

Посвящается 100-летию
Государственного гидрологического института,
сотрудникам, работавшим на болотной станции
Ламмин-Суо и в Западно-Сибирской экспедиции ГГИ

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ
И ВОДНЫЙ БАЛАНС ВЕРХОВЫХ БОЛОТ
СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ
(НА ПРИМЕРЕ БОЛОТА ЛАММИН-СУО)**

Под ред. С. М. Новикова, В. И. Батуева

Санкт-Петербург
2019

УДК 556.56+551.481+565.04

ББК 26.222.7

Г46

*Рецензент: Бабкин Владимир Иванович,
доктор географических наук, профессор, академик РАН*

Гидрометеорологический режим и водный баланс верховых болот Северо-Запада России (на примере болота Ламмин-Суо) / Под ред. С. М. Новикова, В. И. Батуева. — Санкт-Петербург: Свое издательство, 2019. — 448 с.

ISBN 978-5-4386-1701-3

Монография содержит результаты многолетнего изучения гидрометеорологического режима верхового болота Ламмин-Суо, расположенного в 50 км к северо-западу от Санкт-Петербурга, на котором в 1950 году была организована Зеленогорская болотная станция, входящая в состав Главной экспериментальной базы Государственного гидрологического института.

Дается краткая характеристика болот Северо-Запада европейской территории России и детальное описание исследуемого болота: строение, гидрография, пункты наблюдений за элементами водно-теплого режима. На основе результатов обобщения материалов многолетних наблюдений рассматриваются все гидрометеорологические характеристики верхового болота, их изменения во времени и по площади, приводятся методы расчета этих характеристик по метеорологическим данным, анализируются составляющие водного баланса изучаемого болотного массива.

Книга рассчитана на научных работников, инженеров научно-исследовательских и проектных организаций, а также преподавателей, аспирантов и студентов учебных заведений гидрометеорологического, водохозяйственного, экологического и природоохранного направлений.

The monograph contains the results of a long-term study of the hydrological and meteorological regimes of the Lammin-Suo high bog massif. It is located 50 km to north-west from St. Petersburg, where the Zelenogorsk Bog Station was organized as a part of the Main Experimental Base of the State Hydrological Institute at 1950.

A brief review of bogs of the north-west European part of Russia was given as well as a detailed description of the studied bog, including its structure, hydrographic net, location of the observational sites. The changes of hydrological and meteorological characteristics of the Lammin-Suo bog over time and area were considered on the basis of long-term records. The water balance components of the bog were considered and methods for their calculation were represented.

The book is intended for scientists, engineers of research organizations, as well as for teachers, graduate students and students of educational universities specialized in hydrology and meteorology, water management, environment and nature protection areas.

© Коллектив авторов, 2019

© Государственный гидрологический институт
(ФГБУ ГГИ), 2019

Предисловие

Мы будем рады, если эта книга заинтересует читателя не только как научное издание, но и как информационно-справочное пособие. Для этого авторский коллектив впервые комплексно и в доступной форме освещает основные стороны жизни одного из десятков тысяч болотных массивов нашей страны, опираясь на продолжительный ряд гидрометеорологических наблюдений. Широкий доступ к информации по строению и водно-тепловому режиму данного болота в настоящее время ограничен. В основном это научные статьи и фондовые материалы, находящиеся в архивах ГГИ. Поэтому основная цель монографии состоит в более широком информировании заинтересованных исследователей, практиков и просто любителей природы о результатах многолетних наблюдений на типичном верховом болоте и их научным анализом.

Водное хозяйство, как и вся система природопользования в нашей стране, опирается на бассейновый принцип управления водными ресурсами. Комплексный подход ко всей совокупности водных объектов внутри бассейна должен обеспечивать наиболее рациональное использование и охрану водных ресурсов. Это достигается минимизацией антропогенного влияния на естественный гидрологический режим, которая опирается на систему государственного мониторинга, в том числе болот. Между тем, из поверхностных водных объектов болота являются в гидрологическом отношении наименее изученными, хотя они вместе с заболоченными землями занимают около 21% территории России. На европейской территории страны и в Западной Сибири исследовались преимущественно верховые болота. Болота восточнее Енисея в гидрологическом отношении остаются неизученными.

Гидрология болот как отдельный раздел общей гидрологии сформировалась в начале 30-х годов прошлого столетия. Появление ее было связано с обеспечением информацией бурно развивавшейся торфяной индустрии страны и запросами военных о природно-технических свойствах болот (их проходимость и водный режим) прежде всего в западных районах страны. Это время начала масштабного полевого обследования болот, открытия первых опытных исследовательских постов на болотах, которые работали вплоть до начала войны.

В современном состоянии как отдельный вид наблюдений в системе Росгидромета специализированная сеть болотных станций и постов начала создаваться в 1940-х годах. Вдоль западной границы СССР было открыто

сразу 9 болотных станций, расположенных от Украины до Кольского полуострова и Архангельска. В годы войны под городом Свердловском проводились специальные исследования по изучению возможности передвижения военной техники и пехоты по различным типам болот в разное время года. На болотных станциях велись водно-балансовые исследования, связанные с осушением болот и усиливающейся нехваткой топливных ресурсов для промышленности и населения, а также наблюдения за промерзанием торфяной залежи. После открытия богатейших углеводородных месторождений в Западной Сибири потребность в новых торфоразработках постепенно потеряла свою актуальность в масштабах страны и приобрела региональный уровень. Гидромелиоративные мощности торфяной индустрии поэтапно переориентируются на освоение болот и заболоченных земель в лесном и сельском хозяйстве. К 1980-м годам специализированная сеть болотных станций Росгидромета состояла из 10 болотных станций и 18 болотных постов. Материалы наблюдений этой сети послужили основой при подготовке монографии [43] и рекомендаций по расчету стока и испарения с болот [122, 171, 212], широко используемых в практике проектирования при освоении заболоченных территорий.

Сеть гидрометеорологических станций и постов на болотах при ее организации нуждалась в единой системе представления данных наблюдений и разработке специальных методик для таких наблюдений. В связи с этим у отдела гидрологии болот ГГИ возникла необходимость в организации своей болотной станции (экспериментальной базы). Она была необходима для проведения полевых экспериментальных исследований с целью разработки и апробации новых технических средств и методов наблюдений за элементами гидрометеорологического режима болот, приемов обработки и обобщения получаемой гидрометеорологической информации, а также для стажировки специалистов болотных станций и постов. Для организации такой экспериментальной базы в 1948 году было проведено рекогносцировочное обследование болотного массива Ламмин-Суо, расположенного на Карельском перешейке в 10 км северо-восточнее города Зеленогорска. В 1950 году Зеленогорская болотная станция вступила в строй и действует по настоящее время.

За почти 70 лет работы станции получен уникальный материал по гидрометеорологическому режиму и составляющим водного баланса этого массива, являющегося репрезентативным по составу болотных микроландшафтов не только для болот Карельского перешейка, но и для болот лесной зоны Северо-Запада России. Нигде в мире нет таких длительных комплексных наблюдений на болотах. Материалы наблюдений и результаты

специально проведенных исследований использованы в целом ряде научных работ [3, 14, 29, 62, 67, 81, 88, 135, 146, 171, 185, 189, 211 и др.], освещающих лишь часть многочисленных аспектов гидрологических и гидрофизических процессов, протекающих на болоте. В 1980-х годах материалы наблюдений за период 1950–1985 гг. были впервые обобщены по всем элементам водно-теплового режима болота. В обобщении данных наблюдений за этот период принимали участие: Арефьев Н. И. (реакция уровней на выпадающие осадки), Бривкина Г. М. (метеорологические данные), Калюжная И. И. (испарение с болота), Кобзарь Ю. И. (сток с болота), Левандовская Л. Я. (уровни болотных вод), Усова Л. И. (типологическая характеристика болота).

К настоящему времени на территории Российской Федерации наблюдательная сеть на болотах сильно сократилась. По существу это означает прекращение в наиболее заболоченной стране мира системы мониторинга на одном из трех основных типов водных объектов поверхностных вод суши. Между тем значительная часть мелиорированных болот по-прежнему несет потенциальную опасность возникновения пожаров и, вследствие этого, интенсивного выброса в атмосферу угарных газов. Биосферное значение болот отмечено рядом международных конвенций (Конвенцией о биологическом разнообразии, Рамочной конвенцией ООН об изменении климата, Рамсарской конвенцией о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение, и др.). Роль болот крайне важна в регулировании многих природных процессов, обусловленных циклами воды и углерода, в поглощении и удержании парниковых газов, в накоплении пресной воды и ее внутригодовом перераспределении, в поддержании разнообразия водных и влаголюбивых растений и животных.

Помимо поддержания биологического разнообразия и биосферного баланса, болота имеют важное хозяйственное значение как источник возобновляемых природных ресурсов (торф, дикорастущие растения и др.) для использования в промышленности, сельском и лесном хозяйстве. Территории болот активно используются для развития транспортной инфраструктуры, гражданского и промышленного строительства. Значительно заболочены основные районы добычи нефти и газа. Во многих регионах торфяные болота используются для водоочистки или задействованы в системах водоотведения сточных вод. Обеспечение минимизации антропогенного воздействия на болота при различных видах хозяйственного использования и их охраны как водных объектов определяет необходимость изучения этого сложного природного образования различными отраслями науки.

В гидрологии болот, как ни в одном другом направлении гидрологии суши, в силу специфики изучаемого водного объекта, задействован более

широкий круг специалистов из разных областей науки. Как показала практика, наиболее эффективные результаты в изучении болот достигаются не только комплексностью и продолжительностью наблюдений, но и своевременной оценкой перспективы дальнейших научных исследований. В связи с этим важной предпосылкой к написанию этой монографии явилось не только констатирование базовых положений и подведение итогов многолетних исследований болот, но и постановка новых задач для развития некоторых перспективных направлений по изучению болот.

Наряду с основными авторами разделов в подготовке материалов для монографии и составлении к ней Приложения «Многолетние характеристики гидрометеорологического режима болотного массива Ламмин-Суо» (электронный ресурс, доступен на сайте ГГИ www.hydrology.ru) принимали активное участие сотрудники института М. Л. Белякова, А. А. Ли, Н. И. Маслова, Н. М. Селянская, Б. В. Яхлаков.

Авторы выражают глубокую благодарность д. г. н. В. И. Бабкину, давшему ряд существенных указаний в ходе рецензирования рукописи.

ГЛАВА 1

ВЕРХОВЫЕ БОЛОТА СЕВЕРО-ЗАПАДА¹

Согласно последним данным [20, 150] заболоченность рассматриваемого района составляет 23 %. Наиболее заболоченными является Архангельская (34 %) и Мурманская (26 %) области. Заболоченность территорий остальных областей, входящих в этот район, — порядка 10–12 %. Плотность размещения болотных массивов по территории достаточно высокая: расстояние между болотами площадью до 100 га колеблется в диапазоне 4–8 км, между массивами площадью более 100 га — в диапазоне 10–15 км. Расстояния между довольно крупными массивами (площадью порядка 10 000 га) составляют 40–50 км [190]. По приближенной оценке болота размером от 10 до 100 га составляют около половины общего числа болот рассматриваемого района. Однако на их долю приходится всего лишь 3,5 % общей площади болот. Даже массивы площадью до 500 га, число которых превышает 80 % общего количества болот, составляют только 15 % общей площади болот района. Значительную прибавку к общей площади дают массивы размером 2 000–5 000 га.

По оценке Е. А. Романовой [190], 75–80% общей площади болот Северо-Запада занимают верховые болота, 10–15 % — переходные и 10 % — низинные. Верховые болота распространены повсеместно как в виде отдельных «простых» болотных массивов, так и в виде систем слившихся массивов, покрывающих обширные водораздельные пространства. Центральные части таких систем обычно заняты грядово-мочажинными и грядово-озерковыми комплексами. Низинные болота (травяно-моховые

1 Под Северо-Западом здесь понимается территория, включающая Ленинградскую, Новгородскую, Псковскую, Вологодскую, Архангельскую и Мурманскую области, республики Карелия и Коми.

и травяные) встречаются в различных частях рассматриваемой территории и довольно редко в виде отдельных массивов. В большинстве случаев они занимают окрайки верховых болотных массивов. Переходные болота обычно представлены моховыми (с облесением сосной и березой, реже елью) и кустарниковыми (с хорошо развитым кустарниковым ярусом) микроландшафтами. На них также распространены травяно-моховые, главным образом осоково-сфагновые, микроландшафты, которые встречаются чаще, чем низинные осоково-сфагновые.

Для территории Северо-Запада характерны следующие типы верховых болотных массивов по классификации Е. А. Галкиной [38]: слабовыпуклые, резковыпуклые, пологовыпуклые, плосковыпуклые. Детальные описания этих типов болот и характер их расположения в рассматриваемом регионе приведены в монографии Е. А. Романовой [190, 191].

Слабовыпуклые болота являются начальной стадией развития выпуклых олиготрофных болот. В исследуемом районе слабовыпуклые массивы встречаются довольно редко. По площади они обычно не превышают несколько сот гектаров, превышение выпуклой поверхности над окрайками массива небольшое.

Резковыпуклые болотные массивы — следующая стадия развития олиготрофных болот. На Северо-Западе европейской части России они встречаются очень часто как в виде отдельных изолированных массивов, так и в системах болотных массивов [190]. Площадь их составляет от нескольких десятков гектаров до тысяч гектаров, а превышение поверхности центра выпуклости массива над окрайками — 3–6 м [191].

Пологоввыпуклые болотные массивы в Северо-Западном районе часто встречаются в виде небольших отдельных массивов, но все же чаще — в системах болотных массивов, где площади их достигают нескольких тысяч гектаров. Превышение поверхности центральных частей этих массивов над окрайками составляет 4–6 м. Большая часть площади пологовыпуклых болотных массивов занята грядово-мочажинным комплексом, который иногда чередуется с озерково-мочажинным комплексом.

Плосковыпуклые болотные массивы считаются в настоящее время последней стадией развития верховых болотных массивов. Поверхность их центральных частей плоская и сильно переувлажнена. Центральная часть этих массивов занята неориентированным озерно-мочажинным или островково-мочажинным комплексами, склоны — грядово-мочажинными комплексами. В рассматриваемом районе плосковыпуклые болотные массивы встречаются довольно редко.

1.1. Образование и развитие болот

Как показали многочисленные исследования, упомянутые в работе [62], заболачивание суходольных территорий происходит при наличии застойного переувлажнения верхних горизонтов почвогрунтов, которое обычно характерно для пониженных элементов рельефа. В результате слабой проточности центральных частей очагов заболачивания процесс торфонакопления на них идет более интенсивно, чем на периферии, и поверхность болота вначале вогнутая (евтрофная фаза развития), постепенно выполаживается, принимая плоскую форму (мезотрофная фаза развития), а со временем и выпуклую форму (олиготрофная фаза развития). Если в начальной (евтрофной) фазе развития болотного массива водно-минеральное питание его складывается из поверхностных и грунтовых вод, а также атмосферных осадков, то в завершающей олиготрофной фазе — почти исключительно из атмосферных осадков.

Изменения в рельефе поверхности болотного массива, происходящие в процессе его развития, приводят к изменению условий стока болотных вод, что ведет к изменению гидрологического режима в целом (уровней болотных вод, направлений и интенсивности стока). В результате возникают новые условия среды обитания растений, приводящие к изменениям в составе растительного покрова, которые, в свою очередь, обуславливают изменения интенсивности процесса торфонакопления, а, следовательно, и преобразования рельефа болотного массива. Постоянство этих взаимообуславливающих процессов и составляет биофизическую сущность развития торфяных болотных массивов.

Торфяное болото можно рассматривать как живой организм, который однажды рождается на суше (суходоле) или воде (озере), растет (вверх и вширь) и «умирает», прекращая свой рост. В отличие от других природных образований торфяное болото само за счет произрастающей на нем растительности создает свое «тело» (торфяную залежь) и в условиях зоны избыточного увлажнения превращается в саморегулирующуюся систему, зависящую в основном от внешних факторов: поступающего тепла (солнечная радиация) и влаги (атмосферные осадки). Закисленные воды, стекающие с выпуклой поверхности верхового болота к прилегающему суходолу, способствуют его заболачиванию. Образовавшиеся в отдельных очагах заболачивания болотные массивы постепенно разрастаются и со временем сливаются, образуя огромные системы, занимающие обширные водораздельные пространства. Процесс заболачивания территории, начавшийся в голоцене, продолжается в пределах лесной зоны до сих пор, на что указывают целый ряд авторов [97].

О современном заболачивании территории говорится в разделе 1.4 настоящей главы.

Следует отметить, что наряду с разрастанием вширь болото в результате торфонакопления растет и вверх. Если пределы разрастания болотных массивов в плане обычно очевидны, т. к. представляют собой крутые сухоходольные склоны, водотоки, водоемы и каналы, то пределы их роста вверх совсем не ясны. Что остановит рост болот вверх? О вертикальном росте болот и прогнозе их развития в лесной зоне будет сказано в разделе 1.3.

1.2. Эволюция болотных микроландшафтов во второй половине XX века

Одной из основополагающих работ в области болотных ландшафтов является работа Е. А. Галкиной [38], подготовленная ею на основании многолетних исследований болотных массивов, в том числе и с помощью материалов аэрофотосъемки. В этой работе детально рассмотрены последовательность стадий развития болота, смена растительного покрова и характер напластования торфа.

