

На правах рукописи

САФОНОВА ДАРЬЯ НИКОЛАЕВНА

ЗАПАСЫ ПРОДУКТИВНОЙ ВЛАГИ В ПОЧВАХ МОРЕННЫХ И ОЗЕРНО-ЛЕДНИКОВЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ ПРИБАЛТИЙСКОЙ ПОЧВЕННОЙ ПРОВИНЦИИ (КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Специальность 4.1.5 - Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Калининград
2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Калининградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «КГТУ»)

Научный руководитель:

Анциферова Ольга Алексеевна

доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
профессор кафедры агрономии и агропочвоведения ФГБОУ ВО «КГТУ»

Официальные оппоненты:

Степанцова Людмила Валентиновна

доктор биологических наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»

Болотов Андрей Геннадьевич

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физики и гидрологии почв, заместитель директора ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»

Ведущая организация: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»

Защита диссертации состоится «__» _____ 2023 г. в __ часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.1.001.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Агрофизический научно-исследовательский институт» по адресу: 195220, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д.14. Тел. +7 (812) 534-13-24, факс +7 (812) 534-19-00, e-mail: office@agrophys.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Агрофизического научно-исследовательского института и на сайте <http://www.agrophys.ru>, с авторефератом - на сайте <http://vak.ed.gov.ru> и <http://www.agrophys.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14, ФГБНУ АФИ.

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.1.001.01

кандидат биологических наук

_____ Н. Г. Синявина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Особенностью почв Калининградской области является почти повсеместная осушительная мелиорация разными способами на фоне пестроты геоморфологических условий и климатических особенностей приморского климата. Исходя из данных 2020 г., около 38,5% осушенных сельскохозяйственных угодий Калининградской области имеют неудовлетворительное мелиоративное состояние (Государственный доклад, 2020). Основным фактором, ведущим к потере урожая в области является переувлажнение и превышение норм осадков, а также недостаточная аэрация почв. Как следствие активируются процессы оглеения, заболачивания и водной эрозии почв (Анциферова, 2018). Научной составляющей стабильных и высоких урожаев является изучение и постоянный мониторинг различных агрофизических показателей почвы, особенно влажности. Разработка экспертных систем с применением методов дистанционного мониторинга, основных агрофизических показателей для системы точного земледелия является одним из аспектов дальнейших исследований (Егоров, 2019; Смагин, 2006; Белов, 2013).

Степень научной разработанности проблемы. Изучением гидрологии почв занимались такие известные российские физики почв, как А.А. Роде, С.И. Долгов, Н.А. Качинский, Ф.Р. Зайдельман, Е.В. Шеин, которые неоднократно в специальных экспериментах доказывали, что вода в почве при различном ее содержании (влажности) далеко не равнозначна по своим свойствам. Прикладное значение имеют исследования запасов продуктивной влаги, связанные с урожайностью агроэкосистем, как одного из лимитирующих факторов роста сельскохозяйственных растений (Вериго, Разумова, 1973; Кельчевская, 1983).

Осушительная мелиорация почв в Калининградской области имеет достаточно длинную историю. До 1945 г. область входила в состав Восточной Пруссии. Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур в регионе возможно только при функционировании дренажных систем (Научные основы., 1982; Анциферова, 2019). В работах «Агрохимические работы в Калининградской области» (Церлинг, Важенин, 1959) и «Почвенный покров Калининградской области» (Завалишин, Надеждин, 1961) затронуты вопросы водного режима почв и его влияния на почвообразующие процессы, также рассмотрены некоторые прикладные аспекты. В настоящее время фундаментальные исследования водного режима почв и в Калининградской области проводят отдельные ученые (Анциферова, 2009, 2014, 2017, 2019, 2021). Однако сведения о запасах продуктивной влаги на территории региона за XX в. представлены только в Агрометеорологическом справочнике 1961 г. и ограничиваются двумя почвенными разновидностями в отдельном районе. Пространственные и временные закономерности динамики продуктивной влаги в настоящее время недостаточно изучены. Ряд вопросов остается нерешенным: влияние метеоусловий, рельефа, степени гидроморфизма почв на запасы продуктивной влаги, взаимосвязь с урожайностью. Данные о запасах продуктивной влаги могут применяться для создания экспертных систем анализа и обработки полученных данных, в качестве одного из базовых элементов точного земледелия.

Цель и задачи исследования.

Цель: установление особенностей и причин сезонной и пространственной изменчивости запасов продуктивной влаги в осушенных почвах нарастающей степени оглеения в пределах типичных участков холмисто-моренного и озерно-ледникового агроландшафтов.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие **задачи:**

1. Изучить строение, агрофизические свойства почв в связи с условиями формирования запасов продуктивной влаги в катенах на моренных и озерно-ледниковых почвообразующих породах.
2. На основе мониторинговых исследований определить количественные показатели запасов продуктивной влаги и их сезонную динамику с апреля по октябрь 2019 – 2022 гг.
3. Оценить влагообеспеченность и продуктивность озимой пшеницы, ярового ячменя, многолетних трав на почвах разной степени оглеения в условиях производственных полей.
4. Разработать предложения по совершенствованию сбора и обработки данных о запасах продуктивной влаги.

Научная новизна диссертационной работы. Впервые для почвенно-гидрологических условий Прибалтийской провинции (Калининградская область) установлены причины внутрипольного варьирования запасов продуктивной влаги в осушенных почвах пахотных и сенокосно-пастбищных угодий.

Теоретическая значимость. Установлены закономерности влияния геоморфологических условий и состава пород на формирование запасов продуктивной влаги в почвах разной степени оглеения.

Практическая значимость:

- установлены количественные показатели запасов продуктивной влаги в значимые периоды развития для ряда сельскохозяйственных культур (озимая пшеница, яровой ячмень, многолетние травы);

- выявлено, что при избыточных влагозапасах в весенний период происходит гибель сельскохозяйственных культур;

- проведена оценка влагообеспеченности посевов в разные периоды вегетации в условиях, моренных и озерно-ледниковых агроландшафтов;

- разработана компьютерная программа расчета запасов продуктивной влаги в региональных условиях холмисто-моренных агроландшафтов для сельскохозяйственных предприятий;

- создана база данных запасов продуктивной влаги в осушаемых оглеенных дерново-подзолистых почвах тяжелого гранулометрического состава Лава-Прегольской озерно-ледниковой низменности.

Методология и методы исследования. В работе применен сравнительно-географический метод, на основании которого были выявлены связи между запасами продуктивной влаги, факторами почвообразования (рельефом, почвообразующими породами), степенью оглеения почв в условиях различных физико-географических (ландшафтных) районов Калининградской области. Запасы продуктивной влаги (ЗПВ) определялись при реализации стационарного метода в рамках мониторинга гидрологического режима почв в агроландшафтах. Исследования являлись частью более обширной научной программы (включающей режим влажности, воздухоносной пористости, динамики уровней верховодки и грунтовых вод, объемов дренажного стока) проводимых на стационарных ключевых участках многолетних наблюдений, расположенных на производственных сельскохозяйственных угодьях под руководством д.с.х.н., профессора О.А. Анциферовой. Таким образом, в работе совмещены сравнительно-географический и стационарный методы. Методической основой непосредственных исследований запасов продуктивной влаги явились работы С.А. Вериги, Л.А. Разумовой (1963), Л.С. Кельчевской (1983), А.Ф. Вадюниной, З.А. Корчагиной (1986).

Положения, выносимые на защиту:

1. Пространственная пестрота запасов продуктивной влаги связана с микро- и мезорельефом и наиболее выражена в холмисто-моренном агроландшафте.
2. Избыточные влагозапасы в осушенных дерново-глеевых почвах замкнутых понижений в весенний период приводят к гибели или резкому снижению урожайности сельскохозяйственных культур.
3. Формирование запасов продуктивной влаги в гумидных агроландшафтах Прибалтийской провинции зависит от степени оглеения почв как интегрального показателя условий почвообразования.

Степень достоверности и апробация работы. Необходимый в научных исследованиях уровень достоверности обеспечивался строгим соблюдением методических принципов и требований к проведению полевых опытов, ботанических, физических и агрохимических обследований. Достоверность экспериментальных данных достигается корреляционной оценкой повторов экспериментов, и широкой апробацией полученных результатов.

Организация исследования и личный вклад автора. Научные исследования выполнялись в ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» в рамках государственного задания (№ АААА-А19-119121890142-1 «Оптимизация технологий возделывания кормовых культур в почвенно-климатических условиях Калининградской области для целей рыбного кормопроизводства») (2019-2020 гг.) и темы НИР кафедры агропочвоведения

и агроэкологии (с 2021 г. агрономии и агроэкологии) «Почвенные ресурсы Калининградской области: оценка, использование, продуктивность, управление» (рег. № 13.16.022.2. ОНИОКР УНИД КГТУ)

Автор принимала непосредственное участие в мониторинге влажности почв, отборе и подготовке проб, лабораторных анализах, анализе структуры урожая, обобщении и анализе экспериментальных данных, подготовке публикаций, разработке концепции системы дистанционного мониторинга и создании интерфейса компьютерной программы для расчета запаса продуктивной влаги. Личный вклад автора в объем исследований составляет не менее 80%. Автор являлась стипендиатом Правительства РФ в 2021-2022 годах приказ №796 от 26.08.2021.

Апробация результатов работы. Результаты исследований апробированы на международной научно-практической конференции «Высокопродуктивное и экологически чистое агрохозяйство на мелиоративных землях» (Тверь, 2019), на международной научной конференции «Балтийский форум» (Калининград, 2019, 2020, 2021), международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» ФГБНУ АФИ (Санкт-Петербург, 2021), на VIII съезде Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школе молодых ученых по морфологии и классификации почв Сыктывкар, 2022.

Автор приняла участие в качестве спикера на Международной ассамблее молодых изобретателей стран Евразийского экономического союза в Великом Новгороде в 2021 году.

Результаты работы были оформлены в виде проекта, который стал победителем программы УМНИК в 2019 году (Калининград, 2019). Проект стал финалистом Всероссийского конкурса-акселератора инновационных проектов «Большая технологическая разведка» (Пермь, 2020) и финалистом XVII Всероссийского конкурса молодежных авторских проектов и проектов в сфере образовании, направленных на социально-экономическое развитие российских территорий «Моя страна - моя Россия» (Москва, 2020).

Публикации. По содержанию диссертации опубликовано 11 печатных работ, 2 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК. Получено 1 свидетельство на регистрацию программы для ЭВМ и 1 свидетельство на регистрацию базы данных для ЭВМ.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 184 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, заключения, предложения производству, списка литературы и приложений. В тексте содержится 47 таблиц, 29 рисунков и 6 приложений. Список литературы включает 189 источников, в том числе 17 на иностранном языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе «Состояние изученности вопроса» представлен литературный обзор, посвященный особенностям формирования запасов продуктивной влаги в пределах почвенных провинций южно-таежной лесной зоны. Обзор источников литературы, показал, что за XX в был накоплен большой объем материала по исследованию водного режима почв и запасов продуктивной влаги Нечерноземной зоны. Особенно тщательные исследования были проведены Ф.Р. Зайдельманом в условиях работы гидрологических стационаров (Среднерусская почвенная провинция). Белорусские ученые ведут систематические исследования водного режима и запасов продуктивной влаги. Часть работ направлена на изучение влияния глобального потепления на гидрологический режим почв, но по ряду аспектов данные трудно сопоставимы с Нечерноземьем России по причине использования разных научных подходов (Вирхов, 2019; Волчек, Шпендик, 2013).

