2,7 кг/га), тыс. т.	2,50

Согласно расчетам ежегодный недобор продукции растениеводства в масштабах региона составляет не менее 267,4 тыс. з.ед. При ежегодном среднем смыве почв 2,07 тонны с каждого гектара (данные в среднем по изучаемым объектам за 2021-2024 гг.) потери гумуса оцениваются в 92,4 тыс. т. (при средневзвешенном содержании 4,84 %), азота и калия – 2,5 тыс. т. и фосфора – 3,0 тыс. т.

Безусловно, что эти процессы оказывают существенное отрицательное влияние на плодородие земель и требуют комплексного подхода к их минимизации и управлению.

4.3 Содержание продуктивной влаги

Ключевым условием для достижения высоких и стабильных урожаев всех сельскохозяйственных культур является наличие влаги. В Ульяновской области годовое количество осадков составляет от 450 до 500 мм (Шарипова Р. Б., 2024). Тем не менее, посевы во всех районах области испытывают дефицит влаги в почве, поскольку не вся влага, выпадающая с осадками, поглощается культурными растениями. Исследования закономерностей поступления и расходования влаги проводились в различных типах агроландшафта.

Согласно результатам проведенных исследований, запасы влаги в метровом слое почвы в весенний период (в начале вегетационного сезона) 2022 года характеризовались низкими значениями и варьировались в зависимости от удаленности от лесополосы в диапазоне от 64,8 до 102,5 миллиметров. Минимальное содержание влаги было зафиксировано в центральной части поля (таблица 31).

В плакорно-равнинном типе агроландшафта выявлены закономерности распределения запасов продуктивной влаги в почвенном слое. Установлено, что минимальные значения данного параметра наблюдаются на расстоянии 260 метров от лесополосы, где уровень влагозапасов составляет 93,6 мм. Напротив, максимальные значения влагозапасов фиксировались в непосредственной близости от лесной полосы, а также с её наветренной и заветренной сторон на расстоянии до 50 метров, достигая 108,1 мм и 107,7 мм соответственно.

В процессе удаления от лесополосы в центральной части поля наблюдалось последовательное снижение уровня почвенной влаги. Этот феномен объясняется способностью лесных полос аккумулировать и осуществлять равномерное перераспределение осадков в зимний период, что способствует оптимизации водного баланса в межполосных пространствах. Максимальное количество снежного покрова фиксировалось непосредственно в пределах лесной полосы и непосредственно рядом с ней, с последующим постепенным уменьшением по

мере удаления от лесного массива. Аналогичная тенденция наблюдалась и на других типах агроландшафтов.

Таблица 31 – Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на водосборе с системой лесных полос, мм (2022-2024 гг.)

Тип агроландшафта	Расстояние от лесной полосы	2022 г.		2023 г.		2024 г.		среднее:
		посев	уборка	посев	уборка	посев	уборка	
Плакорно-равнинный (0-1°)	50	87,5	106,0	117,9	41,7	201,9	93,4	108,1
	130	80,8	96,4	114,5	37,5	209,0	93,4	105,3
	260	64,8	88,5	108,6	40,6	174,3	85,0	93,6
	130	74,9	103,3	111,1	51,2	187,2	89,8	102,9
	50	90,4	96,3	114,7	33,2	222,7	89,1	107,7
среднее:		79,7	98,1	113,4	40,8	199,0	90,1	103,5
Склоново-ложбинный (1-3°)	50	102,5	90,1	112,9	21,8	193,2	111,8	105,4
	130	82,2	111,7	100,4	40,6	188,7	136,1	110,0
	260	69,6	93,1	75,7	38,3	172,6	89,6	89,8
	130	80,3	84,3	111,2	46,2	177,8	100,1	100,0
	50	95,7	100,1	115,2	29,6	178,6	111,8	105,2
среднее:		86,1	95,9	103,1	35,3	182,2	109,9	102,1
Склоново-овражный (3-5°)	50	92,5	92,5	109,9	39,3	178,7	82,2	99,2
	130	74,5	105,1	99,3	44,1	151,8	99,3	95,7
	260	65,9	86,7	95,0	44,8	150,5	72,4	85,9
	130	71,4	100,4	98,8	30,7	168,8	88,0	93,0
	50	88,3	90,2	105,1	46,5	169,6	122,9	103,8
среднее:		78,5	95,0	101,6	41,1	163,9	93,0	95,5
НСР ₀₅	фактор А	3,9	4,7	8,9	3,6	8,7	17,5	-
	фактор В	2,3	2,7	5,1	2,1	3,9	15,5	
	AB	1,5	1,9	3,4	1,6	5,0	10,1	

Важно подчеркнуть, что с увеличением крутизны склона наблюдались значительные изменения в динамике запасов продуктивной влаги. В плакорно-

равнинном агроландшафте зафиксировано максимальное количество доступной влаги, составляющее в среднем 103,5 мм. В склоново-ложбинном агроландшафте запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы снизились на 1,4 мм, что соответствует 1,4%. В склоново-овражном агроландшафте этот показатель уменьшился ещё значительно – на 7,1 мм, или на 7,4%.

Запасы продуктивной влаги в почве и запасы влаги в снежном покрове являются важными факторами, определяющими водный режим почв и влияющими на рост и развитие растений. Они тесно связаны между собой и зависят от климатических условий, рельефа, характера растительности и других факторов (рисунок 13).

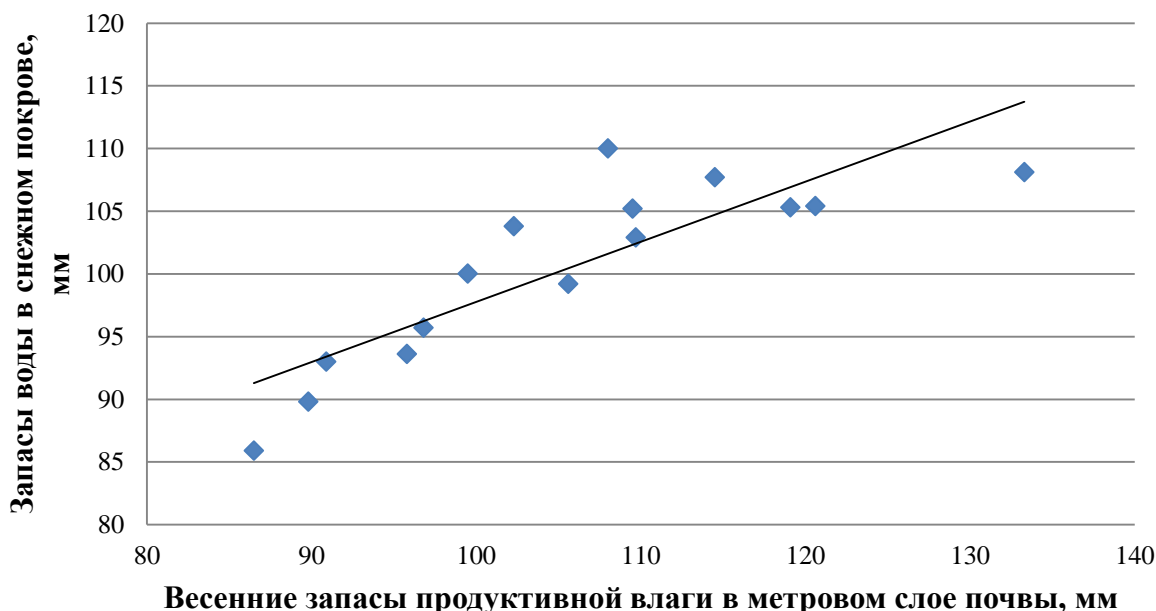


Рисунок 13 – Связь запасов продуктивной влаги в почве (мм) с запасами влаги в снежном покрове (мм), по данным исследований за 2022-2024 гг.

В результате проведенного анализа была установлена статистически значимая и сильная корреляционная зависимость ($r = 0,852$) между запасами воды в снежном покрове (x , мм) и весенними показателями продуктивной влаги в метровом слое почвы (y , мм). Данная зависимость описана с помощью следующего регрессионного уравнения: $y_7 = 0,4796x_{60} + 49,798$ [60].

4.4 Урожайность сельскохозяйственных культур

Характерной чертой пространственного воздействия лесных насаждений на прилегающие агроландшафты является закономерное снижение мелиоративного эффекта по мере удаления от лесной полосы. Это приводит к формированию неоднородных условий для произрастания сельскохозяйственных культур в межполосном пространстве, что, в свою очередь, вызывает пестроту урожайности (Захаров В. В., 1971).

Анализ данных по урожайности сельскохозяйственных культур за все годы исследований, выявил существенную зависимость этого показателя от типов агроландшафта и зоны влияния лесной полосы (таблица 32).

В 2022 году на плакорно-равнинном типе агроландшафта была максимальная урожайность озимой пшеницы, составившая 4,54 т/га. С увеличением крутизны склона наблюдается значимое снижение продуктивности. На склоново-ложбинном агроландшафте урожайность снизилась до 4,24 т/га, а на склоново-овражном она составила 3,97 т/га.

В результате проведенного исследования влияния лесных насаждений на урожайность сельскохозяйственных культур были выявлены следующие закономерности: на расстоянии 50 метров от лесополосы с наветренной стороны урожайность составила 4,67 т/га, тогда как с заветренной стороны этот показатель увеличился до 4,72 т/га, а в центральной части поля наблюдалось снижение.

Данные за 2023 год показывают, что самая высокая урожайность мягкой яровой пшеницы (3,61 т/га) отмечалась в плакорно-равнинном типе агроландшафта на расстоянии 50 м от лесной полосы с постепенным снижением урожайности к центру поля до 3,13 т/га. Аналогичная зависимость наблюдалась на склоново-ложбинном и склоново-овражном агроландшафтах.

Также мы наблюдали значительное различие в урожайности яровой пшеницы в зависимости от агроландшафта. Наивысшие показатели продуктивности были на плакорно-равнинном типе агроландшафта, где средняя

урожайность составила 3,39 т/га. По мере увеличения крутизны склонов наблюдалось закономерное снижение урожайности. На склоново-ложбинном типе агроландшафта этот показатель снизился до 2,96 т/га, а на склоново-ложбинном агроландшафта он составил 2,71 т/га.

В условиях 2024 года максимальная урожайность твердой яровой пшеницы (3,44 т/га) достигалась в верхней части склона (плакорно-равнинный тип агроландшафта) на расстоянии 50 м от лесных полос с наветренной стороны, снижаясь к центру поля (260 м) до 1,93 т/га.

Таблица 32 – Урожайность полевых культур в системе лесных полос в основных типах агроландшафта, т/га (2022-2024 гг.)

Тип агроландшафта	Ориентация лесной полосы на земельном участке	Расстоян ие от лесной полосы, м	Озимая пшеница 2022 г.	Мягкая яровая пшеница 2023 г.	Твердая яровая пшеница 2024 г.	В среднем, тыс. з.ед.
Плакорно- равнинный (0-1°)	Западная (наветрен.)	50	4,72	3,61	3,44	3,92
		130	4,61	3,34	2,42	3,46
	Центр поля	260	4,15	3,13	1,93	3,07
	Восточная (заветрен.)	130	4,55	3,26	2,41	3,41
		50	4,67	3,61	2,64	3,64
среднее			4,54	3,39	2,56	3,50
Склоново- ложбинный (1-3°)	Западная (наветрен.)	50	4,60	3,35	2,62	3,52
		130	4,35	3,04	2,40	3,26
	Центр поля	260	3,90	2,46	1,67	2,68
	Восточная (заветрен.)	130	4,15	2,88	2,43	3,16
		50	4,21	3,07	2,98	3,42
среднее			4,24	2,96	2,42	3,21
Склоново- овражный (3-5°)	Западная (наветрен.)	50	4,22	3,13	1,82	3,06
		130	3,87	2,66	1,79	2,77
	Центр поля	260	3,60	2,37	1,49	2,49
	Восточная (заветрен.)	130	4,01	2,42	1,66	2,70
		50	4,15	2,98	1,81	2,98
среднее			3,97	2,71	1,71	2,80
НСР ₀₅		фактор А	0,31	0,62	0,71	-
		фактор В	0,22	0,43	0,41	-
		фактор АВ	0,18	0,36	0,32	-

На плакорно-равнинном типе агроландшафта урожайность составила 2,56 т/га. На склоново-ложбинном агроландшафте она снизилась до 2,42 т/га, а на склоново-овражном – до 1,71 т/га.

В среднем за годы исследований (2022-2024 гг.) продуктивность зерновых культур снижалась в зависимости от агроландшафта с 3,50 тыс. з.ед./га (плакорно-равнинный тип агроландшафта) до 2,80 тыс. з.ед./га (склоново-овражный тип агроландшафта), при этом на каждый градус склона продуктивность и снижалась на 0,14 тыс. з.ед.

Оценка продуктивности полевых культур в зависимости от влияния расстояния от лесных насаждений показала, что на каждые 100 м отдаления она снижалась на 0,22-0,33 з.ед. с наветренной стороны и на 0,19-0,29 з.ед. с заветренной, изменяясь по типам агроландшафта (рисунок 14).

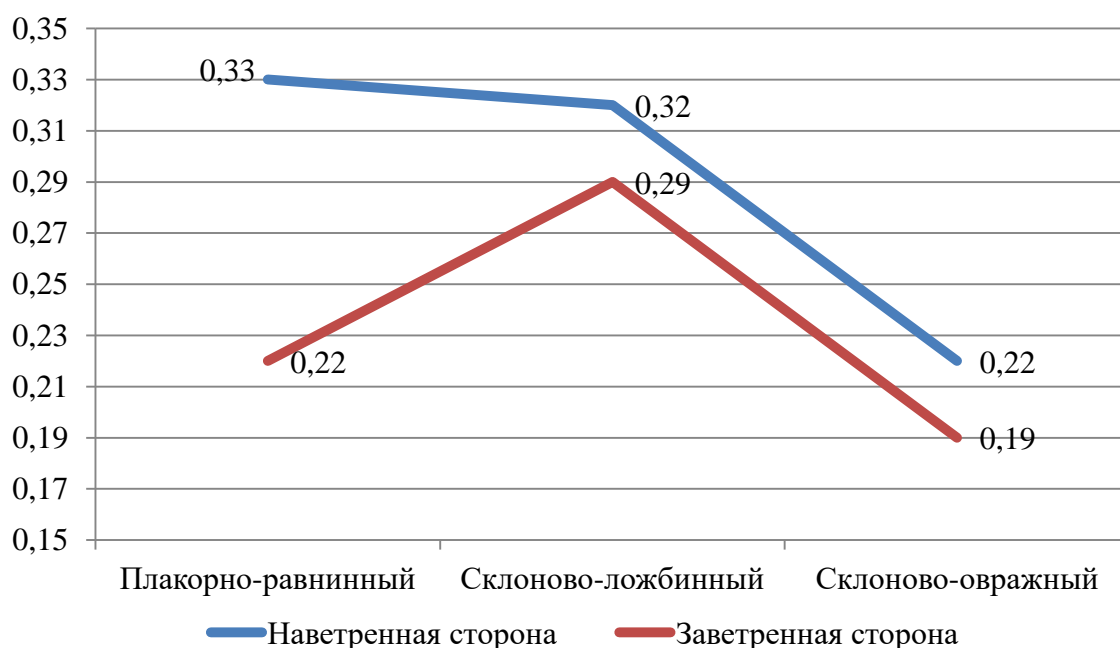


Рисунок 14 – Недобор продукции растениеводства на каждые 100 метров отдаления посевов от лесных насаждений, тыс. з.ед.

Согласно ГОСТ Р 70229-2022 «Почвы. Показатели качества почв» почвы подразделяются по степени смывости. Несмытые почвы встречаются на склонах, градус наклона которых не превышает 2° (плакорно-равнинный тип

агроландшафта), слабосмытые – на склонах крутизной 2-3° (склоново-ложбинный тип агроландшафта), среднесмытые – на склонах крутизной 3-5° (склоново-овражный тип агроландшафта), сильносмытые – крутизна склона более 5°. Наиболее значительно негативное влияние эродированности на плодородие почв проявляется на средне- и сильносмытых почвах, что сильно влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур. Рельеф поля оказал заметное влияние на критерии и индикаторы почвенного плодородия. Установлено, что в нижней части склона (5,78 %) гумуса содержалось на 11,6 % меньше, чем в верхней. В соответствии с содержанием гумуса на различных частях склона формируется нитрификационная способность почвы (таблица 33).

Распашка черноземов привела к резкому нарушению соотношения между аммиачной и нитратной формами азота в пользу последнего. Нитраты, не входящие в состав трудно растворимых соединений и не поглощаемые отрицательно заряженными коллоидами, активно вымываются водами поверхностного стока. Содержание нитратной формы азота в пахотном слое эродированной почвы склона в склоново-ложбинном и склоново-овражном типах агроландшафта в 1,3-1,9 раза ниже по сравнению с плакором.

Таблица 33 – Содержание гумуса и агрохимическая характеристика почвы в слое 0-30 см в зависимости от типа агроландшафта, 2022-2024 гг.

Тип агроландшафта (уклон)	Агрохимические показатели плодородия почвы, мг/кг почвы				Гумус, %
	NH ₄	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Плакорно-равнинный (0-1°)	12,1	94,4	223,3	138,9	6,45
Склоново-ложбинный (1-3°)	7,5	72,8	205,3	111,6	6,03
Склоново-овражный (3-5°)	6,9	49,6	175,4	101,6	5,78
НСР ₀₅	3,9	7,2	14,3	17,1	0,17

На плакорно-равнинном типе агроландшафта содержание фосфора составило 223,3 мг/кг. На склоново-ложбинном агроландшафте его содержание снизилось до 205,2 мг/кг, а на склоново-овражном – до 175,4 мг/кг.

Основной вынос обменного калия происходит вместе с илистыми частицами, обогащенными этим элементом. В среднем на склоново-ложбинном типе агроландшафта содержание обменного калия было ниже, чем на плакоре, на 24,6%, а в склоново-овражном – на 36,7%.

Содержание гумуса и элементов питания, в первую очередь, зависит от степени эродированности почв (приложения 39, 40, 41).

Наибольшая продуктивность полевых культур отмечена при возделывании на несмытых почвах плакорно-равнинного типа агроландшафта (озимая пшеница, 2022 г – 4,54 т/га, яровая пшеница мягкая, 2023 г. – 3,39 т/га, яровая пшеница твердая – 2,56 т/га), а наибольший негативный эффект из всех вариантов наблюдался на среднесмытых почвах склоново-овражного типа агроландшафта (озимая пшеница, 2022 г – 3,97 т/га, яровая пшеница мягкая, 2023 г. – 2,71 т/га, яровая пшеница твердая – 1,71 т/га).

Проведенные корреляционный и регрессионный анализы позволили выявить зависимости между урожайностью полевых культур с запасами продуктивной влаги, содержанием гумуса и агрономически ценными агрегатами [61-69] (приложение 42).

Величина урожайности имела сильную и среднюю прямую связь с показателями почвенного плодородия, нами установлена прямая средняя и сильная связь с запасами продуктивной влаги в почве (2021 год $r = 0,599$; 2023 $r = 0,812$; 2024 $r = 0,642$).

Выявлена средняя прямая связь между урожайностью и количеством агрономически ценных агрегатов (2021 год $r = 0,607$; 2023 $r = 0,677$; 2024 $r = 0,430$), слабая и средняя прямая связь урожайности с содержанием гумуса в почве (2021 год $r = 0,480$; 2023 $r = 0,500$; 2024 $r = 0,137$).

4.5 Оптимизация расстояния между лесными насаждениями

На сегодняшний день разработано достаточно много моделей продуктивности агроэкосистем, которые имеют свою специфическую структуру, реализующую конкретные цели разработчиков (Williams J. R., 1984; Penning de Vries, 1998; Полуэктов Р. А., 2006). Однако в большинстве существующих моделей ряд процессов, происходящих в конкретной агроэкосистеме, описан на полуэмпирическом (или даже эмпирическом) уровне (Хворова Л. А., Топаж А. Г., 2011; Недикова Е. В., Недиков К. Д., 2019). В результате проведения исследований появляются новые экспериментальные факты, которые не нашли отражения в ранее созданных моделях, процесс совершенствования моделей является непрерывным и свидетельствует об актуальности темы исследования, посвященной вопросам идентификации и адаптации имитационных динамических моделей продукционного процесса, в т.ч. в различных типах агроландшафта.

Полученные данные в результате наших исследований позволили разработать модель функционирования агроландшафтов.

В результате проведённых исследований выявлено влияние расстояния между лесными полосами на продуктивность полевых культур, на основании чего методами математической статистики получено уравнение регрессии, достоверно описывающее характер изменения продуктивности Q (y, α), (тыс. з.ед./га) в зависимости от расстояния от лесополосы y и крутизны склона местности α , (град):

$$Q(y, \alpha) = 4.243 + 0.141y^2 - 0.786y - 0.014\alpha^2 - 0.14\alpha \quad [70]$$

Графически уравнение представлено в форме поверхности отклика (рисунок 15, 16).

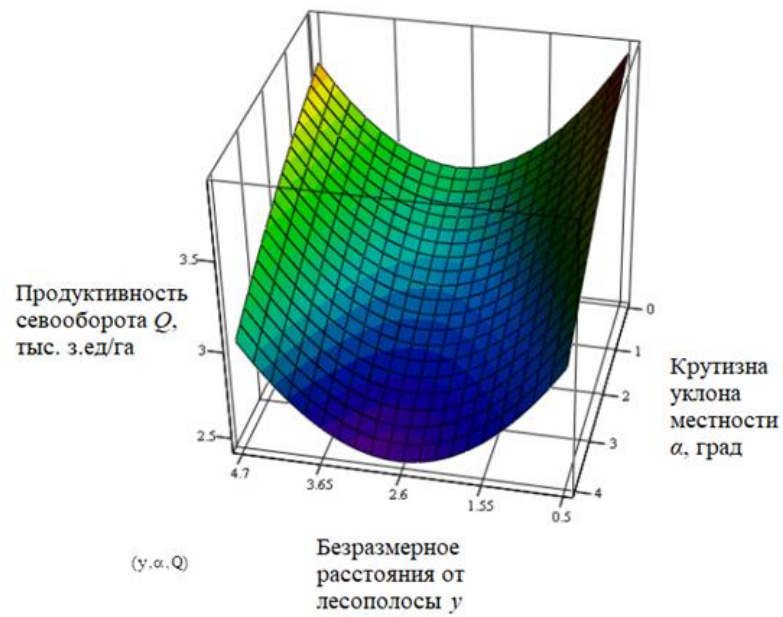
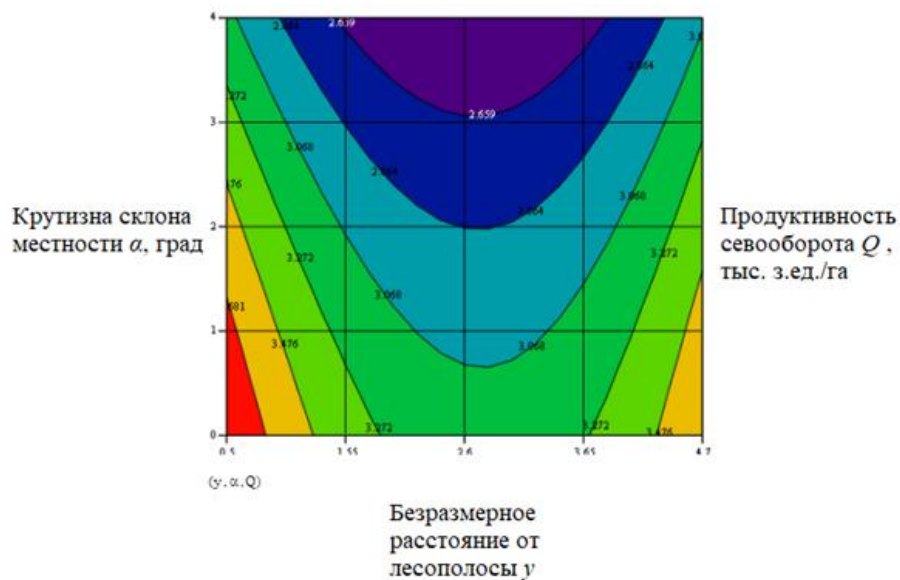


Рисунок 15 – Изменения продуктивности севооборота Q , (тыс. з.ед/га) в зависимости от безразмерного расстояния от лесополосы y и крутизны уклона местности α (град)



Графическое изображение иллюстрирует, что минимальная продуктивность, полученная методом классической оптимизации, достигается при $y = 260$ м, угле уклона $\alpha = 4^\circ$ мм ($Q = 2,5$ тыс. з.ед./га).

