

*На правах рукописи*



Скороспехова Татьяна Викторовна

**Пространственно-временная динамика гидрологических  
характеристик олиготрофных болот с учетом изменения климата**

1.6.16 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Москва – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Государственный гидрологический институт» (ГГИ)

**Научный руководитель:** кандидат географических наук,  
**Марков Михаил Леонидович**

**Официальные оппоненты:** **Обязов Виктор Афанасьевич,**  
доктор географических наук, технический директор  
Общество с ограниченной ответственностью научно-  
производственное объединение «Гидротехпроект»

**Магрицкий Дмитрий Владимирович,**  
кандидат географических наук, доцент кафедры  
гидрологии суши географического факультета  
Московского государственного университета им.  
Ломоносова

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет»,  
Институт наук о Земле

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 г. в \_\_\_ часов на заседании диссертационного совета 24.1.049.03 на базе ФГБУН «Институт географии Российской академии наук» по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института географии РАН по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29 и на сайте Института: <http://igras.ru/defences>.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 г.

Отзывы на автореферат (в электронном виде в формате pdf и на бумажных носителях в одном экземпляре, заверенные подписью и печатью) просим направлять по адресу 119017, г. Москва, Старомонетный пер, д. 29, ученому секретарю Диссертационного совета 24.1.049.03, Титковой Т.Б. Факс 8 (495) 959-00-33, e-mail: [d00204604@igras.ru](mailto:d00204604@igras.ru)

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат географических наук

Титкова Т.Б.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Площадь водно-болотных угодий в мире составляет около 5.7 млн. км<sup>2</sup>, что эквивалентно 6% поверхности суши Земли [<https://www.ramsar.org/>]. Олиготрофные (верховые) болота широко распространены в Западной Сибири, а на европейской территории России они занимают до 90% от общей площади болот и выполняют существенную роль в гидрологическом цикле, являясь важной составляющей водного баланса водосборов.

Болота вовлечены в хозяйственную деятельность, на них разрабатываются нефтяные и газовые месторождения, через них прокладываются дороги и другие линейные сооружения. Проектирование и эксплуатация объектов строительства на болотах требует учета их специфического водного режима.

В области исследования гидрологии болот значительная доля накопленной информации приходится на 1930–1980-е годы. Этот период характеризуется относительно замедленными темпами изменения природной среды, когда процессы развития олиготрофных болот и их водного режима протекали постепенно и их учет не являлся критически важным для большинства практических задач. Современные данные гидрологических и ландшафтных исследований свидетельствуют об активной трансформации болотных систем под влиянием климатических изменений, что проявляется в перестройке их гидрологического режима и изменении границ распространения болотных микроландшафтов. Пренебрежение этим обстоятельством может снизить точность оценок гидрологических характеристик болот при применении стандартных регламентов, рассчитанных на стационарные условия. В связи с этим особую актуальность приобретает получение новых знаний о современных гидрологических процессах на олиготрофных болотах.

Целью исследования является выявление пространственно-временных изменений гидрологических характеристик на олиготрофных болотах Северо-Запада РФ в условиях изменения климата и антропогенного воздействия. Результаты работы позволят оценить последствия климатических и антропогенных воздействий на водный режим верховых болот.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Подготовка базы данных многолетних гидрометеорологических наблюдений по четырем болотам с естественным (Иласское, Ларьянское, Ламмин-Суо) и нарушенным режимом (Кадер), включая температуру воздуха, атмосферные осадки, уровни болотных и грунтовых вод, испарение, сток.

2. Анализ и оценка происходящих многолетних и внутригодовых изменений:

- метеорологических факторов: температуры воздуха, атмосферных осадков;

- элементов водного режима: уровней болотных вод, испарения и стока воды с болот.

3. Оценка динамики болотных микроландшафтов естественных болот в условиях изменения климата:

– комплексный анализ изменений уровней болотных вод и микроландшафтов на разных участках болот;

– уточнение характерных уровней болотных вод для различных болотных микроландшафтов.

4. Оценка изменений естественного водного режима болот при строительстве линейных сооружений (на примере строительства газопровода «Северный поток-2» на болоте Кадер).

**Объект и предмет исследования.** Объекты исследования – верховые болота Северо-Запада России. Предмет исследования – водный режим верховых болот и его связь с болотными микроландшафтами.

**Методы исследования.** В работе применены методы статистического анализа гидроклиматических рядов данных наблюдений (методы поиска точки перелома), водного баланса, пространственного анализа ландшафтных характеристик болот с использованием геоинформационных технологий.

**Научная новизна.** Впервые детально изучена динамика ключевых показателей водного режима верховых болот в условиях меняющегося климата.

Установлена пространственная неоднородность в реакции болотных микроландшафтов на климатические изменения. Уточнены типичные уровни воды для каждого типа болотных участков, что позволяет лучше понять их реакцию на происходящие изменения.

На примере болота Кадер, где проходило строительство газопровода «Северный поток-2», установлено, что влияние линейных сооружений на естественный водный режим болот зависит от состояния торфяной залежи и грунтов, и это влияние усиливается в годы с высокой водностью.

**Практическая значимость работы.** Выявлены особенности водного режима олиготрофных болот, включая уровни и сток болотных вод, в современных климатических условиях. Полученные закономерности позволяют актуализировать подходы к планированию мероприятий по рациональному использованию и охране болотных систем, включая управление водными ресурсами и сохранение их гидрологической функции.

Полученные результаты могут быть использованы для развития математических моделей, применяемых в расчётах и прогнозах стока с олиготрофных болот, а также при применении метода гидрологического дешифрирования по спутниковым и аэрофотоснимкам неизученных болот для расчёта их гидрологических характеристик. Понимание современных

изменений водного режима олиготрофных болот необходимо для прогнозирования роли болот в углеродном балансе.

Выполненная оценка влияния строительства газопроводной системы на водный режим олиготрофного болота выявила необходимость разработки дополнительных мероприятий для восстановления и сохранения естественного водного режима болот.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Основными причинами изменений водного режима верховых болот Северо-Запада РФ в современных климатических условиях являются повышение температуры воздуха, особенно в зимний период; сокращение глубины промерзания деятельного слоя торфяной залежи, внутригодовое перераспределение атмосферных осадков. В условиях изменения внешних факторов водный режим олиготрофных болот регулируется изменением руслового и фильтрационного стока болотных вод.

2. Изменения стока с болота на различных участках сопровождаются разнонаправленным изменением уровня режима болотных вод. Это приводит к соответствующей смене болотных микроландшафтов. При смене микроландшафтов определяющими являются средние минимальные значения уровней болотных вод, повторяющиеся в течение нескольких (5–10) лет.

3. Степень влияния линейных сооружений на естественный водный режим верховых болот зависит от нарушенности естественной структуры торфяной залежи и подстилающих грунтов в районе газопровода, оказывающей влияние на процессы горизонтальной и вертикальной фильтрации болотных вод. При этом влияние строительных сооружений проявляется в большей степени в годы с высокой водностью.

**Обоснованность и достоверность результатов** подтверждается использованием большого объема гидрометеорологической информации со специализированной сети Росгидромета и полевых исследований ФГБУ «ГПИ» на болоте Кадер (газопровод Северный поток-2), а также апробацией результатов работы на научных конференциях.

**Личный вклад автора.** Формулировка задач и обоснование подходов к исследованию происходящих изменений в гидрологическом режиме болот. Сбор и обработка гидрологических и метеорологических данных, анализ многолетних изменений гидроклиматических характеристик, выполнение полевых работ на болотах Ленинградской области, участие в организации и проведении многолетнего мониторинга водного режима болота Кадер в районе строительства газопроводной системы «Северный поток-2».

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертации были представлены на следующих конференциях, симпозиумах и съездах:

Всероссийская научная конференция с международным участием «XII Галкинские Чтения – Типы болот регионов России», Россия, Санкт-Петербург, 3 февраля 2023 г. – устный доклад; Международный симпозиум «Болота Северной Евразии: биосферные функции, разнообразие и управление», Россия, Петрозаводск, 25–28 сентября 2023 г. – устный доклад; Седьмой международный полевой симпозиум «Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее», Россия, Ханты-Мансийск, Белоярский 15–27 августа 2024 г. – устный доклад; VIII Всероссийский объединенный метеорологический и гидрологический съезд, Санкт Петербург, 29–31 октября 2024 г. – устный и постерный доклад; Международная научно-практическая конференция VI Виноградовские чтения «Гидрология нового поколения», Санкт-Петербург, 13–19 октября 2025 г. – устный доклад; Ученые советы ФГБУ «ГГИ» (2020–2026 гг.).

**Публикации.** По теме исследования опубликовано 10 работ, отражающих основные положения исследования, в том числе 5 статей в рецензируемых научных изданиях, из них 4 в изданиях, рекомендованных ВАК, также зарегистрирована 1 база данных.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка используемых источников и 4 приложений. Общий объем работы составляет 289 страниц, работа иллюстрирована 82 рисунками и содержит 34 таблицы. Список используемых источников содержит 142 наименования, в том числе 39 – на иностранном языке.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность и научная новизна работы, определены цель, задачи и практическая значимость исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту.

### Глава 1. Обзор исследований в области гидрологии олиготрофных болот

На территории России болота, мощность торфяной залежи которых составляет 30 см и выше, покрывают площадь в 1.39 млн. км<sup>2</sup>, что составляет 8.1% от общей площади страны [Вомперский и др., 2011]. Среди них наиболее распространенным типом болот являются олиготрофные (верховые) болота. Они широко распространены преимущественно в зонах с гумидным климатом и занимают до 90% от общей площади болот на европейской территории России.