Известно, что верховой болотный массив, как саморегулирующаяся природная система, растет очень медленно, особенно вверх, что обусловлено весьма малой интенсивностью процесса торфонакопления. В связи с этим рельеф массива и зависящий в значительной мере от него гидрологический режим в многолетнем плане изменяются крайне медленно. Водный режим массива определяет не только климат, но и состав растительного покрова и его изменения в процессе развития болота. До последнего времени считалось, что в условиях относительно постоянного или мало меняющегося климата изменения в составе растительного покрова верховых болот, и прежде всего древесного яруса, происходят в течение весьма длительного периода времени. Однако из рассмотренного выше процесса развития болот следует вывод о том, что смена болотных микроландшафтов (эволюция болотного массива) — не такой уж и медленный природный процесс. За последние 60 лет на этом болоте, в основном за счет увеличения доли древесной составляющей в растительном покрове, произошла смена ряда микроландшафтов. Аналогичная картина отмечена на Ширинском болотном массиве (район г. Кириши), на котором до 1995 года велись гидрометеорологические наблюдения болотной станцией Вильи Горы, а также на болоте Ларьянское (вблизи г. Тихвина), гидрологический режим которого до 2012 года изучала болотная станция Ларьянская. Как показывают наши наблюдения и наблюдения

на мелиоративно-болотных стационарах лесного хозяйства [208], во второй половине XX столетия на Северо-Западе России отмечается процесс заметного увеличения облесения верховых болот. Возникает вопрос, чем вызвано это облесение?

Возможно, причиной повышения облесения этих болот является изменение климата, о котором в течение почти двух десятилетий ведется широкая дискуссия среди климатологов, а возможно и непосредственное влияние антропогенных воздействий. На верховые болота это влияние может оказываться только со стороны атмосферы, поскольку речь идет о естественных массивах. Попытка выявить причину облесения болот сделана на основе материалов комплексных исследований болота Ламмин-Суо, на котором, как отмечалось выше, с конца 1960-х — начала 1970-х годов стало проследиваться увеличение степени облесения.

Как известно, облесение верховых болот в естественных условиях связано только с понижением уровня болотных вод, которое может быть обусловлено либо изменением климата (в сторону сухости), либо изменением рельефа массива в процессе его развития.

Анализ материалов наблюдений показывает, что средняя годовая температура воздуха на болотной метеостанции за период 1950–2013 годов повысилась на 1,5 °С, сумма положительных температур воздуха увеличилась на 350 °С, а сумма отрицательных — уменьшилась на 300 °С. Количество годовых атмосферных осадков увеличилось на 90 мм, а уровень болотных вод повысился на 9 см.

Таким образом, за рассматриваемый период изменения указанных выше водно-тепловых характеристик болота не могли быть причиной повышения его облесения. Вероятнее всего, ею могло быть непосредственное антропогенное воздействие, проявляющееся в увеличении количества минеральных веществ, поступающих на болото из атмосферы, загрязненной промышленными предприятиями и транспортом, а также в повышении концентрации углекислого газа в атмосфере [145]. Напомним, что верховые болота получают минеральное питание исключительно из атмосферы в виде растворенных и нерастворенных веществ, содержащихся в атмосферных осадках и пыли. Оценка количества поступающих минеральных веществ из атмосферы проводилась рядом исследователей. В частности, Т. В. Глухова [45] (Лаборатория лесоведения АН СССР), проанализировав результаты ранее выполненных работ, пришла к выводу, что оценки количества поступления загрязняющих веществ, полученные разными авторами, далеко не одинаковы. Так, по данным П. П. Воронкова, с атмосферными осадками за год на поверхность земли поступает 10–20 кг/га химических веществ, по данным А. Ф. Цыганенко — 67

кг/га (Карельский перешеек), а для техногенных районов, по данным А. А. Колосовой, — это 400–700 кг/га.

Общепризнанным является значение пыли в питании верховых болот. Трехлетние экспериментальные исследования поступления пыли на болото проводились выше упомянутой Лабораторией на ее Западновинском стационаре. По полученным данным, среднегодовое поступление пыли составило 107 кг/га, 24 % из которых поступает в холодный период [45]. Как показали исследования лаборатории, в бездождный период пыли выпадает в 3 раза меньше, чем с дождями за такой же промежуток времени. Анализируя результаты исследований, выполненных другими авторами, Т. В. Глухова оценивает величину годового поступления пыли для фоновых районов порядка 300 кг/га, для техногенных районов – до 900 кг/га. По ее данным, в составе пыли, кроме зольных элементов, 2 % занимает общий азот и до 30 % — углерод. Количество поступающей на верховые болота пыли, как показали результаты исследований Лаборатории лесоведения, обеспечивает 2,1 % золы по отношению к продуктивности этих болот, и в ней содержится больше кремния, железа и фосфора, чем в растворенном виде жидких осадков.

Таким образом, согласно работе [45], на земную поверхность ежегодно с осадками выпадает порядка 90 кг/га водорастворимых веществ и 50 кг/га зольных веществ с пылью, что и обеспечивает существование и развитие верховых болот.

Количество минеральных веществ, поступающих из атмосферы на болота, тесно связано с интенсивностью хозяйственной деятельностью человека. Исследования в этой области, хотя и не очень интенсивно, но все же ведутся, и информация по этому вопросу появляется в литературе. Например, в статье Г. Д. Денисенко и С. Г. Шурыгина [49] приводятся данные о загрязнении почв промышленными выбросами в Санкт-Петербурге и его окрестностях. Авторы этого исследования отмечают: «В целом за год в осушенные почвы около г. Санкт-Петербурга поступает от выбросов предприятий и транспорта пыли — 162,3 кг/га, растворимых органических веществ — 4,5 кг/га, растворимых неорганических веществ — 6,6 кг/га ежегодно. Наблюдается тенденция увеличения этих выбросов». Известно, что олиготрофная растительность верховых болот, приспособленная к бедному минеральному питанию, чутко реагирует на увеличение поступлений минеральных веществ. Поэтому верховое болото может служить индикатором загрязнения поверхности суши со стороны атмосферы, что показано в работе [157].

Чтобы выявить степень влияния антропогенного загрязнения атмосферы на эволюцию верховых болот, необходимо располагать систематическими наблюдениями в течение длительного времени за поступлением на земную

поверхность химических веществ с атмосферными осадками и пылью. При этом необходимо сделать допущение, что естественный фон содержания химических веществ в осадках и пыли практически не изменяется во времени.

В системе Гидрометслужбы с конца 50-х годов прошлого века [118] проводятся регулярные наблюдения за химическим составом и кислотностью атмосферных осадков (сульфаты, хлориды, нитраты, гидрокарбонаты или кислотность, ионы аммония, натрия, калия, кальция, магния) на 199 метеорологических станциях². За этот период накоплен достаточно большой материал наблюдений за химическим составом атмосферных осадков, который может в значительной мере характеризовать динамику поступления химических веществ из атмосферы на земную поверхность. На рисунке 1.1 представлен хронологический график колебаний среднегодовых величин минерализации осадков вблизи Санкт-Петербурга (по метеостанции Воейково). Как видно из рисунка, минерализация осадков во второй половине XX столетия имеет тенденцию снижения, во всяком случае, до начала 1980-х годов. Совершенно очевидно, что такая тенденция изменения минерализации не может благоприятствовать процессу облесения болот. Можно, конечно, допустить, что относительно высокая минерализация осадков в 1960-х годах дала толчок к росту леса, но это всего лишь допущение, которое требует обоснования.

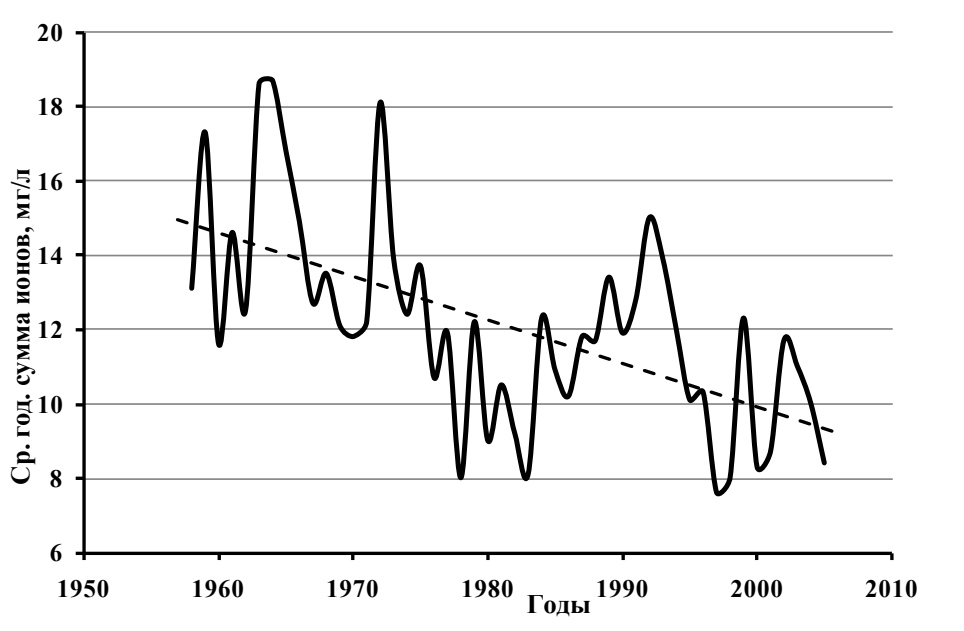


Рисунок 1.1. Изменение минерализации атмосферных осадков во второй половине XX века в районе г. Санкт-Петербурга

² В начале 1970-х годов была организована «Общегосударственная служба наблюдений и контроля за уровнем загрязнения природной среды» ОГСНК [196].

На рисунке 1.2 показаны колебания поступлений химических веществ (суммы ионов) с атмосферными осадками на земную поверхность во второй половине XX века. Величины этих поступлений (загрязнений) получены как произведения среднегодовых значений минерализации осадков на их годовые суммы.

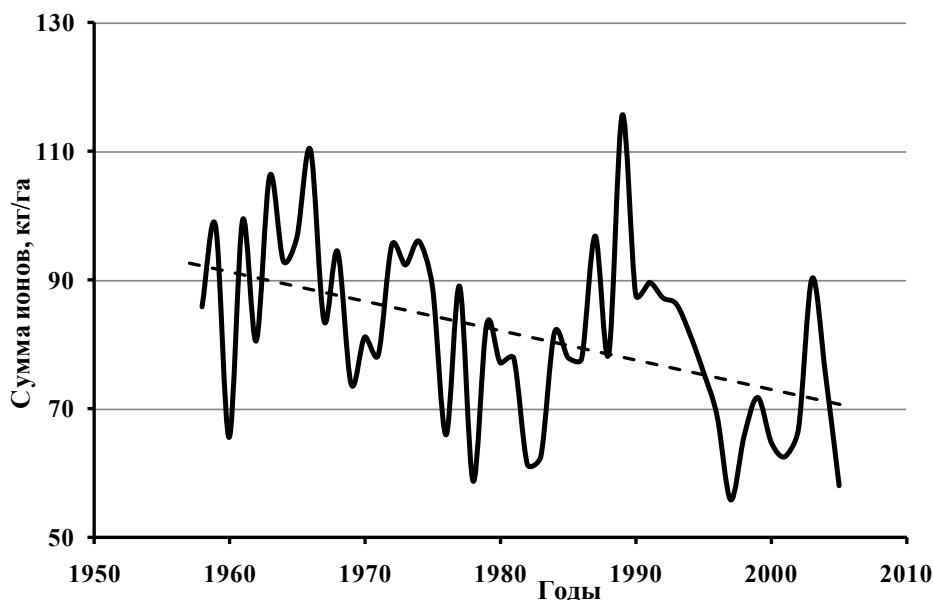


Рисунок 1.2. Поступления химических веществ с атмосферными осадками на земную поверхность (кг/га). Район г. Санкт-Петербурга

Как видно из рисунка, диапазон изменений рассматриваемой характеристики за почти 50-летний период составляет 59,8 кг/га (55,8 в 1997 году и 115,6 кг/га в 1989 году) при средней величине 82,1 кг/га. При этом кривая поступлений химических веществ с осадками на земную поверхность имеет тренд снижения. С 1960-х до середины 1980-х годов наблюдается относительно слабая тенденция уменьшения поступления химических веществ с осадками, с середины 1980-х до 1990 года (в период перестройки) — довольно сильный рост их поступления, после которого происходит резкое падение, что, по-видимому, можно объяснить стагнацией промышленности в период распада страны. Данных о количестве химических веществ, поступивших с пылью в этот период, к сожалению, нет. Поэтому имеющиеся количественные данные по загрязняющим веществам, поступающим на земную поверхность со стороны атмосферы, не позволяют достаточно обоснованно считать антропогенные воздействия причиной увеличения залесенности болот Северо-Запада во второй половине XX века. Анализ динамики отдельных

составляющих химического состава атмосферных осадков за рассматриваемый период [54] показывает на заметный рост нитратов (рисунок 1.3).

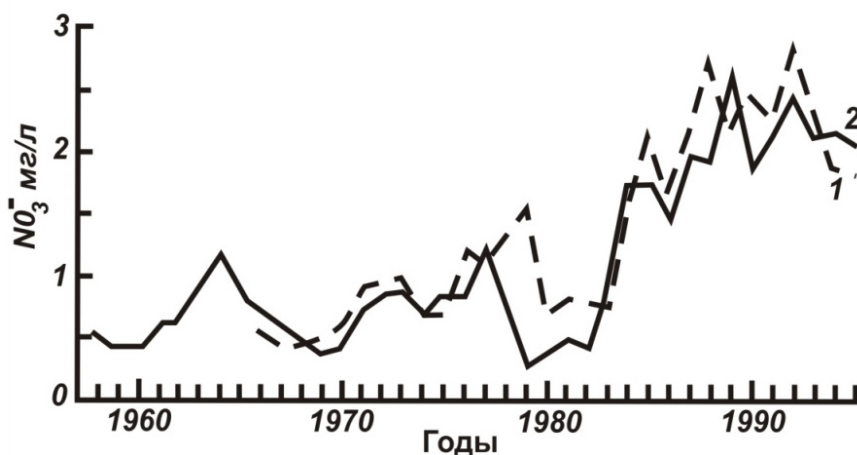


Рисунок 1.3. Средняя годовая концентрация нитратов в атмосферных осадках на метеостанциях г. Санкт-Петербург (1) и ст. Воейково (2)

Несмотря на то что в торфяно-болотных почвах азота вроде бы достаточно, однако доступные его формы для питания древесных растений крайне ограничены. О большой роли азота в росте древесной растительности на болотах, особенно на верховых отмечается в работе [73]. Поэтому увеличение концентрации нитратов в атмосферных осадках в 4 раза могло спровоцировать рост сосны и послужить возможной причиной облесения верховых болот. Но это требует дополнительных данных, в том числе и материалов наблюдений ОГСНК, а, следовательно, и новых исследований.

1.3. Прогноз развития верховых болотных массивов

При расположении в зоне избыточного увлажнения, как отмечалось в разделе 1.2, болото в процессе эволюции превращается в саморегулирующуюся систему, развитие которой в основном зависит от двух внешних факторов — поступающего тепла (солнечная радиация) и влаги (атмосферные осадки). По-видимому, пока будет поступать на болото достаточное количество тепла и влаги для растительности, оно будет расти как вширь, так и вверх, постепенно увеличивая размер своего «тела» — торфяной залежи. Что может остановить его развитие вширь, когда закисленные болотные воды растекаются

на прилегающий суходол и создают условия для их заболачивания? По-видимому, на равнинной территории — только реки и озера. В частности, болото Ламмин-Суо, «огороженное» с северо-восточной стороны высоким озом, будет расширяться (расползаться) прежде всего в юго-западном направлении, где у него низкие берега.

Что же может остановить рост болота вверх? Четкого ответа на этот вопрос в литературе нет. Большинство исследователей считает, что завершающей (климаксовой) стадией развития болотного массива является болотно-озерный комплекс. Так, И. Д. Богдановская-Гиенэф [15] отмечает, что болото как особый ландшафт, как группа взаимно связанных специфических биогеоценозов рано или поздно перестает существовать: оно сменяется биогеоценозами другого типа, чаще — олиготрофными пустошами, реже мезофильным лесом. Верховое болото, по выражению И. Д. Богдановской-Гиенэф, изживает себя.

Касаясь вопроса завершающей стадии развития болотных ландшафтов, Н. И. Пьявченко [170] отмечает, что в современных климатических условиях таежной зоны грядово-мочажинная структура болотного биогеоценоза является наиболее устойчивой и что грядово-мочажинный комплекс представляет собой климаксовую стадию эволюции выпуклых болотных массивов верхового типа.

Рассматривая вопрос о конечной стадии развития верховых болотных массивов, Ф. З. Глебов [44] считает, что озерно-болотный комплекс — это климакс развития болота; дальнейшее развитие приводит к замене болота другим компонентом ландшафта — озером. Такая завершающая стадия развития болотного массива вызывает сомнение в связи с тем, что на болотах выпуклой формы при наличии эрозионных процессов практически невозможно образование сплошной водной поверхности. На это указывает в своих исследованиях А. Я. Бронзов [19], который считает, что на пути превращения болота в озеро стоит одно серьезное препятствие — эрозионные процессы, возникающие при определенных предельных уровнях на озерах и обуславливающие спуск таких озер. Эрозионные явления на болотах исследовал в 1960-е годы К. Е. Иванов [66], широко используя материалы аэрофотосъемки. Результаты его исследований показали, что постоянно протекающие на верховых болотах эрозионные процессы обуславливают не только изменение конфигурации внутриболотных озер, но и их спуск. При этом снижение уровня воды в них приводит к их вторичному заболачиванию, т. е. продолжению роста болотного массива вверх.