Изучение запасов продуктивной влаги на территории Калининградской области велось в системе Гидрометеослужбы. Данные были получены на метеостанции г. Гвардейска на дерново-остаточно-подзолистых глееватых супесчаных и легкосуглинистых почвах. Период исследований относится к 50-м – 60-м годам XX в (Агроклиматический справочник, 1961). Они носили обобщающий характер и не отражали ландшафтные особенности и внутриландшафтные различия. Во многом вопрос водного режима почв в регионе связан с мелиорацией. Работы проводились на сельскохозяйственных угодьях и имели прикладное значение (Грабовский, 1978, Пунтусов, 2013).

В конце XX в. с распадом СССР ряд исследований был прекращен. Отдельные краткосрочные изыскания, выполненные в XXI в., носят разноплановый фрагментарный и несистематический характер, мало сопоставимы с масштабными почвенными экспедициями, проведенными ранее. На современном этапе усилия большинства ученых переключились на компьютерное моделирование или замену традиционных методов дистанционными. Такой подход может стать дополнением к фундаментальным научным исследованиям.

Актуальность темы исследования определяется стратегией продовольственной безопасности Российской Федерации (Доктрина...,2020). Оптимальный водный режим и запас продуктивной влаги являются важными условиями получения высоких урожаев на территории Калининградской области при современных условиях развития умного сельского хозяйства.

Во второй главе «Объекты и методы исследования» дана характеристика объектов и методов исследования. Факторы почвообразования и почвенный покров имеют различия в пределах двух исследованных физико-географических районах Калининградской области. Самбийская равнина расположена в западной части области на Замландском (Калининградском) полуострове. Лава-Прегольская низменность занимает центральную часть региона (рис.1).

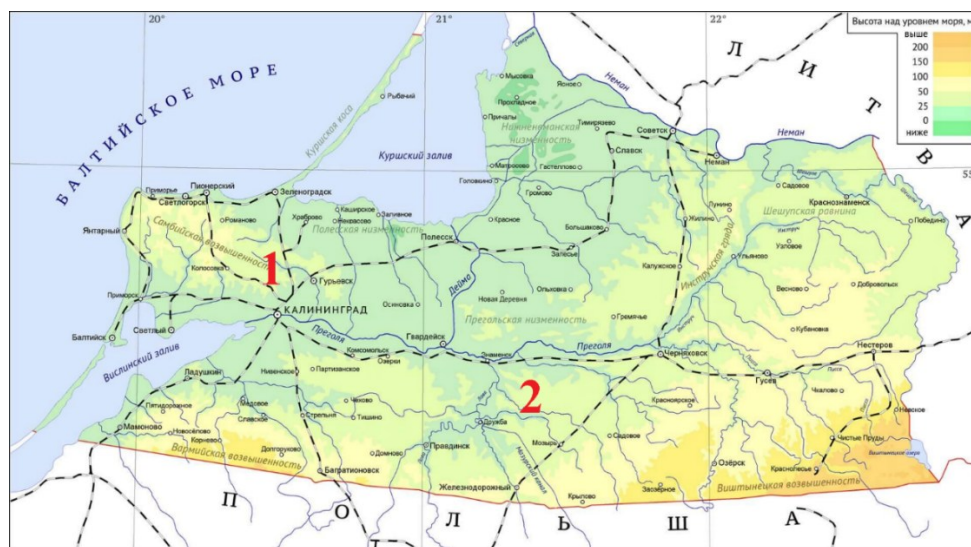


Рис. 1. Физическая карта Калининградской области с расположением ключевых участков (1 – Перелески (Самбийская равнина), 2 – Светаевка (Лава-Прегольская низменность)).

Метеорологические условия в годы проведения исследований выявили тенденцию к превышению среднегодовых температур воздуха по сравнению со среднемноголетними нормами 20 в.

Большую часть года Лава-Прегольская низменность характеризуется более низкими температурами по сравнению с Самбийской равниной. Среднегодовые температуры существенно не отличаются ввиду небольшого расстояния между агроклиматическими районами (Борисов, Баринаова,1972) (табл. 1).

Таблица 1. Температура и количество осадков за характерные периоды (обработка данных метеостанций г. Калининграда (над чертой) и Черняховка (под чертой) за 2019 – 2022 гг.).

Показатели	2019	2020	2021	2022	Среднее многолетнее
Среднегодовая температура воздуха, °С	+9,7	+9,8	+8,2	+8,8	+8,0
	+9,4	+9,7	+8,1	+8,7	+7,8
Количество осадков за год, мм	778	751	683	607	781
	702	733	719	650	752
Сумма осадков за вегетационный период (апрель – октябрь), мм	495	447	439	303	493
	442	481	489	359	486
Гидротермический коэффициент за вегетационный период	1,37	1,30	1,30	1,08	1,5
	1,38	1,41	1,48	1,20	1,6

Годы исследований характеризовались количеством осадков на уровне среднемноголетних значений (средние) и ниже средних (сухие). Отрезок апрель-август – основной период вегетации доминирующих сельскохозяйственных полевых культур в регионе (зерновых и рапса). Здесь также наблюдались средние по осадкам годы (2020 – 2021) и относительно сухие (2019 и 2022). Увлажненность осенних месяцев в период исследований была на уровне средних значений и ниже (Анциферова, Сафонова, 2022). Более влажные и теплые зимы отмечались на Самбийской равнине. Расчет гидротермического коэффициента по Селянинову показал довольно пеструю картину по месяцам вегетационного периода. Это указывает на локальные различия между ключевыми участками по условиям соотношения влаги и тепла.

Отличия ключевых участков по геоморфологии и землепользованию приведены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика ключевых участков.

Характеристики	Ключевые участки	
	Перелески	Светаевка
Физико-географический район	Самбийская равнина	Лава-Прегольская низменность
Административная единица	Зеленоградский муниципальный округ	Черняховский муниципальный округ
Угодье	Пашня	Сенокос/пастбище
Чередование культур в период исследований	2019 – озимая пшеница; 2020 – яровой ячмень; 2021 – яровой ячмень; 2022 - пар	2019 – 2020 гг. – сеяный сенокос; 2021 – 2022 гг. – сенокос/пастбище
Мезорельеф	Холмистый с обширными депрессиями	Слабоволнистый
Перепады высот, м	4 - 6	1,1

В исследовании сочетался комплекс научных методов, основная роль в которых была у полевого. Проводился мониторинг влажности почв ключевых участков с апреля по октябрь. Отбор проб осуществлялся при бурении послойно каждые 10 см, до глубины 1 м. Исследования велись на 12 ареалах почв разной степени гидроморфизма на Самбийской равнине и двух ареалах на Лава-Прегольской низменности. Морфологические особенности почв приведены в табл. 3. Влажность почвы определялась в лаборатории термостатно-весовым методом (Вадюнина, Корчагина, 1986). Исследования дополнялись анализами агрофизических свойств почвы: плотность твердой фазы почвы пикнометрически; плотность сложения почвы методом режущих колец; максимальная гигроскопичность и наименьшая влагоемкость по Николаеву (Зайдельман, 2009); влажность завядания растений, запасы продуктивной влаги, влагообеспеченность - расчетными способами. Гранулометрический состав почв определен пипет-методом по Н.А. Качинскому. Агрохимические исследования включали анализ рН потенциометрическим методом, содержание гумуса по Тюрину, подвижных форм фосфора и калия по Кирсанову.

Оценка значений физических и химических свойств проведена по стандартным и рекомендованным шкалам. Для запасов продуктивной влаги (ЗПВ) избыточными считали значения больше 50 мм для слоя 0-20 см и более 250 мм для слоя 0-100 см (Сафонова, Анциферова, 2022).

Биометрические показатели продуктивности и биологическая урожайность изучены по рекомендованной методике (Посыпанов, 2004). Пробные снопы сельскохозяйственных культур убирали в фазу полной спелости. Обмолот проводили вручную. Все вышеуказанные статистические показатели рассчитывались согласно общепринятым методическим руководствам (Доспехов, 1973). Приведенные значения в таблицах и на графиках достоверны с 95%-ной вероятностью.

В третьей главе «Запасы продуктивной влаги и урожай в холмисто-моренном агроландшафте» приводятся закономерности динамики запасов продуктивной влаги почв Самбийской холмисто-моренной равнины. Преобладающими почвами в типичном агроландшафте являются бурые лесные почвы супесчаного и легкосуглинистого состава.

Различия в этой группе почв связаны со степенью гидроморфизма, которая зависит от положения в рельефе и локальных особенностей строения почвообразующих пород. В итоге на вершинах холмов выделяются неогленные бурые лесные почвы в условиях хорошего естественного дренажа и глееватые бурые лесные в условиях затрудненного стока. На склонах доминируют глееватые буроземы по причине неоднородности почвообразующих пород. Понижения заняты дерново-глеевыми почвами в основном среднесуглинистого состава со слоистой толщиной моренных и водно-ледниковых отложений в пределах 1 м. Все оглеенные почвы осушаются системой закрытого гончарного дренажа. Литолого-геоморфологические условия явились определяющими при выделении групп почв для сравнительного анализа ЗПВ. Ареалы мониторинга располагались на автоморфных и полугидроморфных буроземах вершин холмов (4 ареала), на полугидроморфных буроземах склоновых позиций (4 ареала) и гидроморфных дерново-глеевых почвах в понижениях (4 ареала) (табл.3).

Физические свойства наиболее благоприятны для растений в неоглеенном буроземе (плотность сложения $1,26 \text{ г/см}^3$, пористость 52 %). В глееватых буроземах подпахотные и глубокие слои имеют высокие значения плотности сложения ($1,50 - 1,65 \text{ г/см}^3$), низкую пористость (38 – 41%). Дерново-глеевые почвы довольно сильно отличаются по плотности ($1,1 - 1,40 \text{ г/см}^3$) в пахотном слое из-за разницы в содержании гумуса.

Неоднородность гранулометрического состава почв площадок мониторинга запасов продуктивной влаги приводит к некоторому варьированию значений почвенно-гидрологических констант (по данным О.А. Анциферовой 2022). Влагоемкость в дерново-глеевых почвах значительно выше по сравнению с буроземами из-за большего содержания илистой фракции.

В холмисто-моренном агроландшафте нет достоверных отличий по значениям диапазона продуктивной влаги (ДДВ) между буроземами вершин и склонов. Так все буроземы имеют супесчаный и легкосуглинистый состав в пахотном слое, то локальные различия обусловлены в основном варьированием количества гумуса. Дерново-глеевые почвы в понижениях имеют более тяжелый гранулометрический состав и повышенное содержание гумуса. Поэтому их влагоудерживающая способность выше (рис. 2).