Расчет водного баланса болот является одним из главных методов исследования гидрологии болот. Наиболее продолжительные и полные наблюдения за составляющими элементами водного баланса болот выполнялись на болотных станциях и постах специализированной сети Росгидромета, располагавшихся в разных регионах страны. На

сегодняшний день в России сохранилось две действующие болотные станции Росгидромета, продолжающие наблюдения за водным режимом олиготрофных болот: Зеленогорская полевая экспериментальная база или болотная станция Ламмин-Суо (ГГИ, Ленинградская область) и болотная станция Брусовица (СЗУГМС, Архангельская область).

При изучении водного баланса верховых болот одной из наиболее важных составляющих является испарение воды с поверхности. Его величина может достигать 60–80% расходной части водного баланса [Наумов, 2015]. Главную роль в регулировании процессов испарения с болота выполняет болотная растительность. Некоторая болотная растительность, например, древесно-кустарничковая, способна уменьшать испарение с болота при определенных условиях. Таким образом для верховых болот динамика растительного покрова и трансформация элементов водного баланса находятся в тесной взаимосвязи, что обуславливает необходимость их комплексного изучения.

Олиготрофные болота, как правило являются первичными элементами гидрографической сети и оказывают значительное влияние на водный режим рек, формирующихся в условиях заболоченных водосборов. Этому вопросу уделялось много внимания и выявлены особенности режима максимального и минимального стока с болот [Иванов, 1953, 1957; Романов, 1963; Price, 1992; Evans et al., 1999; Holden et al., 2003; Bullock, 2003].

В последние три десятилетия климатические условия Северо-Западного региона характеризуются ростом температуры воздуха, особенно в зимний период, участвовавшими оттепелями и сокращением продолжительности зимнего периода. Все это приводит к изменению водного режима олиготрофных болот, в том числе увеличению стока в зимний период и сокращению в весенний. Исследование [Журавлева и др., 2023] показывает, что в ближайшие десятилетия (2021–2060 гг.) вероятно сток воды с болот Северо-Запада будет продолжать неуклонно расти при сохранении современных тенденций изменения климата.

## **Глава 2. Особенности многолетней динамики гидроклиматических характеристик болот**

Для оценки воздействия климатических изменений на водный режим верховых болот на территории Северо-Запада РФ был выполнен анализ многолетних изменений климатических и гидрологических характеристик верховых болот. В качестве объектов исследования выбраны три типичных верховых болота Северо-Западного региона РФ, на которых расположены болотные станции Росгидромета (рисунок 1).

*Болотная станция Брусовица* расположена на болоте Иласском в Архангельской области. Наблюдения на нем ведутся с 1955 года по настоящее время. Данные наблюдений

доступны за период 1955–2020 гг. *Болотная станция Ларьянская* расположена на болоте Ларьянское в Тихвинском районе Ленинградской области. Болотная станция была закрыта в 2010 году. Данные наблюдений доступны за период 1956–2010 гг. С 2011 года использованы данные метеостанции Тихвин, расположенной в 11 км от болота Ларьянское. *Зеленогорская полевая экспериментальная база (Ламмин-Суо)*, расположенная на болоте Ламмин-Суо находится в Выборгском районе Ленинградской области. Наблюдения на нем ведутся ФГБУ «ГГИ» с 1950 года по настоящее время. Данные доступны за период 1952–2024 гг.

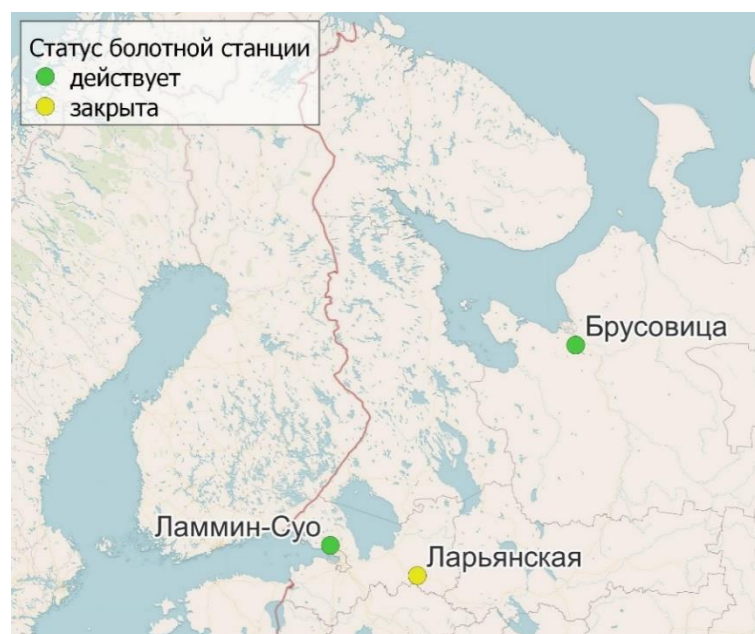


Рисунок 1 – Схема расположения болотных станций Брусовица, Ламмин-Суо и Ларьянская

Анализ многолетней изменчивости гидроклиматических характеристик включал в себя определение базового и современного периодов по данным температуры воздуха и дальнейшей оценки внутригодового распределения и многолетних изменений гидроклиматических характеристик рассматриваемых олиготрофных болот для выделенных временных периодов.

Выделение границ климатических периодов (базового и современного) по температуре воздуха проводилось статистическими методами поиска точки перелома (нарушения однородности ряда): стандартный тест на нормальную однородность (SNHT), тесты Петтитта и Буйшанда. Для трех болот получены следующие результаты: Ламмин-Суо – 1986 г., Ларьянское – 1987 г., Иласское – 2002 г.

Температура воздуха. Анализ по выделенным базовому и современному климатическому периодам для каждого их трех рассматриваемых болот показывает рост среднегодовой температуры воздуха во втором периоде до 2–3°C (рисунок 2).

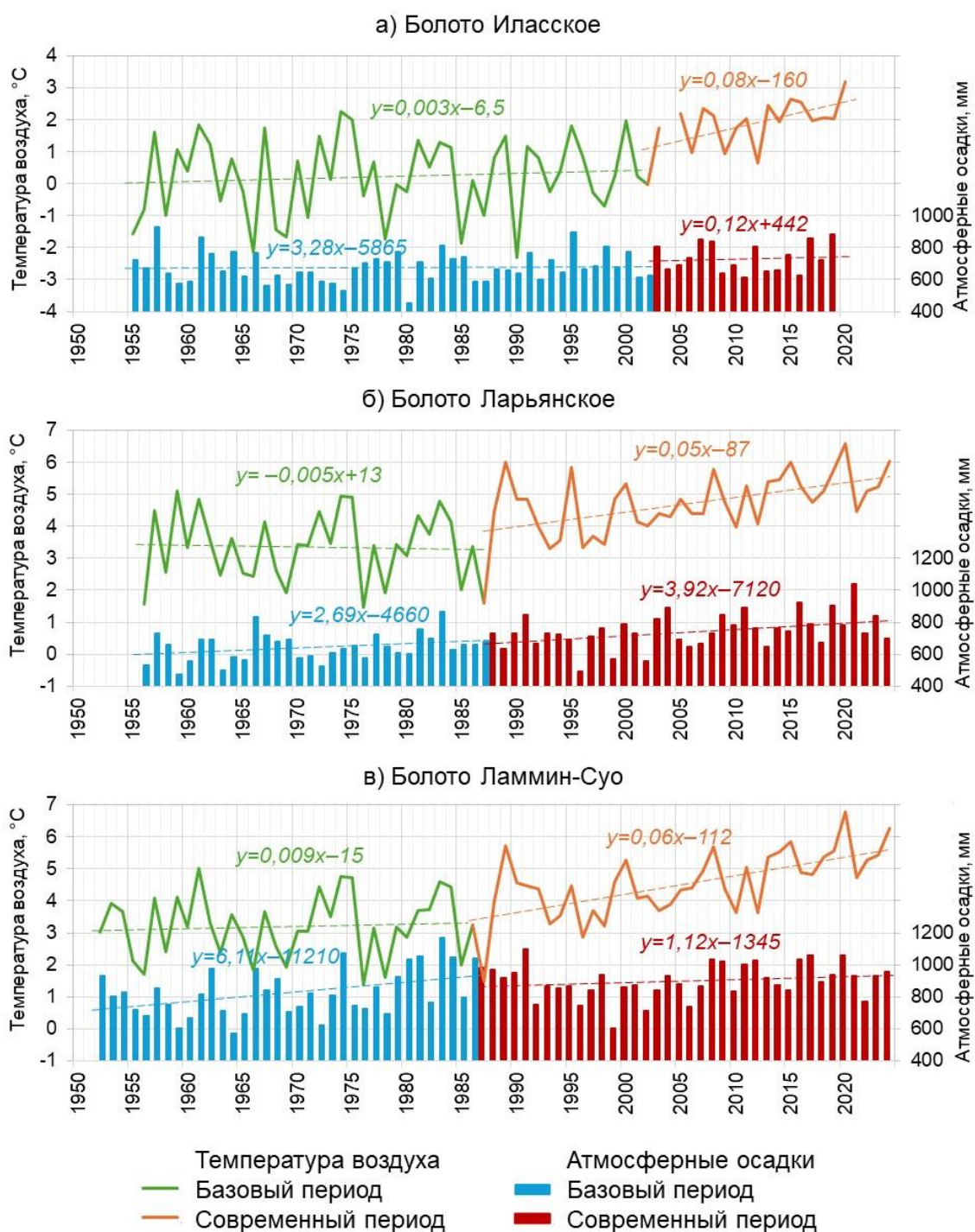


Рисунок 2 – Среднегодовая температура воздуха и годовые суммы осадков на болотах (штрихом показаны линейные тренды для выделенных периодов)

С начала 2000-х годов на трех болотах отмечается интенсивный рост температуры воздуха, средний прирост по всем болотам составил  $+0.7^{\circ}\text{C}$  за десятилетие, что более чем в 3 раза превышает темпы предыдущих 30 лет. Во внутригодовом распределении наибольший рост температуры воздуха произошел в зимние (декабрь–февраль) и весенние (март, апрель) месяцы. В летний период (июнь–август) также фиксируется потепление, однако оно характеризуется меньшей интенсивностью.