Поскольку тип агроландшафта и расстояние от лесополосы оказывали прямое влияние на накопление снега и продуктивной влаги в метровом слое в почве к периоду посева, оценка продуктивности полевых культур будет неполной без учета данного показателя. Для этого нами были построены уравнения регрессии, описывающие характер изменения зависимости запаса продуктивной влаги в метровом слое почвы N (мм) в зависимости от безразмерного расстояния от лесополосы y и крутизны склона местности α , (град):

$$V(y, \alpha) = 117.669 + 3.049 y^2 - 16.293 y - 1.914 \alpha^2 + 0.16 \alpha [71]$$

Графически уравнение, отражающее накопление продуктивной влаги в метровом слое почвы по типам агроландшафта, представлено в форме поверхности отклика (рисунок 17).

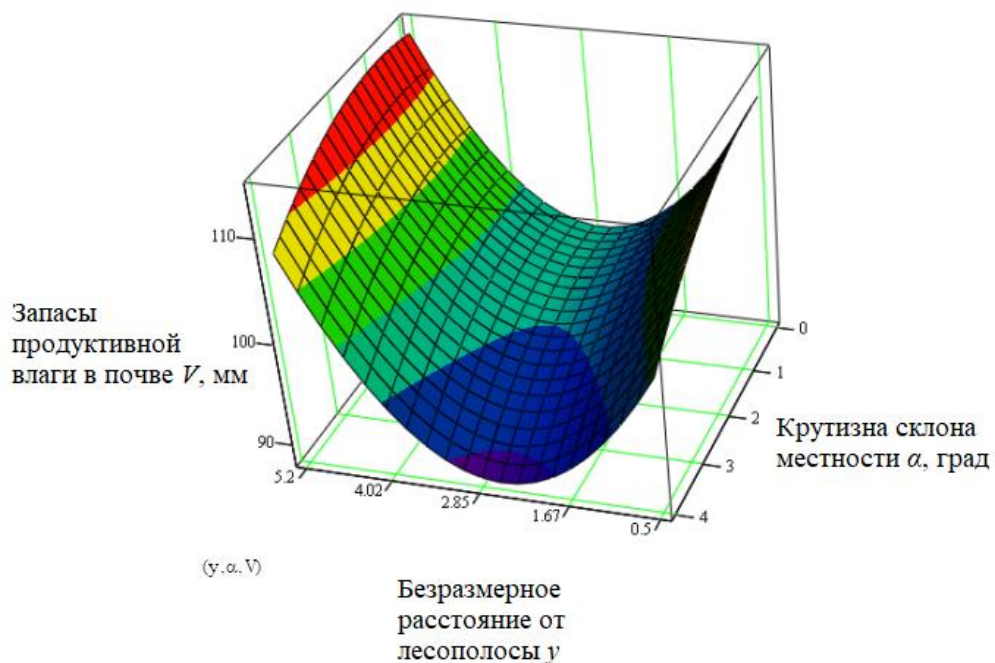


Рисунок 17 – Изменения запаса продуктивной влаги в почве V (мм) в зависимости от безразмерного расстояния y и крутизны склона местности α (град).

Согласно нашим данным минимальное значение запаса влаги достигается при $y = 260$ м, угле уклона $\alpha = 4^\circ$ мм ($V = 90$ мм).

Для оптимизации расстояния между лесными полосами в зависимости от типа агроландшафта рассмотрим математическую модель, в основу которой положена задача о продуктивности полевых культур в определенной широте межполосного пространства. Скорость изменения продуктивности Q (т/га) в зависимости от безразмерного расстояния от лесопосадки пропорциональна расстоянию от лесополосы до середины полосы. Тогда дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными запишется в виде:

$$\frac{dQ}{dy} = a(y - b), [72]$$

Разделяя переменные, получим:

$$dQ = a(y - b)dy, [73]$$

Интегрируя, получим решение:

$$Q = a(y - b)^2 / 2 + c, [74]$$

где b – середина полосы; c – значение урожайности в середине полосы, а значение коэффициента a найдется из начальных условий $Q(0) = Q_0$,

На рисунке 18 приведены графики регрессионных и теоретических зависимостей продуктивности культур Q (y, α), (т/га) от безразмерного расстояния y и при различных углах уклона α (град).

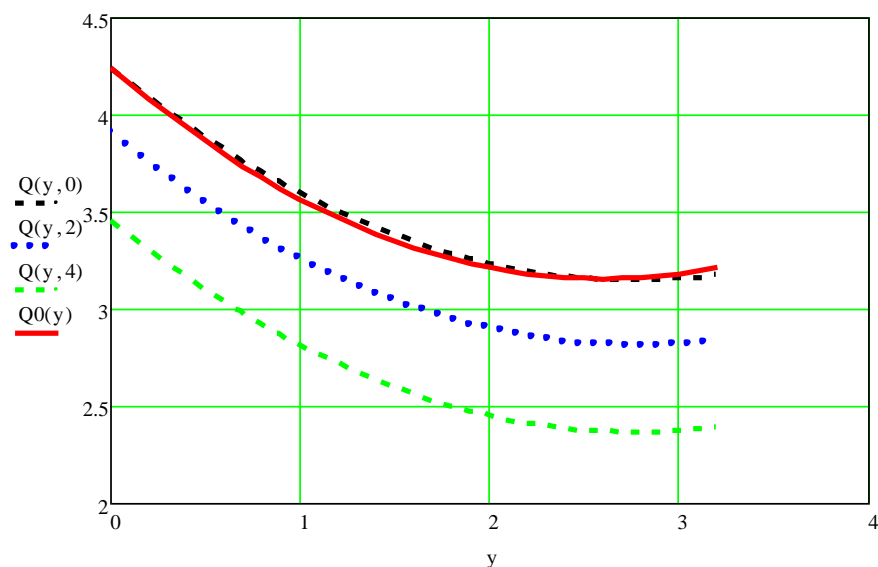


Рисунок 18 – Регрессионная зависимость продуктивности $Q(y, \alpha)$, (тыс. з.ед./га) от безразмерного расстояния y и при различной крутизне склона местности α (град)

Обозначения: $Q(y, 0) - \alpha = 0^\circ$; $Q(y, 2) - \alpha = 2^\circ$; $Q(y, 4) - \alpha = 4^\circ$.

$Q0(y)$ – теоретическая зависимость продуктивности от безразмерного расстояния y и при угле уклона $\alpha = 0^\circ$.

Значения коэффициентов a , b и c в уравнении [74] для различных углов уклона α приведены в таблице 34.

Таблица 34 – Значения коэффициентов a , b и c в уравнении (13) для различных углов уклона α

α , град	a	b	c
0	0,32	2,6	3,22
2	0,32	2,6	2,82
4	0,32	2,6	2,37

На рисунке 19 приведены графики теоретических зависимостей продуктивности культур $Q(y, \alpha)$, (тыс. з.ед./га) от безразмерного расстояния y и

при различных значениях ширины расстояния между лесными полосами l , (м), при угле уклона – $\alpha = 0^\circ$.

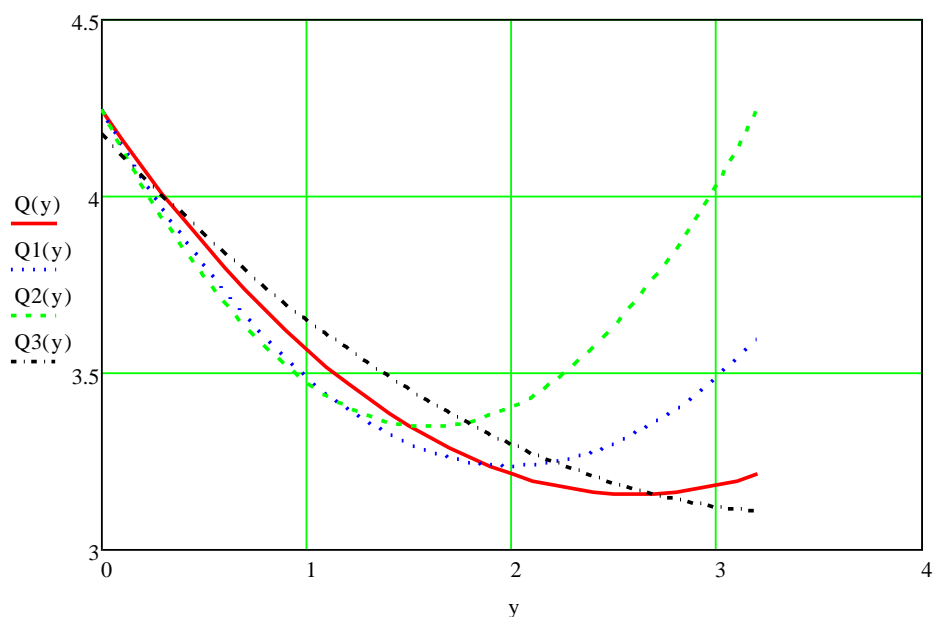


Рисунок 19 – Зависимость продуктивности $Q(y)$, (тыс. з.ед./га) от безразмерного расстояния y и при различных значениях ширины между лесными полосами d , (м), при угле уклона – $\alpha = 0^\circ$

Обозначения: $Q(y) - l = 520$ м; $Q1(y) - l = 400$ м.; $Q2(y) - l = 320$ м; $Q3(y)$ – теоретическая зависимость урожайности от безразмерного расстояния y при $l = 700$ м.

Для получения зависимости средней продуктивности $q(l)$ (т/га) по ширине межполосного пространства l найдем среднеинтегральные значения продуктивности по формуле:

$$q(l) = \frac{\int_0^l Q(y) dy}{l}, [75]$$

Проведя вычисления по этой формуле, получим регрессионные зависимости. На рисунке 20 приведены графики регрессионных и

теоретических зависимостей средней продуктивности $q(l)$, (тыс. з.ед./га) от ширины межполосного пространства l , (м), при различных углах уклона α (град).

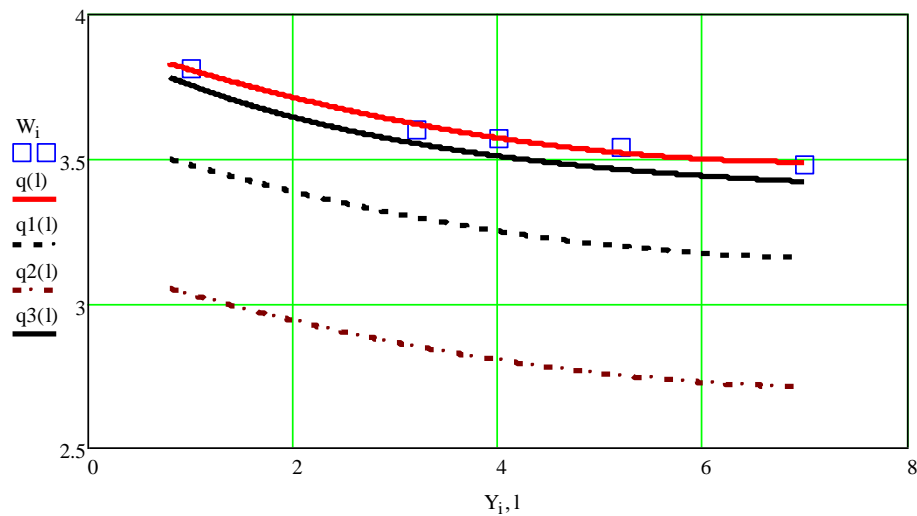


Рисунок 20 – Зависимость средней продуктивности полевых культур $q(l)$, (тыс. з.ед./га) от расстояния между лесными полосами l , (м), при различных углах уклона α (град).

Обозначения: $q(l) - \alpha = 0^\circ$; $q1(l) - \alpha = 2^\circ$; $q2(l) - \alpha = 4^\circ$; $q3(l) - \alpha = 0^\circ$; – теоретическая зависимость средней урожайности от ширины между лесными полосами при $\alpha = 0^\circ$; Точками обозначены опытные значения средней урожайности $q(l)$, (т/га) в зависимости от ширины лесной полосы l , при $\alpha = 0^\circ$.

Математической моделью, в основу которой положена задача о средней продуктивности зерновых культур, полученной в межполосном пространстве определенной ширины, является классическая модель закона Фурье экспоненциального изменения средней продуктивности q в зависимости от ширины межполосного пространства l :

$$\frac{dq}{dl} = a(q - q_c), [76]$$

Получаем дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными:

$$\frac{dq}{(q - q_c)} = a dl, [77]$$

интегрируя которое, получим общее решение:

$$q = q_c + Ce^{-kl}, [78]$$

где q_c – средняя продуктивности в середине поля, (тыс. з.ед./га); C – константа, определяемая из начальных условий $q(0) = q_0$, а значение коэффициента k найдется из опытных данных.

$$q = q_c + (q_0 - q_c)e^{-kl}, [79]$$

Частное решение для средней продуктивности q в зависимости от ширины межполосного пространства l при угле уклона – $\alpha = 0^\circ$ эта зависимость находится по формуле:

$$q = 3.37 + 0.54e^{-0.34l}, [80]$$

Таким образом, нами на основании методов математического моделирования построены зависимости между продуктивностью полевых культур, расстояния между лесными полосами и крутизной склона, что отражают рассчитанные уравнения регрессии и графические изображения. Уравнения регрессии позволяют найти оптимальное решение при планировании межполосного пространства между лесными насаждениями на разных типах агроландшафта. Расчеты показывают, что при разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия и проектировании противоэрозионных комплексов для получения продуктивности полевых культур не менее 2,7 тыс. з. ед. или с ее колебаниями не более 10% в зависимости от отдаленности от лесных насаждений в плакорно-равнинном типе агроландшафта лесные полосы следует размещать на расстоянии до 500-550 м, в склоново-ложбинном типе - не более 400-500 м и в склоново-овражном на расстоянии не более 300-400 м.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Экономическая эффективность сельскохозяйственного производства определяется результативностью использования земельных ресурсов, которая выражается в показателях продуктивности и себестоимости продукции с единицы площади. Перед землепользователями стоит задача обеспечить выход максимума продукции с каждого гектара при минимуме затрат.

Экологическое состояние земельного фонда находится в тесной взаимосвязи с его экономическими характеристиками, что обуславливает необходимость повышения экологической эффективности как ключевого фактора улучшения качества земельных ресурсов. Данный процесс позволяет не только увеличить объемы производимой продукции высокого качества, но и значительно повысить экономические показатели хозяйств. Это достигается за счет предотвращения ущерба природной среде, что, в свою очередь, способствует устойчивому развитию аграрного сектора и минимизации негативных экологических последствий хозяйственной деятельности.

Противоэрозионные гидротехнические сооружения были заложены в период 1968-1970 гг. Согласно проектной документации затраты по ценам сложившимся в указанный период на закладку противоэрозионного вала протяженностью 104 метра составили 826 руб. (площадь водосбора 11 га), тогда как на гидротехническое сооружение – Тимофеевский лоток-быстроток – 11900 руб. (площадь водосбора 100 га)

Расчеты, произведенные с использованием коэффициентов инфляции на объекты капитального строительства (ЕМИСС <https://www.fedstat.ru>) показали, что по ценам 2025 года стоимость строительства противоэрозионного вала длиной 104 метра составит 41363,2 руб. (3760,3 руб. на 1 га), а сооружение – Тимофеевский лоток-быстроток – 595910,6 руб. (5959, 1 руб. на 1 га).

Оценка эффективности противоэрозионных комплексов показала, что в гидротехническом сооружении – противоэрозионный вал нивелировал продуктивность между типами агроландшафтами – разница между плакорно-равнинным и склоново-овражным составила 0,34 тыс. з. ед. или 13,3 %, тогда как на объекте лоток-быстроток – 0,68 или 25,6 %.

Учитывая стоимость прибавки урожая (3400 руб./га) и затраты на создание противоэрозионного вала (41363,2 руб. длиной 104 м, площадь водосбора 11 га) понесенные затраты окупятся через 1,1 года.

Нами проведена оценка экономической эффективности возделывания полевых культур под влиянием гидротехнических соображений и лесных насаждений по типам агроландшафта, расчеты проведены на основе технологических карт.

В 2021 году на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал при возделывании ячменя рентабельность производства отличалась по агроландшафтам. Наибольшая рентабельность (19,9%) была в плакорно-равнинном агроландшафте, затем следовали склоново-ложбинный (17,4%) и склоново-овражный (14,5%) агроландшафты, а на контрольном варианте – 16,2% (таблица 35).

При возделывании озимой пшеницы по чистому пару в 2023 году была получена урожайность от 4,67 до 5,15 т/га. При этом озимая пшеница обеспечила самые высокие показатели рентабельности – 58,0-69,5 %, тогда как в 2024 году возделываемая яровая пшеница имела рентабельность в 8,2 % (плакорно-равнинный тип агроландшафта) и убыточность от -2,6% до - 18,2%.

Экономичная оценка, проведенная на основании сопоставления прямых затрат и стоимости полученной продукции, не отражает состояние почвенного покрова и изменения в показателях плодородия. Нами для объективной оценки сложившейся ситуации в агроландшафтах проведена оценка смыва почвы и потерь гумуса со смытой почвы, а также проведен прогноз баланса гумуса при сложившейся структуре поступающих источников органического вещества в почву (приложение 43, 44).

Прогноз баланса гумуса показал, что годам он складывался от бездефицитного (ячмень в 2021 году) до потерь гумуса в объёме 2945-2991 кг/га (озимая пшеница по чистому пару в 2023 году). В почве под яровой пшеницей минерализация гумуса превысила его новообразование на 182–255 кг/га.

Эколого-экономическая оценка возделывания полевых культур подразумевает учет затрат на компенсацию потерь органического вещества почвы. Расчет стоимости воспроизводства потерь гумуса в почве производился через затраты на внесение органических удобрений в виде навоза. Согласно нашим расчетам, из 1 тонны внесенного полуперепревшего навоза в почве формируется около 40 кг гумуса, при этом стоимость внесения 1 тонны навоза с учетом его себестоимости, затрат на транспортировку составляет около 1000 руб.

При этом суммарные потери гумуса складывались с учетом смыва почвы при формировании стока на склоновых землях. Таким образом, на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал на воспроизводство минерализованного и смытого с почвой гумуса необходимо увеличить производственные затраты от 1177 руб./га (ячмень, 2021) до 81672 руб./га (озимая пшеница по чистым парам), что существенно сказывается на эффективности возделываемых культур. Из возделываемых культур рентабельным остается только ячмень на всех типах агроландшафта.

В 2021 году при выращивании озимой пшеницы на объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа, на плакорно-равнинном агроландшафте ее рентабельность составила 20,6 %. По мере увеличения склона урожайность падала, а рентабельность производства снижалась: на склоново-ложбинном типе до 16,7 %, а на склоново-овражном типе отмечалась убыточность – 6,2 %, на контрольном варианте убыточность составила – 0,7 % (таблица 36).

Исследования, проведенные в 2022 и 2024 годах, показали аналогичные закономерности изменения рентабельности подсолнечника и озимой пшеницы.

Таблица 35 – Эколого-экономическая оценка возделывания полевых культур в различных типах агроландшафта на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал

Культура, год	Ячмень яровой, 2021 г.				Озимая пшеница, 2023 г.				Яровая пшеница, 2024 г.			
Типы ландшафтов	(0-1°)	(1-3°)	(3-5°)	контроль	(0-1°)	(1-3°)	(3-5°)	контроль	(0-1°)	(1-3°)	(3-5°)	контроль
Урожайность , т/га	2,42	2,36	2,29	2,33	5,15	4,85	4,67	4,84	2,68	2,36	1,92	2,11
Цена реализации, руб./т	12000	12000	12000	12000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Стоимость продукции, руб./га	29040	28320	27480	27960	51500	48500	46700	48400	26800	23600	19200	21100
Производственные затраты, руб./га	20186	20101	20003	20059	25312	24889	24635	24875	20643	20192	19570	19839
Условно чистый доход	4817	4198	3477	3889	21125	18633	17138	18550	2028	-630	-4284	-2706
Себестоимость, руб./т	10010	10221	10482	10331	5898	6158	6330	6167	9243	10267	12231	11283
Рентабельность, %	19,9%	17,4%	14,5%	16,2%	69,5%	62,4%	58,0%	62,1%	8,2%	-2,6%	-18,2%	-11,4%
Баланс гумуса (вынос с урожаем и стоком), ± кг/га	11,5	-46,3	-88,5	-43,5	-2990,5	-3006,8	-3021,9	-3006,1	-255,3	-275,9	-269,7	-248,6
Затраты с учетом компенсации потерь органического вещества, руб./га	20186	21354	22394	21236	106138	106155	106307	106120	27544	27648	26860	26557
Общие затраты, тыс. /га	24223	25624	26873	25483	127365	127386	127568	127344	33053	33177	32231	31868
Условно чистый доход, руб.	4817	2696	607	2477	-75865	-78886	-80868	-78944	-6253	-9577	-13031	-10768
Себестоимость, руб./т	10010	10858	11735	10937	24731	26265	27317	26311	12333	14058	16787	15103
Рентабельность, %	19,9%	10,5%	2,3%	9,7%	-59,6%	-61,9%	-63,4%	-62,0%	-18,9%	-28,9%	-40,4%	-33,8%

Таблица 36 – Экономическая и эколого-экономическая оценка возделывания полевых культур в различных типах агроландшафта на объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа

Культура, год	Озимая пшеница, 2021 г.				Подсолнечник, 2022 г.				Озимая пшеница, 2024 г.			
Типы ландшафтов	(0-1°)	(1-3°)	(3-5°)	Контроль	(0-1°)	(1-3°)	(3-5°)	Контроль	(0-1°)	(1-3°)	(3-5°)	Контроль
Урожайность, т/га	2,5	2,4	1,84	1,97	2,22	2,17	1,98	1,86	4,87	4,37	3,12	3,25
Цена реализации, руб./т	10000	10000	10000	10000	25000	25000	25000	25000	10000	10000	10000	10000
Стоимость продукции, руб./га	25000	24000	18400	19700	55500	54250	49500	46500	48700	43700	31200	32500
Производственные затраты, руб./га	17276	17134	16344	16527	20616	25262	24993	24824	24917	24211	22446	22630
Условно чистый доход	4269	3439	-1212	-133	30761	23936	19508	16711	18800	14647	4265	5344
Себестоимость, руб./т	8292	8567	10659	10067	11144	13970	15147	16015	6140	6648	8633	8356
Рентабельность, %	20,6%	16,7%	-6,2%	-0,7%	124,3%	79,0%	65,0%	56,1%	62,9%	50,4%	15,8%	19,7%
Баланс гумуса (вынос с урожаем и стоком), ± кг/га	-238,1	-293,7	-285,8	-248,0	-699,9	-738,2	-722,4	-637,2	-2963,9	-2968,5	-2890,3	-2864,4
Затраты с учетом компенсации потерь органического вещества, руб./га	23712	25073	24069	23230	39533	45213	44519	42045	105023	104440	100562	100046
Общие затраты, тыс./га	28454	30088	28883	27877	47440	54256	53422	50454	126028	125329	120675	120055
Условно чистый доход, руб.	-3454	-6088	-10483	-8177	8060	-6	-3922	-3954	-77328	-81629	-89475	-87555
Себестоимость, руб./т	11382	12537	15697	14151	21369	25003	26981	27126	25878	28679	38678	36940
Рентабельность, %	-12,1%	-20,2%	-36,3%	-29,3%	17,0%	0,0%	-7,3%	-7,8%	-61,4%	-65,1%	-74,1%	-72,9%

На объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа оценка баланса гумуса с учетом смыва почвы в результате эрозии показала, что он прогнозируется с дефицитом всем по годам от – 238 кг/га (озимая пшеница 2021 г.) до – 2969 кг/га (озимая пшеница по чистому пару, 2024 г.).