Процесс торфонакопления на болотах может прекратиться только при условии, что интенсивность прироста растительной массы будет меньше

или равна интенсивности разложения растительных остатков. Это может случиться лишь тогда, когда значительно увеличится мощность зоны аэрации. Обычно это наблюдается при проведении осушительных работ. В естественных же условиях процессы самоосушения верховых болот не наблюдаются [67].

По мере роста болотного массива в нем накапливается большое количество воды, причем поверхность болотных вод при этом непрерывно следует за поверхностью болота, которая, хотя и очень медленно, но постоянно повышается в связи с протекающим процессом торфонакопления. Средний многолетний уровень болотных вод, залегающий в 20–40 см от поверхности болота, обуславливает как нормальный рост болотной растительности, так и устойчивый прирост торфяной залежи. До тех пор, пока будет сохраняться неизменной величина среднего уровня болотных вод, будет продолжаться рост болотного массива вверх. Вертикальный рост массива может остановиться в случае прекращения процесса торфонакопления. Последнее же возможно при нарушении соотношения между интенсивностью прироста растительной массы и интенсивностью разложения отмерших растительных остатков, которое может наступить в том случае, когда уровень болотных вод уже не сможет следовать за поверхностью все еще растущего вверх болотного массива. В увеличившейся зоне аэрации со временем наступит момент, когда весь годовой прирост растительности будет полностью разлагаться (окисляться) и процесс торфообразования прекратится. В результате этого прекратится и вертикальный рост болотного массива.

Таким образом, чтобы определить предельную высоту болотного массива, надо знать «критическое» положение кривой депрессии болота. Положение кривой депрессии на водораздельном болотном массиве можно определить, воспользовавшись уравнениями динамики подземных вод Г. Н. Каменского [89]. Для этого необходимо располагать сведениями о размерах болота, величине инфильтрации атмосферных осадков через его поверхность, коэффициентах фильтрации торфяной залежи, слагающей болотный массив, уровнях воды дренирующих массив рек. На основе этих уравнений были определены, данные о размерах существующих, в частности, в Западной Сибири болотных массивов (систем) и сведения о коэффициентах фильтрации залежи, были приближенно определены возможные высоты болотных массивов при условии неизменности современного климата и неограниченном времени их развития, а также при отсутствии гидрографической сети на болотах [141]. Высота их, как показали расчеты, зависит от размера массива: чем больше болото, тем больше высота. Так, при радиусе массива 400 м его предельная высота, в зависимости от величины

внутреннего питания болота (осадки минус испарение), может изменяться от 10 до 5 м, а при радиусе 50 000 м — соответственно от 1 км до 400 м. Как видим, массивы, занимающие в настоящее время обширные междуречья лесной зоны, и прежде всего в Западной Сибири, теоретически, возможно, и могли бы в очень далекой перспективе достичь весьма большой высоты. Практически же при наличии современной довольно развитой гидрографической сети на болотных системах, занимающих междуречья, образование столь высоких болотных массивов маловероятно. Это объясняется тем, что реки, как известно, сдерживают разрастание болот, а эрозионные процессы с ростом болотных массивов усиливаются. В итоге болотные массивы смогут развиваться на значительно меньших по размерам междуречных пространствах, чем использованные в упомянутых выше расчетах, следовательно, и иметь меньшие высоты. Совершенно очевидно, что при естественном или антропогенном изменении климата ход развития верховых болотных массивов, рассмотренных выше, будет иным.

В зоне недостаточного увлажнения болота, находящиеся, как известно, в низинной (евтрофной) фазе развития из-за недостатка влаги, не могут перейти в олиготрофную фазу развития. Вертикальный рост болотных массивов здесь прекратится, по-видимому, тогда, когда приток воды с их площади водосборов уже не сможет обеспечивать повышения уровня болотных вод в увеличивающейся (растущей) толще торфяной залежи. Наступит равенство между интенсивностью прироста растительной массы и интенсивностью ее разложения, что приведет к прекращению процесса торфонакопления, а, следовательно, и вертикального роста болот.

1.4. Процессы заболачивания территории в современный период

Процесс заболачивания территории определяется: климатом, рельефом поверхности, составом почвогрунтов и гидрогеологическим строением местности [62]. Из четырех указанных факторов только о климате пока нельзя определенно сказать, изменяется ли он под влиянием хозяйственной деятельности человека, хотя дискуссия по этой проблеме продолжается уже не одно десятилетие. Все остальные факторы в той или иной степени подвержены воздействию человеческой деятельности. Если климат заметно не изменяется, то и появление новых очагов заболачивания в естественных условиях (нетронутой природы) маловероятно, поскольку во всех первичных очагах заболачивания за время голоцена уже образовались болота. Новые

же очаги заболачивания в настоящее время возникают только в результате хозяйственной деятельности человека, прежде всего гидротехнического плана. Строительство водохранилищ, плотин и разного рода дамб обуславливает образование зон затопления и подтопления сухоходных территорий, что приводит к переувлажнению верхних горизонтов почвогрунтов и процессу заболачивания этих территорий. Процесс заболачивания территории, связанный с хозяйственной деятельностью человека, несравненно менее масштабен, чем процесс заболачивания, обусловленный разрастанием существующих болотных массивов, прежде всего болот верхового типа. С этих болот на прилегающие сухоходы стекают слабоминерализованные болотные воды, имеющие кислую реакцию и создающие весьма благоприятные условия для процесса болотообразования.

Процесс разрастания болот (заболачивание территории) в зоне избыточного увлажнения, как показывают многие исследователи [62, 97], происходит в настоящее время с разной интенсивностью, которая определяется в основном уклонами склонов прилегающих сухоходов и степенью увлажнения временных периодов. Во влажные периоды интенсивность разрастания болот максимальная, в сухие – минимальная, а иногда и нулевая. Во влажные периоды на новых переувлажненных участках поселяется болотная растительность, которая обычно, сохраняясь в засушливые периоды, занимает плацдарм для дальнейшего наступления болота. В результате процесс заболачивания сухоходов при разрастании болотных массивов происходит не плавно, а скачкообразно и отчасти прерывисто. Разрастание болота Ламмин-Суо в условиях котловинного залегания происходит наиболее интенсивно в юго-западном направлении на участке низкого сухоходного склона. Специальные исследования интенсивности разрастания этого болота проводились Г. Ф. Кузьминым в 1991–1992 годах [97]. Результаты их показали, что диапазон средней интенсивности линейного разрастания болота в разные периоды голоцена составляет от 4,8 (период 1263–1870 годов) до 17,8 (период 1871–1956 годов) см/год. Максимальная интенсивность разрастания болота (166,7 см/год) отмечена в период 1956–1991 гг. на участке с нулевым уклоном поверхности прилегающего к болоту сухохода. Аналогичные исследования, проведенные Г. Ф. Кузьминым на других верховых массивах Северо-Запада, в частности, на Ширинском (Ленинградская обл.) и на Никольско-Лютенском (Новгородская обл.), показали, что интенсивность заболачивания в голоцене составляла от 4,3 до 53 см/год, иногда она достигала 107 см/год [97]. Кстати, в этой работе Г. Ф. Кузьмин приводит достаточно детальный обзор литературы по вопросу современного заболачивания.

Как показывает анализ исследований современного заболачивания территории, большинство авторов [67, 97] придерживаются мнения, что процесс наступления болот на суходолы в зоне распространения верховых болот в настоящее время продолжается. Особенно интенсивно он идет в Западной Сибири в условиях исключительно высокой заболоченности. «Если условия рельефа благоприятствуют, то болота расползаются во все стороны. При этом размер заболачиваемых площадей ежегодно возрастает вследствие удлинения общей протяженности внешних границ болотных массивов» [133]. Следует иметь в виду, что заболоченность территории Северо-Запада тоже весьма значительна (порядка 30%), что благоприятствует развитию рассматриваемого процесса.

Знание средней ежегодной величины прироста заболоченных земель в разных районах страны, включая и Северо-Запад, весьма важно для решения проблем рационального землепользования. Зная, например, ежегодный прирост площади болот в каком-то районе, можно достаточно точно определить площадь болот, которую можно безвозвратно изъять для использования в народном хозяйстве, практически не изменяя степень заболоченности района, а, следовательно, и не нарушая в нем соотношений площадей природных ландшафтов.

ГЛАВА 2

ИЗУЧЕННОСТЬ БОЛОТ СЕВЕРО-ЗАПАДА

2.1. Геоботаническая изученность

Начало геоботанических исследований болот можно отнести к концу XIX века — периоду работы экспедиций И. И. Жилинского по изучению и осушению болот. Первые сведения о растительности болот появились в работах основоположников геоботаники Г. И. Танфильева, А. В. Фомина, В. Н. Сукачева. Уже на рубеже XIX–XX веков появились очерки по растительности как отдельных болот, так и целых болотных районов, для которых приводились также сведения о размерах болотных массивов и глубинах торфяной залежи. В это же время были предприняты попытки разработки классификации болот и их районирования. Природа болот изучалась путем полевых обследований. Так, в частности, под руководством В. Н. Сукачева в начале XX века М. М. Юрьев, С. М. Филатов и А. Какс провели исследования болот Псковской губернии, получив ценнейшую информацию [190].

Новый, весьма эффективный этап в развитии геоботанических исследований болот начался в 20-х годах прошлого века с приходом в болотоведение молодых сил: Ю. Д. Цинзерлинг, В. С. Доктуровский, И. Д. Богдановская-Гиенэф, Е. А. Галкина, Г. И. Ануфриев, Е. А. Романова, В. Д. Лопатин, Н. Я. Кац, Н. И. Пьявченко, С. Н. Тюремнов, С. В. Кац, Т. Г. Абрамова, А. А. Ниценко, М. И. Нейштадт, а несколько позже М. С. Боч, Т. К. Юрковская, Г. А. Елина, В. В. Мазинг, О. Л. Лисс, В. А. Смагин и др.

Ссылки на основные публикации перечисленных выше авторов можно найти в работах [20, 190].

2.2. Торфоресурсная изученность

С именем Петра I связано систематическое появление информации об использовании торфа. Первое же научное представление о торфе в России высказал М. В. Ломоносов [109]. Развитие торфяного дела в стране было связано с деятельностью Вольного экономического общества, основанного в 1765 году [207]. В трудах этого общества была опубликована первая обобщающая работа по торфу в России — книга И.Г. Лемана «О турфе и пережигании оного в уголье».

В 1818 году выходит в свет первое «Практическое наставление к познанию мест и добыванию торфа», а спустя почти 100 лет (1914) — правила и инструкции по исследованию торфяных болот. В 1921 году создается первый в стране научно-исследовательский институт по торфу «Инсторф», а в 1948 году на базе Главторффонда НКЗ РСФСР организуется Главное управление торфяного фонда при Совете Министров РСФСР с сетью торфоразведочных организаций в краях, областях и автономных республиках. С 1960 года все работы по изучению и разведке торфяных месторождений сосредотачиваются в системе Министерства геологии РСФСР, в Институте «Ги-проторфразведка».

Информация о торфяных месторождениях и торфяных ресурсах подразделяется на первичную (рукописную) и обобщенную (публикуемую). К первичной информации относятся паспорта торфяных месторождений и отчеты по их разведке, к обобщенной — баланс запасов полезных ископаемых и справочники торфяных месторождений по областям, краям и автономным республикам. По всем областям, входящим в Северо-Западный регион, составлены справочники торфяных месторождений и среднemasштабные карты торфяного фонда [209].

Наибольший вклад в изучение торфа и торфоресурсов нашей страны внес один из основоположников болотоведения С. Н. Тюремнов [210].

2.3. Лесомелиоративная изученность

Лесное хозяйство является основным фондодержателем торфяных болот, заболоченных и переувлажненных земель. Значительная часть лесного фонда

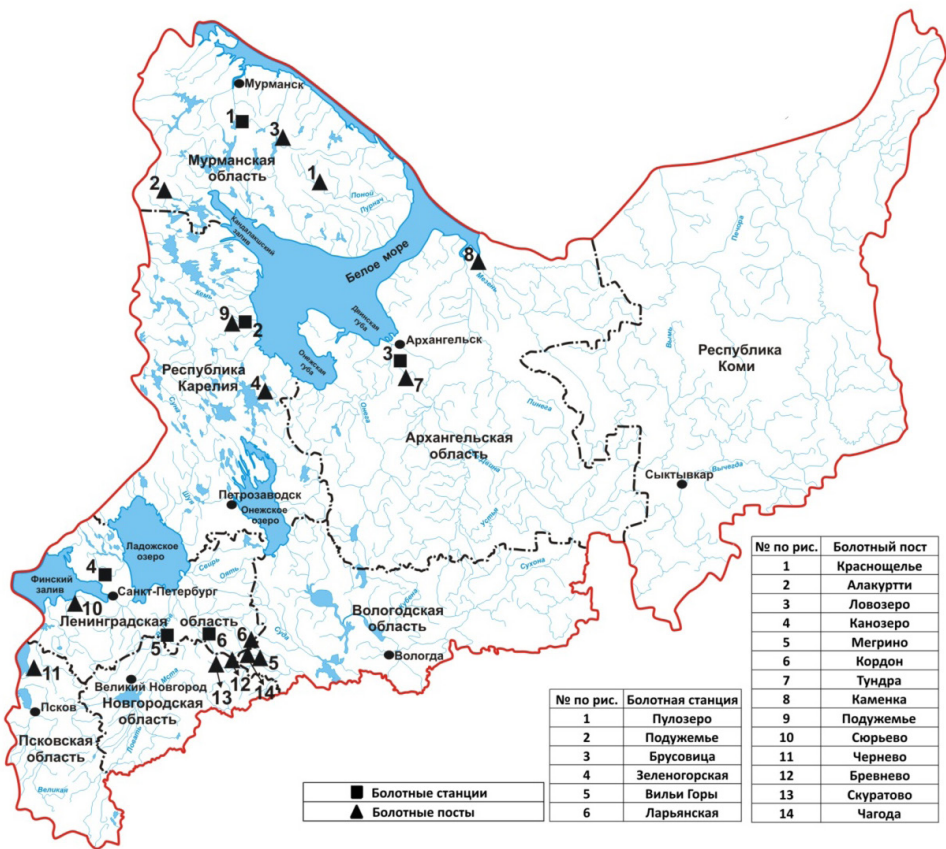


Рисунок 2.1. Специализированная сеть болотных станций и постов Росгидромета на Северо-Западе РФ

заболочена. К примеру, в Ленинградской области на долю болот и заболоченных лесов приходится 57% площади лесного фонда, в Архангельской – 55,8%, в Новгородской – 48% [207].

Массовое осушение болот для лесного хозяйства началось в конце XIX века после организации Западной и Северной экспедиций по исследованию и осушению болот. На Северо-Западе России лесомелиоративные работы проводились в Санкт-Петербургской, Новгородской, Псковской и Олонецкой губерниях.

В середине XX века А. Д. Дубахом и М. П. Елпатьевским были подготовлены и изданы первые технические указания «Лесотехническая мелиорация», где осушение увязывалось с типом леса. В это же время создаются первые лесные мелиоративные станции.

Базовыми материалами лесоустройства, информирующими о болотах и заболоченных лесах, являются планы лесонасаждений и таксационные

описания лесничеств [208]. Масштабы планов лесничеств зависят от их площади и разряда лесоустройства: обычно — 1:25 000 для плана и от 1:100 000 для карты-схемы. На планах и планшетах болота и заболоченные леса выделяются условными знаками, близкими к используемым обозначениям на топографических картах. Суммарная площадь открытых болот, заболоченных и переувлажненных земель приводится в сводных лесостроительных проектах, выполняемых для территорий субъектов РФ.

Наибольший вклад в развитие лесомелиорации переувлажненных и заболоченных земель внес А. Д. Дубах [51].