Полученные результаты подтверждают значительные изменения климата в Северо-Западном регионе за последние 60 лет. Потепление носит выраженный сезонный характер, с максимальной интенсивностью в холодный период года, что характерно для процессов, связанных с изменением климата в северных широтах.

*Атмосферные осадки.* В отличие от температуры воздуха, осадки не демонстрируют однозначного тренда (роста или падения) для всех трёх болот одновременно (рисунок 2). Отсутствие однородного изменения режима увлажнения указывает на сложность гидроклиматических процессов и влияние местных факторов на перераспределение осадков на фоне глобального потепления.

Анализ многолетней динамики за десятилетние периоды показал, что в Архангельской области (болото Иласское) суммы годовых осадков изменялись в узком диапазоне 654–725 мм без выраженного долгосрочного тренда. Последние 30 лет, с 1990-х, наблюдается слабый рост осадков (от 709 до 725 мм). На болотах Ленинградской области пик годовых осадков пришелся на 1980-е года, последовавший за спадом в 1970-х гг., а с 1990-х годов наблюдается устойчивое увеличение годовых сумм осадков.

Во внутригодовом распределении осадков для трех болот наблюдается стабильный рост или сохранение высоких норм зимних осадков начиная с 2000-х годов. Летний максимум осадков становится более выраженным, особенно в августе.

*Испарение.* Анализ многолетней динамики испарения для трех болот (рисунок 3) показывает, что наиболее интенсивный рост произошел на болоте Иласском, особенно в мае и июле. За 50-летний период испарение здесь выросло на 30%. На болотах Ленинградской области максимальное испарение наблюдалось в 1970-е годы, после чего последовало снижение, в 2010-е года произошел заметный рост испарения (особенно в мае и августе), что коррелирует со смещением пика осадков на эти месяцы.

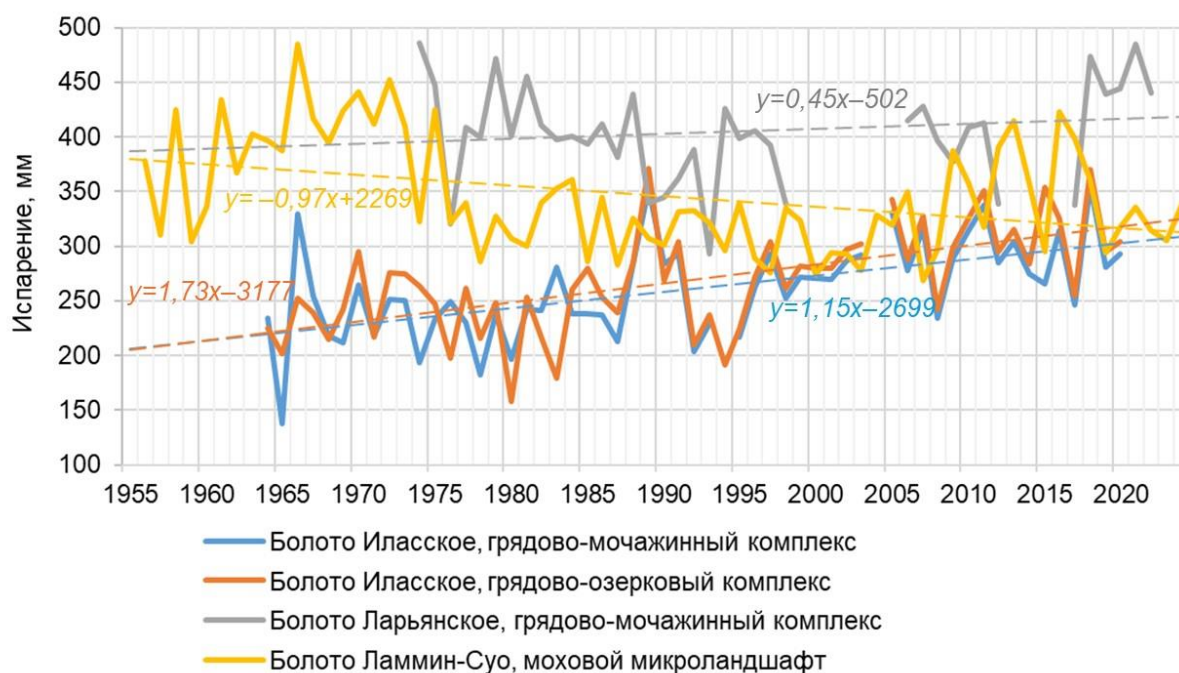


Рисунок 3 – Многолетняя динамика годового испарения с поверхности болот

Рост температуры воздуха, отмечаемый на болотах Архангельской и Ленинградской областей, является фактором, содействующим увеличению испарения, однако в зависимости от условий увлажненности и характера испаряющей поверхности наблюдаются разнонаправленные тренды. На болоте Иласском увеличение температуры воздуха и осадков сопровождается увеличением испарения, что объясняется наличием более обводненных грядово-озерковых микроландшафтов. В то же время болота Ленинградской области характеризуются менее обводненными микроландшафтами, что в итоге приводит к сокращению испарения, несмотря на растущую температуру воздуха.

*Снежный покров и глубина промерзания торфяной залежи.* Оценка изменений характеристик снегонакопления была выполнена на основе данных многолетних наблюдений на болоте Ламмин-Суо. Отмечаемый с начала 2000-х годов рост числа зим с многократными оттепелями и сходами снега приводит к сокращению снежного покрова на болотном массиве и ускоряет процесс весеннего снеготаяния. Потепление зим влияет на снежный покров болота Ламмин-Суо как напрямую, так и за счет увеличения количества жидких осадков, к 2010–2019 гг. доля твердых осадков снизилась на 10%, от наблюдавшихся ранее, и составила до 39% от общего объема.

Повышение температуры воздуха в зимний период изменило температурный режим деятельного слоя торфяной залежи и привело к сокращению глубины промерзания (рисунок 4). Сравнение между базовым и современным климатическим периодами показывает,

что средняя глубина промерзания верхнего слоя торфяной залежи уменьшилась на болотах Ламмин-Суо и Иласское на 5 см.