Учет производственных затрат по воспроизводства потерь органического вещества привел к их росту в несколько раз, особенно в технологии озимой пшеницы по чистому пару и повлекло снижение уровня рентабельности производства продукции растениеводства, большинство вариантов оказалось убыточным.

Анализ полученных данных в опыте №2 по оценке эффективности лесных насаждений на разных типах агроландшафта показал, что наименьший выход продукции в стоимостном выражении был получен в склоново-овражном типе за все годы исследований (таблица 37).

В рамках проведенных исследований в 2022 году было установлено, что максимальная рентабельность производства озимой пшеницы отмечалась в плакорно-равнинном типе агроландшафта, где данный показатель достигал 54,7%. По мере увеличения крутизны склонов отмечается тенденция к снижению рентабельности. На склоново-ложбинном типе агроландшафта данный показатель снижается до 47,1%, а на склоново-балочном типе агроландшафта он составляет 39,9% (приложение 45).

Аналогичные закономерности были выявлены при оценке экономической эффективности возделывания яровой мягкой в 2023 (приложение 46) и яровой твердой пшеницы в 2024 годах (приложение 47).

На стационарном полевом опыте в среднем по вариантам опыта некомпенсированные потери гумуса (за счет минерализации и смыва почвы) варьировали от – 244 до – 461 кг/, а затраты на воспроизводство гумуса возрастали на 6612–12452 руб./га или на 32,5–52,7 %.

На всех вариантах опыта существенно снижались рентабельность, а большинство вариантов были убыточными (приложения 48, 49, 50).

Таблица 37 – Экономическая и эколого-экономическая оценка возделывания полевых культур в различных типах агроландшафта под влиянием лесных полос (2022-2024 гг.)

Культура, год	Озимая пшеница, 2022 г.			Мягкая яровая пшеница, 2023 г.			Твердая яровая пшеница, 2024 г.		
Типы ландшафтов	(0-1°)	(1-3°)	(3-5°)	(0-1°)	(1-3°)	(3-5°)	(0-1°)	(1-3°)	(3-5°)
Урожайность , т/га	4,54	4,24	3,97	3,39	2,96	2,71	2,56	2,42	1,71
Цена реализации, руб./т	10000	10000	10000	10000	10000	10000	14000	14000	14000
Стоимость продукции, руб./га	45400	42400	39700	33900	29600	27100	35840	33880	23940
Производственные затраты, руб./га	24451	24028	23646	21782	21175	20822	20338	20140	19138
Условно чистый доход	16059	13567	11324	7762	4190	2114	11434	9711	974
Себестоимость, руб./т	6463	6800	7147	7710	8584	9220	9533	9987	13430
Рентабельность, %	54,7%	47,1%	39,9%	29,7%	16,5%	8,5%	46,9%	40,2%	4,2%
Баланс гумуса (вынос с урожаем и стоком), ± кг/га	-432,5	-450,1	-460,7	-322,9	-327,1	-338,7	-244,7	-276,9	-248,2
Затраты с учетом компенсации потерь гумуса, руб./га	36140	36194	36098	30510	30014	29976	26950	27626	25845
Общие затраты , тыс. /га	43368	43432	43317	36611	36017	35971	32340	33151	31014
Условно чистый доход, руб.	2032	-1032	-3617	-2711	-6417	-8871	3500	729	-7074
Себестоимость, руб./т	9552	10243	10911	10800	12168	13273	12633	13699	18137
Рентабельность, %	4,7%	-2,4%	-8,4%	-7,4%	-17,8%	-24,7%	10,8%	2,2%	-22,8%

Таким образом, анализ экономической эффективности возделывания полевых культур на разных типах агроландшафта в зависимости от влияния гидротехнических сооружений и лесных насаждений показал, что уровень рентабельности производства полевых культур определялся уровнем урожайности. На всех изучаемых объектах наибольшая рентабельность производства складывалась в плакорно-равнинном типе агроландшафта, на почвах с меньшими признаками деградации. Как и ожидалось, минимальные значения рентабельности были получены в склоново-овражном типе, а отдельные культуры имели убыточность (озимая пшеница на объекте

Тимофеевский лоток-быстроток в 2021 году; яровая пшеница на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал, в 2024 году).

Проведенная эколого-экономическая оценка возделывания полевых культур показала, что на всех вариантах отмечался смыв почвы и складывался отрицательный баланс гумуса. При этом общие затраты, в т.ч. на компенсацию потерь гумуса выручкой от реализации продукции покрывались только на плакорно-равнинном типе агроландшафта при возделывании ячменя в 2021 году (Новоникулинский противоэрозионный вал), озимой пшеницы в 2022 году (агроландшафт с лесополосами), подсолнечника в 2022 году (Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа), яровой твердой пшеницы в 2024 году (агроландшафт с лесополосами).

Эколого-экономическая оценка подтверждает, что для повышения эффективности использования эрозийноопасных земель необходимо учитывать коэффициент эрозийной опасности полевых культур. Включение чистых паров приводит не только к стоку и смыву почвы, но и к чрезмерной минерализации гумуса, что вызывает необходимость проведения комплекса мер по воспроизводству плодородия почвы, которые оцениваются более чем 80,2 тыс. руб./1 га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наибольший приход весенней влаги за счет таяния снега на агроландшафтах с гидротехническими сооружениями складывался в склоново-овражном типе. На противозэрозионном валу запасы достигали 101,3 мм, а на лотке-быстротоке открытого типа – 109,9 мм, что больше, чем вне зоны их влияния (контроль) соответственно на 27,2 и 29,2 мм или на 26,9 и 26,6 %.

Наибольший весенний сток был отмечен в 2023 году и на противозэрозионном валу достигал 4,30 мм со смывом почвы 4,58 т/га и на объекте лоток-быстроток открытого типа соответственно – 6,30 мм и 6,60 т/га. В среднем за 4 года исследований сток составил 1,10–1,58 мм, а смыв почвы – 1,30–1,78 т/га, с коэффициентом стока в 0,03 на объекте противозэрозионный вал ($\max = 0,07$) и 0,04 на объекте лоток-быстроток открытого типа ($\max = 0,10$).

При проявлении эрозионных процессов в результате весеннего стока количество смытой почвы распределилось по типам агроландшафта: плакорно-равнинный тип – 0,03–0,04 т/га или 2,2–2,3 %; склоново-ложбинный – 0,46–0,70 т/га или 37,7–39,3 %; склоново-овражный – 0,78–1,04 или 58,4–60,0 % от общего объема потерь.

Противозэрозионный вал способствовал наибольшему накоплению снега и продуктивной влаги в почве на расстоянии 50 м от сооружения (склоново-овражный тип агроландшафта), где их весенние запасы в метровом слое на 6,6 мм или 4,5 % были выше, чем на контроле. Лоток-быстроток открытого типа в среднем за годы исследований на расстоянии 50 м от сооружения повышал весенние запасы продуктивной влаги в метровом слое почв на 9,5 мм или 6,4 % по сравнению с участком, расположенным вне зоны его влияния.

На плакорно-равнинном типе агроландшафта продуктивная влага, накопленная в почве, и выпавшие осадки в течение вегетации использовались более эффективно, о чем свидетельствуют коэффициенты

водопотребления изучаемых культур. С увеличением склона эффективность использования продуктивной влаги снижалась на всех объектах исследований.

2. За период использования противоэрозионных объектов содержание гумуса и элементов питания (NO_3 , NH_4 , P_2O_5 , K_2O) в почвах по типам агроландшафта распределилось неравномерно, и наиболее высокие показатели плодородия сложились в плакорно-равнинном типе, снижаясь к склоново-ложбинному типу. На объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа содержание гумуса снизилось на 1,03 %, NO_3 на 30,1 мг/кг почвы (или на 32,8 %), NH_4 на 6,3 (или 33,9 %), P_2O_5 на 48,0 (или 22,3 %) и K_2O на 13,2 мг/кг почвы (или 12,9 %). На объекте Новоникулинский противоэрозионный вал сложились аналогичные закономерности.

3. Оценка структурно-агрегатного состава почвы показала повышение количества агрономически ценных агрегатов в почве на изучаемых объектах в сравнении с контролем. Также отмечено повышение плотности почвы в пахотном слое почвы (0-30 см) в склоново-овражном типе ($1,17 \text{ г/см}^3$) в сравнении с плакорно-равнинным типом агроландшафта и контролем на $0,13\text{--}0,14 \text{ г/см}^3$ на объекте противоэрозионный вал и на $0,05\text{--}0,06 \text{ г/см}^3$ на объекте лоток-быстроток открытого типа.

4. Продуктивность полевых культур изменялась в зависимости от типа агроландшафта и на объекте лоток-быстроток открытого типа снижалась с плакорно-равнинного тип агроландшафта – 2,65 тыс. з.ед./га к склоново-овражному – 1,97 тыс. з.ед./га или на 0,69 тыс. з.ед. (на 25,7 %). На каждый градус склона агроландшафта продуктивность пашни снижалась на 0,14 тыс. з.ед. с 1 га.

На объекте Новоникулинский противоэрозионный вал выявлена аналогичная закономерность – продуктивность снижалась с 2,59 до 2,22 тыс. з.ед./га или на 0,28 тыс. з.ед. (на 10,9 %). На каждый градус склона агроландшафта продуктивность пашни снижалась на 0,068 тыс. з.ед. с 1 га.

Различия в урожайности полевых культур по типам агроландшафта объясняются показателями плодородия почвы, нами выявлены корреляционные связи уровня урожайности полевых культур с показателями плодородия почвы. Установлены прямые связи с запасами продуктивной влаги ($r = 0,144 - 0,717$), содержанием агрономически ценных ($r = 0,134 - 0,931$) и водопрочных агрегатов ($r = 0,171 - 0,897$), содержанием гумуса ($r = 0,880 - 0,996$), с содержанием в почве азота, фосфора, калия ($r = 0,574 - 0,991$) и обратная зависимость от плотности почвы ($r = - 0,108...-0,881$).

5. В исследованиях по оценке эффективности лесных насаждений выявлено, что количество агрономически ценных агрегатов в почве (0,25-10 мм) уменьшалось по склону с 81,8 % (плакорно-равнинный тип агроландшафта) до 75,2 % (склоново-овражный тип агроландшафта). Также установлено снижение количества агрономически ценных агрегатов с отдалением от лесных полос и доля пылеватой фракции (менее 0,25 мм) возрастала в нижней части склона, так как под действием водной эрозии агрегаты разрушались. Установлено, что доля агрономически ценных агрегатов почвы зависела от содержания в ней гумуса ($r = 0,667$).

6. Наибольший ожидаемый приход весенней влаги за счет таяния снега в межполосном пространстве складывается на плакорно-равнинном типе агроландшафта. При удаленности от наветренной и заветренной лесной полосы на расстояние 50 м этот показатель составил 109,3 и 91,5 мм. С приближением к центру поля (260 м) обеспеченность влагой за счет снега снизилась до 77,3 мм. Аналогичная зависимость прослеживается на склоново-ложбинном и склоново-овражном типах ландшафта, но со значительно меньшим прогнозируемым запасом воды в снежном покрове.

На объекте по изучению эффективности лесных насаждений наибольший весенний сток был отмечен также в 2023 году и достигал 6,30 мм со смывом почвы 6,65 т/га, в среднем сток составил 2,13 мм, а смыв почвы – 2,44 т/га, с коэффициентом стока в 0,02 ($\max = 0,09$).

При проявлении эрозионных процессов в результате весеннего стока количество смытой почвы распределилось по типам агроландшафта: плакорно-равнинный тип – 0,05 т/га или 2,2 %; склоново-ложбинный – 0,92 т/га или 41,2 %; склоново-овражный – 1,47 т/га или 65,5 % от общего объема потерь.

За более чем 50-летний период функционирования противоэрозионных элементов запасы воды в снеге на водосборе возросли на 20,9 мм, а объем стока снизился в три раза (с 9,30 до 3,33 мм). В целом за последние 25 лет (за 2000–2024 гг.) вероятность проявления стока и смыва почвы составила 56,0 %.

В условиях Ульяновской области вероятность проявления стока и смыва почвы на склоновых землях составляет 56,0 % (14 из 25 лет наблюдений). Ежегодный недобор продукции растениеводства в масштабах Ульяновского региона составляет не менее 267,4 тыс. з.ед., при среднем смыве почв 2,07 т/га (в масштабах региона 1,908 млн. т.), потери гумуса оцениваются в 92,4 тыс. т., азота и калия – 2,5 тыс. т., а фосфора – 3,0 тыс. т.

7. Наибольшая урожайность изучаемых культур была получена в плакорно-равнинном типе агроландшафта, а с увеличением крутизны склона до 3° и 5° она уменьшалась.

Наиболее высокие показатели продуктивности полевых культур наблюдались в непосредственной близости от лесных полос, по мере приближения к центру поля урожайность постепенно снижалась: при расстоянии 130 м на 6,3-11,7%, а 260 м – от 18,6 % (склоново-овражный тип) -23,9 % (плакорно-равнинный тип). На каждые 100 м отдаления она снижалась на 0,22-0,33 з.ед. с наветренной стороны и на 0,19-0,29 з.ед. с заветренной изменяясь по типам агроландшафта.

8. На основании методов математического моделирования построены зависимости между продуктивностью полевых культур, расстоянием между лесными полосами и крутизной склона. При разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия для получения продуктивности полевых

культур не менее 2,7 тыс. з. ед. или с ее колебаниями не более 10% в зависимости от отдаленности от лесных насаждений в плакорно-равнинном типе агроландшафта лесные полосы следует размещать на расстоянии до 500-550 м, в склоново-ложбинном типе - не более 400-500 м и в склоново-овражном на расстоянии не более 300-400 м.

За более чем 50-летний период противозэрозийный вал снизил рабочую высоту и количество задерживаемого объема воды и у его основания отложилось около 1290,6 тонн мелкозема. Несмотря на это гидротехническое сооружение выполняет свои функции, не требует больших затрат на создание (по ценам 2025 года 3760,3 руб. на 1 га), а его расчетная окупаемость составляет 1,1 года.

9. Анализ экономической эффективности показал, что наибольший уровень рентабельности производства полевых культур на всех изучаемых объектах складывался в плакорно-равнинном типе агроландшафта. Минимальные значения были получены в склоново-овражном типе, а отдельные культуры имели убыточность (озимая пшеница на объекте Тимофеевский лоток-быстроток в 2021 году; яровая пшеница на объекте Новоникбулинский противозэрозийный вал в 2024 году).

На всех изучаемых вариантах отмечался смыв почвы и отрицательный баланс гумуса (за исключением ячменя в 2021 году), потери достигали 3006,1 кг/га (с учетом его минерализации в чистых парах и смыва со стоком). Эколого-экономическая оценка показала, что общие затраты, в т.ч. на компенсацию потерь гумуса, покрывались только на плакорно-равнинном типе агроландшафта с выручкой от реализации продукции ячменя в 2021 году (противозэрозийный вал), озимой пшеницы в 2022 году (агроландшафт с лесополосами), подсолнечника в 2022 году (лоток-быстроток открытого типа), яровой твердой пшеницы в 2024 году (агроландшафт с лесополосами), что вызывает необходимость пересмотра структуры посевных площадей на склоновых землях.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

В современных сложившихся условиях на черноземах Ульяновской области при разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия для снижения проявления эрозионных процессов, повышения продуктивности и экономической эффективности производства продукции растениеводства рекомендуется:

- при проектировании элементов противоэрозионного комплекса, агротехнологий и прогнозирования баланса гумуса и элементов питания обрабатываемых земель региона с уклоном до 5° в расчетах использовать средний коэффициент стока – 0,04 и ежегодный смыв почвы 2,07 т/га, с распределением по агроландшафтам: (склон до 1°) 0,04 т/га; (склон $1-3^{\circ}$) – 0,80 т/га и (склон до $3-5^{\circ}$) – 1,23 т/га;

- для предотвращения роста оврагов на агроландшафтах с уклоном до 5° использовать противоэрозионные водоудерживающие земляные валы, которые окупаются сохраненным урожаем не более чем за 2 года и выполняют свои функции более 50 лет;

- при проектировании противоэрозионных комплексов лесные насаждения необходимо размещать на плакорно-равнинных типах агроландшафта (склон до 1°) на расстоянии до 500–550 м, склоново-ложбинном (склон $1-3^{\circ}$) – 400–500 м и склоново-овражном (склон до $3-5^{\circ}$) на расстоянии 300–400 м.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Полученные результаты перспективны для дальнейших исследований, направленных на углубленное изучение водного режима, эрозионных процессов, показателей плодородия почвы под влиянием элементов противоэрозионного комплекса в типах агроландшафта. Также целесообразным представляется изучение влияния разных севооборотов, в т.ч. с использованием промежуточных культур, способов и систем обработки почвы в сравнение с технологией прямого посева для разработки рекомендаций по снижению проявления эрозионных процессов в агроландшафтах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агролесомелиорация / В.Г. Юферов, Л.Б. Щербакова, В.Д. Шульга [и др.]. – 5-е изд., перераб. и доп. – Волгоград : НИИ агролесомелиорации, 2006. – 746 с. – ISBN 5-900761-42-8. – Текст : непосредственный.
2. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия и агролесомелиорации в степной зоне Поволжья / В.Г. Попов, А.В. Панфилов, О.В. Карпова [и др.] . – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2023. – № 64. – С. 112-115.
3. Акперова, У.З. Эрозия почвы водой и меры борьбы с ней / У.З. Акперова. – Текст : непосредственный // Евразийский союз ученых. – 2020. – № 8-5(77). – С. 45-51. – DOI 10.31618/ESU.2413-9335.2020.5.77.986
4. Аленин, П.Г. Эффективность систем зяблевой обработки почвы в зернопропашном звене севооборота на выщелоченном черноземе Пензенской области : специальность 06.01.01 Общее земледелие, растениеводство : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Аленин Павел Григорьевич. – Кинель, 1997. – 20 с.
5. Барабанов, А.Т. Адаптивно-ландшафтное обустройство территории балочных водосборов в системе земледелия / А.Т. Барабанов. – Текст : непосредственный // Научно-агрономический журнал. – 2017. – № 1(100). – С. 3-6. – EDN YUAXAH.
6. Барабанов, А.Т. Концепция противоэрозионного обустройства территории и адаптивно-ландшафтного земледелия / А.Т. Барабанов. – Текст : непосредственный // Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации : материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 09-11 ноября 2020 года. – Москва: МАКС Пресс, 2020. – С. 195-198. – DOI 10.29003/m1707.978-5-317-06490-7/195-198.

7. Барабанов, А.Т. Принципы адаптивно-ландшафтного обустройства территории и разработки почвозащитных систем земледелия / А.Т. Барабанов. – Текст : непосредственный // География и природные ресурсы. – 2016. – № 2. – С. 19-26. – EDN VWVLRH.

8. Барабанов, А.Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие / А.Т. Барабанов. – Волгоград : Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2017. – 188 с. – ISBN 978-5-9909841-4-1. – Текст : непосредственный.

9. Бастраков, Г.В. Эрозионная устойчивость рельефа и противозерозионная защита земель / Г.В. Бастраков. – Брянск: Изд-во БГПУ, 1993. – 260 с. – ISBN 5-88543-008-X. – Текст : непосредственный.

10. Белюченко, И.С. Лесозащитные полосы как фактор улучшения агроландшафтов и повышения их локального биоразнообразия / И.С. Белюченко. – Текст : непосредственный // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2019. – Т. 15, № 3. – С. 42-54. – EDN NYGEBL.

11. Биологизация земледелия в основных земледельческих регионах России : учебное пособие для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений, обучающихся по агрономическим специальностям / В.А. Семькин, Н.И. Картамышев, А.В. Дедов [и др.]. – Москва : КолосС, 2012. – 471 с. – ISBN 978-5-9532-0717-1. – Текст : непосредственный.

12. Бондаренко, Ю.В. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований : учебное пособие для студентов высших с.-х. учебных заведений / Ю.В. Бондаренко. – изд. 2-е, доп. и испр. – Саратов : СГАУ, 2011. – 202 с. – ISBN 978-5-9999-0885-8. – Текст : непосредственный.

13. Бондаренко, Ю.В. Эколого-гидрологическая оценка регулирования местного стока в Саратовской области / Ю.В. Бондаренко, В.В. Афонин,

Ю.Н. Афонина. – Саратов : Наука, 2007. – 160 с. – ISBN 978-5-91272-357-5. – Текст : непосредственный.

14. Борисов, Б.А. Сравнительная оценка состояния органического вещества и физических свойств чернозема обыкновенного при традиционной и нулевой обработке / Б.А. Борисов, Д.О. Рогожин, О.Е. Ефимов. – Текст : непосредственный // Агрохимический вестник. – 2020. – № 3. – С. 7-10. – DOI 10.24411/1029-2551-2020-10030.

15. Брыжко, В.Г. Организация работ по борьбе с эрозией почв / В.Г. Брыжко, Т.В. Тарасов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы экономики, социологии и права. – 2019. – № 4-2. – С. 29-31. – EDN OHDWFB.

16. Васильев, С.А. Энергетический подход к оценке эрозионно-транспортирующей способности водного потока на склоновом агроландшафте (обзорная) / С.А. Васильев, И.И. Максимов, В.В. Алексеев. – Текст : непосредственный // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – № 3(19). – С. 79-93. – EDN UISMKVB.

17. Вильямс, В.Р. Собрание сочинений : в 12 томах / В.Р. Вильямс. – Москва: Сельхозгиз, 1949. – 12 т. – Текст : непосредственный.