2.4. Гидрологическая изученность

Болота Северо-Запада европейской части России в гидрологическом отношении достаточно хорошо изучены. Еще в конце 1920-х — начале 1930-х годов здесь появились первые пункты наблюдений за водным режимом болот (Новгородская и Токсовская болотные станции, Замошский, Волховский,

Таблица 2.1. Сеть болотных станций и болотных постов Росгидромета на территории Северо-Запада ЕТР

| Номер по рис. 2.1 | Станция (пост) | Название болота | УГМС* | Период работы | Координаты | |
|-------------------|----------------|--------------------|-----------------|---------------|------------|---------|
| | | | | | С. Ш. | В. Д. |
| 1 | Пулозеро | Пулозерское | Мурманское | 1940–1997 | 68° 21′ | 33° 18′ |
| 2 | Подужемье | Массин-Шуо | Северо-Западное | 1945–1957 | 64° 54′ | 34° 18′ |
| 3 | Брусовица | Иласское | Северное | 1941– действ. | 64° 19′ | 40° 35′ |
| 4 | Зеленогорская | Ламмин-Суо | ФГБУ ГГИ | 1950–действ. | 60° 14′ | 29° 49′ |
| 5 | Вильи Горы | Ширинское | Северо-Западное | 1944–1995 | 59° 21′ | 32° 17′ |
| 6 | Ларьянская | Ларьянское | Северо-Западное | 1954–2012 | 59° 34′ | 33° 38′ |
| 1 | Краснощелье | Краснощельское | Мурманское | 1961–1996 | 67° 21′ | 37° 03′ |
| 2 | Алакуртти | Алакурттинское | Мурманское | 1966–1996 | 66° 57′ | 30° 20′ |
| 3 | Ловозеро | Ловозерское | Мурманское | 1990–2013 | 68° 00′ | 35° 01′ |
| 4 | Канозеро | Без названия | Мурманское | 1961–1987 | 64° 04′ | 34° 12′ |
| 5 | Мегрино | Дедово Поле | Северное | 1942–1964 | 59° 09′ | 35° 35′ |
| 6 | Кордон | Углишное | Северное | 1954–1964 | 59° 14′ | 35°20′ |
| 7 | Тундра | Иласское | Северное | 1954–1987 | 64° 12′ | 40° 34′ |
| 8 | Каменка | Кольцевые | Северное | 1964–1987 | 65° 54′ | 44° 04′ |
| 9 | Подужемье | Массин-Шуо | Северо-Западное | 1957–1964 | 64° 54′ | 34° 18′ |
| 10 | Сюрьево | Сюрьевское | Северо-Западное | 1946–1987 | 59° 46′ | 29° 14′ |
| 11 | Чернево | Тушенский Мох | Северо-Западное | 1946–1987 | 58° 38′ | 28° 10′ |
| 12 | Бревнево | Бувькинское | Северо-Западное | 1946–1987 | 58° 58′ | 34° 36′ |
| 13 | Скуратово | Кошавинские Вельги | Северо-Западное | 1946–1987 | 58° 55′ | 34° 21′ |
| 14 | Чагода | Чагодощенское | Северо-Западное | 1945–1987 | 59° 14′ | 35° 16′ |

* Управление гидрометеорологической службы, в ведении которого находилась (находится) станция (пост)

Онцевский пункты) [52]. В 1940–1950-х годах, после выхода в свет монографий А. Д. Дубаха [52, 53] по гидрологии болот, начался новый этап в развитии наблюдательной сети на болотах в системе Гидрометслужбы. Сведения об открытых пунктах наблюдений – болотных станциях и постах приведены в таблице 2.1.

Широкий комплекс наблюдений на болотных станциях и постах проводится по единым методикам, изложенным в Наставлениях [99, 127–130]. Материалы наблюдений публикуются в ежегодниках «Материалы наблюдений болотных станций» [117]. После распада СССР наблюдательная гидрометеорологическая сеть на болотах сильно сократилась. К сожалению, сокращение специализированной болотной сети затронуло и последние годы: были закрыты болотная станция Ларьянская (Северо-Западное УГМС) и болотный пост Ловозеро (Мурманское УГМС). В настоящее время ведутся наблюдения лишь на болотных станциях Брусовица (Северное УГМС) и Зеленогорская (ФГБУ ГГИ).

ГЛАВА 3

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БОЛОТА ЛАММИН-СУО

3.1. Открытие Зеленогорской болотной станции

В феврале 1945 года, за три месяца до окончания Великой Отечественной войны, Постановлением СНК СССР за № 272 от 8.02.1945 г. о развитии сельскохозяйственной электрификации было предусмотрено открытие гидрологических лабораторий при ГГИ, а Распоряжением СНК СССР от 29.03.1945 г. за № 5097 разрешено ГУТМС строительство Главной экспериментальной базы (ГЭБ ГГИ). Место для строительства базы было выбрано в поселке Ильичево, который расположен в Выборгском районе Ленинградской области. При организации ГЭБ ставилась задача обеспечить научным отделам института возможность проведения экспериментальных работ по всем направлениям гидрологии суши: гидрология озер, русловые процессы, гидрология болот, гидрофизические процессы.

Объектом для проведения экспериментальных исследований на водоемах было выбрано озеро Красавица, а на болотах — болотный массив Ламмин-Суо, расположенный в 2,5 км к западу от поселка Ильичево.

Для организации экспериментального полигона на этом массиве отделением болот ГГИ в 1948–1949 годах было проведено рекогносцировочное обследование. В конце 1949 года на выбранном массиве была организована, а 1

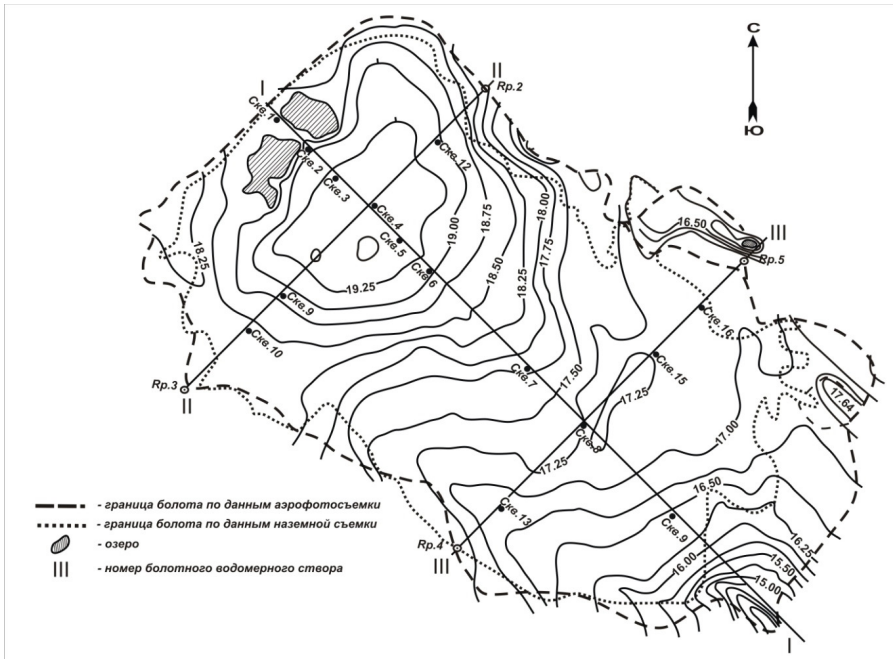


Рисунок 3.2. Топографическая карта болота Ламмин-Суо (1950 г.)

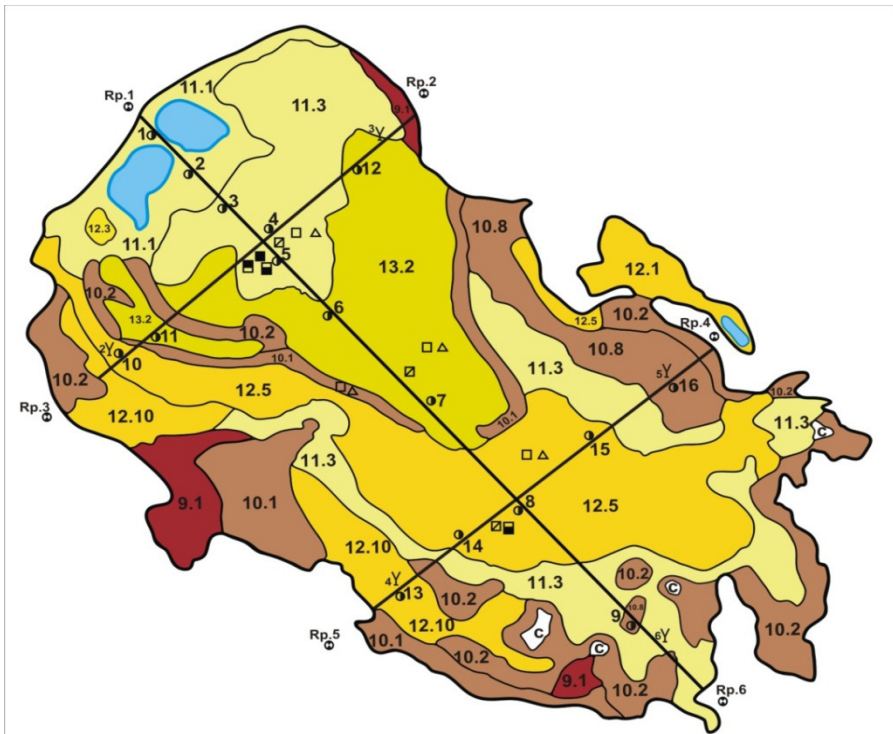


Рисунок 3.3. Типологическая карта болота Ламмин-Суо (1950 г.). Условные обозначения болотных микроландшафтов и пунктов наблюдений на рисунке 5.1

По материалам аэрофотосъемки 1947 года с использованием данных полевых обследований Е. А. Романовой была составлена типологическая карта болота Ламмин-Суо (рисунок 3.3), послужившая основой для выбора мест размещения наблюдательных установок.

Для получения четкого представления о характере стекания болотных вод, а также для расчета стока с массива Е. А. Романовой по аэрофотоснимку была составлена сетка линий стекания, отражающая направления движения поверхностных и фильтрационных вод на болоте (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4. Сетка линий стекания болотных вод. Болото Ламмин-Суо

Огромный вклад в создание болотной станции внес выдающийся ученый-экспериментатор, создатель ГЭБ ГГИ Валерьян Андреевич Урываев (рисунок 3.5), руководивший в те годы Государственным гидрологическим институтом.



Рисунок 3.5. Урываев Валерьян Андреевич (1908–1968)

Большую роль в организации этой станции сыграли известные ученые-болотоведы (рисунок 3.6): Константин Евгеньевич Иванов — один из основоположников гидрологии болот, Владимир Васильевич Романов — основоположник гидрофизики болот и Ефросинья Андреевна Романова — одна из основателей ландшафтного изучения гидрологического режима болот.



Иванов Константин
Евгеньевич
(1912–1994)



Романов Владимир
Васильевич
(1908–1974)



Романова Ефросинья
Андреевна
(1910–1991)

Рисунок 3.6. Основатели болотной станции

Они руководили и непосредственно принимали участие в выборе болотного массива, его обследовании и составлении плана размещения на нем пунктов наблюдений и наблюдательных установок, разработке программы работы болотной станции и строительстве станции. Следует отметить, что при организации гидрометеорологических наблюдений на болоте Ламмин-Суо применялся разработанный в годы Великой Отечественной войны ландшафтно-гидрологический подход к исследованию болот, позволивший, используя составленную типологическую карту болота, научно обоснованно разместить пункты наблюдений за элементами водно-теплого режима болотного массива (наблюдательную сеть).

В 1976 году по инициативе Ботанического института им. В. Л. Комарова и Государственного гидрологического института решением Леноблисполкома № 145 от 29.03.1976 г. был организован Заказник «Болото Ламмин-Суо» с целью охраны типичного верхового грядово-мочажинного болота Карельского перешейка и создания условий для работы Болотной станции ГГИ, изучающей его гидрологический режим. Статус Заказника переутвержден Постановлением Правительства Ленинградской области № 494 от 26.12.1996 г. Большую роль в придании статуса особо охраняемой природной территории (ООПТ) для исследуемого болотного массива сыграла М. С. Боч (рисунок 3.7).

Первым начальником Зеленогорской болотной станции был В. В. Дементьев (16.01–10.08.1950 г.). В течение более 65-летнего периода работы ею руководили: Каждан Е. А. (1951–1958, 1961–1964 гг.), Павлова К. К. (1959–1960 гг.), Калюжный И. Л. (1964–1966, 1971–1973 гг.), Гончарова Ж. С. (1966–1971 гг.), Иванов А. В. (1974 г.), Шайтанов Б. Н. (1975–1978 гг.), Азарий Ю. П. (1978–1985 гг.), Калюжная И. И. (1985–1991 гг.), Бривкина Г. М. (1991–1994 гг.), Чмутова Н. П. (1994–2001 гг.), Селянская Н. М. (с 2001 года).

3.2. Организация стандартных гидрометеорологических наблюдений на болоте

В январе 1950 года начались наблюдения за уровнем болотных вод на трех водомерных створах (общая их протяженность около 4 км), оборудованных 16 водомерными скважинами. Длина первого основного створа 2 км. Второй (рисунок 3.8) и третий створы длиной по 1 км расположены перпендикулярно первому створу на расстоянии 400 и 1270 м от его начала.

Сведения о скважинах (номер скважины и ее глубина, дата начала наблюдений и др.) приведены в таблице П.3.1 Приложения к главе, где



Рисунок 3.7. На ЗПЭБ в начале 80-х годов. Стоят (слева направо): Кузьмина Е. О., Алексеева Н., Оленская Н. М., Смагин В. А., Боч М. С., Алексеева Р. Н. Сидят (слева направо): Алар Ляянелайд, Мати Илометс.

представлены и их технические характеристики. Расположение скважин на болоте показано на рисунках 3.3, 5.1 и в таблице П.5.2 Приложения к главе 5.

В самом начале 1950 года на метеорологической площадке (рисунок 3.9), организованной в генетическом центре болота, были начаты наблюдения за его метеорологическим режимом по программе станции II разряда (таблица П.3.2 Приложения к главе). Число сроков наблюдений за метеорологическими элементами периодически изменялось, как это видно по таблице П.3.3 этого же Приложения.



Рисунок 3.8. Второй водомерный створ



а)



б)

Рисунок 3.9. Болотная метеорологическая площадка: а) 1950 г., б) 2014 г.

В дополнение к осадкомеру, установленному на болотной метеоплощадке, на концах водомерных створов было оборудовано еще 5 пунктов наблюдений за осадками (таблица П.3.4 Приложения к главе).

С 1950 года на 4 постоянных участках начались наблюдения за промерзанием и оттаиванием болота (таблица П.3.5 Приложения к главе), за высотой и плотностью снежного покрова (рисунок 3.10). Сведения об участках наблюдений приведены в таблице П.3.6 Приложения к главе.



Рисунок 3.10. Снегомерные наблюдения

В том же году были начаты наблюдения за стоком с болота на водосливе, установленном на ручье Южный (рисунок 3.11, таблица П.3.7 Приложения к главе).



Рисунок 3.11. Гидрометрическое сооружение на ручье Южный

В 1952 году на суходоле недалеко от зданий станции была оборудована метеорологическая площадка (рисунок 3.12) с целью выявления особенностей метеорологического режима изучаемого болота.



Рисунок 3.12. Суходольная метеорологическая площадка

Наблюдения за температурой и влажностью воздуха, а также осадками на этой метеоплощадке велись в течение более 10 лет. Информация о динамике наблюдательной сети на болоте за период работы станции представлена в таблице П.3.7 Приложения к главе.

Постепенно расширялись работы по учету стока с болотного массива: в 1953 году был построен водослив на ручье Северный, вступили в эксплуатацию водосливы на ручьях Западный-1 и Западный-2 (рисунок 3.13, таблица П.3.8 Приложения к главе).

С 1956 года начались регулярные наблюдения за испарением с болота по испарителям ГГИ-Б-1000 (рисунок 3.14).

Сведения об испарительных площадках (местоположение, тип и количество испарителей, период наблюдений) приведены в таблице П.3.9 Приложения к главе.

В 1964–1965 годах на болотном массиве Ламмин-Суо и прилегающих к нему суходолах была пробурена 21 гидрогеологическая скважина и начаты наблюдения за уровнем грунтовых вод, т. е. за уровнями воды в подстилающих торфяную залежь минеральных грунтах. Нумерация гидрогеологических скважин дана по каталогу Северо-Западной гидрогеологической станции. Сведения о гидрогеологических скважинах приведены в таблице П.3.10

Приложения к главе, расположение их на болоте и прилегающем к нему суходоле показано на рисунке 5.1. В таблице П.3.11 Приложения к главе представлены технические характеристики гидрогеологических скважин (глубина скважины, место установки, глубина заложения фильтра).



Рисунок 3.13. Гидрометрическое сооружение на ручье Западный-1



Рисунок 3.14. Испарительная площадка

В 1965–1970 годах проводилось изучение гидрохимического режима водотоков, вытекающих из болота, а в 1967–1968 годах — гидрохимии болотных вод в различных болотных микроландшафтах (таблица П.3.12 Приложения к главе). В период 2005–2015 годов в исследовании гидрохимии болота Ламмин-Суо принимала участие сотрудница СПбГУ Т. М. Потапова. Сведения о времени и пунктах отбора проб воды приведены в таблице П.3.13.

В начале 1970-х годов были начаты работы по повышению точности наблюдений и прежде всего тех характеристик, которые связаны с расчетной поверхностью микроландшафтов (РПМ). В связи с этим под руководством П. К. Воробьева были проведены многолетние исследования микрорельефа поверхности болота [28, 30, 31] и начато внедрение полученных результатов в практику работ болотных станций.

Изучение водно-физических свойств деятельного слоя торфяной залежи проводилось в различных болотных микроландшафтах. Сведения о пунктах проведения наблюдений и отбора монолитов, периоде наблюдений приведены в таблицах 14 и 15 Приложения к главе.

В 1963 году на склоне прилегающего к болоту суходола (в 100 м к северо-востоку от здания станции) была оборудована стоковая площадка для изучения склонового стока.