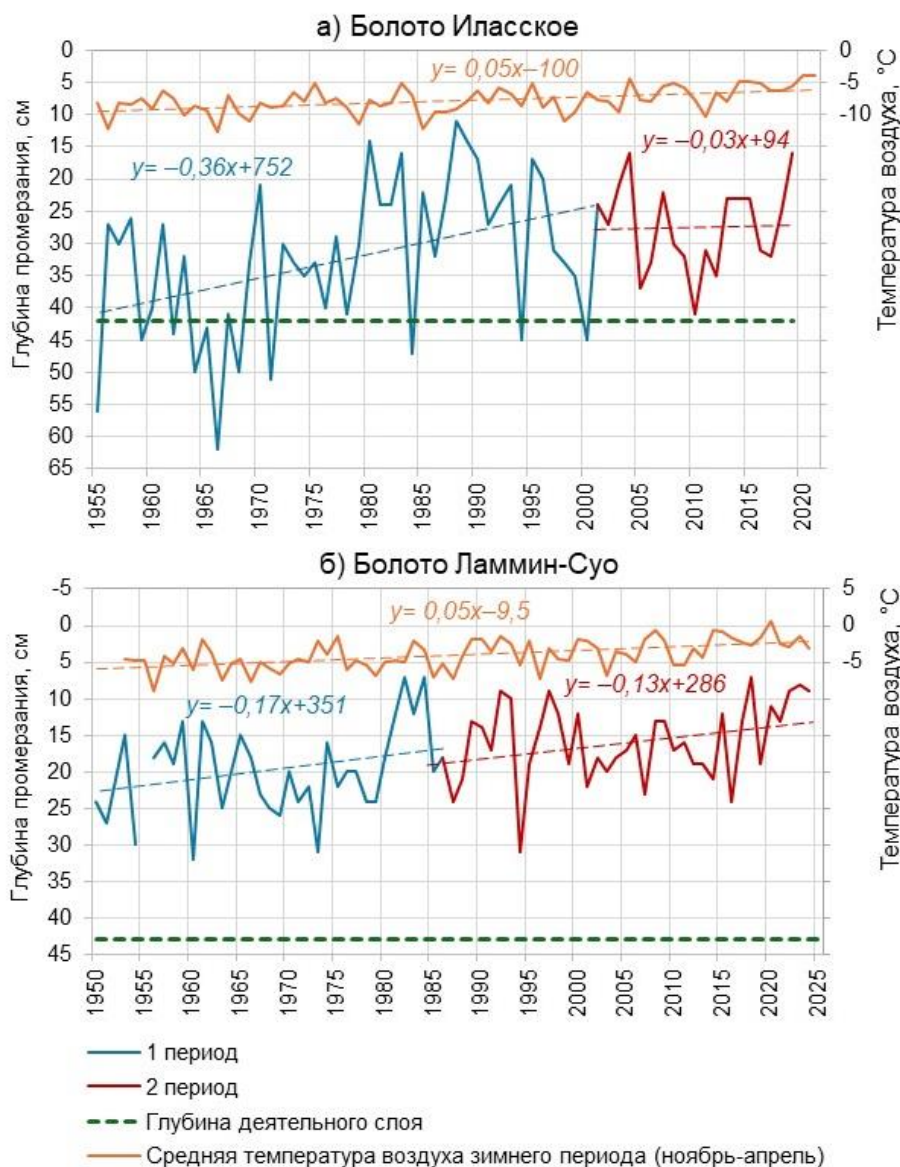


Рисунок 4 – Наибольшая глубина промерзания торфяной залежи на болотах

*Уровни болотных вод (УБВ).* Анализ данных наблюдений показывает, что для болот Ленинградской области наблюдается общая тенденция снижения среднегодовых значений уровней. При этом рост температуры воздуха в зимний период привел к тому, что уровни болотных вод зимой повысились на возвышенных участках (купол болота) за счет возросшего снеготаяния и выпадающих жидких осадков. В то же время на участках, расположенных на склоне болота и у его окраины, уровни снизились, что связано с улучшением дренирующей способности деятельного горизонта в теплые зимы.

Для Архангельской области (болото Иласское) уровни болотных вод меняются разнонаправленно, в зависимости от участка болота. На грядово-мочажинном комплексе наблюдается рост УБВ, особенно в зимний период, что связано с ростом температуры воздуха и увеличением осадков. На грядово-озерковом комплексе, напротив, отмечается снижение уровней, что объясняется влиянием возросшего испарения в условиях роста температур, последствия которого более выражены на микроландшафте с открытой водной поверхностью.

*Сток с болот.* Рост температуры воздуха, увеличение атмосферных осадков, сокращение глубины промерзания торфяной залежи в зимний период, а также изменение режима уровней болотных вод привели к трансформации стока воды с верховых болот.

Для болота Иласского (р. Черная) наблюдается увеличение годового стока, в то время как для болота Ламмин-Суо (суммарный сток по четырем ручьям) сток практически не изменился, за исключением многоводного периода в начале 1980-х годов, связанного с большим количеством выпавших осадков (рисунок 5).

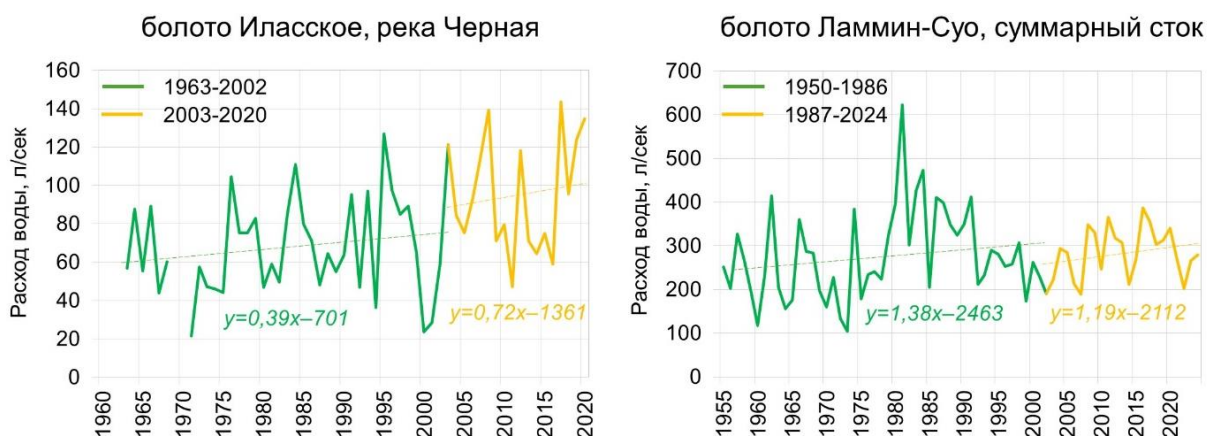


Рисунок 5 – Средний годовой расход воды в реке Черная (болото Иласское), 1964–2020 гг. и суммарный расход воды четырех водотоков (болото Ламмин-Суо), 1950–2024 гг.

Сравнение стока в базовом и современном периоде показывает, что на болоте Иласском в современном климатическом периоде (2003–2020 гг.) увеличение расхода воды составило 50%. В то время как на болоте Ламмин-Суо во втором периоде (1987–2024 гг.) суммарный расход воды на четырех вытекающих с болота водотока вырос лишь на 4.5% (рисунок 6). В течение года наибольшее увеличение стока произошло в зимний период, во втором периоде он вырос на болоте Ламмин-Суо на 106%, на болоте Иласском на 201% (основной рост наблюдался в ноябре–декабре). Весенний сток изменяется разнонаправленно: на болоте Ламмин-Суо он сократился на 26%, в то время как на болоте Иласском увеличился на 21%.



Рисунок 6 – Средний месячный расход воды водотоков, вытекающих с болот Иласское (река Черная) и Ламмин-Суо (суммарное значение по четырем водотокам) за базовый и современный климатический периоды

Незначительное увеличение суммарного руслового стока с болота Ламмин-Суо в условиях роста атмосферных осадков связано с возросшим внерусловым стоком. Внерусловой сток, происходящий посредством вертикальной и горизонтальной фильтрации на границе болота и прилегающего сушистого, может составлять значительную часть суммарного стока с болота. Такие факторы как увеличение температуры воздуха, возросшее количество жидких осадков в зимний период, сокращение глубины промерзания деятельного слоя, облесение окраев болота и прочее, привели к улучшению дренирующей способности толщи верхнего горизонта торфяной залежи болота и прилегающей к болоту территории, что, в свою очередь, вызвало перестройку процессов формирования внеруслового стока. На болоте Иласском, расположенном значительно севернее, влияние потепления климата в зимний период пока не так явно выражено. Однако учитывая тенденцию к повышению температуры воздуха и то, что точка перелома в ряду температур воздуха здесь зафиксирована на 15 лет позже, в ближайшее десятилетие можно ожидать повторения сценария в изменении водного режима, произошедшем на болоте Ламмин-Суо, а именно повышения зимних расходов воды и сокращения объемов весеннего половодья.

### Глава 3. Водный баланс верховых болот

Уравнение водного баланса за гидрологический год для верхового болота в общем виде выглядит следующим образом [Новиков, 2019]:

$$P - E - C_{\text{русл}} \pm B \pm \Gamma \pm \Delta W \pm \eta = 0,$$

где  $P$  – атмосферные осадки, мм;  $E$  – испарение, мм,  $C_{\text{русл}}$  – русловой сток, мм;  $B$  – вертикальный водообмен, мм;  $\Gamma$  – горизонтальный водообмен, мм;  $\Delta W$  – изменение влагозапасов в деятельном слое торфяной залежи,  $\eta$  – невязка, мм. Под невязкой понимается

суммарная ошибка определения элементов водного баланса и неучтенные факторы. Под влагозапасом понимается объем воды в деятельном слое, индикатором которого является положение уровня болотных вод. При малой величине невязки отрицательное значение суммарного изменения влагозапасов может говорить об оттоке болотных вод в прилегающие суходолы и вертикальной фильтрации в минеральные грунты. Положительное значение – о дополнительном притоке воды посредством водообмена болота и суходола.

Наиболее трудно определяемой составляющей водного баланса верховых болот является фильтрационный водообмен болота с прилегающей территорией, состоящий из вертикального (В) и горизонтального или диффузного (Г) водообмена. Вертикальный водообмен происходит между болотом и подстилающими минеральными грунтами путем инфильтрационного стока болотных вод. Горизонтальный водообмен, или диффузный сток, представляет собой сток болотных вод в прилегающий суходол посредством горизонтальной фильтрации, минуя речную сеть.

Помимо вертикального и горизонтального фильтрационного водообмена с прилегающей территорией, на окрайках болотах могут образовываться временные водотоки, функционирующие в периоды высокой водности.

Часть стока с болот, которую невозможно измерить, будем рассматривать как один из членов уравнения водного баланса –  $C_{\text{неизмер}}$  (суммарный сток с болота, включающий в себя вертикальную и горизонтальную фильтрацию между болотом и прилегающим суходолом, а также недоучтенный русловой сток, при наличии временных водотоков). Так как на рассматриваемых верховых болотах на границе с суходолом, как правило, преобладают процессы разгрузки болотных вод в прилегающий суходол,  $C_{\text{неизмер}}$  будет иметь отрицательное значение в уравнении водного баланса.

В итоге получим уравнение водного баланса за гидрологический год в следующем виде:

$$P - E - C_{\text{русл}} \pm \Delta W - C_{\text{неизмер}} \pm \dot{\eta} = 0$$

В случае болота Ламмин-Суо водный баланс рассчитывался для всего болота целиком, в случае болота Иласского расчет производился для участка болота, ограниченного водосбором реки Черной. Полученные результаты были проанализированы для базового и современного климатического периодов.