Особенно заметно влияние гранулометрического состава на влагоудерживающую способность в метровом слое почвы. Наименьшим ДДВ обладает супесчаный бурозем, подстилаемый водно-ледниковыми песками в ареале 6. Особенно высокие значения ДДВ характерны для дерново-глеевых почв с прослойками глины в слое 0 – 100 см (ареалы 10 – 11).

Средние значения ДДВ в буроземах глееватых на вершинах холмов составляют $32,7 \pm 2,0$ мм, в буроземах глееватых на склонах $36,4 \pm 2,5$ мм, в дерново-глеевых почвах понижений $54,1 \pm 4,8$ мм. Для слоя 0 – 100 см этот ряд выглядит так: $166,1 \pm 6,2$ мм; $170,3 \pm 11,8$ мм; $219,8 \pm 14,2$ мм. Различия в между буроземами на вершинах и склонах недостоверны на 5%-ном уровне значимости ($t_{\text{ФАКТ}} < t_{\text{ТЕОР}}$), а между буроземами и дерново-глеевыми почвами достоверны как для пахотного горизонта ($t_{\text{ФАКТ}} > t_{\text{ТЕОР}}$, НСР₀₅ 13,0 мм при фактической разнице 17,7 – 21,4 мм), так и для метровой толщи (НСР₀₅ 41,1 мм при фактической разнице 49,5 - 53,7 мм). Таким образом, водоудерживающая способность почв в холмисто-моренных агроландшафтах возрастает от вершин к понижениям как по причине утяжеления гранулометрического состава, так и в связи с увеличением содержания гумуса в пахотном горизонте.

Изменение ЗПВ в основном зависит от количества осадков (Вериги, Разумова 1973). Данное утверждение характерно для неоглеенных автоморфных почв с атмосферным питанием. Для почв полугидроморфных глееватых характерно питание еще и от латеральных стоков. У гидроморфных глеевых почв происходит так же подпитка за счет капиллярной каймы. В пределах одного участка исследования с разными геоморфологическими особенностями создаются условия для пестроты картины распределения ЗПВ.

В 2019 г. на ключевом участке была посеяна озимая пшеница сорта немецкой селекции «Скаген». К началу апреля 2019 г. запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в группе буроземов неоглеенных и глееватых очень хорошие от 179 до 205 мм. В дерново-глеевых почвах ЗПВ избыточные (299 мм), из-за чего всходы озимой пшеницы были редкими, слабыми и пострадали от вымокания (рис. 3).

Таблица 3. Морфологическая характеристика почв.

Характеристики	Элемент рельефа и группы почв					
	Самбийская равнина				Лава-Пегольская низменность	
	Вершины холмов		Склоны	Понижения	Повышения	Понижения
	1	2	3	4	5	6
Цвет и мощность (см) гумусового горизонта	Бурый 5R/3/6 30 см.	Бурый 5R/3/4 30 см.	Бурый 5R/3/6 30 см.	Темно-серый 5YR/5/2 15 - 35 см.	Серо-коричневый 5YR/6/5 23 см.	Коричневато-серый 5YR/5/5 21 см.
Признаки оподзоливания	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Гор. A2Bg 21-35 см
Верхняя граница появления признаков оглеения, см	Нет	30 - 50	40 - 65	С поверхности	45 - 50	С поверхности
Конкреции Fe- и Mn-Fe	Единичные	Редко в Апах	С поверхности и рассеянно по профилю	С поверхности; максимум в окисленных горизонтах	Не встречаются	Не встречаются
Образования аморфной гидроокиси Fe	Редкие пятна по профилю	Пятна, аморфные скопления	Обильные пятна, прожилки, скопления	В гор. A1 ржавые прожилки и пленки на агрегатах	Прожилки с 20 см	В гор. A1 ржавые прожилки и пленки на агрегатах
Глубина залегания карбонатов, см	-	-	-	81	50	60
Наличие верховодки в сырые периоды*	Отсутствует	Отсутствует	+ В слое 90 – 130 см	Затопление с поверхности	Отсутствует	+ в слое 10 – 30 см
Почвообразующие породы	Моренные валунные легкие суглинки и супеси			Делювиальные и водно-ледниковые отложения	Озерно-ледниковые безвалунные карбонатные тяжелые глины	

Группы почв: 1 – неоглеенный бурозем легкосуглинистый; 2 – буроземы среднеглееватые супесчаные и легкосуглинистые; 3 - буроземы сильноглееватые супесчаные и легкосуглинистые; 4 – дерново-глеевые среднесуглинистые; 4 – дерново-подзолистые грунтово-глееватые; 5 – дерново-подзолистые поверхностно-глееватые (степень оглеения по классификации Ф.Р. Зайдельмана, 2009).

* - с ноября-декабря по март-апрель.

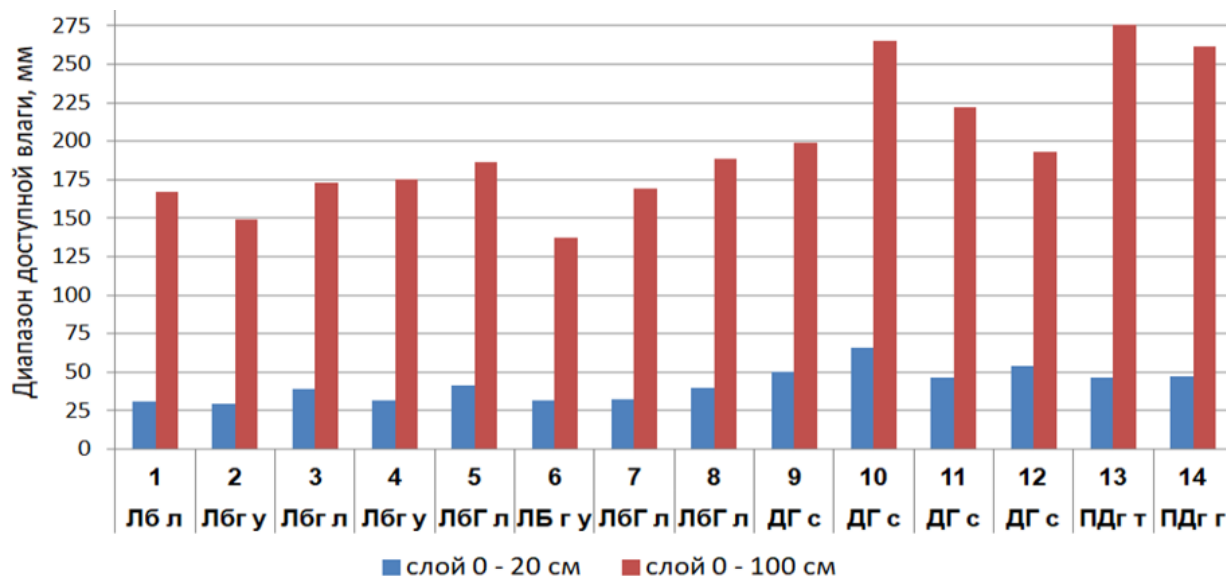


Рис.2. Диапазон доступной влаги (по разнице между НВ и ВЗ) для ареалов мониторинга в зависимости от элемента рельефа, гранулометрического состава и степени оглеения.

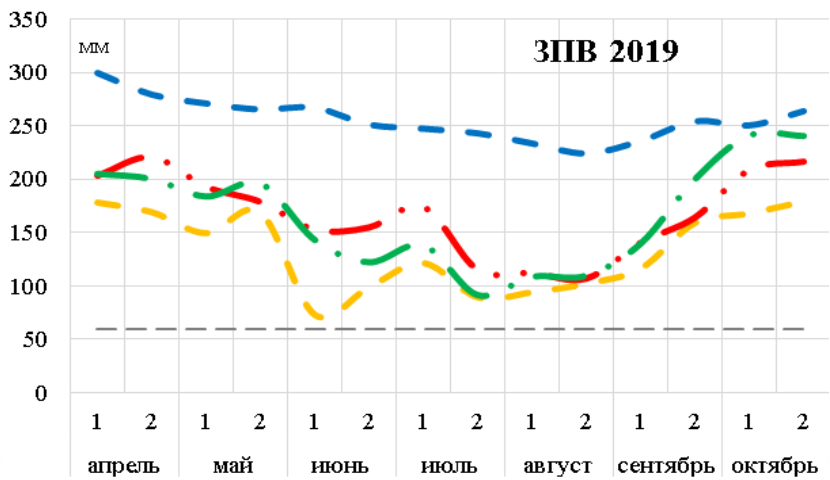
Условные обозначения: Ключевой участок Перелески, холмисто-моренный агроландшафт: 1 – 4 – ареалы на вершинах холмов; 5 – 8 – ареалы на склонах; 9 – 12 – ареалы в понижениях. Почвы: Лб – бурозем неоглеенный; Лбг – буроземы глееватые; ЛбГ – буроземы сильноглееватые; Дг – дерново-глеевые. Гранулометрический состав: у – супесчаный; л – легкосуглинистый; с – среднесуглинистый.

Ключевой участок Светаевка, озерно-ледниковый агроландшафт: 13 – ареал на повышении, 14 – ареал на плоском пониженном участке. Почвы: ПДг – дерново-подзолистые глееватые. Гранулометрический состав: т – тяжелосуглинистый; г – глинистый.

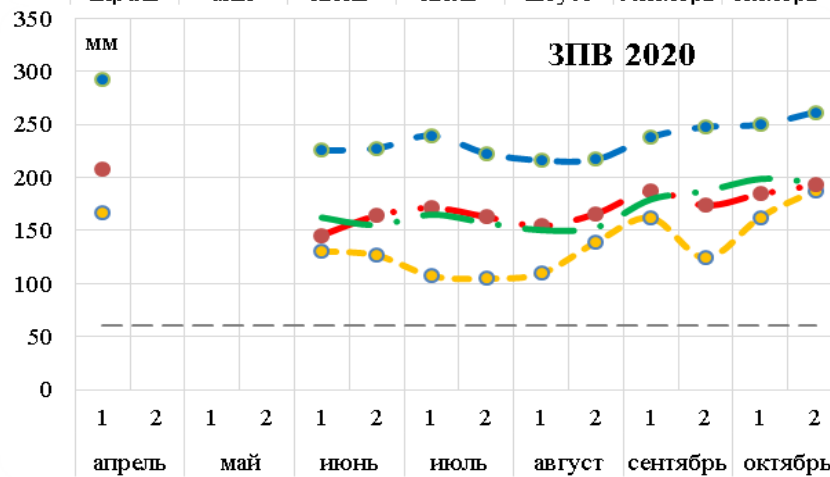
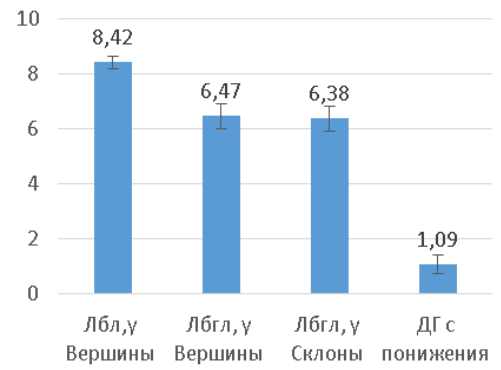
Расход продуктивной влаги за период от начала возобновления вегетации до выхода в трубку (апрель-первая декада мая) происходил из слоя 0 – 50 см. Максимальное потребление влаги в буроземах неоглеенных и глееватых на вершинах холмов наблюдается в фазу вегетации от выхода в трубку до цветения озимой пшеницы. Происходит использование запасов слоя 50-100 см, наибольший расход запасов продуктивной влаги наблюдается в неоглеенном буроземе. В первой декаде августа озимая пшеница достигла фазы восковой спелости.