18. Вишнякова, В.В. Воздействие лесных полос и валов на водный баланс и продуктивность пастбищ в степных ландшафтах Приволжской возвышенности : специальность 06.03.03 **Агролесомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населённых пунктов, лесные пожары и борьба с ними** : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Вишнякова Вера Владимировна, Всерос. науч.-исслед. ин-т агролесомелиорации. – Волгоград, 2015. – 19 с.

19. Власовец, В.Н. Роль противоэрозионных рубежей в формировании экологически устойчивых агроландшафтов Саратовского Правобережья : специальность 06.01.01 Общее земледелие, растениеводство : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Власовец, Владимир Николаевич. – Саратов, 2001. – 172 с.

20. Влияние лесной полосы и рельефа на процесс формирования плотности сложения почвы / И.Ф. Медведев, А.Ю. Верин, Д.И. Губарев, И.О. Молчанов. – Текст : непосредственный // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 10. – С. 22-26. – EDN ZUDZKB.
21. Вольнов, В.В. Роль конструкции полевых защитных лесных полос в оптимизации агроландшафтов Алтайского Приобья / В.В. Вольнов, А.В. Бойко. – Текст : непосредственный // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 2(194). – С. 5-13. – EDN JXVCMH.
22. Выращивание защитных лесных насаждений / Ф.Д. Добрынин, В.Р. Киричек, А.П. Овчинников, О.Ф. Паккац [и др.]. – Ульяновск : Приволжское книжное издательство, 1975. – 47 с. – Текст : непосредственный.
23. Высоцкий, Г.Н. Водоразделы и увлажнение степей / Г.Н. Высоцкий. – Москва: ВАСХНИЛ, 1937. – 20 с. – Текст : непосредственный.
24. Гаевая, Э. А. Баланс гумуса в севооборотах с короткой ротацией на эрозионно-опасных склонах / Э.А. Гаевая. – Текст : непосредственный // Живые и биокосные системы. – 2018. – № 24. – С. 2. – EDN WMATGV.
25. Ганжара, Н. Ф. Почвоведение : учебник / Н.Ф. Ганжара, Б.А. Борисов. – Москва : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. – 257 с. – ISBN 978-5-9675-1734-1. – Текст : непосредственный.
26. Гидромелиоративная роль агролесоландшафтного комплекса на склонах / С.А. Тарасов, А.А. Тарасов, И.В. Подлесных [и др.] . – Текст : непосредственный // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2024. – № 6 (402). – С. 708-712. – DOI 10.55186/25876740_2024_67_6_708.
27. Голубев, А.В. Определение издержек производства сельскохозяйственной продукции с учетом экологических последствий / А.В. Голубев. – Текст : непосредственный // Труды Независимого Аграрно-экономического общества России. – Москва: МСХА, 1997. – Вып. 1. – С. 352-356.

28. Дзюин, Г. П. Типизация агроландшафтов для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия в Удмуртской республике / Г.П. Дзюин, А.Г. Дзюин. – Текст : непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 6. – С. 38-40. – EDN QIPWIF.

29. Динамика плотности почвы чернозема южного при минимализации основной обработки / А.П. Солодовников, А.В. Летучий, Д.С. Степанов [и др.] . – Текст : непосредственный // Земледелие. – 2015. – № 1. – С. 5-7. – EDN TILINL.

30. Добрынин, Ф.Д. Противозэрозийный комплекс для Поволжья / Ф.Д. Добрынин. – Текст : непосредственный // Сельское хозяйство России. – 1978. – С. 38-40.

31. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2021 году. – Москва: Росинформагротех, 2022. – 356 с. – Текст : непосредственный.

32. Докучаев, В.В. Наши степи прежде и теперь. / В. В. Докучаев. – Москва: Сельхозиздат, 1952. – 152 с. – Текст : непосредственный.

33. Докучаев, В. В. Способы образования речных долин Европейской России / В.В. Докучаев. – Санкт-Петербург, 1878. – 223 с. – Текст : непосредственный.

34. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – Москва: Колос, 1979. – 4-е изд., перераб. и доп. – 416 с. – Текст : непосредственный.

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

36. Дрыгина, Н.Н. Пески наступают: из истории защитного лесонасаждения в Астраханской области / Н.Н. Дрыгина. – Текст : непосредственный // Новый исторический вестник. – 2018. – № 3(57). – С. 99-110. – DOI 10.24411/2072-9286-2018-00025.

37. Захаров, А. И. Организация и использование противозэрозийных комплексов как фактор преодоления негативного воздействия засухи / А.И.

Захаров. – Текст : непосредственный // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4(32). – С. 58-61. – DOI 10.18286/1816-4501-2015-4-58-61.

38. Захаров, В.В. Принципы дифференциации межполосного пространства на зоны / В.В. Захаров. – Текст : непосредственный // Особенности условий роста и агротехники возделывания сельскохозяйственных культур на полях, защищенных лесными полосами. Бюллетень ВНИИ Агролесомелиорации. – Волгоград, 1971. – Вып. 11 (65). – С. 3-6.

39. Защита почв от деградации в адаптивно-ландшафтном земледелии ростовской области / А.Е. Мищенко, Э.А. Гаевая, Н.Н. Кисс, С.А. Тарадин. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3(53). – С. 11-14. – EDN UBLIDL.

40. Звонарев, С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие / С.В. Звонарев. – Текст : непосредственный. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. – 2019. – 112 с.

41. Здоровцов, И.П. Влияние почвоводоохранного земледелия на эрозионно–гидрологические процессы и продуктивность агроландшафтов в ЦЧР / И.П. Здоровцов. – Текст : непосредственный // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 7. – С. 53-54. – EDN RPEMSD.

42. Использование адаптивно-ландшафтных систем земледелия в Ульяновской области / С.Н. Немцев, М.М. Сабитов, Р.В. Науметов, К.И. Карпович. – Текст : непосредственный // Земледелие. – 2009. – № 3. – С. 11-12. – EDN KXKNAN.

43. Использование дистанционных методов исследования при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия / В.И. Кирюшин, И.Ю. Савин, В.И. Савич [и др.]. – Москва : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2014. – 180 с. – ISBN 978-5-9675-0972-8. – Текст : непосредственный.

44. К вопросу применения адаптивно–ландшафтных земельно-информационных систем в условиях рискованного земледелия / Н.И. Добротворская, А.В. Дубровский, Е.С. Троценко, С.Ю. Капустянчик. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № S4. – С. 152-154. – EDN UJLBTJ.

45. Кабанов, П. Г. Погода и поле / П.Г. Кабанов. – Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1975. – 240 с. – Текст : непосредственный.

46. Карпович, К.И. Разработка научных основ адаптивно-ландшафтных систем земледелия / К.И. Карпович, В.М. Петров. – Текст : непосредственный // Оптимизация агроландшафтов и адаптивно-ландшафтных систем земледелия : научно-технический бюллетень. – Курск, 2002. – Вып. 1 (70). – С. 26-27.

47. Карпович, К.И. Базовые элементы адаптивно-ландшафтных систем земледелия в хозяйствах Ульяновской области / К.И. Карпович, М.М. Сабитов, Р.В. Науметов. – Текст : непосредственный // Двадцать девятое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов : доклады и краткие сообщения, Ульяновск, 14–16 октября 2014 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова, 2014. – С. 27-30. – EDN YTCJRD.

48. Карпович, К.И. Повышение эффективности растениеводства в адаптивно-ландшафтных системах земледелия черноземной лесостепи Среднего Поволжья / К.И. Карпович, А.И. Захаров. – Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2015. – 219 с. – ISBN 978-5-9795-1495-6. – Текст : непосредственный.

49. Карпович, К.И. Приемы основной обработки почвы и эффективность противоэрозионного комплекса в борьбе с водной эрозией почв в черноземной лесостепи Ульяновской области : специальность 06.01.01 Общее земледелие : диссертация на соискание ученой степени кандидата

сельскохозяйственных наук: / Константин Иосифович Карпович. – Саратов, 1977. – 174 с.

50. Карпович, К.И. Противоэрозионный комплекс на ландшафтной основе в техногенно нарушенных территориях / К.И. Карпович. – Текст : непосредственный // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2012. – № 1. – С. 114-118. – EDN OYJTUD.

51. Карпович, К.И. Противоэрозионный комплекс работает на урожай / К.И. Карпович, В.М. Петров. – Текст : непосредственный // Земледелие. – 1997. – №1. – С. 14-15.

52. Карпович, К.И. Способы формирования агроценозов озимой пшеницы в различных типах агроландшафта лесостепи Среднего Поволжья : руководство / К.И. Карпович, Р.В. Науметов. – Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2013. – 32 с. – ISBN 978-5-9795-1169-6. – Текст : непосредственный.

53. Карпович, К.И. Сравнительная эффективность хода роста древесных пород в лесных полосах Ульяновского НИИСХ / К.И. Карпович, М.В. Петров. – Текст : непосредственный // Агромир Поволжья. – 2018. – № 2(30). – С. 10-12. – EDN XWMKZN.

54. Карта агрогенной эродированности почв России / А.Л. Иванов, И.Ю. Савин, В.С. Столбовой [и др.] . – Текст : непосредственный // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 493, № 2. – С. 99-102. – DOI 10.31857/S2686739720080095.

55. Кирюшин, В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов / В.И. Кирюшин. – Москва : КолосС, 2011. – 442 с. – ISBN 978-5-9532-0779-9. – Текст : непосредственный.

56. Кожухов, Н.И. Некоторые аспекты формирования и устойчивого развития агролесных ландшафтов в условиях Воронежской области / Н.И. Кожухов, А.Н. Топчеев. – Текст : непосредственный // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9, № 4(36). – С. 25-32. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2019.4/3.

57. Козменко, А.С. Борьба с эрозией почв на сельскохозяйственных угодьях / А.С. Козменко. – Москва: Сельхозгиз. – 1963. – 207 с. – Текст : непосредственный.

58. Козменко, А.С. Основы противозрозионной мелиорации / А.С. Козменко. – Москва: Сельхозгиз, 1954. – С. 423. – Текст : непосредственный.

59. Комиссаров, М.А. Влияние нулевой, минимальной и классической обработок на эрозию и свойства почв в Нижней Австрии / М.А. Комиссаров, А. Клик. – Текст : непосредственный // Почвоведение. – 2020. – № 4. – С. 473-482. – DOI 10.31857/S0032180X20040073.

60. Концептуальные основы адаптивно-ландшафтного агролесомелиоративного обустройства земель в Поволжье / А.И. Шабает, П.Н. Проездов, Д.А. Маштаков [и др.] // Нива Поволжья. – 2011. – № 3 (20). – С. 49-55. – EDN OCBGKV.

61. Кузник, И.А. Агролесомелиоративные мероприятия, весенний сток и эрозия почв / И. А. Кузник. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1962. – 220 с. – Текст : непосредственный.

62. Кузник, И.А. Водная эрозия почв и воздействие на нее элементов противозрозионного комплекса на Приволжской возвышенности / И.А. Кузник. – Текст : непосредственный // Труды Саратовского СХИ. – Саратов, 1970. – Т. 25. – С. 24-40.

63. Кузник, И.А. Воздействие агрономических, лесохозяйственных и мелиоративных мероприятий на гидрологический режим Нижнего Поволжья: научный доклад на соискание ученой степени доктора географических работ по совокупности опубликованных работ / И.А. Кузник, – Саратов, 1963. – 102 с.

64. Кузник, И.А. Опыт изучения стока и эрозии на Приволжской возвышенности / И.А. Кузник, А.В. Лысов. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Серия географическая. – Москва: Изд. АН СССР, 1974. – № 6. – С. 84-91.

65. Кузник, И.А. Противоэрозионная защита почв Приволжской возвышенности / И.А. Кузник, А.В. Лысов. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов Саратовского СХИ. – Саратов, 1977. – С. 95-106.
66. Кузник, И.А. Противоэрозионный комплекс в Поволжье / И.А. Кузник, Н.Г. Воронин, Э. П. Дик. – Саратов: Приволжск. кн изд., 1968. – 91 с. – Текст : непосредственный.
67. Кулик, К.Н. Агролесомелиоративное картографирование Северо-Западного Прикаспия : специальность 06.03.04 Агролесомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населённых пунктов: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Кулик Константин Николаевич, ВНИИ агролесомелиорации. – Волгоград, 1996. – 48 с.
68. Кулик, К.Н. Защитное лесоразведение в РФ: проблемы и стратегия развития до 2020 г / К. Н. Кулик. – Текст : непосредственный // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2009. – № 1. – С. 10-16. – EDN LLJNOL.
69. Кулик, К.Н. Принципы и приемы адаптивно–ландшафтной системы земледелия / К.Н. Кулик, А.Т. Барабанов, Е.С. Павловский. – Текст : непосредственный // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2012. – № 1(10). – С. 14-19. – EDN PAVGST.
70. Кулик, К.Н. Современное состояние защитных лесонасаждений в Российской Федерации и их роль в смягчении последствий засух и опустынивания земель / К.Н. Кулик. – Текст : непосредственный // Научно-агрономический журнал. – 2022. – № 3(118). – С. 8-13. – DOI 10.34736/FNC.2022.118.3.001.08-13.
71. Лукин, С.В. Мониторинг содержания органического вещества в почвах ЦЧО / С.В. Лукин, Е.А. Заздравных, Е.А. Празина. – Текст : непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 3. – С. 15-18. – DOI 10.24411/0235-2451-2019-10303.

72. Лыков, А.М. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья / А.М. Лыков, А.М. Еськов, М.Н. Новиков. – Москва: Россельхозакадемия, 2004. – 630 с. – ISBN 5-85941-086-7. – Текст : непосредственный.

73. Лыков, А.М. От плодородия почвы к плодородию биогеоценозов / А.М. Лыков. – Текст : непосредственный // Экологические основы повышения устойчивости и продуктивности агроландшафтных систем. – Орел: Орловский ГАУ, 2001. – С. 23-32.

74. Максютлов, Н.А. Влияние основных факторов на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях засухи / Н.А. Максютлов, А.А. Зоров. – Текст : непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 5(61). – С. 8-10. – EDN WYMXTT.

75. Малышева, Е.В. Агротехнические способы защиты почв от водной эрозии при возделывании кукурузы в смешанных посевах / Е.В. Малышева. – Текст : непосредственный // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 9. – С. 33-39. – EDN EUSMOG.

76. Мамиев, Д.М. Влияние культур почвозащитного севооборота на плодородие и эрозионные процессы / Д.М. Мамиев, А.А. Абаев, А.А. Тедеева. – Текст : непосредственный // Научная жизнь. – 2018. – № 11. – С. 60-66. – EDN YWXCSD.

77. Мамиев, Д.М. Совершенствование структуры севооборотов в адаптивно-ландшафтном земледелии для горной зоны РСО-Алания / Д.М. Мамиев, А.А. Абаев. – Текст : непосредственный // Вестник АПК Ставрополья. – 2016. – № 2(22). – С. 214-218. – EDN WIQLZR.

78. Методика оптимизации севооборотов и структуры использования пашни / Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. НИИ земледелия и защиты почв от эрозии: [Черкасов Г.Н. и др.]. – М.: Россельхозакадемия, 2004. – 76 с. – ISBN 5-94873-024-7. – Текст : непосредственный.

79. Методика проектирования базовых элементов адаптивно-ландшафтной системы земледелия. – М.: Россельхозакадемия, 2010. – 85 с. – Текст : непосредственный.

80. Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почв при изучении водной эрозии. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1975. – 88 с. – Текст : непосредственный.

81. Методические указания по проведению комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. – Москва, 1994. – 97 с. – Текст : непосредственный.

82. Микрозональные особенности профильного и пространственного распределения содержания гумуса в почвах склона / Л.Г. Смирнова, Ю.Г. Чендев, Л.Л. Новых [и др.] . – Текст : непосредственный // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 15 (110). – С. 160-167. – EDN ORQQXX.

83. Михин, В.И. Особенности формирования защитных насаждений из березы повислой в центральной лесостепи России / В.И. Михин, Е.А. Михина. – Текст : непосредственный // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9, № 4 (36). – С. 41-49. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2019.4/5.

84. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж. – Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета, 2006. – 396 с. – ISBN 5-288-03836-8. – Текст : непосредственный.

85. Науметов, Р.В. Агроэкологические и экономические аспекты возделывания сидеральных культур в лесостепной зоне Среднего Поволжья : специальность 06.01.01 Общее земледелие : диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Науметов Раис Вакифович. – Кинель, 1997. – 149 с.

86. Науметов, Р.В. Эффективность приемов интенсификации земледелия в условиях противозерозионного комплекса «Новоникулинское» / Р.В. Науметов. – Ульяновск : Ульяновский государственный технический

университет, 2021. – 116 с. – ISBN 5-9795-2140-4. – Текст : непосредственный.

87. Науметов, Р.В. Эффективность элементов противозерозионного комплекса "Новоникулинское" / Р.В. Науметов, М.В. Петров. – Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2020. – 119 с. – ISBN 978-5-9795-2063-6. – Текст : непосредственный.

88. Научные основы предотвращения деградации почв (Земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. Том 1. – Москва : Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2013. – 756 с. – ISBN 978-5-8125-1894-3. – Текст : непосредственный.

89. Научные основы разработки почвозащитных мероприятий в адаптивно-ландшафтной системе земледелия / А.Т. Барабанов, Т.Н. Дронова, Е.С. Павловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 1(25). – С. 7-10. – EDN OWIDNT.

90. Недикова, Е.В. Моделирование устойчивого агроландшафта / Е.В. Недикова, К.Д. Недиков. – Текст : непосредственный // Экономика и экология территориальных образований. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 89-97. – DOI 10.23947/2413-1474-2019-3-3-89-97.

91. Немцев, Н.С. Научно-практические основы совершенствования севооборотов в лесостепи Поволжья / Н.С. Немцев, В. А. Потушанский, А.И. Захаров. – Ульяновск : Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Россельхозакадемии, 2000. – 152 с. – Текст : непосредственный.

92. Немцев, Н.С. Почвозащитное земледелие в лесостепном Поволжье / Н.С. Немцев. – Ульяновск, 1996. – 160 с. – Текст : непосредственный.

93. Немцев, С.Н. Агроклиматические ресурсы, их изменение и экологические ограничения вегетационного периода Ульяновской области /

С.Н. Немцев, Р.Б. Шарипова. – Текст : непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 3. – С. 10-14. – DOI 10.24411/0235-2451-2021-10302.

94. Немцев, С.Н. Агроэкологические аспекты почвозащитных технологий на склоновых агроландшафтах Ульяновской области / С.Н. Немцев. – Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2020. – 138 с. – ISBN 978-5-9795-2066-7. – Текст : непосредственный.

95. Немцев, С.Н. Агроэкологические основы почвозащитных систем земледелия в лесостепи Среднего Поволжья / С.Н. Немцев. – Ульяновск : ФГБОУ «Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», 2005. – 240 с. – ISBN 5-7572-0142-8. – Текст : непосредственный.

96. Обоснование проведения агролесомелиоративных мероприятий по защите земель от водной и ветровой эрозии в условиях центральной части России / Е.В. Недикова, К.Ю. Зотова, Е.В. Куликова, К.Д. Недиков. – Текст : непосредственный // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2024. – Т. 17, № 1(80). – С. 75-83. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2024_1_75.

97. Опасность развития эрозии почв Кыргызстана и перспективы их предотвращения / Н.А. Карабаев, С.А. Мамытканов, Т.Ж. Ызаканов, А.Н. Карабаев. – Текст : непосредственный // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. – 2022. – № 4(63). – С. 92-98. – EDN SQRVVZ.

98. Особенности формирования поверхностного стока талых вод на чернозёмах обыкновенных / И.Н. Ильинская, Е.В. Полуэктов, Э.А. Гаевая [и др.] . – Текст : непосредственный // Земледелие. – 2023. – № 6. – С. 13-18. – DOI 10.24412/0044-3913-2023-6-13-18.

99. Оценка энергетической эффективности адаптивно-ландшафтной системы земледелия в ЦЧР / И.С. Кочетов, С.В. Лукин, Ф.Н. Лисецкий, Л.В.

Марциневская. – Текст : непосредственный // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2000. – № 6. – С. 21-23. – EDN YUSDYG.

100. Переведенцев, Ю.П. Изменение основных климатических показателей на территории Ульяновской области / Ю.П. Переведенцев, Р.Б. Шарипова. – Текст : непосредственный // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. – 2012. – № 1. – С. 136-144. – EDN PAGNQT.

101. Петелько, А.И. Влияние водной эрозии на агрохимические и физические свойства почв / А.И. Петелько. – Текст : непосредственный // Агрохимический вестник. – 2007. – № 5. – С. 5-7. – EDN MUKEIF.

102. Петелько, А.И. Влияние глубины промерзания почвы на весенний сток талых вод / А.И. Петелько, А.Т. Барабанов, А.В. Кулик. – Текст : непосредственный // Природообустройство. – 2017. – № 5. – С. 90-94. – EDN ZUQPIR.

103. Петелько, А.И. Комплексное влияние контурных стокорегулирующих лесных полос, обработки почвы, почвозащитных севооборотов, гидротехнических сооружений на эрозионно-гидрологические процессы / А.И. Петелько. – Текст : непосредственный // Двадцать шестое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов : доклады и краткие сообщения, Арзамас, 26 сентября 2011 года. – Арзамас: Арзамасский государственный педагогический университет им. А.П. Гайдара, 2011. – С. 180-182. – EDN ZTVIRJ.

104. Петров, В.М. Эффективность элементов противоэрозионного комплекса в ландшафтной системе земледелия Ульяновской области : специальность 06.01.01 Общее земледелие : диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Петров Вячеслав Михайлович. – Саратов, 1998. – 131 с.

105. Петрова, Л.Н. Влияние технологий возделывания сельскохозяйственных культур на содержание продуктивной влаги и плотность почвы в севообороте / Л.Н. Петрова, В.К. Дридигер, Е.А. Кацаев.

– Текст : непосредственный // Земледелие. – 2015. – № 5. – С. 16-18. – EDN UGTHRP.

106. Поташкина, Ю.Н. Влияние полезащитных лесных насаждений на микроклимат агроландшафта в сухостепной зоне каштановых почв / Ю.Н. Поташкина, Е.А. Иванцова. – Текст : непосредственный // Природные системы и ресурсы. – 2023. – Т. 13, № 2. – С. 5-14. – DOI 10.15688/nsr.jvolsu.2023.2.1.

107. Празина, Е.А. Влияние экспозиции склонов и степени смывости на плодородие черноземов лесостепной зоны / Е.А. Празина. – Текст : непосредственный // Агрохимический вестник. – 2018. – № 3. – С. 44-47. – DOI 10.24411/0235-2516-2018-10011.

108. Причины и последствия эрозии почвенного покрова в различных климатических зонах России / Д.А. Матюхин, О.П. Крутских, И.Д. Проняев [и др.]. – Текст : непосредственный // Аграрная история. – 2024. – № 18. – С. 49-58. – DOI 10.5281/zenodo.11655506.

109. Проездов, П.Н. Влияние лесных и гидротехнических мелиораций на влагозапасы в зоне аэраций степных ландшафтов Приволжской возвышенности / П.Н. Проездов, Д.А. Маштаков, Е.Г. Давыдова. – Текст : непосредственный // Агролесомелиорация в системе адаптивно-ландшафтного земледелия: поиск новой модели (к 90-летию академика РАСХН Е.С. Павловского) : материалы Международной научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых, Волгоград, 25-28 ноября 2013 года. – Волгоград, 2013. – С. 190-194. – EDN XFYOIZ.