На болоте Ламмин-Суо во втором периоде средний слой осадков увеличился на 8%, испарение с поверхности болота сократилось на 12%, климатический сток (разница осадков и испарения) вырос на 24%, при этом для руслового стока отмечается сравнительно небольшой рост (3%) (рисунок 7). Составляющая  $C_{\text{неизмер}} \pm \dot{\eta}$  выросла более чем в два раза (122%).

Изменение влагозапасов в деятельном слое оказалось несущественным, по сравнению с остальными элементами водного баланса и составило всего  $-4$  мм.

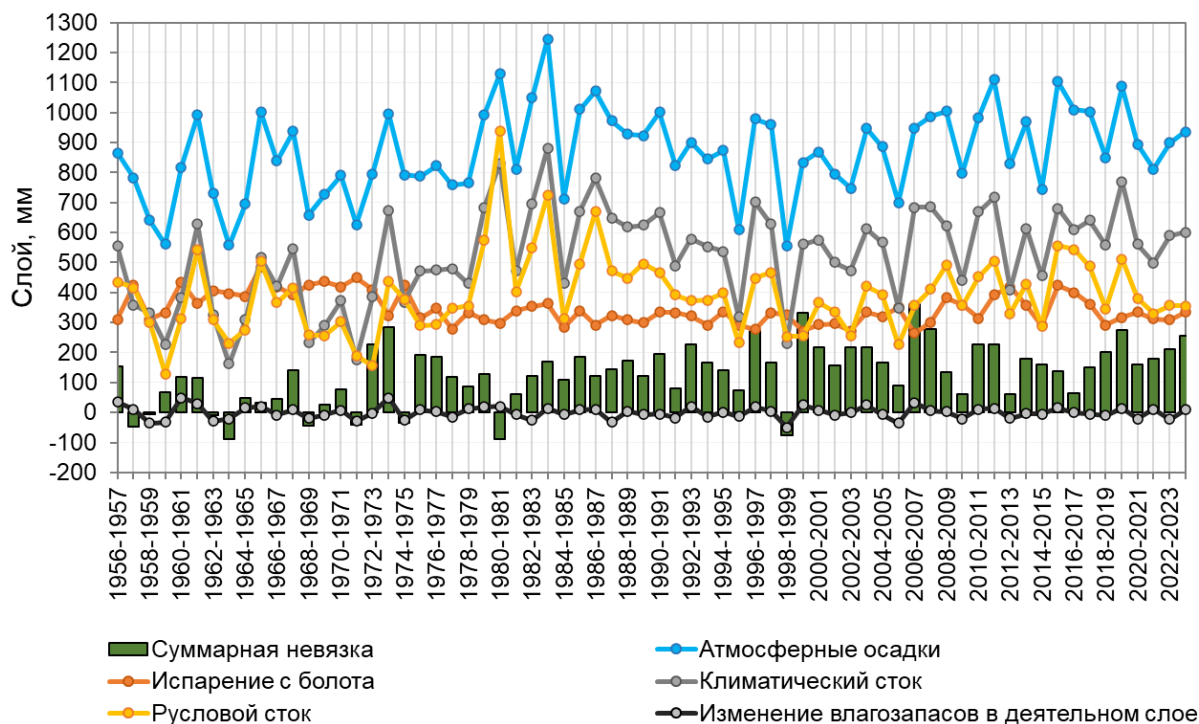


Рисунок 7 – Изменение элементов водного баланса болота Ламмин-Суо, 1956–2024 гг.

Значительная разница между климатическим и русловым стоком подтверждает возросший отток болотных вод в прилегающий суходол и подземные водоносные горизонты ( $C_{неизмер}$ ), а также может быть связана с погрешностью расчета испарения с поверхности болота при смене его ландшафтов за пределами испарительной площадки ( $\dot{\eta}$ ).

На болоте Иласском во втором периоде средний слой осадков увеличился на 10%, испарение с поверхности болота выросло на 21%, климатический сток вырос незначительно (5%), при этом для руслового стока отмечается значительный рост (36%) (рисунок 8). Суммарная составляющая  $C_{неизмер} \pm \dot{\eta}$  во втором периоде сократилась более чем в два раза ( $-66\%$ ). Изменение влагозапасов в деятельном слое оказалось несущественным, по сравнению с остальными элементами водного баланса, оно составило менее  $+1$  мм. Иными словами, для болота Иласского наблюдается картина противоположная болоту Ламмин-Суо, уменьшение недоучтенного стока и невязки во втором периоде, что может говорить о более высокой точности определения составляющих элементов водного баланса и отсутствии неучтенных факторов, таких как отток воды на границе болота и формировании временных водотоков.

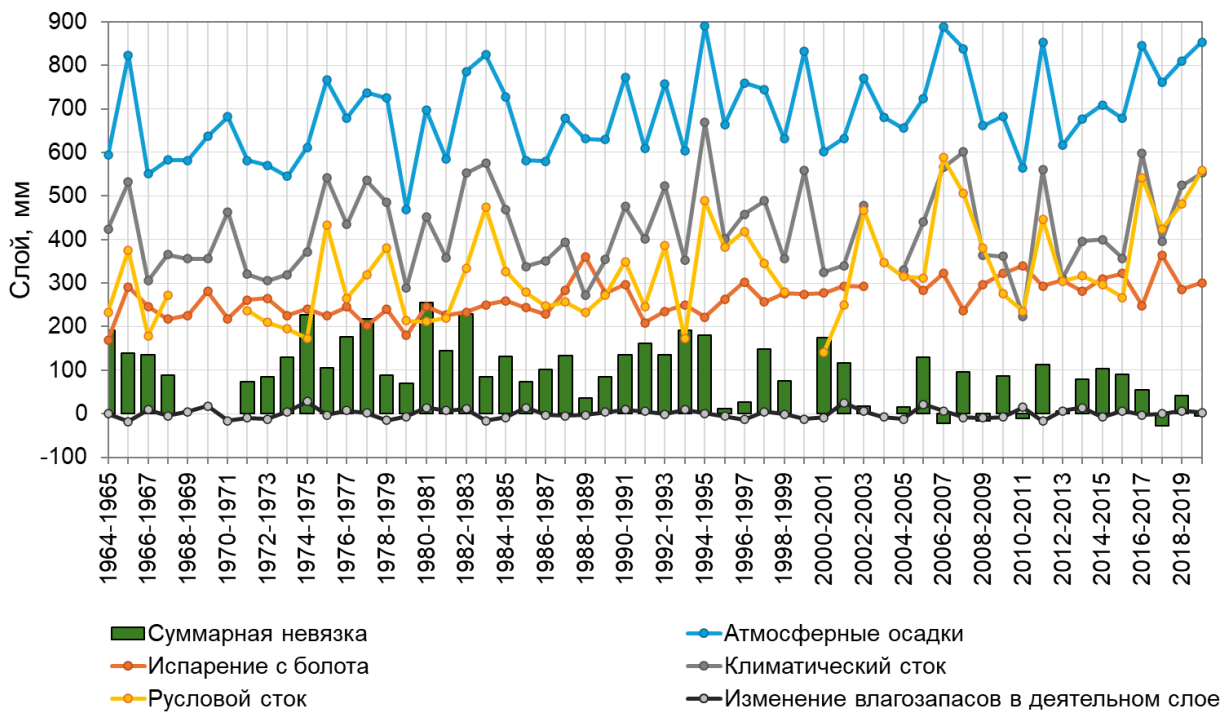


Рисунок 8 – Изменение элементов водного баланса участка болота Иласское (водосбор р. Черная), 1964–2020 гг.

На болоте Ламмин-Суо в современном периоде отмечается рост среднего значения суммарной невязки ( $C_{неизмер} \pm \eta$ ), в то время как на болоте Иласском, наоборот, отмечается ее уменьшение. Сокращение невязки на болоте Иласском (водосбор реки Черной) обусловлено более северным расположением болота: рост температур воздуха и снижение промерзания торфяной залежи до настоящего времени не оказали значительного воздействия на зимний сток. Здесь не так активно происходит процесс облесения окраек, следовательно, вертикальный и горизонтальный водообмен с прилегающим суходолом подвержены меньшим изменениям. Кроме того, в отличие от болота Ламмин-Суо, площадь которого составляет менее 2 км<sup>2</sup>, болото Иласское является крупным болотным массивом (61 км<sup>2</sup>), что также делает его более устойчивым к изменениям водного режима.

На болоте Ламмин-Суо, расположенном южнее, более отчетливо проявляется влияние потепления климата на элементы водного баланса. Рост температуры воздуха в зимний период привел к увеличению частоты и продолжительности зимних оттепелей и сокращению глубины промерзания торфяной залежи, что, в свою очередь, увеличило зимний сток и, следовательно, объем разгрузки болота в зимний период. Дополнительным фактором увеличения фильтрационного стока является активный рост сосны, наблюдающийся в последние десятилетия на окрайках болота Ламмин-Суо (Глава 4). Разрастающаяся корневая система

деревьев пронизывает торфяную залежь, что приводит к увеличению как горизонтальной, так и вертикальной фильтрации между суходолом и окраиной болота.

Маловероятно, что при наблюдающемся увеличении разгрузки в зимний период и сокращении объема весеннего половодья, даже при возросших осадках в летний период, суммарные влагозапасы могли вырасти. Таким образом, увеличение климатического стока на 25% во втором периоде стало расходоваться на возросший фильтрационный сток, а также на русловой сток в образовавшихся временных водотоках.