На протяжении всего периода вегетации озимой пшеницы в 2019 г. ЗПВ в ареалах буроземов неоглеенных и глееватых на вершинах и склонах держались на уровне хороших и удовлетворительных, ниже отметки в 60 см не опускались. Запасы продуктивной влаги в ареале дерново-глеевых почв понижений в период апрель-вторая половина июля, вторая половина сентября-октябрь 2019 г. были больше 250 мм, что можно считать избыточными. Погодные условия в период вегетации озимой пшеницы (апрель-октябрь) в 2019 г. были сбалансированы, гидротермический коэффициент равен 1,07 (оптимальные условия). На фоне удачно подобранной технологии выращивания пшеницы, проведения четырех минеральных подкормок был получен максимальный урожай за период исследований (2019 - 2022 гг.) (рис.3). В 2020 г. участок был засеян яровым ячменем сорта «Осколец». К середине апреля в период сева ярового ячменя запасы продуктивной влаги метровой толщи буроземов неоглеенных и глееватых можно охарактеризовать как хорошие (166, 215 и 207 мм). В ареале дерново-глеевых почв избыточные (290 - 295 мм) вследствие поверхностного и грунтового переувлажнения (рис.4).

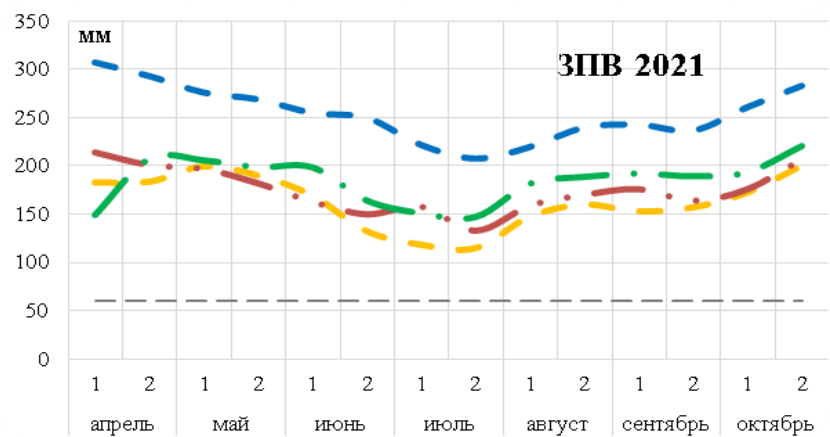
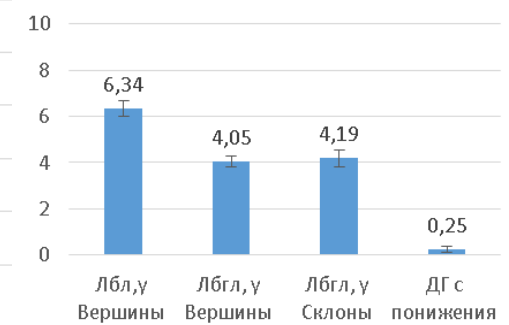
В мае наблюдался период интенсивного роста ячменя от кущения до выхода в трубку. Осадки в этот период и запас продуктивной влаги полностью обеспечили ячмень влагой. Водопотребление на буроземах неоглеенных (вершины) было максимальным за весь период вегетации 2020 г. в почвах буроземов глееватых (склоны) расход ЗПВ включал сток избыточной влаги из слоя 50-100 см. Метеоусловия июня и июля в фазу колошения и молочной спелости ячменя (обильные дожди ГТК=1,67 избыточное увлажнение) привели к пополнению запасов продуктивной влаги.



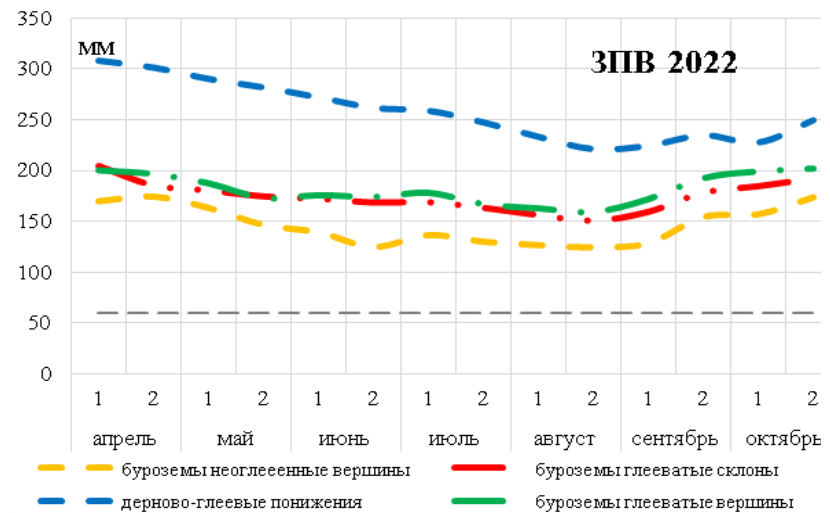
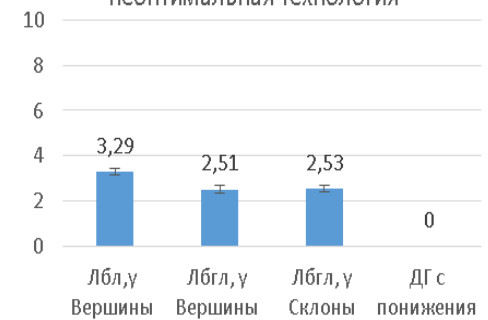
Озимая пшеница 2019
биологическая урожайность, т/га



Яровой ячмень 2020
биологическая урожайность, т/га
оптимальная технология



Яровой ячмень 2021
биологическая урожайность, т/га
неоптимальная технология



Посева не было, пар

Рис. 3-6 Запасы продуктивной влаги почв с разной степенью оглеения (0-100 см) и урожайность на участке Перелески Самбийская холмисто-моренная равнина 2019-2022 гг. (Анциферова, Сафонова, 2022).

Таким образом, в слое 0-50 см наблюдался положительный баланс ЗПВ. Убыль ЗПВ фиксировалась в конце июля в период созревания ячменя. Если сравнивать суммарный расход запасов продуктивной влаги под озимой пшеницей и яровым ячменем, то этот показатель под озимой пшеницей больше в 2 раза.

Запасы продуктивной влаги в 2020 г. полностью покрыли потребность ярового ячменя в увлажнении, минимальные значения ЗПВ наблюдались в ареале неоглеенного бурозема (105 мм в метровой толще в середине июля), тем не менее даже эти значения можно охарактеризовать как удовлетворительные, что благоприятствовало получению хорошего урожая. В глееватых буроземах запасы продуктивной влаги на протяжении всего вегетативного сезона не опускались ниже 130 мм. Максимальная урожайность наблюдалась на участках буроземов неоглеенных в условиях оптимального минерального питания и увлажнения (рис.5). Все биометрические показатели ярового ячменя были максимальными на этом участке. На тех дерново-глеевых почвах понижений, в которых удалось провести посев, наблюдались минимальные значения биологической продуктивности. Лимитирующим фактором является переувлажнение особенно в начальных стадиях от кущения до выхода в трубку, приведшее к гибели многих растений. Это привело к тому, что производственно значимый урожай собрать в этих ареалах не удалось.

В 2021 г. участок был опять засеян яровым ячменем сорт «Нур». Севооборот не был соблюден, так как участок является производственным, и посев тех или иных сельскохозяйственных культур диктуется экономической целесообразностью. Время посева ярового ячменя пришлось на третью декаду апреля. ЗПВ в слое 0-100 см 182 мм 148 мм и 204 мм (хорошие и очень хорошие), в дерново-глеевых почвах понижений 307 мм избыточные (рис. 6). Расход ЗПВ из слоя 0-100 см был максимальным в ареале дерново-глеевых почв и буроземов глееватых (склоны). В период от начала кущения до выхода в трубку (май) наблюдалось большое количество осадков, особенно во второй половине мая (ГТК=2,7), что вызвало избыточное увлажнение. Из-за этого произошла почти полная гибель сельскохозяйственных растений в ареале дерново-глеевых почв и замена их сорной влаголюбивой растительностью. В период цветения ярового ячменя запасы продуктивной влаги были на уровне хороших в ареалах буроземов неоглеенных и глееватых (170 - 140 мм) в дерново-глеевой почве понижений (250 мм). Наименьшие ЗПВ наблюдались в июле 2021 г. в фазу молочной спелости ярового ячменя на фоне засушливых метеоусловий (ГТК второй половины июля 0,26). Максимальная урожайность была получена на участках бурых лесных неоглеенных почв (вершины). Из-за переувлажнения, неравномерного распределения осадков в течении вегетационного периода, несоблюдения севооборота, на бурых лесных глееватых почвах урожайность была худшей по сравнению с предыдущими годами.

В 2022 г. ключевой участок «Перелески» был оставлен под паром. Сев озимого рапса был проведен в августе. Динамика запасов продуктивной влаги в слое 0-100 см, отличалась плавностью хода (рис.7). В буроземах глееватых ЗПВ варьировали, начиная с 200 мм в апреле (очень хорошие), снижаясь до 150 мм в августе (хорошие) и повышаясь до 200 мм в октябре. На вершинах и склонах картина была сходной. Достоверно меньшими значениями отличаются значения влагозапасов в ареале буроземов неоглеенных на вершине. В течение всего вегетационного периода наиболее высокие (избыточные) количественные показатели ЗПВ характерны для дерново-глеевых почв в замкнутых понижениях: в апреле 307 мм, в августе 221 мм и в октябре рост до 229 мм. Наибольшая амплитуда колебаний ЗПВ в 2022 году наблюдалась в дерново-глеевых почвах понижений, часть ареалов которых была занята влаголюбивой сорной растительностью.

За период исследований, несмотря на различия, связанные с биологическими особенностями разных культур и изменениями метеоусловий, была установлена закономерность сезонной динамики ЗПВ с апреля по октябрь. Запасы продуктивной влаги в апреле в почвах бурых лесных неоглеенных и глееватых почвах (вершины и склоны) во все годы исследования находились на уровне хороших, в дерново-глеевых ареалах (понижения) избыточных. Дальше наблюдалось снижение ЗПВ за счет транспирации растений и роста среднесуточных температур, минимальные значения фиксировались в июле-августе. В начале или середине августа происходила уборка урожая. Уменьшение транспирации и снижение среднесуточных температур, увеличение количества осадков приводит к тому, что цикл динамики ЗПВ замыкается в границах

вегетационного период (апрель – октябрь). В октябре значения ЗПВ достигают апрельских значений во всех исследуемых ареалах.

В четвертой главе «Запасы продуктивной влаги и урожай в озерно-ледниковом агроландшафте» описаны особенности мелиоративного состояния и динамика запасов продуктивной влаги в почвах сенокоса Лава-Прегольской низменности.