110. Проездов, П.Н. Закономерности воздействия щелевания и лесных полос на инфильтрацию и эрозию чернозема южного в степи Приволжской возвышенности / П.Н. Проездов, Д.А. Маштаков, О.Г. Удалова. – Текст : непосредственный // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2014. – № 5. – С. 17-20. – EDN SDJEUF.

111. Проездов, П.Н. Теоретическое и экспериментальное обоснование комплекса противоэрозионных мелиораций в Нижнем Поволжье :

специальность 06.01.02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель, 06.03.04 **Агролесомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населённых пунктов** : диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Проездов Петр Николаевич. – Саратов, 1999. – 324 с.

112. Проездов, П.Н. Эрозия почв под влиянием щелевания и лесных полос в степи Приволжской возвышенности / П.Н. Проездов, О.Г. Удалова. – Текст : непосредственный // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. – 2013. – № 3. – С. 97-102. – EDN RIYDPH.

113. Противозрозионная и экономическая эффективность лесных полос и щелевания на пастбищах в степи Приволжской возвышенности / П.Н. Проездов, Д.А. Маштаков, А.В. Розанов, О.Г. Удалова. – Текст : непосредственный // Нива Поволжья. – 2014. – № 3(32). – С. 36-43. – EDN SNJJFP.

114. Противозрозионный комплекс на ландшафтной основе в борьбе с засухой и эрозией почв в условиях глобальной неустойчивости климата и интенсификации сельского хозяйства Среднего Поволжья : посвящается 50-летию противозрозионного комплекса, созданного Ульяновским НИИСХ в ОПХ «Новоникулинское» Цильнинского района Ульяновской области / С.Н. Немцев, К.И. Карпович, С.Н. Никитин [и др.]. – Ульяновск : Венец, 2018. – 157 с. – Текст : непосредственный.

115. Процессы трансформации органического вещества в почвах и его качественный состав / В.И. Кирюшин, Н.Ф. Ганжара, И.С. Кауричев, Д.С. Орлов, А.А. Титлянова, А.Д. Фокин. – Текст : непосредственный // Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. – Москва : Изд-во МСХА, 1993. – С. 18-26.

116. Прямой посев полевых культур / Г.Р. Дорожко, О.И. Власова, В.М. Передериева [и др.]. – Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2019. – 116 с. – Текст : непосредственный.

117. Прянишников, А.И. Научные основы адаптивного растениеводства Поволжья / А.И. Прянишников, И.В. Савченко, А.И. Шабает. – Текст : непосредственный // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2016. – № 2(18). – С. 60-66. – EDN WDCRQT.

118. Рабочев, Г.И. Методические указания к определению эколого-экономической эффективности и энергетической оценки агрономических мероприятий / Г.И. Рабочев, А.Л. Рабочев, В.Г. Кутилкин. – Кинель. – 2005. – 136 с. – Текст: непосредственный

119. Роде, А.А. Система методов исследования в почвоведении / А.А. Роде. – Новосибирск, 1971. – 91 с. – Текст : непосредственный.

120. Савельева, Д.А. Внутрисезонный мониторинг водной эрозии почв пашни в подтайге Западной Сибири / Д.А. Савельева, В.К. Каличкин. – Текст : непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 5. – С. 15-21. – DOI 10.24411/0235-2451-2021-10502.

121. Сатаров, Г.А. Почвозащитный комплекс в ландшафтном земледелии. / Г.А. Сатаров, К.И. Карпович. – Ульяновск, 1994. – 12 с. – Текст : непосредственный.

122. Сафонов, С.Н. Инновации в системе адаптивно-ландшафтного земледелия / С.Н. Сафонов. – Текст : непосредственный // Экономика сельского хозяйства России. – 2009. – № 10. – С. 77-82. – EDN KZCBZB.

123. Свинцов, И.П. О реализации проекта «Разработка национальных программ действий по борьбе с опустыниванием...» для 14 субъектов Российской Федерации / И.П. Свинцов. – Текст : непосредственный // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2025. – № 3. – С. 55-57. – DOI 10.31857/S2500208225030116.

124. Сдобников, С.С. Агротехнические приемы борьбы с засухой и ветровой эрозией в районах освоения целинных и залежных земель / С.С. Сдобников. – Москва, 1958. – 16 с. – Текст : непосредственный.

125. Сильвестров, С.И. Эрозия и севообороты / С.И. Сильвестров. – Москва: Сельхозгиз, 1949. – 142 с. – Текст : непосредственный.

126. Система земледелия и ее экономическая эффективность / А.Е. Шамин, А.Ю. Лисина, В.П. Заикин, А.В. Мартынячев. – Текст : непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 5(72). – С. 54-60. – EDN YORHVV.

127. Смирнов, П.А. Исследования почвенной влаги и обеспечение стабильной урожайности сельскохозяйственных культур на склоновых землях КФХ / П.А. Смирнов. – Текст : непосредственный // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. – 2014. – № 8. – С. 45-50. – EDN TANRWX.

128. Соболев, С.С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними / С.С. Соболев. – Москва: Академия наук СССР, 1948–1960. – 2 Т.

129. Солдат, И.Е. Снижение негативного влияния эрозии почв в Белгородской области внедрением адаптивно-ландшафтной системы земледелия / И.Е. Солдат. – Текст : непосредственный // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2020. – Т. 15, № 2. – С. 182-190. – DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-2-182-190.

130. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2020 года / А.Л. Иванов, И.П. Свинцов, А.Т. Барабанов [и др.]. – Волгоград : Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации, 2008. – 33 с. – ISBN 5-900761-51-7. – Текст : непосредственный.

131. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года / К.Н. Кулик, А.Л. Иванов, А.С. Рулев [и др.]. – 2-е изд., доп. и перераб. – Волгоград : ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. – 36 с. – ISBN 5-900761-51-7. – Текст : непосредственный.

132. Сурмач, Г.П. Водная эрозия и борьба с ней. / Г.П. Сурмач. – Москва: Гидрометеиздат, 1976. – 254 с. – Текст : непосредственный.

133. Сурмач, Г.П. Водорегулирующая и противозерозийная роль насаждений / Г.П. Сурмач. – Москва: Лесная промышленность, 1971. – 11 с. – Текст : непосредственный.

134. Сурмач, Г.П. Методика изучения водорегулирующей и противозерозийной эффективности лесных полос и агротехнических приемов / Г.П. Сурмач. – Волгоград, 1967. – 35 с. – Текст : непосредственный.

135. Сурмач, Г.П. Прогнозирование стока талых вод / Г.П. Сурмач, М.М. Ломакин, Л.П. Шестакова. – Текст : непосредственный // Земледелие. – 1989. – №4. – С. 29-31.

136. Сурмач, Г.П. Теоретические основы контурного размещения лесных полос на территории / Г.П. Сурмач. – Текст : непосредственный // Проблемы и резервы контурного земледелия. – Москва: Колос, 1982. – С. 36- 47.

137. Сус, Н.И. Эрозия почв и борьба с нею / Н.И. Сус. – Москва: Сельхозгиз, 1949. – 350 с. – Текст : непосредственный.

138. Сытин, Г.О. Влияние полевых лесных полос на продуктивность и качество зерна озимой пшеницы в зоне каштановых почв Волгоградской области / Г.О. Сытин, А.М. Беляков. – Текст : непосредственный // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2023. – № 2 (70). – С. 323-329. – DOI 10.32786/2071-9485-2023-02-37.

139. Танюкевич, В.В. Мелиоративная роль и продуктивность полевых лесных полос Среднего Дона : монография / В.В. Танюкевич, А.В. Журавлева. – Новочеркасск : Лик, 2017. – 118 с. – ISBN 978-5-906993-04-5. – Текст : непосредственный.

140. Тарадин, С.А. Определение экономического ущерба от эрозии почв при возделывании ярового ячменя на склоновых землях / С.А. Тарадин, Е.Н. Нежинская. – Текст : непосредственный // Аллея науки. – 2018. – Т. 3, № 8(24). – С. 21-25. – EDN YLZDNZ.

141. Тойгильдин, А.Л. Потенциал почвозащитного и ресурсосберегающего (углеродсберегающего) земледелия в среднем Поволжье / А.Л. Тойгильдин, С.А. Никифорова. – Текст : непосредственный // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2025. – № 3(405). – С. 274-277. – DOI 10.55186/25876740_2025_68_3_274.

142. Трофимов, С.Я. Минерализация лабильных фрагментов органического вещества гумусово-аккумулятивного горизонта дерново-подзолистой почвы / С.Я. Трофимов, А.С. Лазарев, А.Д. Фокин. – Текст : непосредственный // Почвоведение. – 2012. – № 12. – С. 1259. – EDN PEUGUT.

143. Троц, В.Б. Агроэкологическое влияние полезащитных лесных полос / В.Б. Троц. – Текст : непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4(60). – С. 189-192. – EDN WJUNMN.

144. Троц, В.Б. Влияние полезащитных лесных полос на состояние и продуктивность агроландшафта / В.Б. Троц. – Текст : непосредственный // Аграрная Россия. – 2017. – № 11. – С. 19-22. – EDN ZUCFQV.

145. Турусов, В.И. Агротехнологические основы оптимизации почвенной среды в адаптивно-ландшафтных системах земледелия ЦЧЗ / В.И. Турусов, Ю.И. Чевердин, В.М. Гармашов. – Текст : непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 6(80). – С. 26-31. – EDN RCXMSZ.

146. Турусов, В.И. Пути сохранения плодородия почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия с использованием многолетних трав / В.И. Турусов, Н.В. Дронова. – Текст : непосредственный // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : сборник научных трудов. – Москва : Угрешская типография, 2020. – Т. 23. – С. 120-124. – DOI 10.33814/МАК-2020-23-71-120-124.

147. Турусов, В.И. Эффективность минеральных удобрений при различных способах обработки почвы / В.И. Турусов, В.М. Гармашов. –

Текст : непосредственный // Агрохимия. – 2020. – № 12. – С. 19-27. – DOI 10.31857/S0002188120120121.

148. Узолин, А.И. Эффективность защитных лесных полос в формировании и перераспределении снежного покрова на водосборах / А.И. Узолин, А.В. Кулик. – Текст : непосредственный // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 2(50). – С. 100-106. – EDN VOQRYC.

149. Устровев, А.А. Посев сидеральных культур как прием разуплотнения почв в условиях пастбищной эрозии / А.А. Устровев, Е.А. Мурзаев. – Текст : непосредственный // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2020. – № 2 (103). – С. 57-64. – DOI 10.24411/0131-5226-2020-10241.

150. Хабиров, И.К. Эрозия почв и ферментативная активность / И.К. Хабиров, Р.Р. Сайфуллин. – Текст : непосредственный // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 1-1(115). – С. 150-152. – DOI 10.23670/IRJ.2022.115.1.030.

151. Хворова, Л.А. Построение моделей агроэкосистем и их адаптация к конкретным условиям / Л.А. Хворова, А.Г. Топаж. – Текст : непосредственный // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2011. – № 1 (115). – С. 99-105. – EDN NREQRR.

152. Чекмарев, П.А. Воспроизводство плодородия – залог стабильного развития агропромышленного комплекса России / П.А. Чекмарев. – Текст : непосредственный // Плодородие. – 2018. – № 1(100). – С. 4-7. – EDN YPKXUP.

153. Черкасов, Г.Н. Методическое руководство по агроэкологической оценке земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. / Г.Н. Черкасов. – Курск, 2005. – 34 с. – Текст : непосредственный.

154. Чуданов, И.А. Плодородие почв – основа стабилизации сельскохозяйственного производства / И.А. Чуданов. – Текст : непосредственный // Проблемы земледелия Среднего Поволжья : сборник статей. – Самара : Солдат Отечества, 1997. – С. 13-18. – EDN XHNONT.

155. Шабаев, А.И. Адаптивно-экологические системы земледелия в агроландшафтах Поволжья / А.И. Шабаев. – Саратов : Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2003. – 320 с. – ISBN 5-7011-0326-9. – Текст : непосредственный.

156. Шабаев, А.И. Конструирование агроландшафтов и агроэкологический регламент адаптивных систем земледелия в Поволжье / А.И. Шабаев, Н.М. Жолинский, М.С. Цветков. – Текст : непосредственный // Земледелие. – 2014. – № 2. – С. 7-10. – EDN SBHAWV.

157. Шабаев, А.И. Противозэрозийный комплекс в Поволжье / А.И. Шабаев. – Текст : непосредственный // Земледелие. – 1984. – № 1. – С. 19-22. – EDN VMPKKL.

158. Шабаев, А.И. Типизация агроландшафтов при разработке адаптивно-ландшафтного земледелия в условиях Поволжья / А.И. Шабаев, И.Ф. Медведев. – Текст : непосредственный // Итоги и перспективы исследований в области селекции, семеноводства и ландшафтно-экологического земледелия : тезисы докладов научно-практической конференции, посвященной 85-летию НИИСХ Юго-Востока и 100-летию со дня рождения известного селекционера В.Н. Мамонтовой, Саратов, 27-28 июня 1995 года. – Саратов, 1995. – С. 88-90. – EDN VKYWBL.

159. Шабаев, А.И. Эрозия почв и совершенствование научных основ почвозащитного земледелия в Поволжье : специальность 06.01.01 Общее земледелие : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Шабаев, Анатолий Иванович. – Кишинев, 1988. – 46 с.

160. Шарипова, Р.Б. Оценка динамики запасов продуктивной влаги в почвах на полях Ульяновской области в региональных условиях изменения

климата / Р.Б. Шарипова. – Текст : непосредственный // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 1(65). – С. 54-61. – DOI 10.18286/1816-4501-2024-1-54-61.

161. Шаталина, Л.П. Формирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия с учетом биоклиматического потенциала земель сельскохозяйственного назначения / Л.П. Шаталина. – Текст : непосредственный // АПК России. – 2019. – Т. 26, № 3. – С. 363-368. – EDN YYVNRZ.

162. Шеуджен, А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп : Адыгея, 2003. – 1028 с. – ISBN 5799202457. – Текст : непосредственный.

163. Юлдашева, К.А. Опыт борьбы с заилением водохранилищ / К.А. Юлдашев. – Ташкент. – 2011. – 73 с. – Текст : непосредственный.

164. Юферов, В.Г. Роль лесных насаждений в обеспечении устойчивости Волжского бассейна / В.Г. Юферов, Н.А. Ткаченко, О.Ю. Кошелева. – Текст : непосредственный // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 3(59). – С. 248-257. – DOI 10.32786/2071-9485-2020-03-26.

165. Baude, M. Land use change in an agricultural landscape causing degradation of soil based ecosystem services / M. Baude, B.C. Meyer, M.Schindewolf // Science of the Total Environment. – 2019. – Vol. 659. – P. 1526-1536. – DOI:[10.1016/j.scitotenv.2018.12.455](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.455).

166. Belanger, L. Agriculture intensification and forests fragmentation in the St. Lawrence valley, Quebec, Canada / L. Belanger, M. Grenier // Landscape Ecology. – 2002. – Vol. 17. – P. 495-507. – DOI:[10.1023/A:1021443929548](https://doi.org/10.1023/A:1021443929548).

167. Ecological linkages between aboveground and belowground biota / D.A. Wardle, R.D. Bardgett, J.N. Klironomos, H. Setälä, W.H. van der Putten, D.H. Wall // Science. – 2004. – Vol. 304. – P. 1629-1633. – DOI:[10.1126/science.1094875](https://doi.org/10.1126/science.1094875).

168. Evaluation of soil structure in the framework of an overall soil quality rating / L. Mueller, G. Shepherd, U. Schindler, B.C. Ball [et al] // Soil and Tillage Research. – 2013. – V. 127. – P. 74-84. – DOI:[10.1016/j.still.2012.03.002](https://doi.org/10.1016/j.still.2012.03.002).

169. Hiltbrunner, D. Beweidung verändert die Bodeneigenschaften und die Treibhausgasflüsse in einer voralpinen Weide der Schweiz / D.Hiltbrunner, P.A.Niklaus, M.W.I.Schmidt, F.Hagedorn, S.Zimmermann // Bodenkundliche Gess. der Schweiz. Zollikofen, – 2013. – Vol. 33. – P. 31-35.

170. Hristov, B. Genesis and characteristics of regosols and calcisols in the hills of South Danubian plain / B. Hristov // Silva Balcanica. Bulgarian acad of science. Sofia. – 2014. – № 15 (2). – P. 50-57.

171. Klik, A. Einfluss unterschiedlicher bodenbearbeitung auf oberflächenabfluss, bodenabtrag sowie auf nährstoff- und pestizidaustrage / A. Klik // Österreichische Wasserund Abfallwirtschaft. – 2003. – V. 55. – P. 89–96.

172. Kulik, K.N. Experience in implementing major national projects to combat degradation and desertification in Russia / K.N. Kulik, M.V. Vlasenko // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. – 2024. – Vol. 9. – P. 100583. – DOI:[10.1016/j.cscee.2023.100583](https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100583).

173. Lal, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security / R. Lal // Science. – 2004. – Vol. 304. – P. 1623-1627. – DOI:[10.1126/science.1097396](https://doi.org/10.1126/science.1097396).

174. Magnitude and occurrence probability of soil loss: a risk analytical approach for the plot scale for two sites in Lower Austria / S. Strohmeier, G. Laaha, H. Holzmann, A. Klik // Land Degradation Development. – 2016. – V. 27. – P. 43-51. – DOI:[10.1002/ldr.2354](https://doi.org/10.1002/ldr.2354).

175. Mitova, M. Sensitivity Analysis of Predicted Soil Loss from Erosion to Its Determining Factors / M.Mitova, S.Rousseva // Почвознан. Агрохим. Екол. – 2014. – Vol. 48. – № 1. – P. 26-30. – DOI:[10.1088/1755-1315/937/3/032070](https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/3/032070).

176. Pimentel, D. The limitations of biomass energy / D. Pimentel // Encyclopedia of Physical Science and Technology. – San Diego: Academic Press. 2001. – P. 159-171.

177. Pimentel, D. Water resources: agricultural and environmental issues / D. Pimentel, B. Berger, D. Filiberto, M. Newton, B. Wolfe, B. Karabinakis, S. Clarke, E. Poon, E. Abbet, S. Nandagopal // Bioscience. – 2004. – Vol. 54 (10). – P. 909-918. – DOI:[10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0909:WRAAEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0909:WRAAEI]2.0.CO;2).
178. Prasuhn, V. Erfahrungen, Erfolge und Probleme mit Bodenerosionsrichtwerten auf Ackerflächen / V. Prasuhn // Bodenkundliche Gess. der Schweiz. Zollikofen. – 2015. – Vol. 36. – P. 11-18.
179. Proezdov, P.N. Adaptive landscape modernization of forest and hydraulic ameliorative land management in the Volga Region. / P.N. Proezdov, A.I. Shabayev, D.A. Mashtakov. // Russian Agricultural Sciences. – 2012. – Vol. 38, №. 4. – P. 301-306. – DOI:[10.3103/S1068367412040179](https://doi.org/10.3103/S1068367412040179).
180. Simulation of ecophysiological processes of growth of several annual crops / F.W.T. Penning de Vries, D.M. Jensen, H.F.M. ten Berge, A.H. Baketa. – Wageningen, 1989. – 308 p.
181. Skuodienė, R. Soil Seed Bank in a Pre-Erosion Cereal-Grass Crop Rotation / R. Skuodienė, V. Matyžiūtė // Plants. – 2022. – Vol. 11, No. 19. – P. 2636. – DOI:[10.3390/plants11192636](https://doi.org/10.3390/plants11192636).
182. Soil Fertility: Factors Affecting Soil Fertility, and Biodiversity Responsible for Soil Fertility / A. Javed, E. Ali, Kh. Binte Afzal [et al.] // International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences. – 2022. – Vol. 12, №. 01. – DOI:[10.26502/ijpaes.202129](https://doi.org/10.26502/ijpaes.202129).
183. Soil quality and its relationship to pedology / M.L. Norfleet, C.A. Ditzler, W.E. Puckett, R.B. Grossman [et al.] // Soil Science. – 2003. – V. 168. – №. – P. 149-155. – DOI:[10.1097/01.ss.0000058887.60072.07](https://doi.org/10.1097/01.ss.0000058887.60072.07).
184. Switoniak, M. The Influence of Human-Induced Erosion on the Soil Organic Carbon Stock in Vineyards of Fordon Valley / M. Switoniak, M. Dabrowski, A. Lyszkiewicz // Pol. J. Soil Sc. – 2015. – Vol. 48. – № 2. – P. 197-211. – DOI:[10.17951/pjss/2015.48.2.197](https://doi.org/10.17951/pjss/2015.48.2.197).
185. Williams, J.R. The EPIC Model / J.R. Williams. – Temple, 1984.

186. Winston, D. Adaptogens: herbs for strength, stamina, and stress relief / D. Winston. S. Maimes. – London: Healing Art Press. 2007. – 120 p.

187. Wischmeier, W.H. Evaluation of factors in the soil-loss equation / W.H. Wischmeier, D.D. Smith, R.E. Uhland. – Amer. Ass. agric. engs., 1958. – 39. No 8. – P. 458-462.

188. Yahner, R. H. Eastern Deciduous Forest: Ecology and Wildlife Conservation / R. H. Yahner. – Minneapolis: University of Minnesota Press, 2000. – 279 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Значение температуры воздуха и количества осадков в 2020/2021 с.-х. году
в сравнении с многолетними данными

Месяц	Температура (С°)								Осадки (мм)							
	1 декада		2 декада		3 декада		месяц		1 декада		2 декада		3 декада		месяц	
	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма
2020 г.																
сентябрь	17,7	14,4	13,4	11,7	12,1	8,9	14,3	11,7	3,8	14	9,9	21	0,5	20	14,2	55
октябрь	10,3	6,3	9,7	4,6	11,0	1,5	7,5	4,1	0,0	15	6,0	11	19,8	13	25,8	39
ноябрь	3,4	-2,0	-5,0	-3,5	-3,1	-5,6	-1,6	-3,7	3,0	16	4,7	9	18,5	9	26,2	34
декабрь	-13,9	-7,1	-11,2	-8,0	-8,8	-10,1	-11,3	-8,4	0,0	7	1,5	11	25,9	9	27,4	27
2021 г.																
январь	-6,8	-10,4	-19,0	-11,1	-5,3	-10,8	-10,2	-10,8	28,8	8	39,5	10	8,3	9	76,6	27
февраль	-10,1	-12,4	-15,5	-11,3	-18,5	-8,9	-14,4	-10,9	27,3	6	12,2	7	24,0	6	63,7	19
март	-6,8	-7,6	-6,1	-5,6	-0,7	-1,6	-4,4	-4,9	9,4	7	3,3	3	1,8	7	14,5	17
апрель	5,2	2,5	9,8	5,7	7,8	9,2	7,6	5,8	4,1	6	3,4	10	21,9	13	29,4	29
май	15,0	12,2	22,7	13,3	20,8	14,9	18,9	13,5	22,3	14	0,0	13	32,3	17	54,6	44
июнь	18,5	17,1	22,0	18,3	27,1	19,1	22,5	18,2	0,0	13	0,9	22	5,0	27	5,9	62
июль	21,8	19,1	23,7	19,7	20,7	19,8	22,0	19,5	32,6	20	17,0	17	17,8	21	66,8	58
август	23,7	19,0	25,3	16,6	19,8	15,7	22,8	17,1	0,5	19	4,8	20	10,4	20	15,7	59
сентябрь	129	14,4	11,5	11,7	9,0	8,9	11,1	11,7	11,3	14	0,0	21	45,6	20	56,9	55

Сумма осадков за апрель-август – 172,4 мм (норма 240). Гидротермический коэффициент-0,5 (норма 1,0).