#### **Глава 4. Взаимосвязь уровня болотных вод и растительности (по данным наблюдений на болотной станции Ламмин-Суо)**

В классификации болотных микроландшафтов олиготрофных болот выделяют пять основных групп по преобладающему типу растительности: лесные, мохово-лесные, моховые, мохово-травяные и комплексные [Усова, 2009]. Так как различные виды растительности могут существовать в определенных условиях увлажненности, то каждый из микроландшафтов существует в определенном диапазоне колебания уровней болотных вод.

Значения уровней болотных вод, свойственные основным группам болотных микроландшафтов, были установлена в работах [Романова, 1960; Иванов, 1957], а позднее в руководствах по расчетам стока с верховых болот, созданных в Гидрологическом институте [Указания..., 1971; Батуев и др., 2011] (таблица 1). Все эти работы основываются на данных изучения болот Ленинградской области, наблюдений болотной сети Росгидромета и пр.

В рамках диссертационной работы на основе многолетних наблюдений на болоте Ламмин-Суо, включавших регулярные измерения уровней болотных вод и периодические геоботанические съемки, фиксирующие смену болотных микроландшафтов (1 раз в 5 лет), были рассчитаны характерные уровни болотных вод для основных групп микроландшафтов. Между данными литературных источников и уровнями, рассчитанными автором диссертации по данным Ламмин-Суо, наблюдается сходство средних многолетних значений (таблица 1).

По данным Ламмин-Суо за период 1950–2024 гг. наибольший диапазон значений средних уровней был определен для мохово-травяной (+1...–43 см) и лесной (–19...–58 см) групп. В следствии чего мохово-травяная группа оказалась наиболее адаптивной как к переувлажнению, так и к падению уровня воды, распространившись главным образом на склоне болота. Лесные микроландшафты функционируют как буферные и транзитные зоны, демонстрируя исключительно широкий диапазон экологического существования.

Таблица 1 – Характерные уровни болотных вод по литературным источникам и данным болота Ламмин-Суо (см)

Группа микроландшафта	Средний уровень болотных вод, см	Иванов, 1957	Романова, 1960	Указания, 1971	Батуев и др., 2011	Болото Ламмин-Суо	
						вегетационный период	год
Лесные	Многолетн.	-34	-39	-43	-45	-39	-33
	Макс	-15	-26	-24	-31	-19	-13
	Мин	–	-54	-67	-62	-58	-53
Мохово-лесные	Многолетн.	–	-30	–	-28	-26	-21
	Макс	–	-25	–	-20	-12	-11
	Мин	–	-38	–	-38	-45	-32
Моховые	Многолетн.	-27	-27	-33	-23	-25	-21
	Макс	-11	-6	-15	-14	-12	-13
	Мин	–	-44	-61	-32	-44	-36
Мохово-травяные	Многолетн.	-13	-11	-17	-19	-19	-14
	Макс	4	-1	0	-11	1	1
	Мин	–	-16	-34	-31	-43	-31
Комплексы	Многолетн.	-15	-22	-27	-25	-19	-14
	Макс	1	-2	-8	-21	-6	-5
	Мин	–	-48	-43	-35	-32	-23

За 70 лет наблюдений на болоте Ламмин-Суо произошла значительная смена болотных микроландшафтов (рисунок 9).

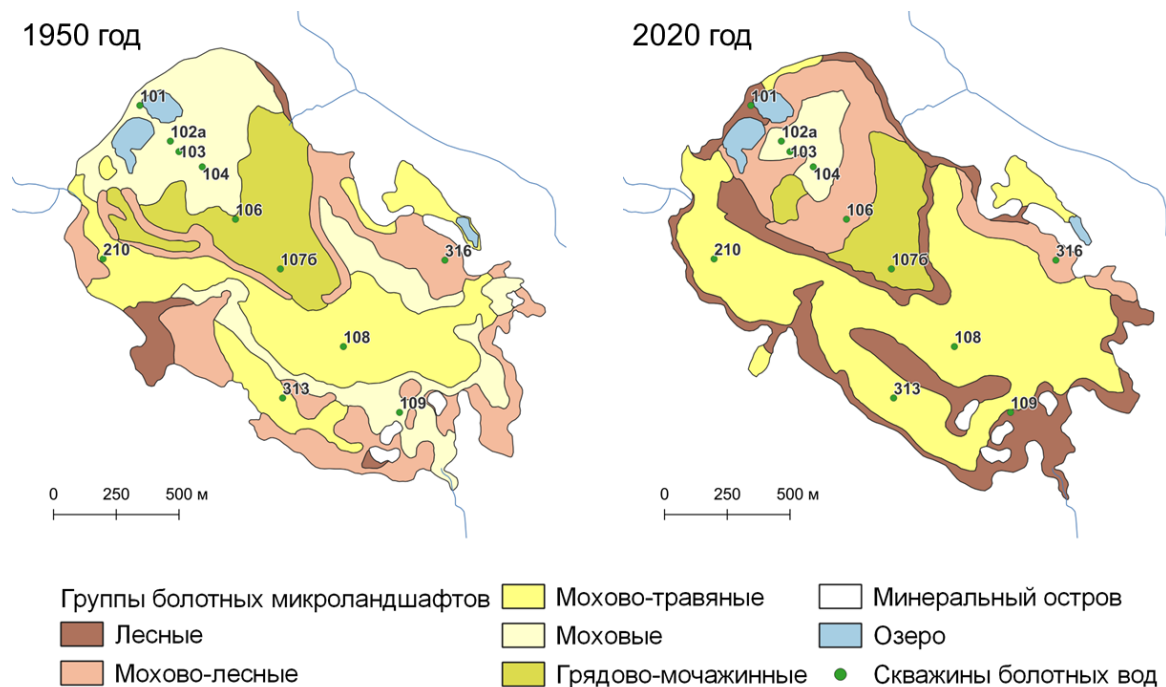


Рисунок 9 – Типологическая карта болотных микроландшафтов болота Ламмин-Суо по классификации Е.А.Романовой – Л.И.Усовой (по данным [Материалы наблюдений..., 1950–2020; Новиков и др., 2019]) с указанием расположения скважин болотных вод

Площадь распространения микроландшафтов лесной и мохово-травяной группы увеличилась на 19 и 20% соответственно, а мохово-лесной, моховой и грядово-мочажинной группы – сократилась на 8, 24 и 7%. В основном мохово-травяная группа заменила моховые и мохово-лесные микроландшафты, а лесная группа сменила микроландшафты мохово-лесной группы. Основное облесение наблюдается на окрайках болота, особенно в юго-восточной части, а также на склоне болота в зоне лесного кольца, опоясывающего грядово-мочажинный комплекс.

*Характерные уруни болотных микроландшафтов.* Обобщая результаты многолетних колебаний уровней болотных вод на разных участках болота (за вегетационный период), микроландшафты можно разделить на три категории (рисунок 10): микроландшафты с высоким уровнем болотных вод (–19 см) – грядово-мочажинный комплекс (ГМК) и мохово-травяная группа; микроландшафты со средним уровнем болотных вод (–25...–26 см) – мохово-лесная и моховая группа; микроландшафты с низким уровнем болотных вод (–39 см) и наиболее выраженной амплитудой – лесная группа.

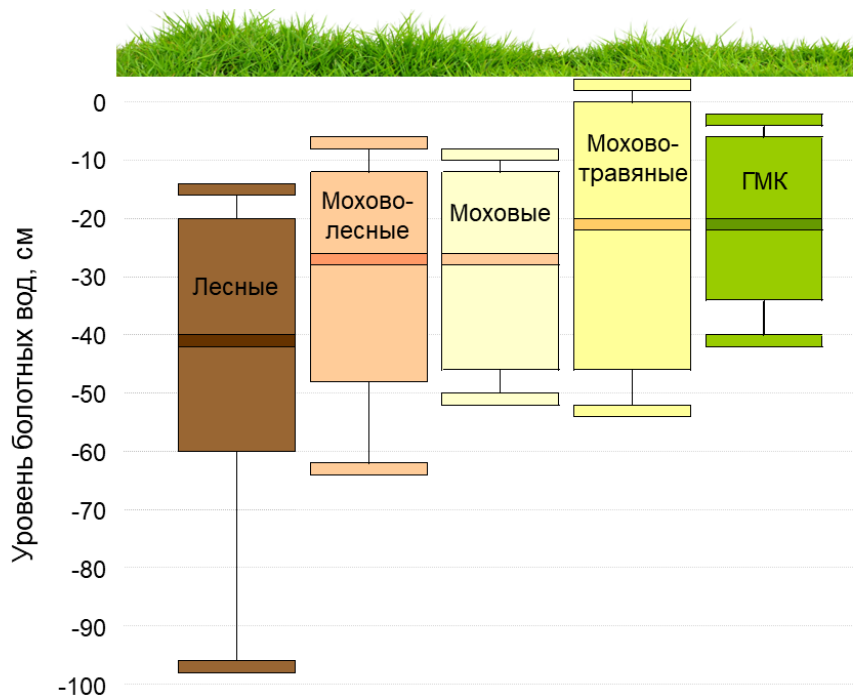


Рисунок 10 – Характерный диапазон уровней болотных вод, соответствующие пяти группам микроландшафтов, по данным болота Ламмин-Суо

Последние три десятилетия на болоте Ламмин-Суо на большинстве скважин, расположенных на окрайках болота, отмечается постепенное снижение уровня болотных вод. Это вызвано современными гидроклиматическими процессами, характеризующимися ростом температуры воздуха, сокращением продолжительности зим, частыми оттепелями в зимний период, снижением весеннего половодья.