Морфологические признаки почв изложены в таблице 3. Оба ареала мониторинга принадлежат к зональным полугидроморфным дерново-подзолистым почвам. По мощности гумусового горизонта почвы практически не различаются, потому что он сформирован под влиянием вспашки на одинаковую глубину. Принципиальные отличия между ареалами почв наблюдаются по степени и выраженности признаков оглеения. В почве на повышении тонкие сизые прожилки фиксируются с 45 см, занимая площадь около 5 %. Выраженное оглеение на среднеглееватом уровне по шкале Ф.Р. Зайдельмана отмечается с 95 см. Это дало основание считать данную почву глубокоглееватой. На пониженном участке в весенний и осенний периоды четко выражены сизые прожилки в слое 0 – 20 см. В летний период о повышенном гидроморфизме можно судить по ярким ржавым пленкам гидроокиси железа на гранях отдельностей и по корневинам. По всему профилю почва является среднеглееватой, но интенсивность оглеения в весенний период сильнее всего в гумусовом горизонте. Поэтому почву считали поверхностно-глееватой. Особенностью морфологического строения почв на тяжелых отложениях является наличие глубоких трещин. По данным описания разрезов они доходят до 70 – 75 см и по ним происходит провальная миграция влаги дождей.

Гранулометрический состав почв в гумусовом горизонте тяжелосуглинистый и глинистый, с глубиной становится тяжелоглинистым. Преобладающей фракцией является илистая. Тяжелые глины Лава-Прегольской низменности являются водоупорами, обладают крайне низкими коэффициентами фильтрации (Юрченков, 1987). Это делает практически невозможным их использование в качестве пахотных угодий. Плотность сложения в гумусовом горизонте благоприятная для выращивания трав ($1,22 - 1,24 \text{ г/см}^3$). Глинистые горизонты характеризуются очень высокими показателями влажности завядания и наименьшей влагоемкости. Потенциально растения на почвах, имеющих глинистый состав, могут испытывать недостаток влаги в летний период (табл. 4). Диапазон доступной влаги (ДДВ) в гумусовом горизонте двух почв (0 – 20 см) составляет 46,2 и 47,1 мм соответственно, а в слое 0 – 100 см 275,4 и 261,3 мм. Это значительно выше, чем в буроземах и превышает значения для дерново-глеевых почв в холмисто-моренной равнине. (рис.2). Существенных различий между почвами на 5%-ном уровне значимости нет ($t_{\text{ФАКТ}} < t_{\text{ТЕОР}}$). Дерново-подзолистые почвы Лава-Прегольской низменности обладают очень высокой влагоудерживающей способностью. Однако, в силу предельно тяжелого гранулометрического состава озерно-ледниковых глин, влажность в подгумусовых горизонтах большую часть года меньше, чем НВ. Гумусовый горизонт является основным источником доступной капиллярной влаги для многолетних трав.

Почвы ключевого участка осушаются сетью мелких открытых каналов, в которые выходят оголовки коллекторов диаметром 20 см с полей. Расстояние между каналами 200 – 300 м. В настоящее время каналы не прочищены. С началом выпаса скота произошло закупоривание оголовков в результате частых бесконтрольных проходов животных через русло каналов и механического смещения глинистого слоя с бортов.

Использование сенокосных регионов в Калининградской области дает возможность собирать 2 – 3 укоса многолетних трав за вегетационный сезон (апрель-октябрь). Количество осадков за апрель-июнь до первого укоса многолетних трав в 2019, 2021, 2022 гг. было близким к среднемноголетней норме (179 мм), а 2020 г. наблюдалось превышение нормы на 55 мм. Для периода апрель-октябрь 2019, 2020, 2021 гг. оказались близки к среднемноголетней норме (486 мм), а 2022 г. выдался сухим (меньше нормы на 127 мм). Значения ГТК выстраиваются в убывающий ряд: 2020 – 2019 – 2022 – 2021 гг. В 2021 г. наблюдался оптимальные гидротермические условия; 2019 и 2022 гг. относятся к достаточно влажным, а 2020 г. избыточно влажный (таб. 1,4)

В 2019 г. к началу возобновления вегетации трав в апреле ЗПВ были удовлетворительными и хорошими в слое 0–20 см на обеих площадках мониторинга, несмотря на отсутствие осадков

(во все годы исследования). В дальнейшем наблюдался расход влагозапасов на формирование биомассы многолетних трав.

Таблица 4. Значение количества осадков и ГТК в важные периоды развития растений по данным метеостанции Черняховска 2019-2022 гг.

интервал	показатель	2019	2020	2021	2022
апрель-июнь	ГТК	1,46	2,07	1,01	1,3
	осадки, мм	176	234	182	164

Пик снижения ЗПВ приходится на первую половину июня и вторую половину июня 2020, 2021 и 2022 гг. (первый укос многолетних трав). После этого из-за уменьшения транспирации растениями ЗПВ увеличивается в первой половине июля и постепенно снижается из-за расходования влаги многолетними травами (ГТК июля во все годы исследования относился к категории достаточно влажного). В октябре ЗПВ обеих изученных почвах достигли апрельских значений, их можно отнести к категории хороших. В слое 0–20 см наблюдается максимальная амплитуда колебаний запасов продуктивной влаги. Показатели запасов продуктивной влаги опускались ниже отметки 20 мм (очень плохие) в изученных почвах в июне и в августе 2019 г., а в сентябре 2022 г. в поверхностноглееватой почве. Во всех случаях это было связано с длительным бездождным периодом и высокими среднесуточными температурами.

Выпадение осадков быстро повышает влажность гор. А1 в связи с низкими коэффициентами фильтрации. Выяснилось, что более контрастным режимом влажности отличается поверхностноглееватая почва с более мощным пластом тяжелых глин (150 см). Обладая более высокими ЗПВ весной, она подвергалась более интенсивному иссушению многолетними травами. В целом динамика распределения запасов продуктивной влаги в слое 0–20 см сходна в обеих почвах независимо от степени оглеения, кроме 2021 г. Это подтверждается высокими значениями коэффициента корреляции Пирсона: в 2019 г. 0,75; 2020 г. 0,78; 2022 г. 0,72.

В 2021 г. в поверхностноглееватой почве наблюдались крайне низкие темпы расхода ЗПВ из гумусового горизонта с апреля по конец мая по сравнению с глубокоглееватой. Причиной является максимальный за три года запас влаги, накопленный почвой за зимний период. Различия в динамике ЗПВ подтверждаются значением коэффициента корреляции Пирсона 0,5.

Аналогичную картину мы наблюдаем в слое 0 – 100 см (рис. 7 – 10). Значений запаса продуктивной влаги менее критической величины 60 мм не наблюдается ни в один год исследований. При возобновлении вегетации многолетних трав в апреле значения ЗПВ можно отнести к хорошим и удовлетворительным. Влагозапасы в поверхностноглееватой почве в среднем больше на 10-15% по сравнению с глубокоглееватой. Во все годы исследований наблюдалось снижение ЗПВ от апреля до первой половины июня, связанное с активной транспирацией растений. Затем динамика запасов продуктивной влаги зависела от погодных условий. Повышение количества осадков приводит к увеличению влагозапасов, особенно на фоне снижения среднесуточных температур. Однако отклик между ГТК и ЗПВ составил минимум неделю. В целом запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см можно охарактеризовать как хорошие (большинство значений в интервале 130 - 160 мм).

При сравнении ЗПВ в двух почвах существенных различий нет. Получены те же корреляционные закономерности, что и для слоя 0 – 20 см. В толще глины в средние по осадкам годы влажность колеблется в ограниченных пределах. Таким образом, в тяжелых почвах наиболее деятельным гидрологическим горизонтом является гумусовый (0 – 20 см), обладающий комковато-глыбистой структурой. Именно в нем сосредоточено 90 % корневой системы трав.

От запасов продуктивной влаги зависит урожайность многолетних трав. Влагозапасы в 2019 – 2021 гг. были достаточны для формирования урожая равного или превышающего среднеобластные значения (табл. 5).

В 2022 г. урожайность трав снизилась в два раза вследствие совокупного влияния природных и агроэкологических условий: 1) катастрофическое переувлажнение во второй половине мая, ГТК = 3,67; 2) отсутствие минеральных подкормок.

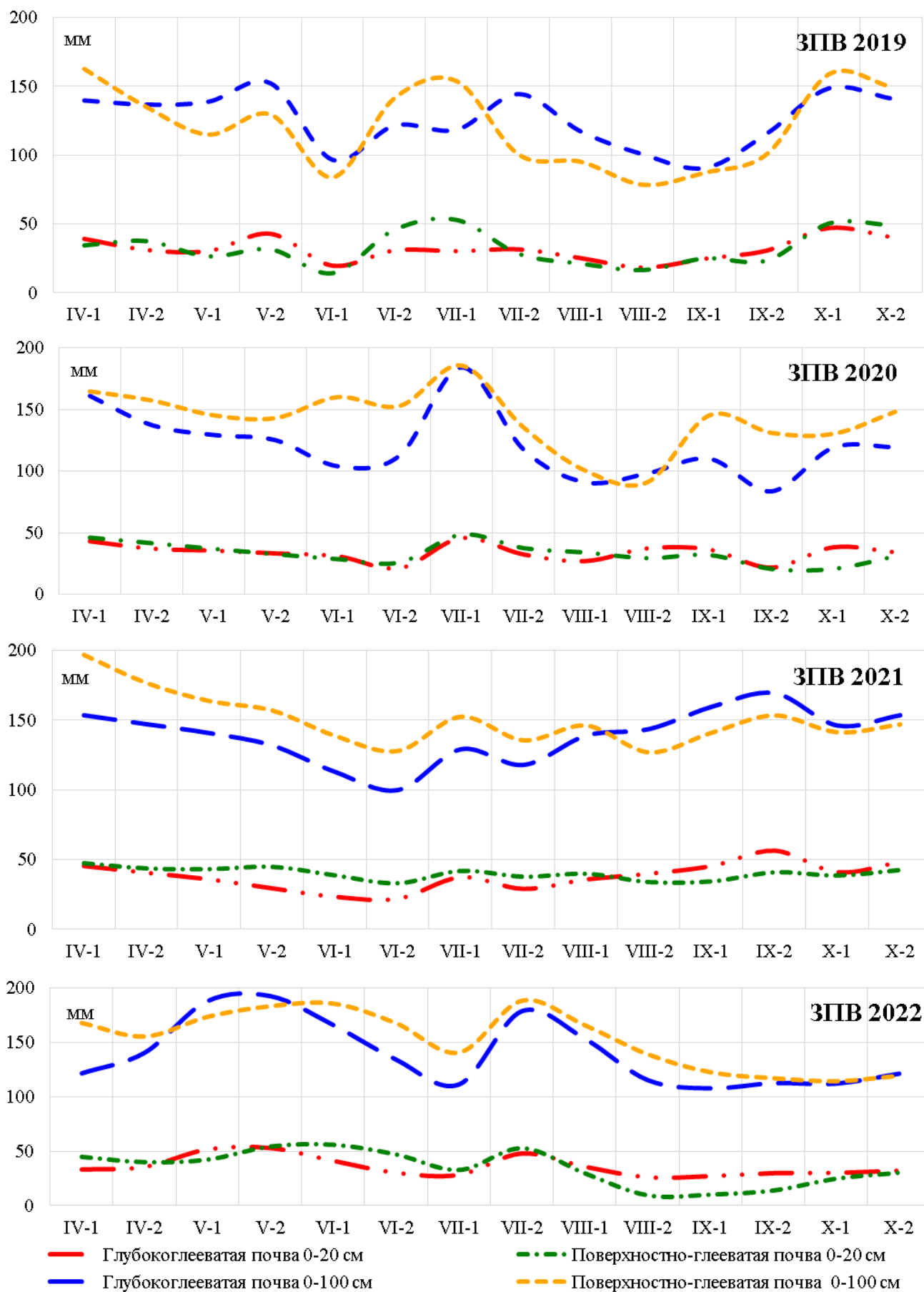


Рис. 7-10. Запасы продуктивной влаги в почвах Лава-Прегольской низменности с разной глубиной оглеения в 2019 – 2022 гг. (Сафонова, Анциферова, 2022).