Значение температуры воздуха и количества осадков в 2021/2022 с.-х. году
в сравнении с многолетними данными

Месяц	Температура (С°)								Осадки (мм)							
	1 декада		2 декада		3 декада		месяц		1 декада		2 декада		3 декада		месяц	
	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма
2021 г.																
сентябрь	12,9	14,4	11,4	11,7	9,0	8,9	11,1	11,7	11,3	18	-	18	45,6	17	56,9	53
октябрь	6,8	6,3	8,6	4,6	5,6	1,5	6,9	4,1	4,8	15	-	15	10,2	15	15,0	45
ноябрь	3,8	-2,0	-1,8	-3,5	-2,2	-5,6	0,0	-3,7	8,9	13	14,8	12	25,4	12	49,9	36
декабрь	-1,7	-7,1	-4,6	-8,0	-13,0	-10,1	-6,7	-8,4	3,9	12	15,9	12	13,9	12	33,7	36
2022 г.																
январь	-9,7	-10,4	-6,2	-11,1	-10,4	-10,8	-8,8	-10,8	30,8	11	40,1	11	28,9	12	99,8	34
февраль	-2,5	-12,4	-3,5	-11,3	0,20	-8,9	-2,0	-10,9	60,0	8	4,8	8	3,2	8	68,0	24
март	-6,4	-7,6	-8,9	-5,6	0,7	-1,6	-4,6	-4,9	1,8	9	5,9	9	11,8	9	19,5	27
апрель	4,5	2,5	7,8	5,7	9,9	9,2	7,4	5,8	50,8	11	33,9	11	12,2	12	98,4	34
май	9,7	12,2	10,4	13,3	11,2	14,9	10,4	13,5	17,4	13	39,5	13	8,8	13	65,7	39
июнь	18,4	17,1	19,0	18,3	18,0	19,1	18,4	18,2	10,4	19	21,2	19	13,1	20	44,7	58
июль	19,9	19,1	22,6	19,7	21,8	19,8	21,5	19,5	19,3	23	92,7	23	27,9	23	139,9	69
август	22,7	19,0	19,8	16,6	22,6	15,7	21,9	17,1	2,0	20	-	20	-	20	2,0	60
сентябрь	11,2	14,4	13,6	11,7	13,5	8,9	12,8	11,7	2,3	18	13,4	18	32,3	17	48,3	53

Сумма осадков за апрель-август – 350,7 мм (норма 240). Гидротермический коэффициент-1,6 (норма 1,0).

Значение температуры воздуха и количества осадков в 2022/2023 с.-х. году
в сравнении с многолетними данными

Месяц	Температура (С°)								Осадки (мм)							
	1 декада		2 декада		3 декада		месяц		1 декада		2 декада		3 декада		месяц	
	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма
2022 г.																
сентябрь	11,2	14,4	13,6	11,7	13,6	8,9	12,8	11,7	2,6	18	13,4	18	32,3	17	48,3	53
октябрь	11,8	6,3	8,0	4,6	3,0	1,5	7,4	4,1	18,0	15	19,0	15	17,9	15	54,9	45
ноябрь	2,1	-2,0	0,8	-3,5	-3,6	-5,6	-0,2	-3,7	13,0	13	54,0	12	25,6	12	92,6	36
декабрь	-12,6	-7,1	-4,9	-8,0	-3,7	-10,1	-6,9	-8,4	0,7	12	28,4	12	31,8	12	60,9	36
2023 г.																
январь	-13,3	-10,4	-13,9	-11,1	-7,5	-10,8	-11,4	-10,8	20,4	11	-	11	1,6	12	22,0	34
февраль	-8,1	-12,4	-8,1	-11,3	-5,4	-8,9	-7,3	-10,9	12,1	8	25,2	8	26,6	8	63,9	24
март	-11,5	-7,6	2,7	-5,6	8,8	-1,6	3,4	-4,9	17,0	9	20,0	9	6,1	9	43,1	27
апрель	7,7	2,5	8,2	5,7	13,7	9,2	9,9	5,8	-	11	-	11	19,7	12	19,7	34
май	12,2	12,2	14,9	13,3	20,7	14,9	16,1	13,5	22,4	13	1,4	13	0,4	13	24,2	39
июнь	16,5	17,1	16,4	18,3	16,4	19,1	16,4	18,2	12,1	19	4,5	19	10,4	20	27,0	58
июль	24,3	19,1	19,3	19,7	22,4	19,8	22,0	19,5	0,7	23	2,6	23	36,1	23	39,4	69
август	23,7	19,0	23,6	16,6	15,1	15,7	20,7	17,1	6,9	20	0,3	20	7,1	20	14,3	60
сентябрь	16,1	14,4	14,1	11,7	16,2	8,9	15,5	11,7	7,5	18	6,2	18	1,1	17	14,8	53

Сумма осадков за апрель-август – 125 мм (норма 240). Гидротермический коэффициент-0,5 (норма 1,0).

Значение температуры воздуха и количества осадков в 2023/2024 с.-х. году
в сравнении с многолетними данными

Месяц	Температура (С°)								Осадки (мм)							
	1 декада		2 декада		3 декада		месяц		1 декада		2 декада		3 декада		месяц	
	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма	тек. год	норма
2023 г.																
сентябрь	16,1	14,4	14,1	11,7	16,2	8,9	15,5	11,7	7,5	18	6,2	18	1,1	17	14,8	53
октябрь	10,4	6,3	8,0	4,6	1,4	1,5	6,4	4,1	11,8	15	5,8	15	76,5	15	94,1	45
ноябрь	5,8	-2,0	0,5	-3,5	-3,8	-5,6	0,8	-3,7	47,7	13	12,2	12	50,3	12	110,2	36
декабрь	-12,4	-7,1	-9,5	-8,0	-1,6	-10,1	-7,6	-8,4	32,9	12	11,4	12	37,4	12	81,7	36
2024 г.																
январь	-18,2	-10,4	-11,6	-11,1	-7,5	-10,8	-12,1	-10,8	18,5	11	51,6	11	26,4	12	96,5	34
февраль	-6,9	-12,4	-13,9	-11,3	-12,1	-8,9	-10,9	-10,9	33,7	8	15,6	8	-	8	49,3	24
март	-5,4	-7,6	-4,4	-5,6	1,5	-1,6	-2,6	-4,9	2,1	9	0,6	9	44,4	9	47,1	27
апрель	8,1	2,5	12,7	5,7	15,5	9,2	12,1	5,8	9,3	11	8,6	11	31,1	12	49,0	34
май	6,5	12,2	9,2	13,3	16,0	14,9	10,7	13,5	13,8	13	6,3	13	3,1	13	23,2	39
июнь	21,7	17,1	24,4	18,3	17,9	19,1	21,3	18,2	38,0	19	24,7	19	8,1	20	70,8	58
июль	24,4	19,1	21,0	19,7	19,3	19,8	21,4	19,5	-	23	3,6	23	34,2	23	37,8	69
август	19,9	19,0	16,9	16,6	18,8	15,7	18,5	17,1	51,5	20	17,4	20	-	20	68,9	60
сентябрь	16,5	14,4	16,2	11,7	12,4	8,9	15,0	11,7	0,8	18	0,6	18	-	17	1,4	53

Сумма осадков за май-август – 202,1 мм (норма 279 мм). Гидротермический коэффициент-0,7 (норма 1,0)

Системы обработки почвы под изучаемые культуры в полевых опытах

№ п/п	Культура, год	Обработка почвы (приемы, сельскохозяйственные машины)		
		Послеуборочная	Основная	Предпосевная
Опыт № 1 - Противозерозийный вал				
1	Ячмень, 2021	Поверхностная обработка на 5-6 см, КПИР-5,4	Плоскорезная обработка на 25-27 см, КППГ-2,1	Ранневесеннее боронование БЗСС – 1,0 Культивация на глубину заделки семян, КПЭ – 5,4
2	Чистый пар, 2022	-	Безотвальная обработка, плуг со стойками СибИМЭ на глубину 25-27 см	-
3	Озимая пшеница, 2023	-	Послойно-поверхностная обработка в течение лета с 10-12 до 6-8 см, КПС-4,2	Ранневесеннее боронование БЗСС – 1,0 Культивация на глубину заделки семян, КПЭ – 5,4
4	Яровая пшеница, 2024	Поверхностная обработка на 5-6 см, КПИР-5,4	Плоскорезная обработка на 25-27 см, КППГ-2,1	Культивация на глубину заделки семян, КПЭ – 5,4
Опыты № 1 - Тимофеевский лоток-быстроток				
1	Озимая пшеница, 2021	-	Послойно-поверхностная обработка в течение лета с 10-12 до 6-8 см, КПС-4,2	Ранневесеннее боронование БЗСС – 1,0 Культивация на глубину заделки семян, КПЭ – 5,4
2	Подсолнечник, 2022	Поверхностная обработка на 5-6 см, КПИР-5,4	Вспашка поперёк склона, ПЛН – 5-35 на 20-22 см	Ранневесеннее боронование БЗСС – 1,0 Культивация на глубину заделки семян, КПЭ – 5,4
3	Чистый пар, 2023	-	Безотвальная обработка, плуг со стойками СибИМЭ на глубину 25-27 см	Ранневесеннее боронование БЗСС – 1,0 Культивация на глубину заделки семян, КПЭ – 5,4
4	Озимая пшеница, 2024	-	Послойно-поверхностная обработка в течение лета с 10-12 до 6-8 см, КПС-4,2	Ранневесеннее боронование БЗСС – 1,0 Культивация на глубину заделки семян, КПЭ – 5,4
Опыты №2 – Стационарный полевой опыт на склоне с лесными насаждениями				
1	Озимая пшеница, 2022	-	Послойно-поверхностная обработка в течение лета с 10-12 до 6-8 см, КПС-4,2	Ранневесеннее боронование БЗСС – 1,0 Культивация на глубину заделки семян, КПЭ – 5,4
2	Яровая мягкая пшеница, 2023	Поверхностная обработка на 5-6 см, КПИР-5,4	Плоскорезная обработка на 25-27 см, КППГ-2,1	Ранневесеннее боронование БЗСС – 1,0 Культивация на глубину заделки семян, КПЭ – 5,4

Приложение 6

Плотность снежного покрова по объектам гидротехнических сооружений,
2021-2024 гг.

Объекты противоэрозионного комплекса	Рубежи отбора			
	50 м (5°)	300 м (3°)	500 м (1°)	контроль
2021 г.				
Новоникулинский вал	0,25	0,23	0,18	0,18
Тимофеевский лоток- быстроток открытого типа	0,24	0,18	0,18	0,18
2022 г.				
Новоникулинский вал	0,31	0,30	0,28	0,27
Тимофеевский лоток- быстроток открытого типа	0,29	0,26	0,27	0,26
2023 г.				
Новоникулинский вал	0,28	0,28	0,28	0,27
Тимофеевский лоток- быстроток открытого типа	0,28	0,28	0,30	0,28
2024 г.				
Новоникулинский вал	0,31	0,30	0,29	0,28
Тимофеевский лоток- быстроток открытого типа	0,30	0,30	0,29	0,28

Приложение 7

Запасы влаги в почве на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал,
мм (яровой ячмень, 2021 г.)

Тип агроландшафта	Слой почвы, см	Период определения		
		посев	колошение	уборка
Плакорно-равнинный (0-1°)	0-30	48,1	12,2	9,8
	0-100	135,2	20,2	43,4
Склоново-ложбинный (1-3°)	0-30	50,3	10,1	7,6
	0-100	132,8	18,5	38,3
Склоново-овражный (3-5°)	0-30	60,2	9,9	7,4
	0-100	140,5	22,4	40,3
Контроль	0-30	47,8	10,3	7,2
	0-100	130,1	20,1	39,4
НСР ₀₅	0-30	1,7	0,5	0,1
	0-100	5,3	1,4	F _ф <F _т

Приложение 8

Запасы влаги в почве на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал,
мм (чистый пар, 2022 г.)

Тип агроландшафта	Слой почвы, см	Период определения		
		02.06.2022	08.08.2022	01.09.2022
Плакорно-равнинный (0-1°)	0-30	58,0	43,6	55,8
	0-100	143,7	101,0	110,6
Склоново-ложбинный (1-3°)	0-30	61,0	41,8	53,7
	0-100	144,9	91,7	119,2
Склоново-овражный (3-5°)	0-30	61,5	45,8	52,5
	0-100	147,8	102,7	116,4
Контроль	0-30	49,1	30,6	53,2
	0-100	140,5	90,9	111,7
НСР ₀₅	0-30	2,4	0,9	1,6
	0-100	4,6	5,0	F _ф <F _т

Приложение 9

Запасы влаги в почве на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал,
мм (озимая пшеница, 2023 г.)

Тип агроландшафта	Слой почвы, см	Период определения			
		посев	возобновление вегетации	колошение	уборка
Плакорно-равнинный (0-1°)	0-30	55,8	40,1	3,9	13
	0-100	110,6	141,4	13,7	35,5
Склоново-ложбинный (1-3°)	0-30	53,7	36,8	3,5	17,8
	0-100	119,2	135,2	9,1	32
Склоново-овражный (3-5°)	0-30	52,5	40,9	9,3	17,7
	0-100	116,4	145,1	9,8	30,5
Контроль	0-30	53,2	33,7	2,6	12,3
	0-100	111,7	139,8	12,2	29,6
НСР ₀₅	0-30	1,6	1,0	0,9	4,3
	0-100	Fф<Fт	8,1	Fф<Fт	Fф<Fт

Приложение 10

Запасы влаги в почве на объекте Новоникулинский противоэрозионный вал,
мм (яровая пшеница, 2024 г.)

Тип агроландшафта	Слой почвы, см	Период определения		
		посев	колошение	уборка
Плакорно-равнинный (0-1°)	0-30	55,7	0,9	0,8
	0-100	180,7	7,7	55,5
Склоново-ложбинный (1-3°)	0-30	45,6	0,5	1,5
	0-100	175,4	6,1	52,8
Склоново-овражный (3-5°)	0-30	57,6	6,3	2,2
	0-100	181,6	7,4	51,2
Контроль	0-30	55,5	4,0	1,3
	0-100	178,4	6,1	44,0
НСР ₀₅	0-30	1,6	1,3	0,3
	0-100	8,8	3,2	6,4

Приложение 11

Запасы влаги в почве на объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа, мм (озимая пшеница, 2021 г.)

Тип агроландшафта	Слой почвы, см	Период определения			
		посев	возобновление вегетации	колошение	уборка
Плакорно-равнинный (0-1°)	0-30	35,6	46,4	12,7	18,9
	0-100	120,4	128,3	34,8	67,8
Склоново-ложбинный (1-3°)	0-30	33,5	40,4	10,0	24,9
	0-100	129,4	112,3	36,8	55,0
Склоново-овражный (3-5°)	0-30	39,1	49,7	17,4	19,3
	0-100	130,5	134,5	34,5	58,2
Контроль	0-30	34,6	38,1	11,3	9,7
	0-100	121,5	110,1	27,5	31,2
НСР ₀₅	0-30	1,9	8,3	2,8	1,9
	0-100	5,7	7,4	6,2	6,0

Приложение 12

Запасы влаги в почве на объекте Тимофеевский-лоток быстроток открытого типа, мм (подсолнечник, 2022 г.)

Тип агроландшафта	Слой почвы, см	Период определения		
		посев	формирование корзинки	уборка
Плакорно-равнинный (0-1°)	0-30	57,4	39,6	81,2
	0-100	136,3	115,6	174,8
Склоново-ложбинный (1-3°)	0-30	59,9	46,2	77,9
	0-100	131,6	122,5	156,3
Склоново-овражный (3-5°)	0-30	60,9	57,9	70,7
	0-100	139,6	118,1	150,1
Контроль	0-30	66,5	39,2	76,3
	0-100	125,3	139,5	144,9
НСР ₀₅	0-30	3,9	0,7	5,4
	0-100	F _ф <F _т	8,5	13,1

Приложение 13

Запасы влаги в почве на объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого
типа, мм (чистый пар, 2023 г.)

Тип агроландшафта	Слой почвы, см	Период определения		
		23.05.2023	13.07.2023	18.09.2023
Плакорно-равнинный (0-1°)	0-30	50,9	28,8	53,1
	0-100	118,7	90,0	114,9
Склоново-ложбинный (1-3°)	0-30	66,1	57,4	50,6
	0-100	126,4	122,1	107,0
Склоново-овражный (3-5°)	0-30	68,2	66,1	64,6
	0-100	136,5	165,7	127,4
Контроль	0-30	53,3	23,6	53,2
	0-100	125,1	92,0	119,5
НСР ₀₅	0-30	0,9	1,9	1,6
	0-100	Fф<Fт	7,8	Fф<Fт

Приложение 14

Запасы влаги в почве на объекте Тимофеевский лоток-быстроток открытого
типа, мм (озимая пшеница, 2024 г.)

Тип агроландшафта	Слой почвы, см	Период определения			
		посев	возобновление вегетации	колошение	уборка
Плакорно- равнинный (0-1°)	0-30	53,1	63,8	0,6	1,2
	0-100	114,9	233,9	41,5	77,3
Склоново- ложбинный (1-3°)	0-30	50,6	54,5	0,5	6,7
	0-100	107,0	236,7	44,4	90,1
Склоново-овражный (3-5°)	0-30	64,6	52,9	1,0	17,2
	0-100	127,4	225,6	45,2	98,7
За валом	0-30	53,2	64,5	0,5	7,5
	0-100	119,5	227,8	33,5	75,2
НСР ₀₅	0-30	0,9	2,3	0,3	0,8
	0-100	4,7	5,0	Fф<Fт	12,5

Приложение 15

Водопотребление озимой пшеницы на объекте Тимофеевский лоток-
быстроток открытого типа (2021 г.)

Тип агроландшафта	Запасы продуктивной влаги в метровом слое, мм		Убыло из почвы, мм	Осадки, мм	Водопотребление	
	посев	уборка			Q, мм	Кв, м ³ /т
Плакорно-равнинный (0-1°)	128,3	67,8	60,5	128,2	188,7	754
Склоново-ложбинный (1-3°)	112,3	55,0	57,3	128,2	185,5	772
Склоново-овражный (3-5°)	134,5	58,2	76,3	128,2	204,5	1111
Контроль	110,1	31,2	78,9	128,2	207,1	1051
НСР ₀₅	5,7	6,0	-	-	-	-

Приложение 16

Водопотребление подсолнечника на объекте Тимофеевский лоток-
быстроток открытого типа (2022 г.)

Тип агроландшафта	Запасы продуктивной влаги в метровом слое, мм		Осадки, мм	Водопотребление	
	посев	уборка		Q, мм	Кв, м ³ /т
Плакорно-равнинный (0-1°)	126,3	174,8	300,6	252,1	1136
Склоново-ложбинный (1-3°)	131,6	156,3	300,6	275,9	1271
Склоново-овражный (3-5°)	139,6	150,1	300,6	290,1	1145
Контроль	125,3	144,9	300,6	281,0	1510
НСР ₀₅	Fф<Fт	13,1	-	-	-

Водопотребление озимой пшеницы на объекте Тимофеевский лоток-
быстроток открытого типа (2024 г.)

Тип агроландшафта	Запасы продуктивной влаги в метровом слое, мм		Убыло из почвы, мм	Осадки, мм	Водопотребление	
	посев	уборка			Q, мм	Кв, м ³ /т
Плакорно-равнинный (0-1°)	114,9	77,3	37,6	409,2	446,8	917
Склоново-ложбинный (1-3°)	107,0	90,1	16,9	409,2	426,1	1057
Склоново-овражный (3-5°)	127,4	98,7	28,7	409,2	437,9	1404
Контроль	119,5	75,2	44,3	409,2	453,3	1395
НСР ₀₅	4,7	5,0	-	-	-	-

Содержание гумуса и агрохимическая характеристика почвы в слое 0-30 см
на агроландшафтах с Тимофеевским лотком быстотоком открытого типа

Тип агроландшафта	Агрохимические показатели плодородия почвы, мг/кг почвы				Гумус, %
	NH ₄	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	
2021 г.					
Плакорно-равнинный (0-1°)	24,3	162,0	145,7	66,7	8,84
Склоново-ложбинный (1-3°)	16,3	91,7	127,0	52,7	8,57
Склоново-овражный (3-5°)	9,1	87,0	120,7	49,3	7,73
Контроль	15,5	92,7	123,7	52,7	7,95
НСР ₀₅	1,1	2,7	2,8	3,3	Fф<Fт
2022 г.					
Плакорно-равнинный (0-1°)	14,2	19,3	290,0	105,3	7,81
Склоново-ложбинный (1-3°)	10,9	13,2	242,0	104,0	7,12
Склоново-овражный (3-5°)	8,9	15,2	217,0	108,7	6,87
Контроль	11,2	11,5	231,0	98,7	6,68
НСР ₀₅	1,1	1,3	2,5	2,8	Fф<Fт
2023 г.					
Плакорно-равнинный (0-1°)	30,3	117,9	218,0	110,0	7,66
Склоново-ложбинный (1-3°)	32,3	113,0	206,0	99,7	7,15
Склоново-овражный (3-5°)	27,5	107,3	184,0	89,3	6,60
Контроль	24,1	118,7	188,0	94,3	7,56
НСР ₀₅	1,7	3,6	2,5	1,9	0,53
2024 г.					
Плакорно-равнинный (0-1°)	5,6	67,9	207,7	126,3	7,54
Склоново-ложбинный (1-3°)	4,3	50,3	182,3	111,7	6,88
Склоново-овражный (3-5°)	3,7	37,2	147,7	108,3	6,51
Контроль	4,4	26,3	180,7	116,7	6,70
НСР ₀₅	1,0	1,7	3,0	2,7	Fф<Fт

Содержание гумуса и агрохимическая характеристика почвы в слое 0-30 см
на агроландшафтах с Новоникулинским противоэрозионным валом

Тип агроландшафта	Агрохимические показатели плодородия почвы, мг/кг почвы				Гумус, %
	NH ₄	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	
2021 г.					
Плакорно-равнинный (0-1°)	26,7	66,3	79,7	38,7	8,19
Склоново-ложбинный (1-3°)	24,2	55,7	73,0	36,3	7,57
Склоново-овражный (3-5°)	17,7	39,3	71,7	32,0	6,95
Контроль	17,9	54,3	75,0	33,3	7,19
НСР ₀₅	1,0	2,3	2,5	2,4	Fф<Fт
2022 г.					
Плакорно-равнинный (0-1°)	15,8	106,0	195,0	88,7	7,69
Склоново-ложбинный (1-3°)	14,2	94,3	162,0	79,7	7,39
Склоново-овражный (3-5°)	11,5	93,4	159,0	74,7	7,09
Контроль	14,0	87,7	164,0	76,3	7,12
НСР ₀₅	1,8	4,0	2,7	3,2	Fф<Fт
2023 г.					
Плакорно-равнинный (0-1°)	21,5	84,4	168,0	79,0	6,69
Склоново-ложбинный (1-3°)	19,1	67,8	156,0	69,0	5,90
Склоново-овражный (3-5°)	18,5	64,5	144,0	67,3	5,39
Контроль	17,6	65,9	154,0	65,3	5,93
НСР ₀₅	2,1	0,9	4,8	1,9	Fф<Fт
2024 г.					
Плакорно-равнинный (0-1°)	18,7	87,7	277,7	108,3	7,30
Склоново-ложбинный (1-3°)	15,4	81,0	244,3	106,3	6,72
Склоново-овражный (3-5°)	12,1	78,7	219,3	99,7	6,07
Контроль	14,4	80,7	233,0	99,7	6,26
НСР ₀₅	Fф<Fт	1,5	3,3	1,5	Fф<Fт

Приложение 20

Структурно-агрегатный состав почв агроландшафта на сооружении

Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа (2021 г.)