С середины 1970-х годов, в период широкого развития осушительных мелиораций, в нечерноземной зоне бывшего СССР силами болотной станции параллельно с наблюдениями на болоте Ламмин-Суо начали проводиться комплексные исследования гидрометеорологического режима и составляющих водного баланса осушенных и освоенных под сельское хозяйство низинных болот. Наблюдения и экспериментальные работы были организованы в 1976 году на Старосельской осушительной системе, расположенной в Выборгском районе Ленинградской области, в 45 км от болота Ламмин-Суо. Наблюдения на этой системе велись до 1990 года. За этот период был получен уникальный материал по водно-тепловому режиму и водному балансу осушенного и освоенного под сельское хозяйство низинного болота и, особенно, по режиму водообмена болота с подстилающими минеральными грунтами. Исходный материал наблюдений и экспериментальных работ находится в архиве станции (ЗПЭБ). Результаты исследований на Старосельской осушительной системе частично опубликованы в трудах ГГИ [26].

С самого начала работы Зеленогорской болотной станции одновременно с расширением программы стандартных наблюдений увеличивался объем и состав специальных научных исследований и экспериментальных работ.

3.3. Научно-исследовательские и методические работы

3.3.1. Научно-исследовательские работы

Научно-исследовательские работы на станции начали вестись с момента ее открытия. Программа этих работ была составлена К. Е. Ивановым и В. В. Романовым еще в период организации станции. Научный интерес к болотам они проявили во время Великой Отечественной войны, работая в Управлении Гидрометслужбы по обеспечению командования Ленинградского фронта гидрометеорологической информацией, в том числе и данными о природно-технических свойствах болот районов военных действий. Первые же экспериментальные гидрологические и гидрофизические работы на болотах ими были проведены в 1944 году на Ширинском массиве при открытии на нем болотной станции Вильи Горы. Капитальные исследования болотных ландшафтов они начали вести с 1950-х годов на болоте Ламмин-Суо.

При изучении гидрометеорологического режима болота Ламмин-Суо первостепенное внимание уделялось исследованиям физических процессов перемещения воды в болотах, процессов изменения фазового состояния влаги и взаимодействия ее с твердой фазой торфяной залежи, процессов влаго- и теплообмена болот с окружающей средой. На массиве Ламмин-Суо К. Е. Ивановым были успешно продолжены работы по изучению водопроницаемости торфяной залежи и, прежде всего, ее деятельного слоя, начатые на болотном массиве Ширинское [57–60]. Уже в 1950 году на Ламмин-Суо им были проведены первые экспериментальные работы по изучению фильтрационных свойств деятельного слоя торфяной залежи на фильтрационных лотках. В 1951 году проводились серийные градиентные наблюдения за метеорологическими элементами при изучении закономерностей процесса испарения с болот, всесторонне исследовались водно-физические и тепловые свойства деятельного слоя торфяной залежи (водоотдача, капиллярные свойства, объемный вес сухого вещества, теплоемкость, теплопроводность). За период с 1950 по 1955 год в различных болотных микроландшафтах было отобрано 68 больших (60×110×70 см) монолитов торфа ненарушенной структуры. На этих монолитах, используя специально разработанный К. Е. Ивановым фильтрационный лоток, исследовались фильтрационные свойства деятельного слоя торфяной залежи.

В 1953 году были начаты наблюдения на установке, состоящей из самописцев уровня воды («Валдай») и дождя (плювиограф). Наблюдения проводились в разных микроландшафтах. Сведения об этих наблюдениях приведены в таблице П.3.15 Приложения к главе. По данным этих наблюдений,

отражающих реакцию уровня болотных вод на выпадающие осадки, определялся коэффициент водоотдачи, а точнее коэффициент подъема уровня деятельного слоя торфяной залежи [62].

В 1952 году вблизи метеорологической площадки (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной) были оборудованы теплобалансовая и актинометрическая площадки и начаты наблюдения за элементами радиационного и теплового баланса болота. В 1966–1967 годах на станции проводились экспериментальные работы по определению компрессионно-фильтрационных характеристик деятельного слоя торфяной залежи.

Комплексные исследования строения болотных массивов (рельеф, микрорельеф, состав болотных микроландшафтов и закономерности их размещения на массивах) с использованием материалов аэрофотосъемки, их водно-теплового режима и гидрологических свойств деятельного слоя торфяной залежи позволили К. Е. Иванову разработать теоретические основы гидрологии торфяных болот [60, 62–65, 67, 68]. Используя материалы многолетних комплексных исследований гидрофизических процессов (испарение, конденсация, промерзание, теплообмен, увлажнение) и водно-физических свойств деятельного слоя залежи (капиллярных, водопроницаемость, водоотдача, теплоемкость, теплопроводность) на болотах, и прежде всего, на болоте Ламмин-Суо, В. В. Романов заложил основы гидрофизики торфяных болот [174–188]. Реализацию некоторых идей Романова в исследовании гидрофизических процессов на болотах осуществили его ученики О. А. Белоцерковская, И. Л. Калужный и К. К. Павлова [13, 74, 76, 77, 81, 151, 152]. Большой вклад в исследование горизонта формирования микрорельефа поверхности болота и изучение водно-физических свойств деятельного слоя торфяной залежи внес П. К. Воробьев [28–31], работавший с 1953 года на Зеленогорской болотной станции.

Как показали исследования, под влиянием ряда факторов (степень обводненности деятельного слоя торфяной залежи, высота снежного покрова и др.) поверхность болота изменяет свою высотную отметку, т. е. колеблется. По данным исследований колебаний поверхности болота Ламмин-Суо, выполненных А. И. Арефьевой [3], высотное положение как повышенных, так и пониженных элементов микрорельефа изменяется в пределах 10 см. Это обстоятельство вносит определенные сложности в определение уровня болотных вод и «привязку» к поверхности болота монолитов, отбираемых для исследования водно-физических свойств деятельного слоя.

Результаты исследований гидрохимического режима поверхностных вод болота Ламмин-Суо, о которых упоминалось в предыдущем разделе, опубликованы в работе [80]. Данные по гидрохимическому режиму, полученные на

болоте Ламмин-Суо и других болотах Северо-Запада в более поздние годы, рассмотрены в главе 14 настоящей монографии.

Наблюдения за составляющими водного баланса (осадки, испарение, сток, изменение влагозапасов) ведутся на болотном массиве уже более 65 лет. Материалы этих наблюдений обобщены (Приложение «Многолетние характеристики» разделы 1, 2, 5, 6). Характер изменения составляющих водного баланса болота Ламмин-Суо за многолетний период рассмотрен в главе 16.

В начале XXI века (с 2002 года) на болоте Ламмин-Суо И. Л. Калюжный начал проводить исследование эмиссии двуокси углерода и метана, оценивать влияние на этот процесс гидрометеорологических факторов. Результаты этих исследований изложены в монографии [85].

На болотной станции помимо изучения природных гидрологических и гидрофизических процессов, происходящих на болотах, проводились исследования, связанные с решением задач производственных организаций, в частности, организаций, осваивающих нефтяные и газовые месторождения Западной Сибири. В связи с многочисленными аварийными разливами нефти и загрязнением ею болот возникла необходимость оценки аккумулирующей способности торфяной залежи по отношению к нефти. Были выполнены экспериментальные работы на Зеленогорской станции на образцах торфяной залежи, отобранных на болоте Ламмин-Суо. Результаты исследований изложены в работах [147, 162].

3.3.2. Научно-методические работы

Научно-методические работы на Зеленогорской болотной станции из-за отсутствия достаточного опыта изучения гидрометеорологического режима болот начали проводиться с момента ее открытия. Следует отметить, что до организации этой станции на болотах уже существовало несколько опытных станций и лесных дач (Раменская, Оршинская, Минская, Новгородская и др.), на большинстве которых велись наблюдения практически только за уровнем болотных вод и атмосферными осадками [53].

Большую роль в организации гидрологических наблюдений на болотах сыграл один из основоположников гидрологии болот А. Д. Дубах (рисунок 3.15), который впервые подошел к изучению болот с позиций гидрологии [52, 53]. Именно благодаря ему в сентябре 1933 года, когда на IV гидрологической конференции Балтийских стран он изложил основные задачи, положения и принципы изучения водно-теплового режима болот, родилась новая отрасль гидрологической науки — гидрология болот. По его инициативе в системе Гидрометслужбы в конце 1930-х – начале 1940-х годов

открывается ряд болотных станций (Токсовская, Мшинская, Агвен-Суо, Подужемье, Пулозеро и Брусовица), на которых наблюдения проводятся по единым методикам.



Рисунок 3.15. Дубах Александр Давыдович (1883–1942)

В 1930-х годах были начаты работы по стандартизации наблюдений на гидрометеорологической сети Гидрометслужбы. Однако завершить эти работы помешала Великая Отечественная война. Сразу после окончания войны в ГГИ были подготовлены и вышли в свет ряд «Наставлений» по производству гидрологических наблюдений на водных объектах и обработке полученных материалов. Восьмой выпуск «Наставления» по производству гидрометеорологических наблюдений на болотах был подготовлен В. В. Куприяновым и опубликован в 1946 году [99]. В нем был обобщен опыт производства наблюдений на болотах, проводившихся на имеющихся станциях, и в первую очередь, на станциях, открытых Гидрометслужбой.

Коллектив отдела гидрологии болот ГГИ и Зеленогорской болотной станции под руководством К. Е. Иванова, В. В. Романова и Е. А. Романовой выполнил большую научно-методическую работу по разработке новых и усовершенствованию старых методик производства наблюдений на болотах, а также методик проведения экспериментальных работ.

С момента организации станции начали вестись разработки новых и модернизации старых технических средств измерений для изучения гидрометеорологического режима болот и водно-физических свойств деятельного слоя. Так, уже в 1950 году был изготовлен лабораторный вариант фильтрационного лотка, начаты работы по усовершенствованию приборов и оборудования для исследования водно-физических и тепловых свойств торфяной залежи и очесного слоя, конструированию болотного испарителя [176].

В 1956 году испаритель ГГИ-Б-1000 был изготовлен и установлен на болоте Ламмин-Суо. В 1963 году была создана дистанционная установка [176] для изучения элементов теплового баланса: на болоте была установлена система датчиков, а в помещении станции с помощью потенциометров регистрировались: суммарная, рассеянная и отраженная радиация, радиационный баланс, поток тепла в торфяную залежь на разных глубинах, температура поверхности болота, температура воздуха на высоте 0,5 и 2 м.

В 1960-х годах проводились работы по дальнейшему усовершенствованию весовых испарителей ГГИ-Б-1000, разработке конструкции полевого фильтрационного лотка, созданию буров различного назначения (для отбора образцов торфа ненарушенной структуры, для определения глубины промерзания, влажности торфа на осушенных болотах, для рытья шурфов под скважины и др.), а также дистанционной установки для наблюдений за уровнем болотных вод.

Большие работы по созданию новых и усовершенствованию существующих приборов, оборудования и методик исследования водно-физических свойств торфяной залежи и очесного слоя были выполнены П. К. Воробьевым в лаборатории физики торфа, расположенной на территории ГЭБ ГГИ.

В результате многолетних работ отдела гидрологии болот на Ламмин-Суо были усовершенствованы методики наблюдений за уровнем болотных вод, промерзанием торфяной залежи, испарением с болот, влажностью торфяной залежи, а также методики определения коэффициентов фильтрации и водоотдачи торфяной залежи и ее капиллярных свойств. Одновременно разрабатывались методики обработки первичных материалов наблюдений и указания по составлению итоговых таблиц. Совершенствовались методики проведения химического анализа болотных вод. Полученные результаты по всем этим работам позволили В. В. Романову и К. Е. Иванову уже к 1955 году подготовить новый [129] переработанный и существенно дополненный вариант восьмого выпуска «Наставления» издания 1946 года [99]. Это «Наставление» стало основополагающим по производству гидрометеорологических наблюдений на болотах. Позже (в 1972 и 1990 годах) вышли в свет 3-е и 4-е издания этого «Наставления» [127,128].

На Зеленогорской болотной станции до распада СССР регулярно проводились стажировки специалистов сети болотных станций и постов Гидрометслужбы, а также семинары начальников и инженеров станций по различным вопросам гидрологии болот. Кураторами болотных станций, поддерживающими постоянную с ними связь и регулярно проводившими их методические инспекции, долгое время были Ж. С. Гончарова и Р. Ф. Бюриг.

ГЛАВА 4

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БОЛОТА ЛАММИН-СУО

4.1. Геология, гидрогеология

Геолого-гидрогеологические условия. Болото Ламмин-Суо находится на Карельском перешейке в пределах северо-западной части Русской платформы. В геологическом строении этого района принимает участие комплекс четвертичных отложений мощностью от 80 до 120–140 м, залегающий на верхнепротерозойских вендских образованиях, а в отдельных местах — на кристаллических породах фундамента архейско-нижнепротерозойского возраста.

Четвертичные отложения имеют повсеместное распространение. Они представлены преимущественно образованиями лимно-гляциального, гляциального и флювиогляциального генезиса. Литологически они определяются как пески различной зернистости, супеси, ленточные глины, валунные супеси, суглинки и глины. Общая мощность четвертичных отложений составляет 70–90 м, увеличиваясь до 140 и более метров в пределах древних погребенных долин [156].

На рассматриваемой территории выделяется три моренных горизонта, от днепровского до валдайского возраста, разделенные межморенными водно-ледниковыми отложениями. Валдайская морена имеет практически

повсеместное распространение, в меньшей степени развиты московские моренные отложения, днепровская морена встречена только в наиболее глубоких частях переуглубленных древних долин.

Отложения венда представлены моноклинально залегающей толщей терригенных пород, со слабым падением слоев в юго-восточном направлении. Вендские отложения также имеют повсеместное развитие. Они представлены осадками верхнего отдела в составе старорусской свиты редкинского горизонта (V2sr) и котлинской свиты (V2kt), в которой выделяются нижнекотлинская (V2kt1) и верхнекотлинская (V2kt2) подсвиты. Ориентировочная мощность старорусской свиты составляет 30–50 м. Отложения старорусской свиты и нижнекотлинской подсвиты развиты практически повсеместно и представлены песчаниками и песками с прослоями глин, алевролитов общей мощностью до 70–90 м. Залегающая выше по разрезу верхнекотлинская подсвита сложена плотными глинами с редкими прослоями песчаников.

С позиций общей схемы гидрогеологического районирования территория описываемого района приурочена к северо-западному крылу Московского артезианского бассейна. К югу от рассматриваемой территории располагается региональный базис дренирования артезианского бассейна — Финский залив. Общее движение подземных вод имеет ориентировку с северо-востока на юго-запад и направлено от местной области их питания, приуроченной к Центральной возвышенности Карельского перешейка, к области разгрузки (Финскому заливу). Общее представление о гидрогеологических условиях района дает схематическая гидрогеологическая карта (рисунок 4.1).

На карте и разрезе (рисунок 4.2) четвертичные отложения представлены как единый водоносный комплекс. Однако в его пределах присутствуют как водоносные, так и относительно водоупорные отложения. В частности, моренные относительно водоупорные горизонты — валдайский, московский и днепровский, а также два водоносных подразделения: верхнечетвертично-современный надморенный водоносный горизонт и днепровско-валдайский межморенный водоносный комплекс, в котором, в свою очередь, выделяются два межморенных водоносных горизонта — московско-валдайский (верхний) и днепровско-московский (нижний).

Водоносные горизонты межморенных отложений не имеют сплошного распространения, но достаточно широко развиты в пределах района. Их водовмещающими породами являются песчаные и гравийно-галечные отложения соответственно московско-валдайского и днепровско-московского межледниковий.

В дочетвертичных отложениях выделяются верхнекотлинский водоупорный горизонт (Vkt2) и вендский водоносный комплекс (V).

Верхнекотлинский водоупорный горизонт (Vkt2) приурочен к отложениям верхнекотлинской подсвиты, распространен практически повсеместно и отсутствует только на участках древних погребенных долин, где он полностью размыт. Горизонт залегает под четвертичными осадками и подстилается отложениями вендского водоносного комплекса. В зависимости от мощности перекрывающих четвертичных отложений глубина залегания кровли горизонта составляет 70–90 м. Мощность горизонта составляет 40–70 м, он сложен однообразной толщей тонкослоистых каолинит-гидрослюдистых глин с тонкими прослоями песчаников и алевролитов, мощность которых не превышает 0,5 м. Верхнекотлинский горизонт является региональным водоупором, надежно защищающим нижележащий вендский водоносный комплекс от поверхностного загрязнения.

Вендский (гдовский) водоносный комплекс (V) на рассматриваемой территории развит практически повсеместно и отсутствует лишь в пределах древней переуглубленной долины в районе города Зеленогорска. Он приурочен к отложениям венда, включающим в себя осадки старорусской свиты редкинского горизонта и нижнекотлинской подсвиты. Комплекс залегает на неровной поверхности кристаллического фундамента и перекрывается глинами водоупорного верхнекотлинского горизонта, а на участках древних переуглубленных долин — четвертичными отложениями. Глубина залегания кровли комплекса колеблется от 80–100 м до 120–140 м. Мощность вендского комплекса на побережье Финского залива чаще составляет 40–60 м, увеличиваясь в северном направлении до 80–100 м и более. Водовмещающие породы комплекса представлены песчаниками, песками и алевролитами, которые переслаиваются с глинами, иногда значительными по мощности.