Таблица 5. Биологическая урожайность первого укоса злаковых многолетних трав (т/га) на дерново-подзолистых почвах с разной глубиной оглеения (воздушно-сухая фитомасса) (Сафонова, Анциферова, 2022).

Год	Повышение. Глубокоглееватая почва	Плоский пониженный участок. Поверхностноглееватая почва
2019	5,0 ± 0,29	5,4 ± 0,21
2020	4,6 ± 0,24	5,1 ± 0,33
2021	4,8 ± 0,31	7,35 ± 0,11
2022	2,5 ± 0,27	2,3 ± 0,13

Данные первого укоса многолетних трав показывают, что в 2019, 2020 и 2022 гг. выражена тенденция большей урожайности на поверхностноглееватой почве.

Однако в 2021 г. различия были существенными. В поверхностноглееватой почве с исходно более высоким ЗПВ в слое 0 – 20 см был получен урожай трав на 53% выше по сравнению с глубокоглееватой почвой. Этому способствовали оптимальные гидротермические условия за период апрель-июнь.

Урожайность многолетних трав на осушенных глееватых почвах зависит от гидротермических условий апреля-июня (период возобновление вегетации - цветение). Коэффициенты корреляции (по Пирсону) запасов продуктивной влаги с ГТК на почвах с разной формой оглеения составили 0,72-0,85 за четырехлетний период (включавший годы с различным увлажнением).

Достоверные различия между урожайностью на глубокоглееватой почве (небольшое повышение) и поверхностно-глееватой почве (небольшое плоское понижение) были получены только в 2021 г. Во все остальные годы исследования различия недостоверны. Таким образом, сглаженный рельеф с перепадами высот в пределах 1 м не приводит к возникновению устойчивой контрастности между ареалами почв по ЗПВ и урожайности в сухие и средние по осадкам годы.

При оптимальных погодных условиях, запасах продуктивной влаги и агротехнике выращивания дерново-подзолистые глееватые почвы на озерно-ледниковых глинах Лава-Прегольской низменности способны сформировать урожай многолетних трав на уровне и выше среднеобластных значений. Факторами, снижающими урожайность трав, являются: неблагоприятные погодные условия в период до цветения, деградация травостоя, отсутствие минеральных подкормок.

Агрофитоценоз ключевого участка «Светаевка» является сеяным и представлен травосмесью: ежа сборная *Dactylis glomerata*, тимофеевка луговая *Phleum pratense*, фестулолиум *Festulolium* (сортоотыпы овсяница и райграса), овсяница луговая *Festuca pratensis*, райграс пастбищный *Lolium perenne*, клевер ползучий *Trifolium repens*. В разные годы исследования мы наблюдали изменения соотношения видового состава, а также появление примесей (рис.11). Эволюция видового состава первого укоса направлена в сторону снижения долевого участия тимофеевки луговой и увеличения овсяницы луговой.

2022 г. сопровождался поверхностным застоем воды на участке локального понижения площадью 50 м². Индикатором избыточного увлажнения является ситник развесистый (*Juncus effusus*) Также в 2022 г. отмечалось почти полное выпадение из травостоя фестулолиума по сортоотыпу райграса. Травостой стал разреженным в связи с отсутствием минеральных подкормок и выпасом в осенний период крупного рогатого скота.

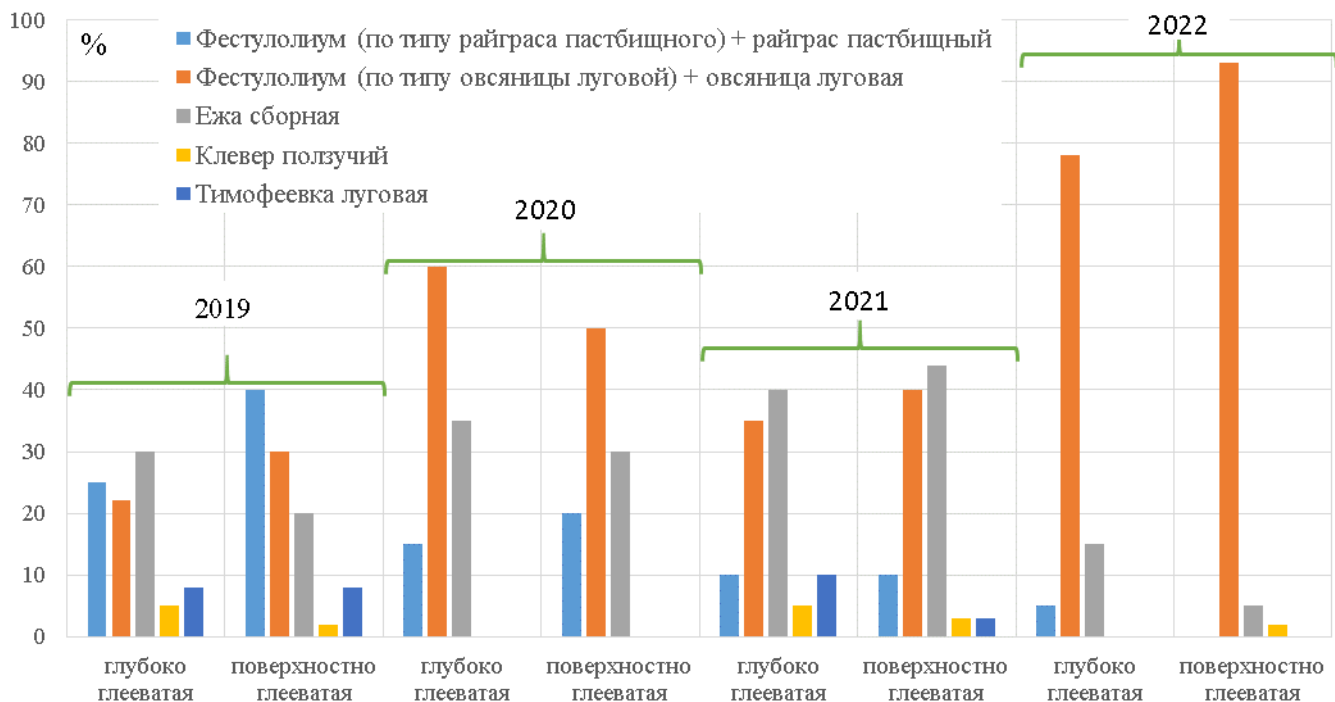


Рис.11. Соотношение видового состава многолетних трав в % в первом укосе на дерново-подзолистых почвах с разной глубиной оглеения в разные годы исследования.

В пятой главе «Сравнительная характеристика запасов продуктивной влаги в окультуренных почвах различных агроландшафтов и прикладной аспект» было проанализировано наличие корреляционной связи между ЗПВ и тремя группами показателей:

- 1) **осадками осенних, зимних месяцев и марта** – за период 2019 – 2022 гг. (средние и сухие по осадкам годы) в осушенных почвах устойчивой корреляционной связи между ЗПВ с осадками осени, зимы и марта не наблюдается. Выявлены отдельные случаи связи, например:
 - для пахотных почв на Самбийской равнине (буроземы на вершинах и склонах холмов) в слое 0 – 100 см в паре признаков «сумма осадков в марте - ЗПВ в начале апреля» коэффициент корреляции составил 0,65;
 - для сенокосно-пастбищных почв на озерно-ледниковой низменности более значимым является слой 0 – 20 см. В паре признаков «сумма осадков за март – ЗПВ в начале апреля последующего года в слое 0 – 20 см коэффициент корреляции составил 0,72 только для глубокоглеевой почвы на повышении. Также для гумусового горизонта (0 – 20 см) обнаружилась существенная связь с суммой осадков за сентябрь-ноябрь предыдущего года. Для глубокоглеевой почвы коэффициент корреляции 0,72, а для поверхностно-глеевой 0,67;
- 2) **осадками в течение вегетационного периода** – с апреля по октябрь в осушенных почвах не выявлено достоверной связи между количеством осадков и ЗПВ;
- 3) **степенью оглеения как наиболее яркого генетического признака гидроморфизма в почвах** – для удобства построения корреляционных рядов степень оглеения минеральных почв (буроземов, дерново-подзолистых и дерново-глеевых) выразили в баллах. В исследовании использована шкала степени оглеенных почв, предложенная Ф.Р. Зайдельманом (Зайдельман, 2002).

Из всего периода вегетации были выделены следующие отрезки: 1) начало апреля – время возобновления вегетации трав, озимых культур и посева яровых; 2) первая половина июня – время наиболее активного влагопотребления озимыми и яровыми зерновыми, первый укос трав; 3) середина августа – время окончания вегетации зерновых культур и их уборка; 4) конец октября – время окончания вегетационного сезона сельскохозяйственных культур.

Для холмисто-моренного агроландшафта связь запасов продуктивной влаги со степенью оглеения наиболее значимой и достоверной (с вероятностью 95%) является в апреле как для пахотного горизонта (0 – 20 см), так и для слоя 0 – 100 см (рис.12–13). Это показывает, что генетические признаки гидроморфизма почв являются ведущим фактором формирования ЗПВ.