На примере болота Ламмин-Суо можно видеть, что смена микроландшафтов не является следствием какого-то одного универсального фактора, а вызывается комплексом причин, которые зависят от места расположения участка болота и изменения уровня болотных вод.

Сравнение динамики уровней болотных вод на болоте Ламмин-Суо с более крупной болотной системой – болотом Несвинское, входящим в Полистово-Ловатскую болотную систему (Псковская область) показало, что на болоте Несвинском за 20 лет наблюдений отмечается устойчивая тенденция к постепенному понижению уровней болотных вод, как на окраинах, так и в центральной части изученного участка. Однако, несмотря на локальное снижение уровней, изменений болотных микроландшафтов в ближайшее время не ожидается, так как амплитуда колебания уровней остается в диапазоне характерных уровней соответствующих групп микроландшафтов.

Исходя из вышесказанного можно заключить, что скорость происходящих изменений водного режима и, как следствие, границ распространения микроландшафтов, напрямую зависит от площади болота. Сравнение данных наблюдений показывает, что на небольших по площади болотах, таких как Ламмин-Суо и неосушенный участок болота Ларьянского, смена микроландшафтов происходит быстрее, чем на крупных болотных системах, обладающих большим запасом воды (болото Иласское, болото Несвинское, Полистово-Ловатская болотная система).

## **Глава 5. Изменения водного режима болот под влиянием хозяйственной деятельности (на примере болота Кадер)**

В 2018 году на болоте Кадер было начато строительство участка магистрального газопровода «Северный поток – 2». По причине того, что болото относится к территории Кургальского природного заказника и имеет статус водно-болотного угодья международного значения, строительству было уделено особое внимание. При строительстве газопровода проектом были предусмотрены самые современные технологические решения, позволяющие снизить антропогенное влияние на водный режим прилегающей территории.

Для оценки воздействия строительства газопровода на естественный водный режим болота Кадер в 2018 году ФГБУ «ГГИ» были начаты наблюдения, включающие в себя мониторинг уровней болотных и грунтовых вод на участках с естественным и нарушенным режимом, а также наблюдения на водотоках, вытекающих с исследуемого участка болота (рисунок 11). Анализ изменения водного режима выполнен по результатам наблюдения на скважинах, расположенных вблизи строительного коридора (скважины 1-1, 1-2), и в зоне естественного режима болота (2-4, 2-8).

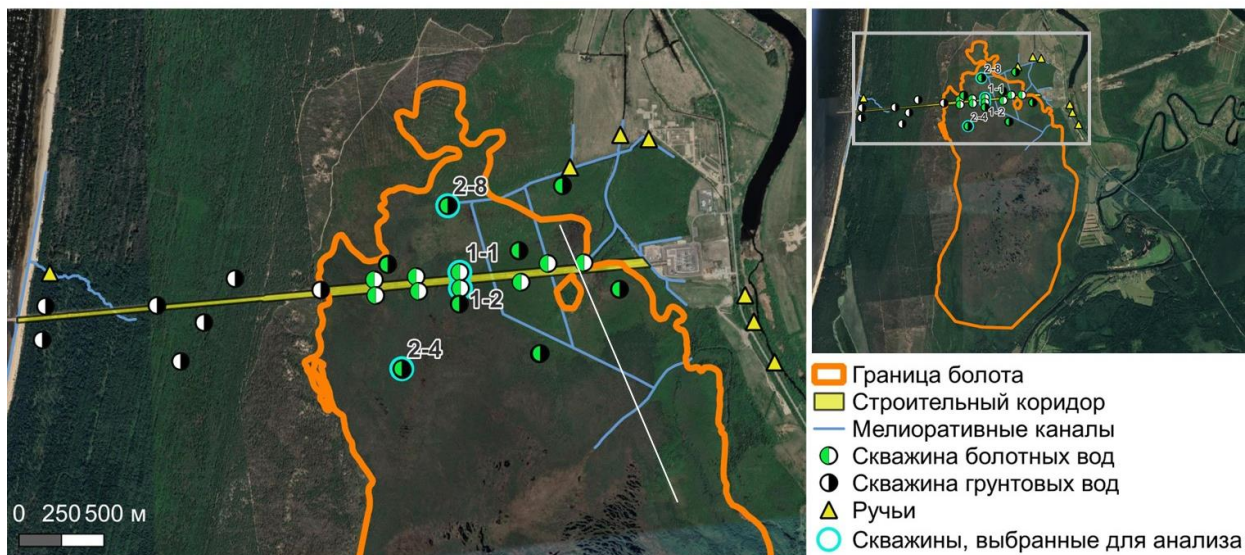


Рисунок 11 – Схема расположения объектов мониторинга (2018–2025 гг.)

Строительство газопровода «Северный поток – 2» на северном участке болота Кадер привело к нарушению водного режима, проявившегося вблизи строительного коридора. Наиболее выраженный период нарушения водного режима, вызванный строительными работами, продолжался с осени 2018 по июнь 2021 года, после чего последовало постепенное восстановление, однако влияние газопровода на уровеньный режим вблизи строительного коридора сохраняется до настоящего времени (рисунок 12).

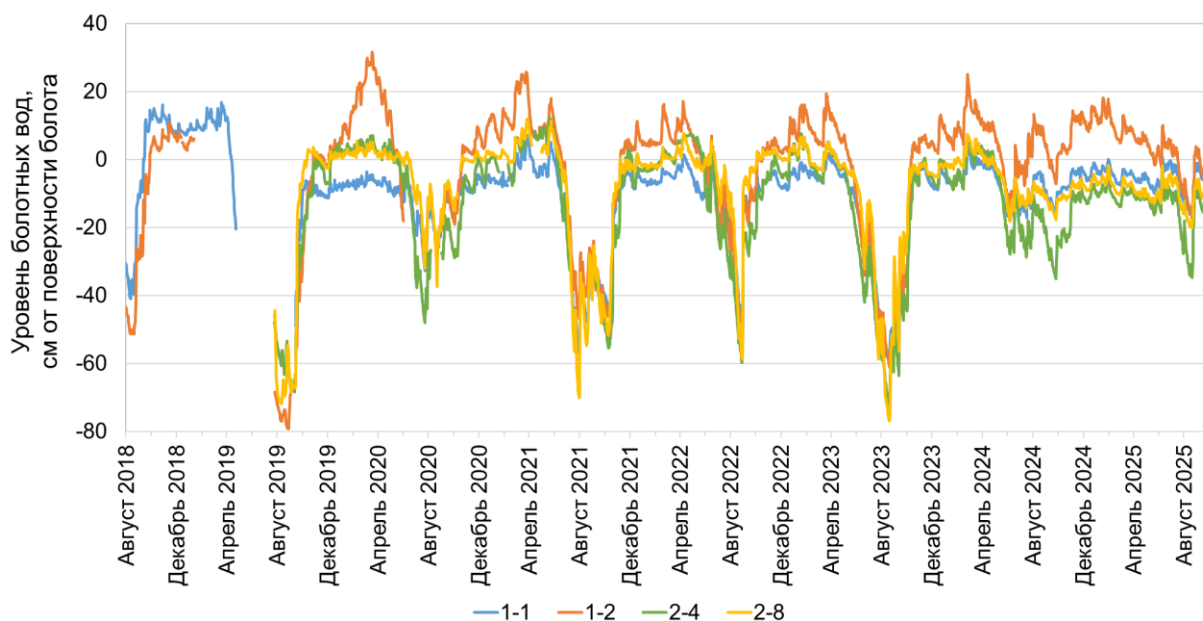


Рисунок 12 – Уровень болотных вод относительно поверхности болота на участках с естественным (скважины 2-4, 2-8) и нарушенным (скважины 1-1, 1-2) август 2018 г. – сентябрь 2025 г.

В результате строительства с южной стороны газопровода образовалась зона «подтопления», характеризующаяся повышенным уровнем болотных вод в сравнении с фоновым участком. С северной стороны газопровода сформировалась зона «подсушки».

Анализ нарушений водного режима болота выявил, что наибольшие отличия в ходе уровней болотных вод на нарушенных и фоновых участках наблюдались в период с ноября и до окончания весеннего половодья, тогда как в период летней межени существенных отличий не отмечалось. В годы с большим количеством осадков (2024 г.) в летний период происходит аккумуляция воды как в зоне «подтопления», так и в зоне «подсушки», при этом наблюдается снижение уровней на фоновых участках.

Основной причиной антропогенного изменения водного режима стали нарушение фильтрационных свойств торфа (ввиду нарушения его структуры при засыпке траншей) и нижележащих минеральных грунтов. Из-за этого влияние газопровода особенно проявляется в изменении естественного уровня режима болотных вод в полосе газопроводной системы в годы с высоким количеством осадков, особенно в летний период. Восстановление естественных фильтрационных свойств займет длительное время и будет зависеть от скорости нарастания торфяной залежи, влияния растительности и криогенных процессов (фазовых переходов влаги в торфяной залежи).

На участке болота, наиболее подверженном влиянию газопровода (зона «подтопления»), ожидается смена микроландшафтов. Здесь грядово-мочажинный комплекс в ближайшее десятилетие может перейти в микроландшафт более обводненной мохово-травяной группы.