Пьезометрические уровни вендского водоносного комплекса в ненарушенных условиях в северной части района залегали на абсолютных отметках до 70–80 м, постепенно снижаясь к Финскому заливу до отметок 0–10 м, скважины на побережье фонтанировали с превышением уровня земли на высоту 5–10 м. В результате многолетней эксплуатации уровни вендского водоносного комплекса к настоящему времени повсеместно снижены, в южной части района на 10–25 м, и сформирована региональная депрессионная воронка, площадь которой охватывает всю рассматриваемую территорию (рисунки 4.1 и 4.2). Подземные воды вендского комплекса повсеместно напорные. Величины напоров изменяются в пределах от 50–60 м до 80–100 м и зависят от глубины залегания кровли комплекса и современного положения уровня (величины снижения уровня под воздействием эксплуатации). Питание водоносного комплекса осуществляется в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков, а также за счет перетекания из водоносных

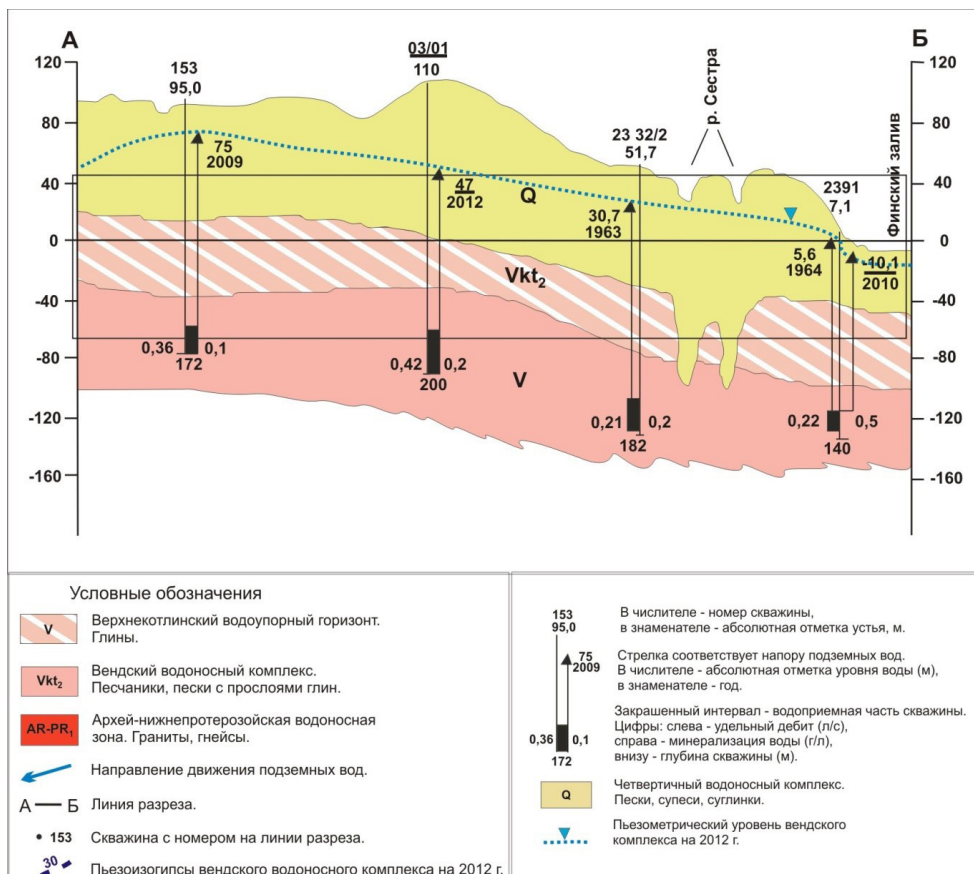


Рисунок 4.2. Гидрогеологический разрез А-Б (по рисунку 4.1)

Воды вендского комплекса в районе преимущественно гидрокарбонатные натриевые с минерализацией до $0,3 \text{ г/дм}^3$.

Архейско-нижнепротерозойская слабоводоносная зона (AR-PR₁). Водоносность пород кристаллического фундамента на рассматриваемой территории почти не изучена. По литературным данным, подземные воды зоны приурочены к трещинам в кристаллических породах и к выветрелой верхней части, развитой локально. Мощность коры выветривания изменяется от 1–2 м до нескольких десятков метров. Трещинные воды данной зоны имеют напорный характер, по химическому составу близки водам вышележащего вендского водоносного комплекса.

Объект исследования (болото Ламмин-Суо) расположен в котловине, вытянутой с северо-запада на юго-восток, длиной 2 км и шириной около 1 км, расположенной на водоразделе рек Сестра и Черная, входящих в бассейн Финского залива. Местность, окружающая болото, характеризуется холмисто-котловинным, озово-камовым рельефом (рисунки 4.3 и 4.6).

Болото представляет собой простой резко выпуклый болотный массив центрально-олиготрофного хода развития. Средняя мощность торфяной залежи около 1,9 м, при максимальных глубинах в генетическом центре около 4,3 м (рисунок 5.22). На рисунках 4.3–4.5 представлены литолого-генетические разрезы вдоль водомерных створов №№ 1-3 (рисунок 3.2).

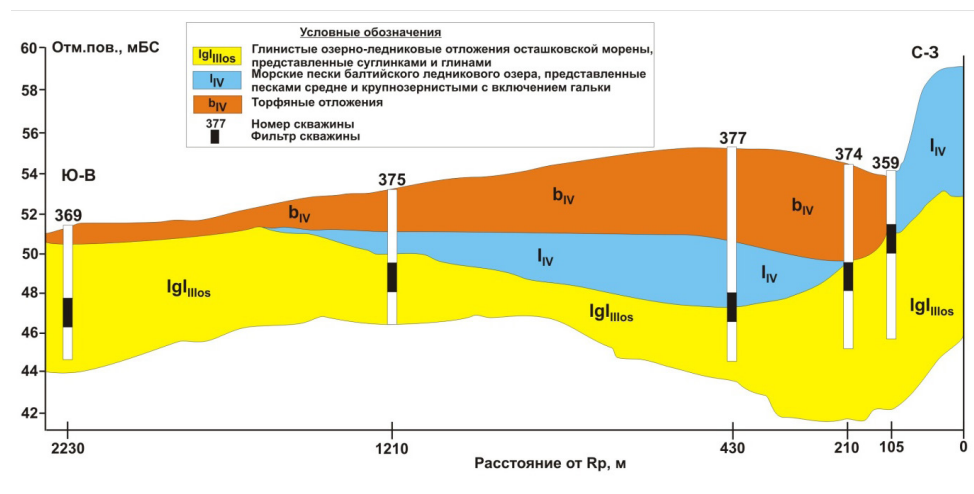


Рисунок 4.3. Литолого-генетический разрез через водомерный створ № 1

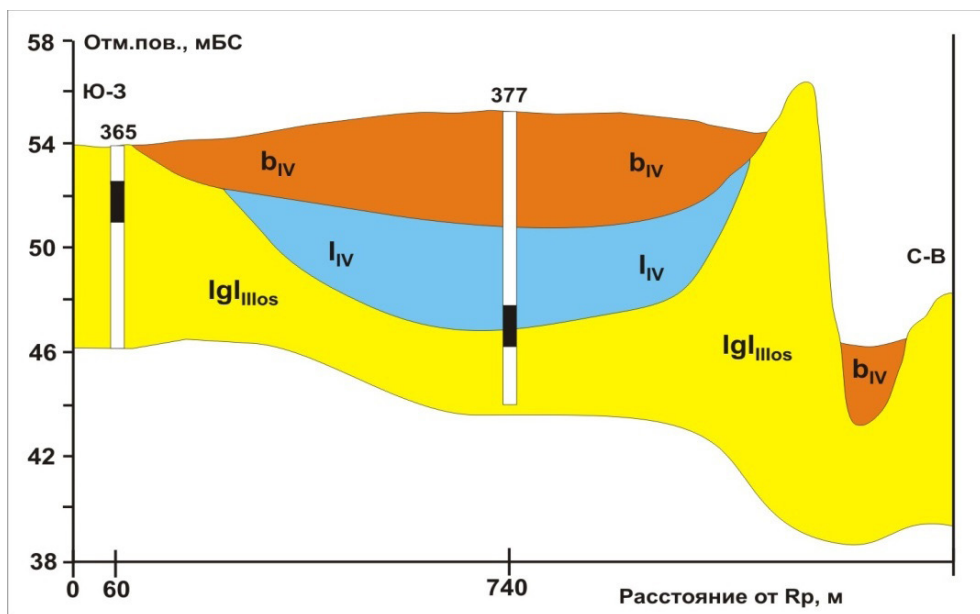


Рисунок 4.4. Литолого-генетический разрез через водомерный створ № 2 (условные обозначения – рисунок 4.3)

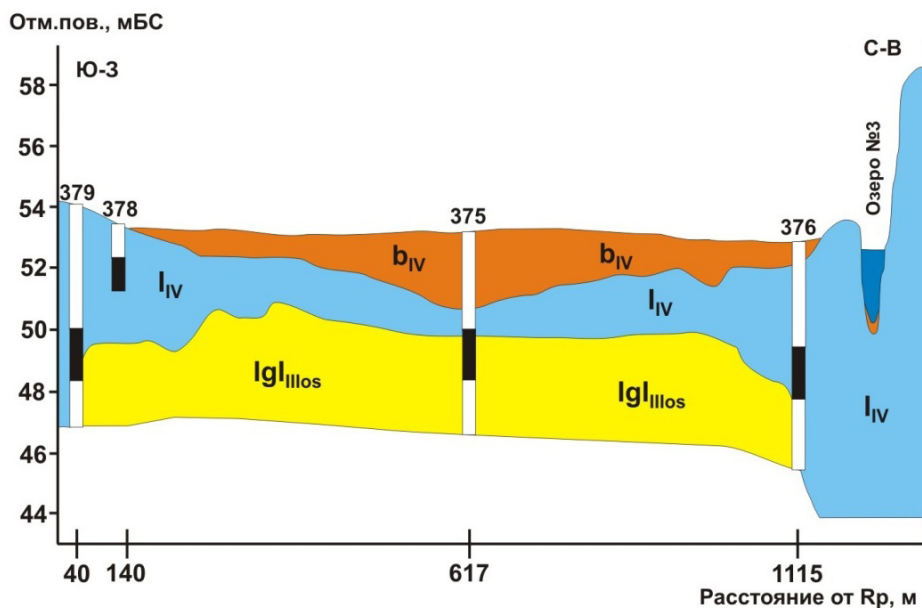


Рисунок 4.5. Литолого-генетический разрез через водомерный створ № 3 (условные обозначения – рисунок 4.3)

Озово-камовая гряда, ограничивающая болотную котловину с северо-востока, имеет превышения над ее поверхностью порядка 15 м. С востока суходол более пологий, южная и юго-восточная части имеют плоскую конфигурацию, со слабовыраженными повышениями рельефа. Почвы района слабо и скрытоподзолистые.

Суходолы, окружающие болото, покрыты хвойным лесом с переменным преобладанием сосны и ели. Лиственные породы встречаются в виде отдельных деревьев и небольших групп и представлены в основном березой и осиной.

Основными источниками питания болотного массива являются атмосферные осадки, выпадающие на его поверхность. Небольшую часть в питании болота составляет склоновый сток с окружающих болото суходолов, занимающих около 30 % площади водосбора болота.

4.2. Климат

На Северо-Западе европейской части России характерной чертой циркуляционных процессов является возникновение и перемещение циклонов и антициклонов³. Циклоны возникают и развиваются в зоне сходимости воздуш-

³ Общая климатическая характеристика района составлена на основе работы [90], подготовленной в Северо-Западном УГМС.

ных масс. В области схождения атмосферных фронтов наблюдаются сильные ветры, обширные поля облаков и осадков.

Антициклоны, в отличие от циклонов, способствуют установлению хорошей погоды. В центральной их части ветры слабые, и только на периферии скорость ветра возрастает. Преобладает малооблачная сухая погода.

Циклоны приходят главным образом с запада; осенью и зимой велика повторяемость перемещения циклонов с северо-запада, а весной и летом нередко вторжения юго-западных циклонов.

Антициклоны приходят на рассматриваемую территорию в большинстве случаев также с запада. Для этого района характерна большая повторяемость воздушных масс атлантического происхождения, что определяет морские черты его климата. В холодный период циклонические процессы усиливаются, а в теплый, как правило, несколько ослабевают. Активная циклоническая деятельность и частая смена воздушных масс определяют неустойчивый режим погоды во все сезоны года.

Порядка 80% осадков имеют фронтальное происхождение, и лишь небольшая их часть выпадает вне зоны фронтов. Зимой в области фронтов выпадают обложные осадки, летом же фронтальные осадки нередко ливневые.

В зимний сезон, когда преобладают воздушные массы западных и южных направлений, наибольшую повторяемость (около 60%) имеет умеренно теплая влажная погода с температурами от 0 до -7 °С.

Вторжение арктических воздушных масс приводит к установлению очень холодной сухой погоды с температурой -17–25 °С. В летний период западные потоки приносят на рассматриваемую территорию преимущественно влажные воздушные массы с температурой воздуха, близкой к норме (12–20 °С). Жаркая сухая погода с температурой 26–30 °С обусловлена обычно приходом воздушных масс с юго-востока. Для переходных сезонов характерны разнообразные условия погоды.

В связи с частой сменой воздушных масс различного происхождения во все сезоны года могут наблюдаться большие отклонения температуры воздуха от нормы. Периоды с такого рода отклонениями, которые могут длиться несколько дней, а иногда и недель, получили название волн тепла и холода. При этом волной холода в январе считается период, когда средняя суточная температура отклонялась от нормы более чем на 8 °С, в октябре и апреле — более чем на 4 °С, а в июле — на 3 °С и более. Зимние волны тепла определяются обычно западным переносом атлантического воздуха, а холодные — притоком арктических воздушных масс. Исключительно мощная волна холода наблюдалась в конце декабря 1978 года. Температура воздуха ниже -20 °С удерживалась в течение 6 суток [90]. В самом теплом месяце года

— июле волны холода изредка наблюдаются в первой декаде, в середине и в конце месяца, а волны тепла имеют большую повторяемость в течение всего месяца. Волны тепла характерны для случаев, когда на рассматриваемую территорию поступают сухие и теплые воздушные массы с Нижнего Поволжья и Средней Азии. Именно такого рода процессом обусловлено очень жаркое лето 1972 года, когда в июле была зафиксирована температура 32,6 °С. Однако за весь многолетний период наблюдений самая высокая температура воздуха (36,3 °С) на болоте Ламмин-Суо наблюдалась в июле 2002 года.

Коротко о климатических сезонах. Под этим термином понимается значительная часть года, характеризующаяся определенной общностью климатических условий. В качестве критерия выделения сезонов использован в основном анализ термического режима, где принимаются во внимание такие характеристики, как даты перехода температуры воздуха через определенные пределы, даты наступления и прекращения заморозков и устойчивых морозов и сроки образования и разрушения снежного покрова.

За начало и конец зимнего сезона принято считать даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С соответственно осенью и весной, а за начало и конец лета – даты перехода ее через 10 °С. За начало зимы в районе Санкт-Петербурга принято считать дату образования устойчивого снежного покрова — 5 декабря.

Зима. Характеризуется частыми оттепелями, особенно в первой половине. В это время года преобладает пасмурная, ветреная и дождливая погода. Вероятность пасмурной погоды в это время составляет 80 %. В середине декабря отмечается устойчивый переход температуры через -5 °С. Среднемесячная многолетняя температура воздуха от -5,1 °С в декабре, к январю и февралю понижается до -8,8 °С. При отдельных вторжениях холодного воздуха из Арктики среднесуточная температура может понижаться до -40 °С.

Начиная с января месяца в связи с развитием области высокого давления над Арктикой западные воздушные потоки ослабевают, наблюдается заметное уменьшение облачности.

Среднемноголетняя сумма осадков за зимний период составляет 150 мм, т. е. около 25 % годовой суммы.

Высота снежного покрова на рассматриваемой территории в среднем составляет 50 см.

Самой холодной зимой в исследуемом районе была зима 1941–42 гг. при сумме отрицательных среднесуточных температур 1300 °С, самой теплой — зима 1960–61 гг. (за всю зиму было всего 23 дня без оттепелей).

Весна. Сложная погодная ситуация (оттепели, возврат холодов, поздние снегопады) затрудняет определение конца зимы и начала весны. Апрель

— первый характерный месяц весны: погода к этому времени заметно улучшается, число ясных дней (дни, когда сумма отметок облачности не превышала 8 баллов за четыре срока), по сравнению с зимой, увеличивается до трех в апреле и четырех в мае, происходит интенсивное повышение температуры воздуха от $-4,2^{\circ}\text{C}$ в среднем за месяц в марте, до $3,0^{\circ}\text{C}$ в апреле и до $9,6^{\circ}\text{C}$ в мае.

Осадки выпадают реже, и они менее продолжительны, чем в другие сезоны. Относительная влажность — самая низкая в году (в мае 66 %), а иногда днем может понизиться до 20 и даже 10 %. Устойчивый снежный покров сходит обычно к апрелю. Однако в отдельные годы снежный покров вновь появляется на короткое время, поэтому даты его окончательного схода сильно варьируют. Волны тепла и холода, которые обуславливают большую изменчивость погоды, характерны для весны.

По температурному режиму весна может быть холодной и теплой. Холодными были весны 1917, 1942, 1945, 1963 годов, теплыми — весны 1920, 1967, 1975, 2007 годов.