Размер агрегатов, мм	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
>10	14,4	14,4	15,2	13,2
7-10	12,1	5,9	6,1	7,4
5-7	11,2	11,2	15,5	14,2
3-5	10,7	20,0	10,0	9,4
1-3	12,1	12,4	26,3	22,3
0,5-1	15,6	14,8	12,9	10,5
0,25-0,5	20,0	17,5	11,1	12,1
<0,25	3,9	3,8	2,9	10,9
0,25-10	81,7	81,8	81,9	75,9
<0,25->10	18,3	18,2	18,1	24,1
K _{стр.}	4,5	4,5	4,5	3,1
HCP ₀₅ = 1,9; p = 3,80%				

Приложение 21

Структурно-агрегатный состав почв агроландшафта на сооружении

Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа (2022 г.)

Размер агрегатов, мм	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
>10	27,4	27,1	26,2	16,7
7-10	13,9	13,7	16,6	11,8
5-7	12,5	13,1	11,8	11,7
3-5	14,5	16,2	13,2	16,0
1-3	16,6	17,1	15,9	11,3
0,5-1	8,6	7,1	9,3	11,2
0,25-0,5	4,3	3,4	5,2	5,9
<0,25	2,1	2,3	1,7	15,4
0,25-10	70,5	70,6	72,1	67,9
<0,25->10	29,5	29,4	27,9	32,1
K _{стр.}	2,4	2,4	2,6	2,1
HCP ₀₅ = 3,1; p = 4,80%				

Приложение 22

Структурно-агрегатный состав почв агроландшафта на сооружении

Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа (2023 г.)

Размер агрегатов, мм	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
>10	11,1	10,4	16,5	12,5
7-10	10,8	10,0	7,2	8,3
5-7	11,3	8,4	8,7	9,0
3-5	18,1	13,7	11,6	11,7
1-3	22,2	23,4	21,9	25,2
0,5-1	16,1	22,1	19,5	17,8
0,25-0,5	8,0	9,5	12,4	13,6
<0,25	2,3	2,4	2,2	1,9
0,25-10	86,6	87,2	81,3	85,5
<0,25->10	13,4	12,8	18,7	14,5
K _{стр.}	6,5	6,8	4,3	5,9
HCP ₀₅ = 1,4; p = 4,41%				

Приложение 23

Структурно-агрегатный состав почв агроландшафта на сооружении

Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа (2024 г.)

Размер агрегатов, мм	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
>10	4,4	7,5	9,4	4,6
7-10	4,5	7,7	7,2	6,7
5-7	7,2	10,3	7,8	8,5
3-5	12,8	14,8	12,3	13,8
1-3	22,3	20,4	21,5	21,1
0,5-1	18,5	18,3	18,3	16,9
0,25-0,5	15,8	14,6	13,6	15,9
<0,25	14,4	6,5	9,8	12,6
0,25-10	81,2	86,0	80,8	82,8
<0,25->10	18,8	14,0	19,2	17,2
K _{стр.}	4,3	6,2	4,2	4,8
HCP ₀₅ = 3,5; p = 1,24%				

Структурно-агрегатный состав почв агроландшафта на сооружении

Новоникулинский противоэрозионный вал (2021 г.)

Размер агрегатов, мм	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
>10	19,4	15,0	11,2	14,0
7-10	12,1	10,5	3,7	7,5
5-7	8,2	12,6	7,1	11,4
3-5	12,8	12,7	13,0	13,4
1-3	19,5	19,3	15,2	17,3
0,5-1	14,2	16,3	23,0	16,4
0,25-0,5	9,7	10,4	25,0	9,7
<0,25	4,1	3,2	1,8	10,3
0,25-10	76,5	81,8	87,0	75,7
<0,25->10	23,5	18,2	13,0	24,3
K _{стр.}	3,3	4,5	6,7	3,1
HCP ₀₅ = 2,3; p = 0,86%				

Структурно-агрегатный состав почв агроландшафта на сооружении

Новоникулинский противоэрозионный вал (2022 г.)

Размер агрегатов, мм	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
>10	23,2	15,8	24,8	17,7
7-10	13,6	9,1	9,3	9,2
5-7	11,2	8,8	8,7	9,0
3-5	13,9	14,0	11,3	12,3
1-3	16,1	23,6	16,6	18,8
0,5-1	10,5	15,1	13,2	14,6
0,25-0,5	9,3	12,1	14,0	11,8
<0,25	2,3	1,6	2,2	6,6
0,25-10	74,5	82,7	73,0	75,7
<0,25->10	25,5	17,4	27,0	24,3
K _{стр.}	2,9	4,8	2,7	3,1
HCP ₀₅ = 6,6; p = 2,53%				

Приложение 26

Структурно-агрегатный состав почв агроландшафта на сооружении

Новоникулинский противоэрозионный вал (2023 г.)

Размер агрегатов, мм	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
>10	24,4	15,5	20,5	13,0
7-10	13,8	10,2	10,7	10,5
5-7	8,6	9,8	11,2	9,7
3-5	8,7	12,6	13,3	12,3
1-3	13,5	18,4	17,5	16,7
0,5-1	16,4	17,5	12,4	15,5
0,25-0,5	12,3	13,7	13,0	12,6
<0,25	2,2	2,3	1,4	9,8
0,25-10	73,4	82,2	78,1	77,2
<0,25->10	26,6	17,8	21,9	22,8
K _{стр.}	2,8	4,6	3,6	3,4
HCP ₀₅ = 2,2; p = 3,19%				

Приложение 27

Структурно-агрегатный состав почв агроландшафта на сооружении

Новоникулинский противоэрозионный вал (2024 г.)

Размер агрегатов, мм	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
>10	7,8	13,1	8,1	14,8
7-10	9,1	12,3	12,4	12,7
5-7	9,8	11,8	12,2	12,7
3-5	15,0	14,8	15,0	13,9
1-3	18,4	18,6	18,7	14,7
0,5-1	18,7	13,4	15,3	13,8
0,25-0,5	11,8	9,1	10,7	9,5
<0,25	9,3	6,9	7,6	7,9
0,25-10	82,9	80,0	84,4	77,3
<0,25->10	17,1	20,0	15,6	22,7
K _{стр.}	4,8	4,0	5,4	3,4
HCP ₀₅ = 3,2; p = 3,47%				

Приложение 28

Содержание водопрочных агрегатов почв агроландшафта на объекте
Тимофеевский лоток-быстроток открытого типа

Год наблюдения	Рубежи отбора			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
2021 г.	78,0	81,4	89,6	72,8
	$HCP_{05} = 5,1; p = 1,84\%$			
2022 г.	74,2	77,9	77,5	76,9
	$HCP_{05} = 2,3; p = 0,88\%$			
2023 г.	81,2	76,5	79,1	76,1
	$HCP_{05} = F\phi < F_T; p = 2,81\%$			
2024 г.	61,9	70,5	68,2	65,3
	$HCP_{05} = F\phi < F_T; p = 2,69\%$			

Приложение 29

Содержание водопрочных агрегатов почв агроландшафта на объекте
Новоникулинский противоэрозионный вал

Год наблюдения	Рубежи отбора			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
2021 г.	88,8	84,0	87,7	71,2
	$HCP_{05} = 8,3; p = 3,09\%$			
2022 г.	78,7	76,7	67,8	74,2
	$HCP_{05} = F\phi < F_T; p = 3,20\%$			
2023 г.	76,9	75,9	78,5	76,7
	$HCP_{05} = F\phi < F_T; p = 1,42\%$			
2024 г.	66,9	72,6	68,2	69,1
	$HCP_{05} = F\phi < F_T; p = 1,92\%$			

Плотность почв агроландшафта на объекте Тимофеевский
лоток-быстроток открытого типа

Слой почвы, см	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
2021 г.				
0-10	0,85	0,98	0,93	0,95
10-20	0,88	0,92	0,98	0,96
20-30	1,00	1,04	0,89	1,01
0-30	0,91	0,98	0,93	0,97
HCP ₀₅ = 0,07; p = 3,34%				
2022 г.				
0-10	1,10	0,83	1,06	0,92
10-20	0,97	1,06	1,05	1,04
20-30	0,98	1,02	1,19	1,07
0-30	1,02	0,97	1,10	1,07
HCP ₀₅ = 0,11; p = 4,14%				
2023 г.				
0-10	1,10	1,20	1,02	1,10
10-20	1,12	1,09	1,06	1,02
20-30	1,07	1,10	1,05	1,09
0-30	1,10	1,13	1,04	1,07
HCP ₀₅ = 0,03; p = 2,27%				
2024 г.				
0-10	1,01	0,87	1,03	0,82
10-20	1,01	1,07	1,27	1,08
20-30	0,98	1,19	1,25	1,17
0-30	1,00	1,04	1,18	1,17
HCP ₀₅ = 0,04; p = 4,95%				

Плотность почв агроландшафта на объекте Новоникулинский
противоэрозионный вал

Слой почвы, см	Расстояние от водозадерживающего вала (крутизна склона, °), м			
	50 м (3-5°)	300 м (1-3°)	500 м (0-1°)	контроль
2021 г.				
0-10	0,93	0,82	1,13	0,88
10-20	1,06	1,22	1,31	1,11
20-30	1,02	1,03	1,21	1,23
0-30	1,00	1,02	1,22	1,07
HCP ₀₅ = 0,07; p = 4,27%				
2022 г.				
0-10	1,06	0,80	1,07	0,87
10-20	0,98	0,89	1,08	0,96
20-30	1,01	1,05	1,12	1,05
0-30	1,02	0,91	1,09	0,96
HCP ₀₅ = 0,12; p = 3,59%				
2023 г.				
0-10	1,08	1,14	1,22	1,13
10-20	1,25	1,29	1,42	1,28
20-30	1,31	1,22	1,45	1,25
0-30	1,21	1,22	1,36	1,22
HCP ₀₅ = 0,08; p = 1,87%				
2024 г.				
0-10	0,86	0,94	0,92	0,93
10-20	0,90	1,01	1,02	0,86
20-30	0,92	1,12	1,08	0,98
0-30	0,89	1,02	1,01	0,92
HCP ₀₅ = 0,09; p = 2,70%				

Почвенный разрез плакорно-равнинного типа агроландшафта
Новоникулинского противоэрозионного вала (Карпович К.И. и др., 2015)

Схема чертежа почвенного разреза	Горизонт и мощность в см.	Описание горизонта
	A _{пах} , 0-30	темно-серый до черного, тяжелый суглинок, влажный, зернистый, редкая мочковатая корневая система, рыхлый, тонкотрещиноватый, новообразований нет, включения опоки, от HCl не вскипает, переход резкий
	A ₁ , 30-40	черный, тяжелый суглинок, влажный, зернистый, корней практически нет, рыхлый, тонкотрещиноватый, новообразований нет, от HCl не вскипает, переход ясный
	A ₁ B, 40-55	темно-коричневый с гумусовыми затеками, глина, влажный, мелкокомковато-зернистый, очень плотный, тонкотрещиноватый, новообразований и включений нет, от HCl не вскипает, переход постепенный
	B ₁ , 55-78	ярко-коричневый, глинистый, влажный, мелкозернисто-мелкокомковатый, корней нет, очень плотный, тонкотрещиноватый, новообразований нет, из включений опока, от HCl не вскипает, выщелоченный горизонт ≈38 см, переход резкий
	B _{Ca} , 78 и более	от HCl вскипает слабо
	C	элювиальные отложения, корней нет, плотный, от HCl вскипает

**Почвенный разрез в области прудка (7 м до вала) Новоникулинского
противоэрозионного вала (Карпович К.И. и др., 2015)**

Схема чертежа почвенного разреза	Горизонт и мощность в см.	Описание горизонта
	А _{пах} , 0-35	черный, тяжелый суглинок, влажный, мелкокомковато-зернистый, редкая мочковатая корневая система, рыхлый, тонкотрещиноватый, новообразований нет, имеются включения опоки и карбонатного мергеля (сантонский ярус), от HCl вскипает бурно, переход резкий
	А ₁ , 35-110	черный, тяжелый суглинок, влажный, мелкокомковато-зернистый, корней практически нет, рыхлый, тонкотрещиноватый, новообразований нет, имеются включения намывного песка и прослойки опок (Ø=3-м) на глубине 60-70 см, от HCl вскипает бурно, ослабевающая книзу (до глубины 100 см), переход ясный
	А ₁ В, 110-130	темно-коричневый с гумусовыми затеками, влажный, тяжелый суглинок, мелкокомковато-зернистый, очень плотный, разреженная мочковатая корневая система, присутствует опок, тонкотрещиноватый, новообразования отсутствуют, от HCl не вскипает, переход постепенный, выщелоченный горизонт начинается на глубине 40 см,
	В, 130-240	ярко-коричневый, влажный, глинистый, мелкозернисто-мелкокомковатый, корней практически нет, очень плотный, тонкотрещиноватый и тонкопористый, встречаются белоглазка, псевдомицелий, из включений щебенчатая опока, от HCl вскипает бурно с глубины 150 см, переход ясный
	С, 240 и более	делювиальные песчано-глинистые отложения, корней нет, плотный, карбонатная присыпка, от HCl вскипает бурно

Структурно-агрегатный состав почвенного покрова в межполосном пространстве в основных типах агроландшафта (озимая пшеница), 2022 г.

[illegible]

Структурно-агрегатный состав почвенного покрова в межполосном
пространстве в основных типах агроландшафта (яровая мягкая пшеница),
2023 г.

Тип агроландш афта	Расстоя ние от лесной полосы, м	Размер агрегатов (слой: 0-30 см), мм										
		>10	7-10	5-7	3-5	1-3	0,5-1	0,25- 0,5	<0,2 5	0,25- 10	<0,25- >10	K _{стр.}
Плакорно- равнинный (0-1°)	50	14,1	6,5	7,1	10,2	23,6	22,6	12,4	3,4	82,5	17,5	4,7
	130	16,7	10,3	8,8	10,4	19,2	23,0	8,8	2,8	80,5	19,5	4,1
	260	23,2	8,3	8,4	10,5	22,7	15,8	8,3	2,8	74,0	26,0	2,9
	130	9,2	6,4	10,2	8,5	22,4	25,4	15,5	2,3	88,5	11,5	7,7
	50	9,9	8,3	7,7	16,6	16,3	26,3	12,3	2,7	87,5	12,5	7,0
среднее		14,6	8,0	8,4	11,2	20,9	22,6	11,5	2,8	82,6	17,4	4,7
Склоново- ложбинны й (1-3°)	50	9,3	6,2	10,4	23,4	25,7	15,6	2,5	6,9	83,8	16,2	5,2
	130	13,9	7,1	9,0	18,0	25,6	16,2	8,3	1,8	84,3	15,7	5,4
	260	24,9	11,1	10,2	10,5	14,7	13,9	12,5	2,2	72,9	27,1	2,7
	130	21,5	9,3	8,4	10,4	18,8	20,4	9,2	2,1	76,4	23,6	3,2
	50	15,0	11,7	10,0	11,7	21,6	16,2	11,6	2,2	82,8	17,2	4,8
среднее		16,9	9,1	9,6	14,8	21,3	16,4	8,8	3,0	80,0	20,0	4,0
Склоново- овражный (3-5°)	50	22,8	6,5	6,5	8,9	19,5	20,1	11,6	4,1	73,1	26,9	2,7
	130	37,0	7,8	6,0	6,5	11,7	17,9	11,1	2,0	61,0	39,0	1,6
	260	39,3	5,6	4,9	8,4	18,9	12,0	7,2	3,7	57,0	43,0	1,3
	130	20,6	5,9	5,1	6,9	14,7	24,4	17,6	5,0	74,5	25,5	2,9
	50	13,6	6,6	6,8	8,5	22,8	28,9	10,8	2,0	84,4	15,6	5,4
среднее		26,6	6,5	5,9	7,8	17,5	20,7	11,7	3,4	70,0	30,0	2,3
HCP ₀₅ = 9,81; HCP A = 4,39; HCP B = 5,67; HCP AB = 9,81.												

Структурно-агрегатный состав почвенного покрова в межполосном
пространстве в основных типах агроландшафта (яровая твердая пшеница),
2024 г.

Тип агроландш афта	Расстоя ние от лесной полосы, м	Размер агрегатов (слой: 0-30 см), мм										K _{стр.}
		>10	7-10	5-7	3-5	1-3	0,5-1	0,25- 0,5	<0,2 5	0,25- 10	<0,25- >10	
Плакорно- равнинный (0-1°)	50	12,5	8,3	8,4	13,1	22,4	19,3	13,0	3,1	84,4	15,6	5,4
	130	10,4	8,9	9,1	13,0	22,1	20,7	11,8	4,0	85,6	14,4	5,9
	260	17,0	12,4	10,3	12,0	19,3	18,7	7,9	2,3	80,7	19,3	4,2
	130	9,0	8,6	8,9	12,6	19,0	19,2	17,8	5,0	86,0	14,0	6,1
	50	5,8	8,3	8,4	10,8	19,6	30,4	10,4	6,3	87,9	12,1	7,2
среднее		10,9	9,3	9,0	12,3	20,5	21,7	12,2	4,1	84,9	15,1	5,6
Склоново- ложбинны й (1-3°)	50	8,3	7,3	6,9	12,2	27,8	23,4	10,8	3,3	88,3	11,7	7,6
	130	12,0	12,1	11,5	15,6	22,9	15,6	7,8	2,5	85,5	14,5	5,9
	260	23,0	10,8	8,7	10,1	16,3	16,6	9,8	4,7	72,3	27,7	2,6
	130	10,2	9,2	9,8	10,7	21,2	21,6	11,8	5,5	84,3	15,7	5,4
	50	20,6	7,5	7,4	10,2	19,8	21,3	9,4	3,8	75,6	24,4	3,1
среднее		14,8	9,4	8,9	11,8	21,6	19,7	9,9	4,0	81,2	18,8	4,3
Склоново- овражный (3-5°)	50	10,6	6,6	6,9	16,5	19,3	19,8	11,1	9,2	80,2	19,8	4,1
	130	13,0	7,8	7,3	13,4	22,4	16,5	11,8	7,8	79,2	20,8	3,8
	260	15,6	8,7	7,3	10,0	17,7	20,2	13,3	7,3	77,2	22,8	3,4
	130	10,5	9,4	8,1	10,5	18,2	20,9	13,7	8,7	80,8	19,2	4,2
	50	6,9	10,2	9,8	13,2	20,1	19,9	12,7	7,2	85,9	14,1	6,1
среднее		11,3	8,5	7,9	12,7	19,5	19,5	12,5	8,0	80,7	19,3	4,2
HCP ₀₅ = 0,57; HCP A = 1,48; HCP B = 0,64; HCP AB = 1,49.												

Приложение 37

Структурно-агрегатный состав почвенного покрова в межполосном
пространстве в основных типах агроландшафта, 2022-2024 г.

[illegible]

Плотность снежного покрова в междолосном пространстве в основных типах
агроландшафта, 2022-2024 гг.

Тип агроландшафта	Плотность снега, г/см ³					среднее
расстояние от лесной полосы:	50	130	260	130	50	
2022 г.						
Плакорно- равнинный (0-1)	0,26	0,25	0,27	0,25	0,26	0,26
Склоново- ложбинный (1-3)	0,25	0,26	0,29	0,27	0,26	0,27
Склоново- овражный (3-5)	0,26	0,29	0,32	0,28	0,27	0,28
среднее	0,26	0,27	0,29	0,27	0,26	0,27
2023 г.						
Плакорно- равнинный (0-1)	0,27	0,28	0,32	0,25	0,25	0,27
Склоново- ложбинный (1-3)	0,27	0,26	0,31	0,27	0,26	0,27
Склоново- овражный (3-5)	0,24	0,27	0,33	0,28	0,26	0,28
среднее	0,26	0,27	0,32	0,27	0,26	0,27
2024 г.						
Плакорно- равнинный (0-1)	0,29	0,31	0,32	0,32	0,28	0,30
Склоново- ложбинный (1-3)	0,30	0,30	0,31	0,30	0,29	0,30
Склоново- овражный (3-5)	0,29	0,31	0,33	0,30	0,30	0,31
среднее	0,29	0,31	0,32	0,31	0,29	0,30

Содержание гумуса и агрохимическая характеристика почвы в слое 0-30 см в зависимости от расстояния от лесной полосы и типов агроландшафта, 2022 г.

Тип агроландшафта	Пространственная ориентация лесной полосы на земельном участке	Расстояние от лесной полосы, м	Агрохимические показатели плодородия почвы, мг/кг почвы в слое 0-30 см				Гумус,%
			NH ₄	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Плакорно- равнинный (0-1°)	западная (наветренная)	50	7,7	25,6	278,6	103,1	6,70
		130	6,1	22,1	267,4	110,0	6,10
	центр поля	260	5,0	8,8	327,7	80,6	7,34
	восточная (заветренная)	130	2,8	40,9	258,1	99,1	7,78
		50	9,8	27,3	276,3	107,0	7,21
среднее			8,3	24,9	281,6	100,0	7,03
Склоново- ложбинный (1-3°)	западная (наветренная)	50	6,5	14,0	246,7	74,9	6,42
		130	4,4	13,3	234,1	86,3	7,21
	центр поля	260	2,9	8,4	238,5	75,0	4,43
	восточная (заветренная)	130	6,8	11,2	267,4	61,8	6,24
		50	7,3	47,8	239,4	82,0	6,02
среднее			5,6	18,9	245,2	76,0	6,06
Склоново- овражный (3-5°)	западная (наветренная)	50	7,0	7,4	207,7	67,6	5,67
		130	4,3	8,5	243,3	53,8	6,00
	центр поля	260	3,3	5,6	201,0	61,2	6,51
	восточная (заветренная)	130	5,5	7,2	183,7	77,0	5,26
		50	6,2	8,1	194,0	69,1	5,45
среднее			5,3	9,4	205,9	65,7	5,78
НСР ₀₅		фактор А	0,6	0,6	1,0	1,3	0,73
		фактор В	0,7	0,8	1,3	1,6	0,9
		фактор АВ	1,2	1,4	2,2	2,8	Fф<Fт

Содержание гумуса и агрохимическая характеристика почвы в слое 0-30 см в зависимости от расстояния от лесной полосы и типов агроландшафта, 2023 г.