**Заключение.** В ходе работы над диссертацией были получены следующие основные научные выводы:

1. *Климатические изменения и их влияние на водный режим болот.* По данным многолетних наблюдений на болотных станциях выявлено, что изменения водного режима верховых болот Северо-Запада РФ обусловлены климатическими факторами: ростом температуры воздуха (особенно в зимний период), сокращением глубины промерзания торфяной залежи, ростом количества осадков и их внутригодовым перераспределением осадков. Установлено, что климатический перелом, характеризующий наступление современного климатического периода, произошел в Ленинградской области в 1987–1988 гг., а в Архангельской – в 2003 г.

Реакция уровней болотных вод на климатические изменения неоднородна по территории. В Ленинградской области, несмотря на общую тенденцию к снижению уровня, зимой на возвышенных участках наблюдается его повышение. Одновременно, на окраинах

болот уровень воды снижается из-за более активного дренирования, связанного с сокращением промерзания верхнего слоя. В Архангельской области также наблюдается пространственная неоднородность. На более обводненных грядово-озерковых комплексах уровень воды снижается из-за возросшего испарения, тогда как на грядово-мочажинных участках он повышается вследствие увеличения количества осадков.

На болотных водотоках отмечено увеличение стока, особенно в зимний период, и исчезновение периодов отсутствия стока. Наблюдается тенденция к смещению максимальных расходов воды на летне-осенний период (для Ленинградской области). Повышение зимних температур, уменьшение глубины промерзания деятельного слоя и облесение окраек болот способствует увеличению фильтрационного стока, особенно зимой, что подтверждается ростом невязки водного баланса.

При значительных изменениях элементов водного баланса (осадков, испарения, стока), наблюдающихся в современном климатическом периоде, величина влагозапасов в деятельном слое торфяной залежи остается практически неизменной. Разница средних влагозапасов между первым и вторым периодами составила  $-4$  мм для болота Ламмин-Суо и  $+1$  мм для болота Иласского, что говорит о высокой способности олиготрофных болот к саморегуляции водного режима и устойчивости к внешнему воздействию.

*2. Связь изменения стока с динамикой уровней болотных вод и сменой микроландшафтов.* Изменения в стоке с болот, вызванные современными климатическими тенденциями, тесно связаны с динамикой уровня болотных вод и приводят к направленной смене болотных микроландшафтов. Показано, что наиболее распространёнными микроландшафтами в современных условиях являются группы с широким диапазоном уровней: мохово-травяные ( $+1$  до  $-43$  см) и лесные ( $-19...-58$  см). На склоновых частях болота преобладают мохово-травяные микроландшафты, устойчивые к чередованию переувлажнения и спада уровня воды. Периферийные (окраинные) зоны, где уровень воды стабильно низок, занимают лесные микроландшафты.

Установлено, что в современных климатических условиях преобладает тенденция к снижению уровня болотных вод, наблюдаемая с 1980-х годов. Особое значение для смены ландшафтов имеют средние минимальные уровни болотных вод, которые, повторяясь в течение нескольких лет (5–10), становятся определяющим фактором.

Общая тенденция снижения уровня болотных вод ведет к сокращению площади грядово-мочажинных и моховых микроландшафтов, а также одновременному увеличению доли лесных и мохово-лесных. Интенсивность этой смены зависит от запасов воды в болотной системе. На небольших болотах, таких как Ламмин-Суо, изменения микроландшафтов проявляются наиболее ярко. Напротив, на крупных болотных системах с большими запасами

воды (болото Иласское, Полистово-Ловатская болотная система) уровни болотных вод более стабильны. Влияние осушающего эффекта окраек здесь минимально из-за их незначительной доли в общей площади, поэтому существенных изменений микроландшафтов пока не наблюдается.

3. *Влияние газопровода «Северный поток – 2» на водный режим болота Кадер.* Анализ мониторинга на участке болота Кадер, где проходит газопровод «Северный поток – 2», выявил ряд существенных воздействий на его водный режим, которые обусловлены нарушением естественной структуры торфяной залежи и подстилающих грунтов, что привело к изменению их фильтрационных свойств. В результате произошедших изменений сформировались зоны с нарушенным гидрологическим режимом: севернее газопровода образовалась зона «подсушки», а южнее – зона «подтопления». Наиболее выраженные отклонения уровней болотных вод от фоновых значений фиксируются в многоводные периоды, начиная с ноября и до начала весеннего половодья. Влияние газопровода усиливается в годы с высокой водностью. Так, в условиях высокой водности 2024 года, нарушения структуры торфяной залежи и подстилающих грунтов привели к аномальной аккумуляции воды как в зоне «подтопления», так и в зоне «подсушки», что происходило на фоне естественного спада уровней. Это свидетельствует о том, что антропогенное воздействие, наложенное на естественные гидрологические процессы, может приводить к непредсказуемым и усиленным эффектам, особенно в условиях экстремальных погодных явлений.

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Статьи в журналах из Перечня рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК или индексируемых в системах Russian Science Citation Index (RSCI), Scopus, Web of Science:

Скороспехова Т.В., Журавлева А.Д. Трансформация водного режима верховых болот в условиях изменения климата на примере Северо-Западного региона // Гидросфера. Опасные процессы и явления. Том 6. Вып. 2. 2025. – С. 281-295. DOI: 10.34753/HS.2024.6.3.281.

Скороспехова Т. В., Журавлева А. Д., Калюжный И. Л. Таяние снежного покрова и водоотдача из снега на верховых болотах (на примере болот Карельского перешейка и Кольского полуострова) // Гидрометеорология и экология. № 79. 2025. – С. 261-279. DOI: 10.33933/2713-3001-2025-79-261-280.

Журавлева А.Д., Курочкина Л.С., Скороспехова Т.В. Оценка изменений гидрологического режима верхового болота с учетом ожидаемых изменений климата в период

до 2060 года (на примере болота Ламмин-Суо). Гидрометеорологические исследования и прогнозы. № 4 (394). 2024. – С. 128-145. DOI: 10.37162/2618-9631-2024-4-128-145.

Zhuravleva, A.D., Terekhov, A.V., Skorospelkova, T.V., Batuev, V.I., Kurochkina, L.S., Chepikova, S.S., Yahlakov, B.V. Long-term hydrometeorological observations (1952–2020) at the Lammin-Suo Peatland Station, north-west Russia. Mires and Peat, 31, 12, 2024, 31pp. (Online: <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map31/map3112.php>). DOI: 10.19189/Map.2023.Sc.Sc.2319489.

Лавров С. А., Марков М. Л., Скороспехова Т. В. О роли атмосферного давления в процессе формирования стока // Гидросфера. Опасные процессы и явления. Том 4. Вып. 4. 2022. С. 401-409. DOI: 10.34753/HS.2022.4.4.401.

**Публикации в прочих рецензируемых научных изданиях и сборниках конференций:**

Skorospelkova T., Terekhov A., Yahlakov B. et al. (2021). A long-term hydrometeorological observations from the Lammin-Suo peatland station (1.0) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5060039>

Скороспехова Т.В., Терехов А.В., Яхлаков Б.В. и др. «Данные многолетних гидрометеорологических наблюдений на болотной станции Ламмин-Суо за период 1950–2023 гг. – (2024)» («A long-term hydrometeorological observations at the Lammin-Suo peatland station for the period 1950–2023 – (2024)»). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024623605. Дата государственной регистрации в Реестре баз данных 16 августа 2024 г.

Скороспехова Т.В., Журавлева А.Д., Батуев В.И. Трансформация гидрологического режима олиготрофного болота Ламмин-Суо при климатических изменениях и смена микроландшафтов как результат естественной эволюции болотного массива. Материалы конференции «XII Галкинские Чтения – Типы болот регионов России» (Санкт-Петербург, 3 февраля 2023 г.). СПб.: БИН РАН, 2023, с. 98–101.

Журавлева А.Д., Скороспехова Т.В. Математическое моделирование стока с олиготрофных болот в условиях нарушения стационарности временных рядов (на примере болота Ламмин-Суо). Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития». 21–23 марта 2023 г. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2023, с. 203–208.

Журавлева А.Д., Скороспехова Т.В., Курочкина Л.С., Грек Е.Н. Моделирование стока с верхового болота с использованием сценариев изменения климата до 2060 года (на примере болота Ламмин-Суо). Сборник докладов международной научной конференции «Пятые

Виноградовские чтения. Гидрология в эпоху перемен», Россия, Санкт-Петербург, 5–14 октября 2023 г. [Электронный ресурс]; Санкт-Петербург, 2023 г. Под ред. О.М. Макарьевой, П.А. Никитиной. – СПб.: Изд-во ВВМ, 2023, с. 135–140.

Скороспехова Т.В., Журавлева А.Д. Гидрологический режим верховых болот Северо-Запада России под воздействием изменения климата. Материалы Седьмого международного полевого симпозиума «Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее» (Ханты-Мансийск, Белоярский 15–27 августа 2024 г.). – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2024, с. 146–148.

Скороспехова Татьяна Викторовна

Пространственно-временная динамика гидрологических характеристик олиготрофных болот  
с учетом изменения климата

Подписано в печать «        » \_\_\_\_\_ 2026 г. Формат 60 x 84 1/16.

Печ. л. 2. Тираж 100 экз.

Заказ № .....

Типография \_\_\_\_\_