Лето. В исследуемом районе лето умеренно теплое и длится обычно с начала июня до первой декады сентября. Период со средней суточной температурой воздуха выше 15°C обычно длится около 70 дней, но в отдельные годы может быть и больше. Температура 20°C и выше в дневное время (максимальная) может подниматься через день (47 дней за сезон), а дней с такой же среднесуточной температурой зафиксировано в сезоне лишь около 16. Осадков летом выпадает больше, чем в другие сезоны (около 55 % годовых), и они в основном ливневые. Солнечная теплая погода устанавливается при широтном перемещении циклонов в более северных районах, а на Северо-Западе России в это время образуется устойчивый антициклон.

Холодными были лето 1902, 1904, 1928, 1962, 1965 годов, наиболее теплым за период наблюдений с 1881 года оказалось лето 1972 года. Средняя месячная температура воздуха во все месяцы этого сезона почти на 4°C превышала норму.

Осень. Наступает в первой половине сентября с началом заморозков, ухудшением погоды, увеличением нижней облачности. В конце второй декады происходит устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 10°C , в середине октября — через 5°C , а к середине ноября — через 0°C . Появление снежного покрова возможно в начале октября.

При сильных и частых притоках арктического воздуха рано наступают холода, и осенний сезон в целом в такой год может быть холодным. В XX столетии весьма холодной и дождливой была осень 1973 года. В некоторые годы в результате интенсивных волн тепла в сентябре, октябре наступает период

теплой солнечной погоды. Это наблюдалось в 1934, 1938 и 1967 годах. Наиболее теплой была осень 1967 года.

Метеорологический режим в районе расположения болотного массива рассматривается в главе 8.

4.3. Гидрография

Болотный массив Ламмин-Суо (болото Озерное) расположен на водоразделе бассейнов рек Черная и Сестра, впадающих в Финский залив (рисунок 4.6). Большая часть поверхностного стока с болотного массива стекает в бассейн реки Сестра. Гидрографическая сеть болота Ламмин-Суо состоит из пяти ручьев и одного временного водотока, дренирующих массив. Все они являются элементами первичной гидрографической сети этой водораздельной территории. Гидрография объекта исследований также представлена тремя болотными озерами и четырьмя заросшими (погребенными) озерами с остаточными водными линзами (рисунок 4.7).

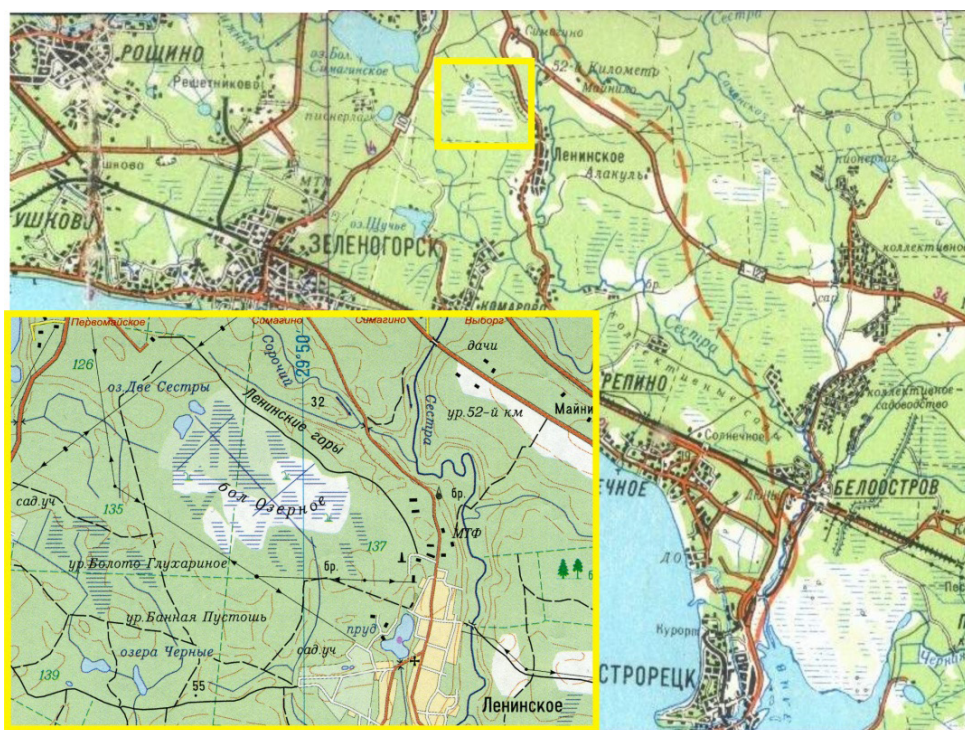


Рисунок 4.6. Район расположения болотного массива Озерное (Ламмин-Суо)

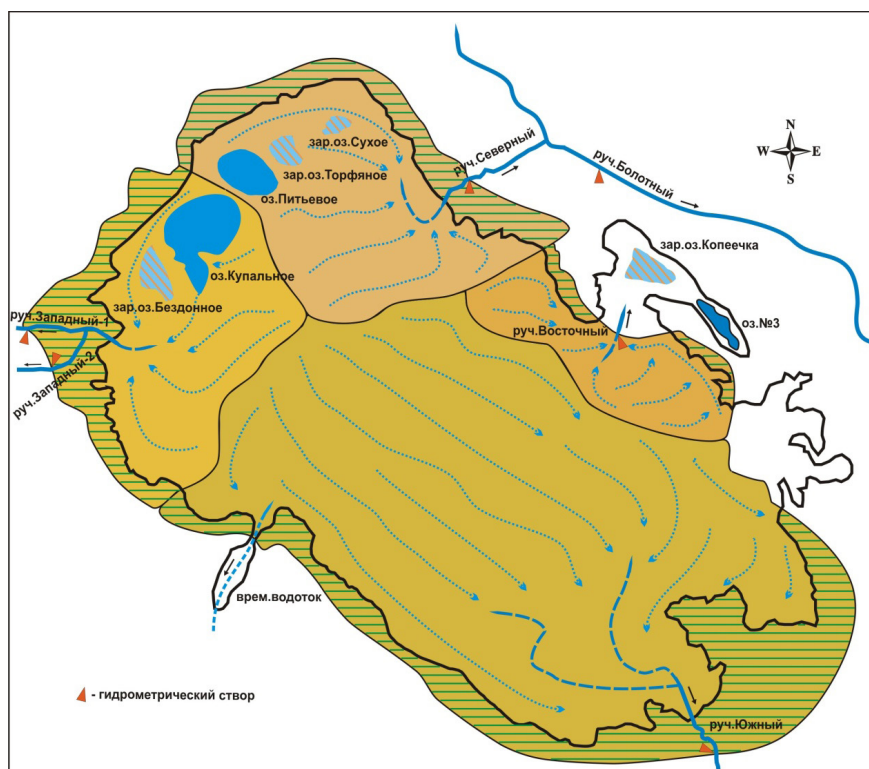


Рисунок 4.7. Гидрографическая сеть в границах водосборов и схема весеннего стока с болотного массива Ламмин-Суо

4.3.1. Ручьи

Гидрографические характеристики водотоков, дренирующих болотный массив Ламмин-Суо, представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Гидрографические характеристики ручьев

| Ручей | Площадь водосбора, км ² | Лесистость, (суходол+болото), % | Заболоченность, % | Озерность, % |
|--------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------|--------------|
| Южный | 1,18 | 31,4 (8,5+22,9) | 91,5 | 0,0 |
| Западный-1,2 | 0,32 | 78,4 (28,1+50,3) | 66,3 | 5,6 |
| Северный | 0,37 | 93,5 (17,3+76,2) | 78,6 | 4,1 |
| Восточный | 0,10 | 36,0 (18,0+18,0) | 82,0 | 0,0 |

В таблице 4.2 представлена типология болотных ландшафтов на водосборных площадях рассматриваемых ручьев.

Истоки всех ручьев, вытекающих из болотного массива, формируются на его окрайках в полосе шириной 10–30 м, где образуется ложбина,

концентрирующая сток болотных вод (рисунок 5.17). Открытые русла водотоков появляются только на выходе из болота.

Таблица 4.2. Состав и площадь болотных ландшафтов на водосборах ручьев

| Ручей | Группа болотных микроландшафтов, % | | | | |
|--------------|------------------------------------|---------------|---------|-----------------|-------------|
| | Лесные | Мохово-лесные | Моховые | Мохово-гравяные | Комплексные |
| Южный | 17 | 9 | >1 | 52 | 12 |
| Западный-1,2 | 19 | 16 | 15 | 16 | <1 |
| Северный | 11 | 24 | 22 | 8 | 14 |
| Восточный | 9 | 45 | – | 16 | 12 |

Ручей Южный. Исток ручья Южный формируется на юго-восточной окрайке болотного массива. Поверхностный сток с южной части болота концентрируется в пологой ложбине, которая переходит в руслообразующую фазу — собственно ручей Южный. Далее водоток по подводящему каналу верхнего бьефа гидрометрического сооружения (рисунок 4.8а) пересекает земляную дамбу. Стоковый пост оборудован гидрометрическим лотком пропускной способностью 1 м³/с. В меженные периоды сток измеряется с помощью треугольного водослива с углом выреза 90°.

Отводящий канал нижнего бьефа переходит в составную часть локальной осушительной сети (рисунок 4.8б), дренирующей сток с правобережного участка заболоченного лесного массива. Отдельные участки русла ручья находятся в естественном состоянии (рисунок 4.8в). Сток на таких отрезках осуществляется в подпорном режиме, подтапливая и активно заболачивая примыкающие наиболее низкие участки формирующейся долины. В среднем течении русло ручья канализовано (рисунок 4.8г, д), в естественное состояние оно переходит только в нижнем течении (рисунок 4.8е), перед впадением в ручей Лесной (Сала-Ойя), являющийся правым притоком реки Сестра.

Площадь водосбора ручья Южный в устьевом створе составляет 4,4 км², длина водотока — 3,8 км.

Ручей Северный. Ручей Северный вытекает из северо-восточной части массива, прорезая низкий оз (рисунок 4.9а), и впадает в небольшое межозовое низинное болото, на котором русловой врез практически теряется (рисунок 4.9б). На выходе из этого болота установлен шпунтовой ряд, перекрывающий узкий каналобразный (предположительно антропогенного происхождения) врез ручья, пересекающий относительно глубокую седловину высокого оза. В конце подводящего канала с успокоительным

бассейном установлен тонкостенный водослив с углом выреза 90° (рисунок 4.9в). Далее ручей выходит на относительно широкую заболоченную долину ручья Болотный, где и впадает в него (рисунок 4.9г). В меженный период сток ручья Северный в устье составляет более 70 % от общего стока после его слияния с ручьем Болотный. Длина ручья составляет около 300 м.



а) подводящий канал верхнего бьефа



б) осушительная сеть



в) естественное русло



г) канализованное русло

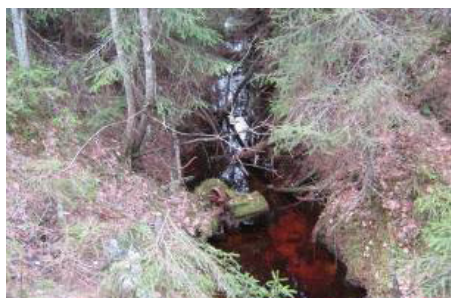


д) мостовой переход



е) руч. Сала-Ойя в нижнем течении перед мостовым переходом

Рисунок 4.8. Ручей Южный



а) исток



б) межозовое низинное болото



в) гидрометрический пост



г) слияние с ручьем Болотный



д) старый г/м пост на руч. Болотный



е) выходы родников



ж) руч. Болотный в нижнем течении



з) руч. Сорочий ниже мостового перехода

Рисунок 4.9. Ручьи Северный и Болотный

На ручье Болотный, берущем начало на камовой террасе, в 150 метрах ниже впадения ручья Северный, расположен старый гидрометрический

створ (рисунок 4.9д), аналогичный описанному выше. В 1980-х годах на нем проводились гидрологические наблюдения. Далее ручей Болотный протекает вдоль северо-восточной периферии исследуемого массива в глубоком межозовом понижении, вбирая в себя многочисленные родники (рисунок 4.9е) из правобережного высокого оза — «Ленинские горы» (длина около 1700 метров и высота 20–25 метров), отделяющего его от болота Ламмин-Суо. Выходя из района камово-озовой возвышенности с довольно бурным течением (рисунок 4.9ж), он сливается с ручьем Сорочий (рисунок 4.9з), который вытекает из озера Симагинское и является правобережным притоком реки Сестра.

Ручьи Западные. Ручьи Западный-1 и Западный-2 дренируют западную часть болотного массива Ламмин-Суо. Стекающие к окрайке болота воды попадают на примыкающий к нему заболоченный лес (рисунок 4.10а), в котором когда-то были прорыты осушительные каналы (рисунок 4.10б). Две такие каналы и перехватывают поступающий с болота сток. Выходя на более высокий участок, их сток принимают в себя подводящие каналы гидротрических сооружений Западный-1 и Западный-2 (рисунок 4.10в) с установленными на них тонкостенными водосливами с углом выреза так же 90° (рисунок 4.10г).

Далее водотоки проходят по более низкой и заболоченной местности, где осушительные каналы нередко прерываются болотистыми образованиями (рисунок 4.10д). Ниже по течению их принимает в себя заброшенная сеть магистральных канав (рисунок 4.10е). Сеть таких канав образует ручей Смолянец, который втекает в озеро Большое Симагинское, относящееся к бассейну реки Черная, впадающей в Финский залив. Длина ручьев до впадения в озеро составляет 2,7 км.

Ручей Восточный. Ручей Восточный вытекает из северо-восточной окрайки болота и впадает в болотное урочище Копеечка, состоящее из заросшего внутриболотного озера Копеечка (рисунок 4.16а) и озера № 3 (рисунок 4.15). Собственно, это даже не ручей, а протока длиной менее 50 м, пересекающая минеральный перешеек, по которой осуществляется сток болотных вод массива Ламмин-Суо в упомянутое урочище. Сток воды из урочища осуществляется инфильтрационным способом через высокий оз в ручей Болотный, принадлежащий к бассейну реки Сестра.

Ручей (рисунок 4.11) не образует на болотном массиве какой-либо ложбины концентрированного стока и вытекает непосредственно из болота. В его истоке, над расширенным (в период организации стокового поста в начале 1970-х годов) руслом на уровне 50-60 см возвышается нарастающий сфагновый торф, из которого осуществляется сток воды (рисунок 4.11а).



а) исток



б) осушительная канава



в) гидрометрический пост



г) водослив



д) заболоченное русло



е) магистральная канава

Рисунок 4.10. Ручьи Западный-1 и Западный-2



а) исток



б) место бывшего гидроствора

Рисунок 4.11. Ручей Восточный

Временные водотоки. Наиболее выраженный на местности временный водоток дренирует топяной участок юго-западной окрайки болотного массива, принадлежащей водосбору ручья Южный. Поверхностный сток по нему наблюдался лишь в периоды весенних половодий. В это время талые воды аккумулируются на обводненной окрайке болотного массива и стекают по его пониженной (топяной) части.

В последние годы, в связи с прокладкой временной лесовозной дороги, в режиме стока данного водотока произошли заметные изменения. Болотные воды в весенний период преграждаются дорогой, и площадь зоны подтопления увеличивается (рисунок 4.12а). Только при достижении уровня перелива (рисунок 4.12б) они частично разгружаются в осушительную сеть, расположенную за дорогой. В связи с этим состав болотной растительности смещается в сторону гидрофильных видов как со стороны болота, так и ниже лесовозной дороги (рисунок 4.12в, г), тем самым повышая интенсивность заболачивания на данном участке.



а) подтопление на временном водотоке



б) перелив лесовозной дороги



в) ниже дороги



г) выше дороги

Рисунок 4.12. Временный водоток

В последние годы в связи с увеличивающимся обводнением южной части болотного массива здесь образуются еще два временных малых водотока с болота в весенний период. Они расположены в 180 и 300 метрах по створу линии электропередачи со стороны правого берега ручья Южный.

Это участки, где наиболее близко к болотному массиву расположены гидро-мелиоративные каналы, способствующие перетоку воды в осушительную сеть.

В 460 метрах по коридору линии электропередачи со стороны левого берега ручья Южный протекает первый левобережный приток без названия, который впадает в ручей ниже гидрометрического створа. По результатам дешифрирования планового изображения местности без проведения наземного обследования верховья этого ручья можно ошибочно отнести к водосбору ручья Южный. Площадь его водосбора в настоящее время составляет около 10 га. Интенсивность нарастания торфяной залежи на южной периферии болотного массива более высока в силу своей большей обводненности в маловодные периоды, чем в юго-восточной части массива. Этому в некоторой степени способствовала отсыпка земляной дамбы при обустройстве в конце 1940-х годов гидрометрического поста на ручье Южный.

При дальнейшем нарастании торфяной залежи на болотном массиве водосборная площадь левого притока б/н, по всей видимости, будет увеличиваться. В нее войдет частично левобережье истока ручья Южный, часть водосборной площади ручья Восточный и участок болота со значительным по площади суходольным притоком, с которого сток в настоящее время осуществляется инфильтрационным способом (аналогично стоку из урочища Копеечка) в ручей Болотный. На рисунке 4.7 этот участок болотного массива не закрашен, так как в настоящее время он не относится ни к одному из исследуемых болотных водосборов.