Тип агроландшафта	Пространственная ориентация лесной полосы на земельном участке	Расстояние от лесной полосы, м	Агрохимические показатели плодородия почвы, мг/кг почвы в слое 0-30 см				Гумус,%
			NH ₄	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Плакорно- равнинный (0-1°)	западная (наветренная)	50	25,1	101,0	252,4	169,7	6,04
		130	24,9	127,7	186,7	139,1	5,91
	центр поля	260	8,1	119,0	213,0	148,4	6,46
	восточная (заветренная)	130	17,9	82,1	232,9	85,2	6,46
		50	29,4	122,0	276,0	151,7	6,05
среднее			21,1	110,4	232,2	138,8	6,18
Склоново- ложбинный (1-3°)	западная (наветренная)	50	15,8	84,8	234,0	85,0	7,01
		130	9,0	89,4	261,0	81,0	6,19
	центр поля	260	7,2	69,3	171,0	110,0	5,77
	восточная (заветренная)	130	17,8	75,7	207,0	106,0	5,22
		50	15,5	82,4	204,0	95,0	5,50
среднее			13,0	80,3	215,4	95,4	5,93
Склоново- овражный (3-5°)	западная (наветренная)	50	16,4	61,0	163,6	73,7	5,70
		130	17,6	55,0	153,7	89,3	5,50
	центр поля	260	7,5	46,0	189,0	81,3	5,22
	восточная (заветренная)	130	11,1	116,0	162,6	117,7	6,05
		50	9,4	63,4	210,5	109,8	5,64
среднее			12,4	68,3	175,9	94,4	5,62
НСР ₀₅		фактор А	0,9	1,1	1,0	0,9	0,5
		фактор В	1,1	1,5	1,3	1,1	0,7
		фактор АВ	2,0	2,5	2,3	1,9	1,1

Содержание гумуса и агрохимическая характеристика почвы в слое 0-30 см в зависимости от расстояния от лесной полосы и типов агроландшафта, 2024 г.

Тип агроландшафта	Пространственная ориентация лесной полосы на земельном участке	Расстояние от лесной полосы, м	Агрохимические показатели плодородия почвы, мг/кг почвы в слое 0-30 см				Гумус,%
			NH ₄	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Плакорно- равнинный (0-1°)	западная	50	4,4	131,4	179,1	189,4	5,77
	(наветренная)	130	6,9	174,3	142,0	170,5	7,28
	центр поля	260	3,5	116,7	154,6	169,6	6,19
	восточная	130	9,5	174,7	152,6	172,0	5,50
	(заветренная)	50	10,9	143,0	152,3	187,5	5,91
среднее			7,0	148,0	156,1	177,8	6,13
Склоново- ложбинный (1-3°)	западная	50	3,6	213,0	163,4	183,7	6,87
	(наветренная)	130	7,1	63,8	157,6	152,7	5,22
	центр поля	260	2,0	69,7	148,8	174,2	6,05
	восточная	130	2,8	138,0	156,8	158,1	6,10
	(заветренная)	50	4,4	110,8	149,4	148,4	6,32
среднее			4,0	119,1	155,2	163,6	6,11
Склоново- овражный (3-5°)	западная	50	2,9	63,3	170,4	161,0	6,32
	(наветренная)	130	2,6	47,5	138,5	137,7	5,50
	центр поля	260	2,2	68,0	152,7	141,0	5,77
	восточная	130	3,8	63,4	125,5	124,4	5,91
	(заветренная)	50	3,2	114,	149,7	158,8	6,19
среднее			2,9	71,2	147,4	144,6	5,94
НСР ₀₅		фактор А	0,4	1,0	1,0	0,7	Fф<Fт
		фактор В	0,5	1,3	1,2	0,9	0,5
		фактор АВ	0,9	2,2	2,1	1,6	0,9

Связь урожайности полевых культур (у, т/га) с показателями
почвенного плодородия (2022-2024 гг.)

Показатели	r	Степень зависимости	Уравнение регрессии
озимая пшеница (2022 г.)			
запасы продуктивной влаги (0-100), мм	0,599	Средняя, прямая	$y_8 = 0,0176x_{61} + 2,8215$ [61]
количество агрономически ценных агрегатов, %	0,607	Средняя, прямая	$y_8 = 0,0439x_{62} + 0,903$ [62]
содержание гумуса, %	0,480	Средняя, прямая	$y_8 = 0,1786x_{63} + 3,1276$ [63]
пшеница яровая мягкая (2023 г.)			
запасы продуктивной влаги (0-100), мм	0,812	Сильная, прямая	$y_8 = 0,0298x_{64} - 0,1378$ [64]
количество агрономически ценных агрегатов, %	0,677	Средняя, прямая	$y_8 = 0,0297x_{65} + 0,7211$ [65]
содержание гумуса, %	0,500	Средняя, прямая	$y_8 = 0,4074x_{66} + 0,611$ [66]
пшеница яровая твердая (2024 г.)			
запасы продуктивной влаги (0-100), мм	0,642	Средняя, прямая	$y_8 = 0,018x_{67} - 0,9822$ [67]
количество агрономически ценных агрегатов, %	0,430	Средняя, прямая	$y_8 = 3,7067x_{68} + 73,772$ [68]
содержание гумуса, %	0,137	Слабая, прямая	$y_8 = 0,1436x_{69} + 1,4191$ [69]

Приложение 43

Прогнозируемый баланс гумуса в почве на объекте Новоникулинский
противоэрозионный вал за 2021-2024 гг., кг/га

Культура, год	Вариант опыта	Урожай ность т/га	Вынос азота с урожаем	Минера лизация гумуса	Новообразования гумуса			Баланс гумуса +-
					солома	ПКО	всего	
Ячмень яровой, 2021 год	(0-1°)	2,5	60,5	605,0	408,4	208,1	616,5	11,5
	(1-3°)	2,4	59,0	590,0	398,3	203,0	601,2	11,2
	(3-5°)	1,84	57,3	572,5	386,4	196,9	583,4	10,9
	Контроль	1,97	58,3	582,5	393,2	200,4	593,6	11,1
Озимая пшеница, 2023 год*	(0-1°)	2,22	180,3	4302,5	869,1	442,9	1312,0	-2990,5
	(1-3°)	1,98	169,8	4197,5	818,4	417,1	1235,5	-2962,0
	(3-5°)	2,17	163,5	4134,5	788,1	401,6	1189,7	-2944,8
	Контроль	1,86	169,4	4194,0	816,8	416,2	1233,0	-2961,0
Яровая пшеница, 2024 год	(0-1°)	4,87	93,8	938,0	452,3	230,5	682,7	-255,3
	(1-3°)	4,37	82,6	826,0	398,3	203,0	601,2	-224,8
	(3-5°)	3,12	67,2	672,0	324,0	165,1	489,1	-182,9
	Контроль	3,25	73,9	738,5	356,1	181,5	537,5	-201,0

*- расчет проведен с учетом чистого пара в 2022 году

Приложение 44

Прогнозируемый баланс гумуса в почве на объекте Тимофеевский лоток-
быстроток открытого типа за 2021-2024 гг., кг/га

Культура, год	Вариант опыта	Урожайность, т/га	Вынос азота с урожаем	Минерализация гумуса	Новообразования гумуса			Баланс гумуса +-
					солома	ПКО	всего	
Озимая пшеница, 2021 год	(0-1°)	2,42	87,5	875,0	421,9	215,0	636,9	-238,1
	(1-3°)	2,36	84,0	840,0	405,0	206,4	611,4	-228,6
	(3-5°)	2,29	64,4	644,0	310,5	158,2	468,7	-175,3
	Контроль	2,33	69,0	689,5	332,4	169,4	501,9	-187,6
Подсолнечник, 2022 год	(0-1°)	5,15	126,5	1265,4	374,6	190,9	565,5	-699,9
	(1-3°)	4,85	112,9	1128,6	334,1	170,3	504,4	-624,2
	(3-5°)	4,67	123,7	1236,9	366,2	186,6	552,8	-684,1
	Контроль	4,84	106,0	1060,2	313,9	160,0	473,8	-586,4
Озимая пшеница, 2024 год*	(0-1°)	2,68	170,5	4204,5	821,8	418,8	1240,6	-2963,9
	(1-3°)	2,36	153,0	4029,5	737,4	375,8	1113,3	-2916,2
	(3-5°)	1,92	109,2	3592,0	526,5	268,3	794,8	-2797,2
	Контроль	2,11	113,8	3637,5	548,4	279,5	827,9	-2809,6

*- расчет проведен с учетом чистого пара в 2023 году

Эколого-экономическая оценка возделывания полевых культур в различных типах агроландшафта под влиянием лесных полос (2022 г.)

Культура, год	Озимая пшеница, 2022 г.																	
Типы ландшафтов	Плакорно-равнинный (0-1°)						Склоново-ложбинный (1-3°)						Склоново-овражный (3-5°)					
Расстояние от л/п, м	50	130	260	130	50	среднее	50	130	260	130	50	среднее	50	130	260	130	50	среднее
Урожайность, т/га	4,72	4,61	4,15	4,55	4,67	4,54	4,6	4,35	3,9	4,15	4,21	4,24	4,22	3,87	3,6	4,01	4,15	3,97
Цена реализации, руб./т	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Стоимость продукции, руб./га	47200	46100	41500	45500	46700	45400	46000	43500	39000	41500	42100	42400	42200	38700	36000	40100	41500	39700
Производственные затраты, руб./га	24705	24550	23900	24465	24635	24451	24536	24183	23547	23900	23985	24028	23999	23505	23124	23703	23900	23646
Условно чистый доход	17554	16640	12819	16142	17138	16059	16557	14481	10743	12819	13318	13567	13401	10494	8251	11657	12819	11324
Себестоимость, руб./т	6281	6390	6911	6452	6330	6463	6401	6671	7245	6911	6837	6800	6824	7288	7708	7093	6911	7147
Рентабельность, %	59,2%	56,5%	44,7%	55,0%	58,0%	54,7%	56,2%	49,9%	38,0%	44,7%	46,3%	47,1%	46,5%	37,2%	29,7%	41,0%	44,7%	39,9%
Баланс гумуса (вынос с урожаем и стоком), ± кг/га	-449,6	-439,1	-395,3	-433,4	-444,8	-432,5	-487,0	-469,1	-405,2	-442,7	-446,8	-450,1	-482,7	-454,4	-436,0	-457,2	-473,2	-460,7
Затраты с учетом компенсации потерь органического вещества, руб./га	36857	36418	34585	36180	36657	36140	37698	36861	34498	35866	36060	36194	37044	35786	34907	36060	36691	36098
Общие затраты, тыс. /га	44229	43702	41502	43416	43989	43368	45237	44233	41398	43039	43271	43432	44453	42943	41889	43272	44029	43317
Условно чистый доход, руб.	2971	2398	-2	2084	2711	2032	763	-733	-2398	-1539	-1171	-1032	-2253	-4243	-5889	-3172	-2529	-3617
Себестоимость, руб./т	9371	9480	10001	9542	9419	9552	9834	10169	10615	10371	10278	10243	10534	11096	11636	10791	10609	10911
Рентабельность, %	6,7%	5,5%	0,0%	4,8%	6,2%	4,7%	1,7%	-1,7%	-5,8%	-3,6%	-2,7%	-2,4%	-5,1%	-9,9%	-14,1%	-7,3%	-5,7%	-8,4%

Эколого-экономическая оценка возделывания полевых культур в различных типах агроландшафта под влиянием лесных полос (2023 г.)

Культура, год	Мягкая яровая пшеница, 2023 г.																	
Типы ландшафтов	Плакорно-равнинный (0-1°)						Склоново-ложбинный (1-3°)						Склоново-овражный (3-5°)					
Расстояние от л/п, м	50	130	260	130	50	среднее	50	130	260	130	50	среднее	50	130	260	130	50	среднее
Урожайность, т/га	3,61	3,34	3,13	3,26	3,61	3,39	3,35	3,04	2,46	2,88	3,07	2,96	3,13	2,66	2,37	2,42	2,98	2,71
Цена реализации, руб./т	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Стоимость продукции, руб./га	36100	33400	31300	32600	36100	33900	33500	30400	24600	28800	30700	29600	31300	26600	23700	24200	29800	27100
Производственные затраты, руб./га	22092	21711	21415	21598	22092	21782	21725	21288	20469	21062	21330	21175	21415	20751	20342	20412	21203	20822
Условно чистый доход	9589	7347	5602	6682	9589	7762	7430	4855	38	3526	5104	4190	5602	1699	-710	-295	4357	2114
Себестоимость, руб./т	7344	7800	8210	7950	7344	7710	7782	8403	9985	8776	8337	8584	8210	9361	10300	10122	8538	9220
Рентабельность, %	36,2%	28,2%	21,8%	25,8%	36,2%	29,7%	28,5%	19,0%	0,2%	14,0%	19,9%	16,5%	21,8%	6,8%	-2,9%	-1,2%	17,1%	8,5%
Баланс гумуса (вынос с урожаем и стоком), ± кг/га	-343,9	-318,1	-298,1	-310,5	-343,9	-322,9	-372,4	-336,6	-278,2	-314,0	-334,2	-327,1	-379,6	-332,1	-300,3	-317,0	-364,5	-338,7
Затраты с учетом компенсации потерь органического вещества, руб./га	31388	30309	29472	29991	31388	30510	31789	30386	27986	29547	30362	30014	31674	29725	28459	28980	31053	29976
Общие затраты, тыс. /га	37665	36371	35367	35989	37665	36611	38147	36463	33583	35457	36435	36017	38009	35670	34151	34776	37263	35971
Условно чистый доход, руб.	-1565	-2971	-4067	-3389	-1565	-2711	-4647	-6063	-8983	-6657	-5735	-6417	-6709	-9070	-10451	-10576	-7463	-8871
Себестоимость, руб./т	10434	10890	11299	11040	10434	10800	11387	11994	13652	12311	11868	12168	12144	13410	14410	14370	12505	13273
Рентабельность, %	-4,2%	-8,2%	-11,5%	-9,4%	-4,2%	-7,4%	-12,2%	-16,6%	-26,7%	-18,8%	-15,7%	-17,8%	-17,7%	-25,4%	-30,6%	-30,4%	-20,0%	-24,7%

Эколого-экономическая оценка возделывания полевых культур в различных типах агроландшафта под влиянием лесных
полос (2024 г.)

Культура, год	Твердая яровая пшеница, 2024 г.																	
Типы ландшафтов	Плакорно-равнинный (0-1°)						Склоново-ложбинный (1-3°)						Склоново-овражный (3-5°)					
Расстояние от л/п, м	50	130	260	130	50	среднее	50	130	260	130	50	среднее	50	130	260	130	50	среднее
Урожайность , т/га	3,44	2,42	1,93	2,41	2,64	2,56	2,62	2,4	1,67	2,43	2,98	2,42	1,82	1,79	1,49	1,66	1,81	1,71
Цена реализации, руб./т	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
Стоимость продукции, руб./га	48160	33880	27020	33740	36960	35840	36680	33600	23380	34020	41720	33880	25480	25060	20860	23240	25340	23940
Производственные затраты, руб./га	21581	20140	19449	20126	20451	20338	20423	20112	19081	20155	20931	20140	19293	19251	18827	19067	19279	19138
Условно чистый доход	22263	9711	3682	9588	12419	11434	12173	9465	482	9835	16603	9711	2328	1959	-1733	359	2205	974
Себестоимость, руб./т	7528	9987	12092	10021	9296	9533	9354	10056	13711	9953	8429	9987	12721	12906	15163	13784	12782	13430
Рентабельность, %	86,0%	40,2%	15,8%	39,7%	50,6%	46,9%	49,7%	39,2%	2,1%	40,7%	66,1%	40,2%	10,1%	8,5%	-7,7%	1,6%	9,5%	4,2%
Баланс гумуса (вынос с урожаем и стоком), ± кг/га	-327,7	-230,5	-183,8	-229,6	-251,5	-244,7	-301,8	-268,3	-205,1	-277,9	-331,8	-276,9	-263,8	-249,2	-224,4	-242,6	-260,9	-248,2
Затраты с учетом компенсации потерь органического вещества, руб./га	30438	26371	24417	26332	27249	26950	28580	27363	24624	27664	29900	27626	26422	25985	24893	25624	26331	25845
Общие затраты , тыс./га	36526	31645	29300	31599	32699	32340	34296	32835	29549	33197	35879	33151	31707	31182	29871	30749	31597	31014
Условно чистый доход, руб.	11634	2235	-2280	2141	4261	3500	2384	765	-6169	823	5841	729	-6227	-6122	-9011	-7509	-6257	-7074
Себестоимость, руб./т	10618	13077	15182	13112	12386	12633	13090	13681	17694	13661	12040	13699	17421	17420	20048	18524	17457	18137
Рентабельность, %	31,9%	7,1%	-7,8%	6,8%	13,0%	10,8%	7,0%	2,3%	-20,9%	2,5%	16,3%	2,2%	-19,6%	-19,6%	-30,2%	-24,4%	-19,8%	-22,8%

Прогнозируемый баланс гумуса в почве под посевами озимой пшеницы в зависимости от типов агроландшафта и влияния лесных полос (2022 г.), кг/га

Тип агроландшафта	Вариант опыта	Урожайность, т/га	Вынос азота с урожаем	Минерализация гумуса	Новообразования гумуса, кг/га			Баланс гумуса +/-
					солома	ПКО	всего	
Плакорно-равнинный (0-1°)	50	4,72	165,2	1652,0	796,5	405,9	1202,4	-449,6
	130	4,61	161,4	1613,5	777,9	396,5	1174,4	-439,1
	260	4,15	145,3	1452,5	700,3	356,9	1057,2	-395,3
	130	4,55	159,3	1592,5	767,8	391,3	1159,1	-433,4
	50	4,67	163,5	1634,5	788,1	401,6	1189,7	-444,8
Склоново-ложбинный (1-3°)	50	4,60	161,0	1610,0	776,3	395,6	1171,9	-438,2
	130	4,35	152,3	1522,5	734,1	374,1	1108,2	-414,3
	260	3,90	136,5	1365,0	658,1	335,4	993,5	-371,5
	130	4,15	145,3	1452,5	700,3	356,9	1057,2	-395,3
	50	4,21	147,4	1473,5	710,4	362,1	1072,5	-401,0
Склоново-овражный (3-5°)	50	4,22	147,7	1477,0	712,1	362,9	1075,0	-402,0
	130	3,87	135,5	1354,5	653,1	332,8	985,9	-368,6
	260	3,60	126,0	1260,0	607,5	309,6	917,1	-342,9
	130	4,01	140,4	1403,5	676,7	344,9	1021,5	-382,0
	50	4,15	145,3	1452,5	700,3	356,9	1057,2	-395,3

Прогнозируемый баланс гумуса в почве под посевами яровой мягкой пшеницы в зависимости от типов агроландшафта и влияния лесных полос (2023 г.), кг/га

Тип агроландшафта	Вариант опыта	Урожайность основной продукции	Вынос азота с урожаем	Минерализация гумуса	Новообразования гумуса			Баланс гумуса +-
					солома	ПКО	всего	
Плакорно-равнинный (0-1°)	50	3,61	126,4	1263,5	609,2	310,5	919,6	-343,9
	130	3,34	116,9	1169,0	563,6	287,2	850,9	-318,1
	260	3,13	109,6	1095,5	528,2	269,2	797,4	-298,1
	130	3,26	114,1	1141,0	550,1	280,4	830,5	-310,5
	50	3,61	126,4	1263,5	609,2	310,5	919,6	-343,9
Склоново-ложбинный (1-3°)	50	3,35	117,3	1172,5	565,3	288,1	853,4	-319,1
	130	3,04	106,4	1064,0	513,0	261,4	774,4	-289,6
	260	2,46	86,1	861,0	415,1	211,6	626,7	-234,3
	130	2,88	100,8	1008,0	486,0	247,7	733,7	-274,3
	50	3,07	107,5	1074,5	518,1	264,0	782,1	-292,4
Склоново-овражный (3-5°)	50	3,13	109,6	1095,5	528,2	269,2	797,4	-298,1
	130	2,66	93,1	931,0	448,9	228,8	677,6	-253,4
	260	2,37	83,0	829,5	399,9	203,8	603,8	-225,7
	130	2,42	84,7	847,0	408,4	208,1	616,5	-230,5
	50	2,98	104,3	1043,0	502,9	256,3	759,2	-283,8

Прогнозируемый баланс гумуса в почве под посевами яровой твердой пшеницы в зависимости от типов агроландшафта и влияния лесных полос (2024 г.), кг/га

Тип агроландшафта	Вариант опыта	Урожайность основной продукции	Вынос азота с урожаем	Минерализация гумуса	Новообразования гумуса			Баланс гумуса +/-
					солома	ПКО	всего	
Плакорно-равнинный (0-1°)	50	3,44	120,4	1204,0	580,5	295,8	876,3	-327,7
	130	2,42	84,7	847,0	408,4	208,1	616,5	-230,5
	260	1,93	67,6	675,5	325,7	166,0	491,7	-183,8
	130	2,41	84,4	843,5	406,7	207,3	613,9	-229,6
	50	2,64	92,4	924,0	445,5	227,0	672,5	-251,5
Склоново-ложбинный (1-3°)	50	2,62	91,7	917,0	442,1	225,3	667,4	-249,6
	130	2,40	84,0	840,0	405,0	206,4	611,4	-228,6
	260	1,67	58,5	584,5	281,8	143,6	425,4	-159,1
	130	2,43	85,1	850,5	410,1	209,0	619,0	-231,5
	50	2,98	104,3	1043,0	502,9	256,3	759,2	-283,8
Склоново-овражный (3-5°)	50	1,82	63,7	637,0	307,1	156,5	463,6	-173,4
	130	1,79	62,7	626,5	302,1	153,9	456,0	-170,5
	260	1,49	52,2	521,5	251,4	128,1	379,6	-141,9
	130	1,66	58,1	581,0	280,1	142,8	422,9	-158,1
	50	1,81	63,4	633,5	305,4	155,7	461,1	-172,4

Акт внедрения результатов исследований в ОС «Новоникулинская»

АКТ

внедрения научной разработки

с. Новое Никулино

01.09.2025

Мы, нижеподписавшиеся директор Ульяновского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН – А. Л. Тойгильдин с одной стороны и директор опытной станции «Новоникулинская» – филиала СамНЦ РАН – О. А. Сотников с другой стороны составили настоящий акт о том, что в период с 2022-2024 гг. научным сотрудником отдела земледелия и технологий возделывания с.-х. культур Ульяновского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН М. В. Петровым:

- проведена группировка сельскохозяйственных угодий по типам агроландшафта на основе крутизны склонов и противоэрозионной устойчивости;

- оказана практическая помощь по планировке внедрения противоэрозионных мероприятий и их реконструкции, разработана математическая модель для проектирования и закладки лесных полос.

Хозяйство при внедрении системы противоэрозионных мероприятий использовало разработки Петрова М. В. по теме: «Обоснование элементов противоэрозионного комплекса в адаптивно-ландшафтных системах земледелия лесостепи Среднего Поволжья».

Применение комплекса противоэрозионных мероприятий позволило:

- получить дополнительные единицы урожайности в зависимости от условий и средств интенсификации на уровне 0,2-0,3 т/га;

- обеспечить экономический эффект от данной разработки в размере 1750 руб./га.

Директор Ульяновского НИИСХ
– филиала СамНЦ РАН



Тойгильдин А.Л.

Директор опытной станции «Новоникулинская»
– филиала СамНЦ РАН



Сотников О.А.