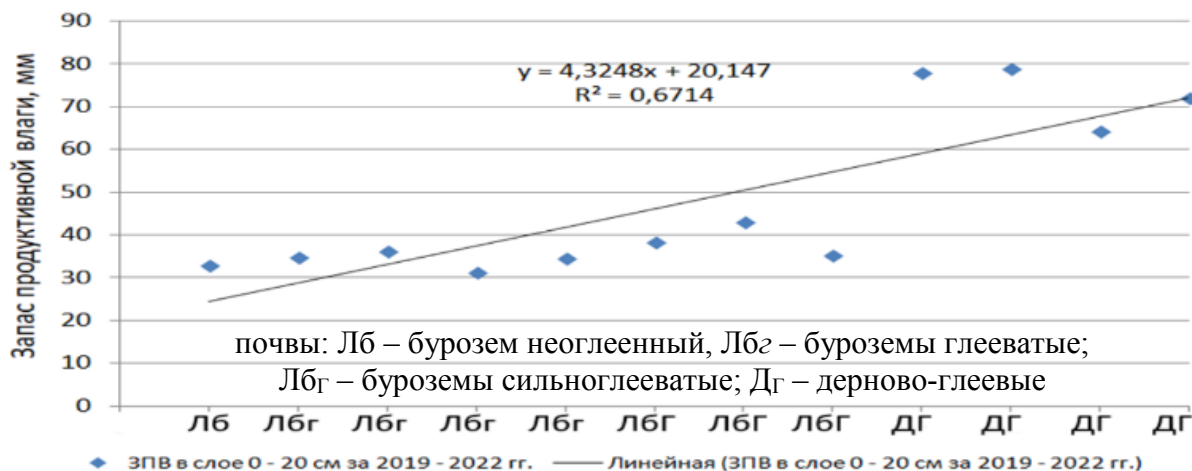


Рис.12 Средние значения запасов продуктивной влаги за 2019 – 2022 гг. в почвах нарастающей степени оглеения на 12 мониторинговых площадках участка Перелески слой 0 – 20 см.

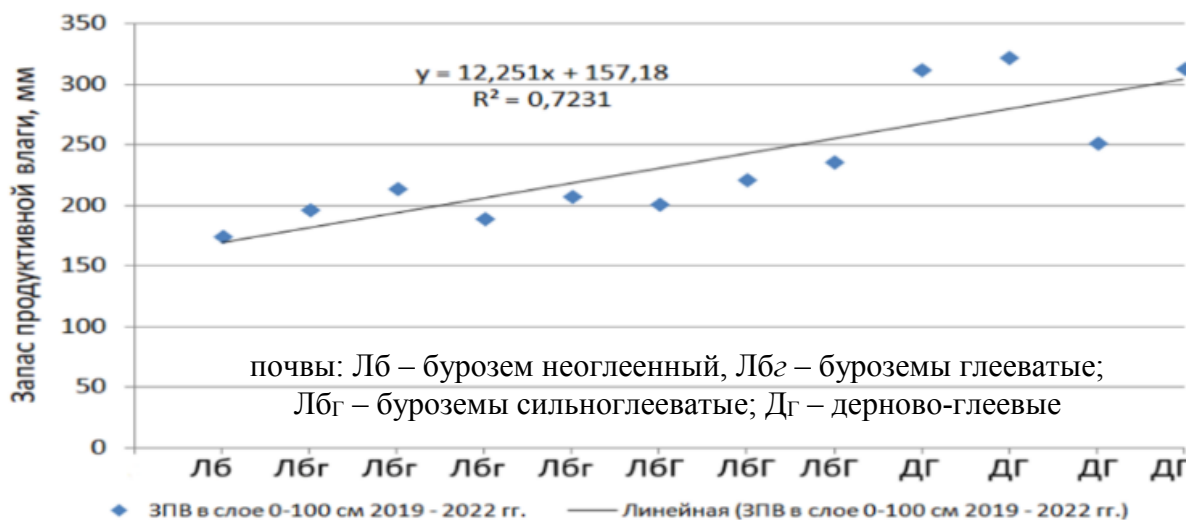


Рис.13 Средние значения запасов продуктивной влаги за 2019 – 2022 гг. в почвах нарастающей степени оглеения на 12 мониторинговых площадках участка Перелески слой 0 – 100 см.

Таким образом, к началу возобновления вегетации озимых культур и посева яровых имеет место внутрипольная пестрота запасов продуктивной влаги. Эта связь ослабляется в гумусовом горизонте в период наиболее активного влагопотребления сельскохозяйственными культурами в первой половине июня и далее вплоть до осени (коэффициенты корреляции 0,72 – 0,74). Однако для слоя 0 – 100 см различия сохраняются вплоть до уборки урожая.

На дерново-подзолистых почвах озерно-ледниковой равнины в годы исследований влияние степени оглеения почв на ЗПВ было ослаблено (сырых лет не было). Связь далеко не всегда просматривается. Осложнением является и то, что вегетация многолетних трав в условиях Калининградской области продолжается вплоть до конца ноября. Расход на водопотребление трав максимален как раз на почвах большей степени оглеения, где и урожайность выше. Поэтому за короткий отрезок наблюдений однозначной картины связи ЗПВ и степени оглеения почв в дерново-подзолистых почвах на тяжелых глинах не получилось. Но, тем не менее, при расчетах коэффициента корреляции, объединенной выборки рядов почв с двух ключевых участков, получены высокие коэффициенты корреляции. В контрастных почвенных комбинациях в холмисто-моренных агроландшафтах Самбийской равнины ведущее место в формировании ЗПВ играет мезорельеф. Перераспределение влаги приводит к формированию рядов почв

нарастающего гидроморфизма от неоглеенных и глееватых буроземов до дерново-глеевых почв в понижениях. При перепадах высот 4 – 6 м связь между ЗПВ и степенью оглеения устойчивая и сильная в апреле во все годы исследований.

Для оценки влагообеспеченности был проведен анализ отношения запаса продуктивной влаги в важные периоды в развитии растений к запасам продуктивной влаги при наименьшей влагоемкости. Соотношение меньше 0,7 принято считать неудовлетворительным.

Влагообеспеченность бурых лесных неоглеенных и глееватых почв была больше 0,7 во все периоды вегетации растений. В летние месяцы на фоне уменьшения осадков и повышении среднемесячных температур влагообеспеченность остается оптимальной, что дает возможность получать стабильно высокие урожаи. Влагообеспеченность в дерново-глеевых почвах следует считать избыточной, особенно в начале апреля. Почвы Лава-Прегольской низменности отличаются маломощным слоем активного водообмена. Влагообеспеченность во все значимые для растений периоды меньше 0,7. Поверхностно-глееватая почва отличается большей влагообеспеченностью, по сравнению с глубокоглеевой, что находит отражение в урожайности многолетних трав во все годы исследования (табл.6)

Таблица 6. Величины влагообеспеченности почв с разной степенью оглеения за 2019 – 2022 гг. Слой почвы 0 – 100 см.

Ключевые участки	Значимые даты				
	Тип почвы*	Начало апреля	Первая половина июня	Середина августа	Конец октября
Перелески	Лбл, Вершины холмов	1,04±0,02	0,76±0,03	0,71±0,06	1,10±0,08
	Лб ^с у,л, Вершины холмов	1,18±0,1	1,06±0,09	1,02±0,03	1,16±0,02
	Лб ^с у,л, Склоны	1,20±0,08	1,10±0,1	0,99±0,04	1,12±0,06
	Д ^{гс} , Замкнутые понижения	1,34±0,07	1,12±0,01	1,00±0,05	1,22±0,09
Светаевка	П ^{дс} т, Повышения	0,47±0,05	0,4±0,03	0,41±0,06	0,44±0,09
	П ^{дс} т, г, Неглубокие понижения	0,55±0,02	0,57±0,05	0,51±0,07	0,56±0,08

*Почвы: Лбл – бурые лесные неоглеенные легкосуглинистые; Лб^с у,л – бурые лесные глееватые супесчаные и легкосуглинистые; Д^{гс} – дерново-глеевые среднесуглинистые; П^{дс} с,г – дерново-подзолистые глубокоглееватые тяжелосуглинистые; П^{дс} т, г – дерново-подзолистые поверхностно- и профилльно-глееватые тяжелосуглинистые и глинистые.

Прикладным аспектом проведенных исследований стала разработка комплекса дистанционного мониторинга агрофизических свойств почв:

1. Комплексная система стационарного мониторинга (импульсные сенсоры, системы связи, модульная архитектура);
2. Компьютерная программа расчета запасов продуктивной влаги;
3. Адресные мелиоративные мероприятия.

Была создана программа расчета запаса продуктивной влаги и база данных для комплекса дистанционного мониторинга. Программа производит расчет запасов продуктивной влаги в пахотном горизонте и метровой толще почвы по данным введенным оператором в результате ручного исследования или полученным от автоматизированной системы. Результатом работы является количественная и качественная оценка запаса продуктивной влаги по двум слоям.

Таблица 7. Количественные показатели запасов продуктивной влаги в значимые периоды под зерновыми колосовыми культурами и многолетними травами в 2019 – 2022 гг.

Показатель, мм	Пахотные почвы в холмисто-моренном агроландшафте				Сенокосно-пастбищные	
	Лбл	Лб ^е у,л	Лб ^е у,л	Д ^Г с	П ^{Д^е} т	П ^{Д^е} т, г
	Вершины холмов	Вершины холмов	Склоны	Замкнутые понижения	Повышения	Неглубокие понижения
Средние значения ЗПВ в начале апреля	<u>32,9 ± 1,6</u>	<u>36,4 ± 2,2</u>	<u>35,8 ± 1,9</u>	<u>73,2 ± 2,4</u>	<u>39,0 ± 3,0</u>	<u>44,4 ± 1,7</u>
	174,3 ± 3,7	210,8 ± 6,4	208,9 ± 5,4	300,0 ± 7,8	148,7 ± 5,1	173,0 ± 8,0
Средние значения ЗПВ в период максимального водопотребления (июнь)	<u>18,2 ± 5,1</u>	<u>24,7 ± 2,2</u>	<u>23,3 ± 1,1</u>	<u>45,7 ± 4,0</u>	<u>28,7 ± 4,7</u>	<u>32,7 ± 9,0</u>
	127,8 ± 19,9	164,8 ± 11,0	159,0 ± 5,3	247,1 ± 10,9	120,0 ± 15,5	140,3 ± 21,0
Средние значения ЗПВ в середине августа (конец вегетации зерновых культур)	<u>23,9 ± 2,1</u>	<u>25,1 ± 1,9</u>	<u>24,2 ± 1,3</u>	<u>42,2 ± 2,4</u>	<u>30,8 ± 2,7</u>	<u>28,4 ± 4,2</u>
	119,4 ± 11,2	149,9 ± 11,3	146,0 ± 6,3	221,9 ± 6,7	125,2 ± 13,6	127,0 ± 17,3
Средние значения ЗПВ во второй половине октября	<u>39,6 ± 2,2</u>	<u>39,4 ± 2,3</u>	<u>39,1 ± 1,3</u>	<u>58,2 ± 2,8</u>	<u>38,7 ± 3,6</u>	<u>38,3 ± 4,5</u>
	179,1 ± 7,9	203,6 ± 8,0	201,2 ± 4,5	261,4 ± 6,4	133,9 ± 8,2	141,1 ± 7,2
Средние значения ЗПВ во второй половине ноября (уход в зиму)	<u>45,5 ± 1,6</u>	<u>41,7 ± 2,9</u>	<u>42,9 ± 2,0</u>	<u>72,5 ± 1,5</u>	<u>51,8 ± 1,2</u>	<u>54,5 ± 1,8</u>
	244,9 ± 8,3	214,2 ± 9,9	222,3 ± 7,3	304,3 ± 8,6	177,6 ± 11,4	174,0 ± 12,0
Средние значения ЗПВ за период апрель – август	<u>25,2 ± 1,2</u>	<u>27,7 ± 0,8</u>	<u>27,7 ± 0,8</u>	<u>53,6 ± 1,6</u>	<u>34,0 ± 4,2</u>	<u>37,0 ± 5,3</u>
	139,0 ± 5,0	175,4 ± 2,6	171,7 ± 2,6	254,2 ± 3,9	133,6 ± 12,7	145,5 ± 14,8
Средние значения ЗПВ за период апрель – октябрь	<u>27,8 ± 1,1</u>	<u>30,0 ± 0,7</u>	<u>29,4 ± 0,6</u>	<u>52,8 ± 1,2</u>	<u>34,7 ± 1,2</u>	<u>35,2 ± 1,5</u>
	144,9 ± 4,2	180,7 ± 2,1	174,6 ± 2,2	253,3 ± 3,0	134,0 ± 3,4	141,5 ± 3,7
Минимальные и максимальные значения ЗПВ за период апрель – октябрь	<u>5,0 – 45,3</u>	<u>13,2 – 50,2</u>	<u>10,9 – 49,5</u>	<u>29,3 – 96,0</u>	<u>18,1 – 56,1</u>	<u>9,7 – 56,0</u>
	73,3 – 199,8	91,5 – 243,8	93,9 – 240,1	175,3 – 343,4	83,8 – 192,7	78,6 – 196,9
Максимальная амплитуда колебаний ЗПВ за период апрель – октябрь	<u>40,3</u>	<u>36,9</u>	<u>38,6</u>	<u>66,7</u>	<u>38</u>	<u>46,3</u>
	126,5	152,3	146,2	168,1	108,9	118,3

Примечания: над чертой ЗПВ для слоя 0 – 20 см, под чертой – для слоя 0 – 100 см. Почвы: Лбл – бурые лесные неогленные легкосуглинистые; Лб^е у, л – бурые лесные глееватые супесчаные и легкосуглинистые; Д^Гс – дерново-глеевые среднесуглинистые; П^{Д^е} т – дерново-подзолистые глубокоглееватые тяжелосуглинистые; П^{Д^е} т, г – дерново-подзолистые поверхностно- и профильно-глееватые тяжелосуглинистые и глинистые.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения исследований по диссертации были решены все поставленные задачи и достигнута поставленная цель исследования. Основные результаты и выводы:

1. Гидрологические и литологические особенности почв обуславливают формирование запасов продуктивной влаги и влияют на их расход.

1.1. В катенах холмистых агроландшафтов доминируют оглеенные почвы, профиль которых находится в зоне капиллярного насыщения в осенний и весенний периоды, что способствует накоплению запасов продуктивной влаги. Водоудерживающая способность увеличивается от буроземов к дерново-глеевым почвам.

1.2. В условиях озерно-ледниковых агроландшафтов Лава-Прегольской низменности дерново-подзолистые почвы тяжелосуглинистого состава различаются глубиной и степенью оглеения. Залегание водоупорного глинистого слоя под гумусовым горизонтом обуславливает формирование маломощной зоны активного водообмена.

2. Закономерности динамики влагозапасов с апреля по октябрь имеют сходные черты, а различия количественных показателей связаны с комплексом ландшафтных условий и генетических свойств почв. Запасы продуктивной влаги более всего коррелируют со степенью оглеения почв и закономерно увеличиваются в почвах катен от повышенных элементов рельефа к пониженным.

2.1. В течение вегетационного периода максимальные влагозапасы во всех почвах наблюдаются в начале апреля. Наибольший расход продуктивной влаги характерен для июня. Динамика влагозапасов в июле – августе зависит от биологических особенностей культуры и гидротермических условий. К концу октября запасы продуктивной влаги в почвах в годы средние по увлажненности приближаются к апрельским значениям.

2.2. При перепадах высот в 4 – 6 м в холмистом агроландшафте в течение всего вегетационного периода выражена контрастность запасов продуктивной влаги между почвами на вершинах, склонах и переувлажненными замкнутыми понижениями слое 0 – 100 см. Различия по запасам продуктивной влаги между неоглееными буроземами и дерново-глеевыми почвами достигают 1,7 – 1,9 раза.

2.3. При перепадах высот 1,1 м на озерно-ледниковой равнине различия между компонентами катены составляют 1,2 раза. Слабый водообмен в толще тяжелых глин является причиной более низких абсолютных влагозапасов в дерново-подзолистых оглеенных почвах по сравнению с буроземами в слое 0 – 100 см.

3. Запасы продуктивной влаги в изученных почвах являются достаточными для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур на фоне интенсивных агротехнологий. Поверхностное затопление дерново-глеевых почв в замкнутых понижениях приводит к накоплению избыточных влагозапасов и сопровождается гибелью большей части посевов.

4. Максимальной урожайностью многолетних злаковых трав на озерно-ледниковой равнине характеризуется поверхностно-глееватая почва при условии оптимального гидротермического режима (ГТК 1,01) и запасов влаги на уровне 150 – 180 мм в слое 0 – 100 см. В сухие периоды летнего сезона возможен недостаток влаги для многолетних трав вследствие интенсивного иссушения гумусового горизонта.

5. Разработана компьютерная программа для расчета запасов продуктивной влаги в пахотном горизонте и метровой толще для производственных условий. Создана база данных содержащая сведения о запасах продуктивной влаги почвы, влажности завядания растений и объёмной полевой влажности почвы в метровом слое, полученные на ключевом участке Светаевка.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ НАУЧНЫХ ВЫВОДОВ

1. В современных почвенно-климатических условиях Калининградской области, отличающихся нарастанием гумидности, сельхозтоваропроизводителям необходимо обращать особенное внимание на восстановление работоспособности осушительных систем и повышение водопроницаемости почв методами её агромелиоративной обработки.

2. В ареалах дерново-глеевых почв не проводить посев озимых и яровых культур при плохой работе дренажных систем из-за плохого роста и развития сельскохозяйственных культур. Ареалы этих почв необходимо распахивать, проводить щелевание и засеивать многолетними травами. Для этих целей подходят разные виды *Trifolium*, *Galéga orientális*, *Phleum pratense*.

3. Результаты исследования целесообразно использовать при формировании новой географической сети и информационно-аналитической системы мониторинга агроландшафтов и управления их продуктивностью в условиях Калининградской области.

4. Провести обновление сеяного травостоя на ключевом участке сенокосно-пастбищном угодье.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

1. Охват мониторингом восточных частей Калининградской области для составления единой картины закономерностей накопления и динамики ЗПВ в различных агроландшафтных районах.

2. Регистрация баз данных значений запасов продуктивной влаги в годы исследования на ключевых участках.

3. Использование полученных данных ЗПВ для создания прогностических математических моделей для систем умного земледелия.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Анциферова О. А., Сафонова Д. Н. Эколого-гидрологическое состояние и продуктивность осушенных почв агроландшафта Самбийской равнины // *Агрофизика*, 2022. № 1. – С. 1 – 10.

2. Сафонова Д.Н., Анциферова О.А. Влияние запасов продуктивной влаги на урожайность многолетних трав на осушенных дерново-подзолистых почвах тяжелого гранулометрического состава // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова*, 2022. № 28 – С.23 – 32.

Публикации в материалах конференций, рецензируемых журналах, сборниках научных трудов

1. Сафонова Д.Н. Разработка стационарной системы дистанционного мониторинга агрофизических показателей / Д.Н. Сафонова, О.А. Анциферова, А.А. Сафонов // *Материалы VII Международного Балтийского морского форума 7 - 12 октября 2019 г [Электронный ресурс]: В 6 томах. Т. 1. «Инновации в науке, образовании и предпринимательстве – 2019»*, XVII Международная научная конференция. – Электрон. дан. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. – С. 249 – 255.

2. Анциферова О.А. Формирование и продуктивность сенокосов на осушенных тяжелых дерново-подзолистых почвах Лава-Прегольской низменности при повторном вовлечении в сельскохозяйственный оборот / О.А. Анциферова, Д.Н. Сафонова, А.В. Меркучев // *Труды Международной научно-практической конференции «Высокопродуктивное и экологически чистое агрохозяйство на мелиорированных землях»*, г. Тверь, 30 сентября 2019 г. – Тверь, 2019. – С. 228 – 233.

3. Анциферова О.А. Сезонная динамика продуктивной влаги в дерново-подзолистых почвах на озерно-ледниковых глинах / О.А. Анциферова, Д.Н. Сафонова // *Известия КГТУ*, 2020 – № 58. – С. 133 – 141.

4. Сафонова, Д.Н. Анализ запасов продуктивной влаги тяжелосуглинистых почв агроландшафтов Калининградской области / Д.Н. Сафонова, О.А. Анциферова // Вестник молодежной науки, 2020 – № 4(26) [Электронный ресурс] URL: <http://vestnikmolnauki.ru/4-26/>

5. Сафонова, Д.Н. Опыт применения системы дистанционного мониторинга агрофизических показателей почв / Д.Н. Сафонова, А.А. Сафонов // Балтийский Морской форум: материалы VIII Международного Балтийского морского форума (5-10 окт. 2020 года) [Электронный ресурс]: в 6 томах. Т. 1. «Инновации в науке, образовании и предпринимательстве», XVIII Международная научная конференция; сост. Н.А. Кострикова. – Электрон. дан. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2020. – С. 112–116. URL: <http://klgtu.ru/materialy-foruma/>

6. Анциферова О.А., Сафонова Д.Н. Режим влажности осушенных глееватых буроземов под озимой пшеницей и ячменем // Материалы III Международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, Россия 14–15 сентября 2021 г. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2021. С. 77 – 82.

7. Анциферова О.А., Сафонова Д.Н. Гидрологические характеристики и урожай на пахотных почвах холмисто-моренного агроландшафта в средние по осадкам годы // Балтийский Морской форум: материалы IX Международного Балтийского морского форума (4-9 окт. 2021 года) [Электронный ресурс]: в 8 томах. Т. 1. «Инновации в науке, образовании и предпринимательстве», XVIII Международная научная конференция; сост. Н.А. Кострикова. – Электрон. дан. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – С. 176 – 181. URL: https://klgtu.ru/upload/science/bmf/bmf_2021/tom_1.pdf

8. Сафонова Д.Н., Анциферова О.А. Запасы продуктивной влаги и урожай трав в комбинации осушенных дерново-подзолистых оглеенных почв // Почвы – стратегический ресурс России: тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв (Сыктывкар, 2020- 2022 гг.). Часть 2. – Москва, Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2021. – С. 273 – 274.

9. Анциферова О.А., Юсупова Д.И., Сафонова Д.Н. Влияние экологических условий на состав мезофауны и численность дождевых червей в почвах агрофитоценозов Калининградской области // Известия КГТУ, 2022. - № 65. С. 24–34.

Авторские свидетельства

1. Расчет запасов продуктивной влаги в пахотном и метровом слое почвы для системы дистанционного мониторинга. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022614440 РФ / Д.Н. Сафонова, А.А. Сафонов, О.А. Анциферова, опубл. 22.03.2022 РОСПАТЕНТ.

2. Запасы продуктивной влаги в осушаемых оглеенных почвах тяжелого гранулометрического состава Лава-Прегольской озерно-ледниковой низменности Калининградской области. Свидетельство о регистрации базы данных для ЭВМ № 2023621100 РФ / Д.Н. Сафонова, О.А. Анциферова, опубл. 05.04.2023 РОСПАТЕНТ.