4.3.2. Озера

На болотном массиве расположены два внутриболотных озера: группа озер Две Сестры (рисунок 4.6), состоящая из озер Питьевое (рисунок 4.13) и Купальное (рисунок 4.14), известное ранее под именем Муна-Ламмин, разделенных узким минеральным поднятием дна с торфяной перемычкой на поверхности и периферийного озера № 3 (рисунок 4.15), расположенного на окрайке восточной части болота. В пределах болотного массива обнаружены и четыре погребенных (покрытых сплавиной) водоема (рисунок 4.7), находящихся на разной стадии зарастания и степени заторфовывания (рисунок 4.16).

Генетически все семь водоемов представляют собой сохранившиеся до наших дней остатки озера времени раннего голоцена, располагавшегося в данной послеледниковой депрессии, мелководные участки которого позже послужили очагами первичного заболачивания. Среднемноголетние уровни воды палеоозера были примерно на 2 м (рисунок 4.24 и глава 17) ниже

современного уровня воды на озерах Две Сестры. Рассматриваемые водоемы расположены на наиболее глубоководных участках (контакт с камово-озовым поднятием) акватории палеоозера и являются первичными.

Погребенные под сплавиной озера представляют собой остаточные водные линзы с высоким содержанием взвешенной органики, иногда разделенные горизонтальным слоем торфа. Они являются продуктами зарастания и последующего заболачивания сверху, и в данном случае их местоположение можно определить по космическим снимкам (рисунки 4.23 и 4.24). Наиболее заторфованными из них являются заросшие озера Сухое и Торфяное. Следует отметить, что степень заторфованности озер определена приближенно при зондировании залежи с помощью щупа. В будущем для получения достаточно объективной этой характеристики необходимо использовать торфотборники. Практически вся их дневная поверхность занята мохово-лесным микроландшафтом (рисунок 4.16в, г). На поверхности заросших озер Копеечка и Бездонное расположены открытые мохово-травяные микроландшафты с начальными признаками формирования гряд и островков (рисунок 4.16а, б). На них еще сохраняются незаросшие окна водной поверхности, по форме представляющие собой практически идеальную окружность — «копеечку» (рисунок 4.17). Наиболее молодым по времени смыкания заболачиваемой водной поверхности является заросшее озеро Копеечка.

Схемы глубин рассматриваемых озер приведены на рисунках 4.18–4.20. Основные гидрографические характеристики озер представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Гидрографические характеристики озер

| Озеро | Площадь зеркала, м ² | Объем воды, м ³ | Глубина ср/мах, м |
|-----------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|
| Купальное | 17 900 | 66 900 | 3,7/10,1 |
| Питьевое | 15 300 | 65 750 | 4,3/12,2 |
| №3 | 5 600 | 13 200 | 2,35/5,7 |

Озерные котловины зарастают с разной интенсивностью, обусловленной разным геоморфологическим их залеганием. Наиболее заторфована котловина озера Купальное (рисунок 4.22). Мощность донных отложений на наиболее глубоком озере Питьевое менее значительна. Оба этих озера заболачиваются преимущественно со стороны болотного массива. На поверхности озер имеются многочисленные фрагменты сплавин в виде плавающих торфяных островков, являющихся характерным признаком заболачивания сверху. Озеро № 3 подвержено заболачиванию в наименьшей степени (рисунок 4.21), так как практически вся его береговая кромка расположена на границе с суходолом (озом). Болото наступает лишь на узком контакте его с ныне заболоченным (погребенным) озером Копеечка.

Все водоемы приурочены к северо-западной и северо-восточной периферии, отделяющей болотный массив от камово-озового поднятия. На рисунках 4.23 и 4.24 представлены вертикальные разрезы болотного массива и урочища Копеечка, включающие в себя все семь водоемов. Наиболее обводненные горизонты заросших озер Копеечка и Бездонное представляют собой водную среду с взвешенной органикой, а заросших озер Сухое и Торфяное — сильно разжиженный торф. Условия водообмена и гидрологический режим озер Две Сестры рассмотрен в главе 17.



Рисунок 4.13. Озеро Питьевое



Рисунок 4.14. Озеро Купальное



Рисунок 4.15. Озеро № 3





а) Копеечка



б) Бездонное



в) Торфяное



г) Сухое

Рисунок 4.16. Заросшие (погребенные) озера



Рисунок 4.17. Остаточные «окна» водной поверхности встречаются на заросших озерах Копеечка и Бездонное

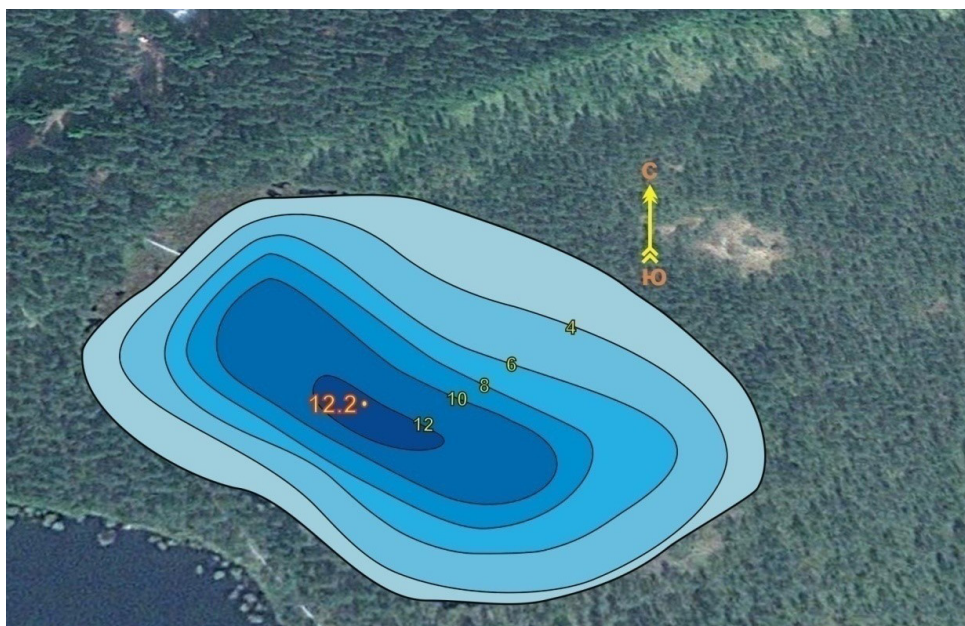


Рисунок 4.18. Батиметрическая схема озера Пит'евое, м

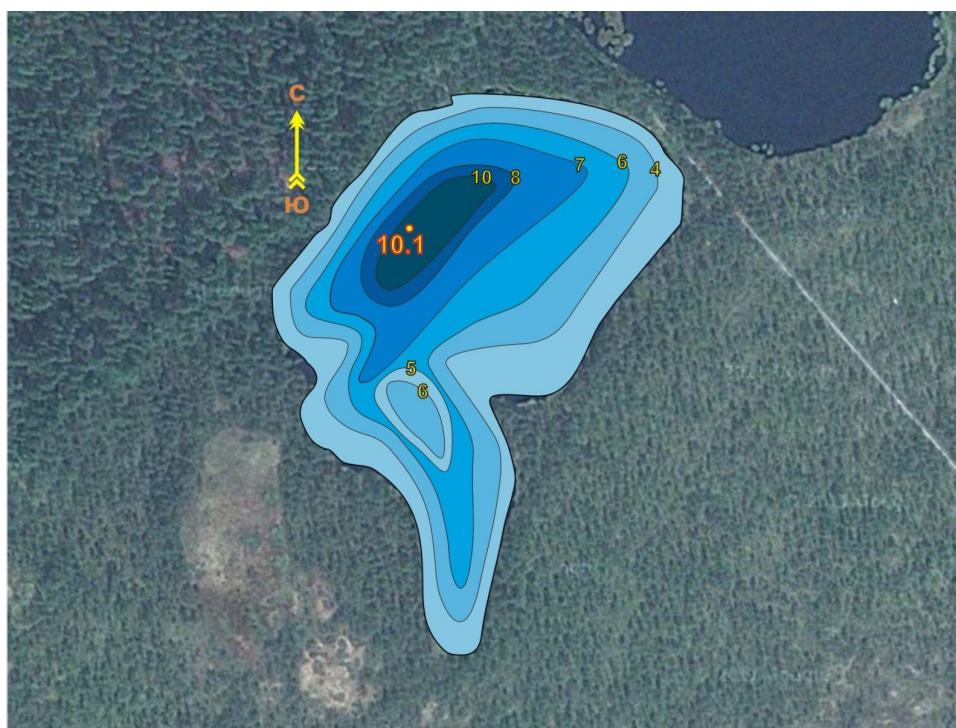


Рисунок 4.19. Батиметрическая схема озера Купальное, м

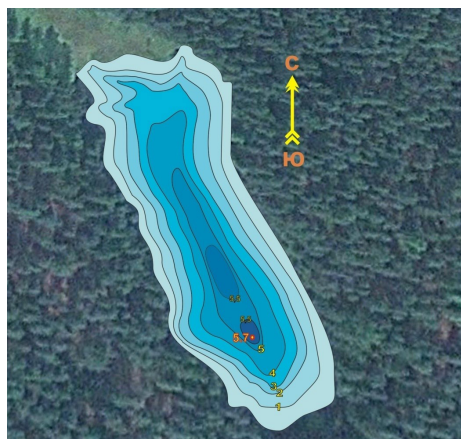


Рисунок 4.20. Батиметрическая схема озера № 3, м

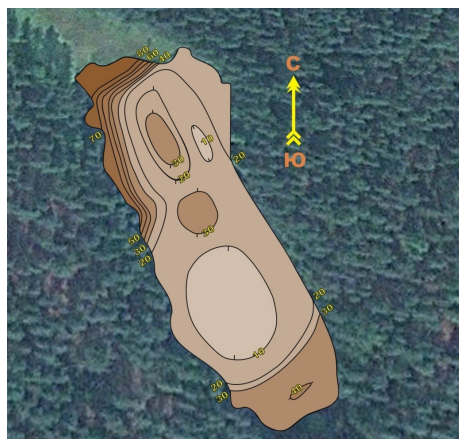


Рисунок 4.21. Мощность донных отложений озера № 3, см



Рисунок 4.22. Мощность донных отложений озера Купальное, см

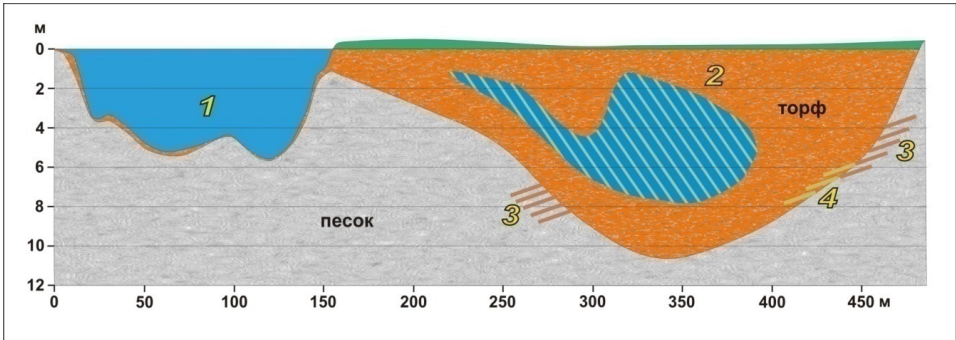
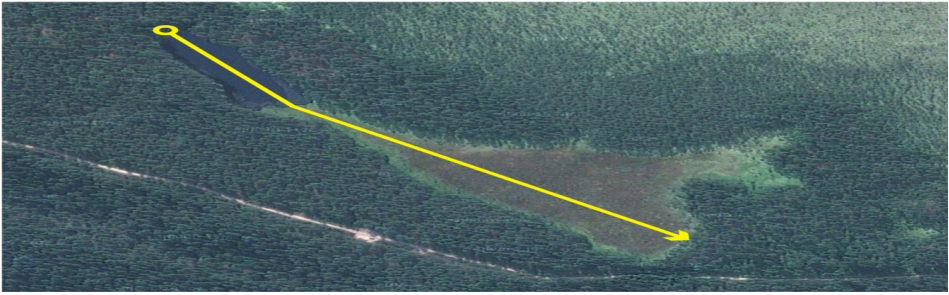


Рисунок 4.23. Профиль урочища Копеечка: 1 – озеро № 3; 2 – заросшее озеро Копеечка; 3 – орштейновая прослойка; 4 – останки древесной растительности

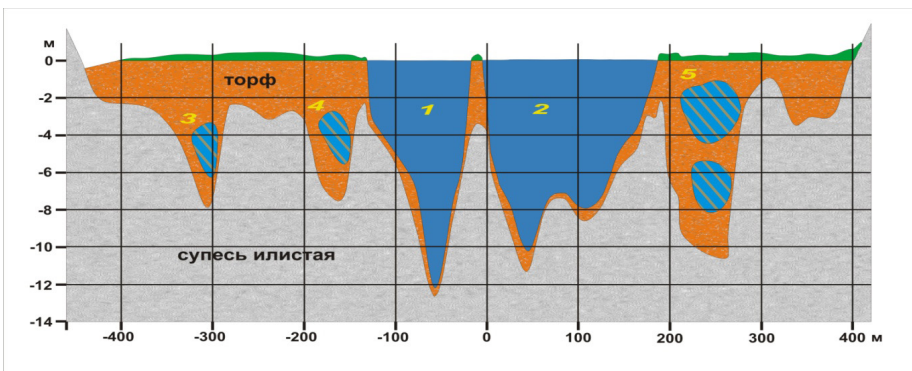


Рисунок 4.24. Профиль через озера Две Сестры (1 – Питьевое, 2 – Купальное); заросшие озера (3 – Сухое, 4 – Торфяное, 5 – Бездонное). Начальная точка отсчета расстояния – водомерный пост оз. Купальное

ГЛАВА 5

ХАРАКТЕРИСТИКА СТРОЕНИЯ БОЛОТА ЛАММИН-СУО

Болото расположено в котловине на водоразделе рек Сестра и Черная. В плане оно имеет вытянутую форму, длина его 2 км, ширина 1 км, площадь около 2 км². Это болото представляет собой простой резковыпуклый (по классификации Е. А. Галкиной [38]) болотный массив центрально-олиготрофного хода развития, генетический центр которого несколько смещен к северу. Превышение купола над окрайками болота составляет 2,5–3 м (до 4,5 м к истоку ручья Южный).

Местность, окружающая болото, характеризуется холмисто-котловинным камовым рельефом. Небольшие холмы, высотой 10–15 м, чередуются с замкнутыми впадинами, озовые гряды — с заболоченными долинами ручьев. Четвертичные отложения представлены преимущественно песками с прослойками и линзами глин, которые подстилаются докембрийскими палеозойскими породами.

Суходолы, окружающие болото, покрыты хвойными лесами с преобладанием сосны и ели. Лиственные породы (береза, осина) встречаются в виде отдельных деревьев и небольших групп. С северо-востока болотную котловину ограничивает вытянутая озовая гряда с наибольшим превышением (до 15 м) над поверхностью болота. С востока суходол более пологий, а с юга и юга-запада окружающая местность ровная со слабовыраженными повышениями.

5.1. Болотные микроландшафты и характер размещения их на массиве

В конце 1940-х годов по аэрофотоснимкам (1947 г.) и результатам наземного обследования болота Ламмин-Суо Е. А. Романовой были составлены типологическая карта массива и карта сетки линий стеканий болотных вод (рисунки 3.3 и 3.4). Одновременно выполнено детальное описание типов болотных микроландшафтов и построены стратиграфические профили массива по направлению трех водомерных створов. Эти сведения (карты, профили) включены в «Болотный Ежегодник» («Материалы наблюдений болотных станций», Выпуск 1) и являются его неотъемлемой частью.

В процессе развития болотного массива, как показали исследования, типологическая характеристика его изменяется. Чтобы следить за этими изменениями, эпизодически проводятся геоботанические обследования массива. Такие обследования в 1985, 2010 и 2014 годах были проведены Л. И. Усовой. В это же время (1982 и 2010 гг.) были использованы аэрофотосъемки болотного массива. На основе полученных материалов и результатов дешифровки аэрофотоснимков болота была уточнена типология болотного массива и составлена типологическая карта болота Ламмин-Суо по состоянию на 2014 год (рисунок 5.1). На типологических картах болота Ламмин-Суо (рисунки 3.3 и 5.1) цифровые обозначения указывают на тип болотных микроландшафтов, а цвет – на принадлежность их к той или иной группе микроландшафтов. Легенда к этим картам разработана в ГГИ [122, 214].

На территории болотного массива Ламмин-Суо выделено 17 типов болотных микроландшафтов. В 12 из них проводились наблюдения за уровнем болотных вод. Размещение водомерных скважин по микроландшафтам в разные годы наблюдений представлено в Приложении к главе (таблица П.5.1), на рисунках 3.3 и 5.1.

5.2. Описание болотных микроландшафтов болота Ламмин-Суо

Лесная группа болотных микроландшафтов распространена в основном по окрайке болотного массива и на его склоне (лесное полукольцо). Их площадь на конкретный год обследования указана в таблице 5.1. Эта группа характеризуется хорошо развитым древесным ярусом сосны *f. uliginosa* и *f. Litwinowii* и представлена следующими типами болотных микроландшафтов (рисунки 3.3 и 5.1):

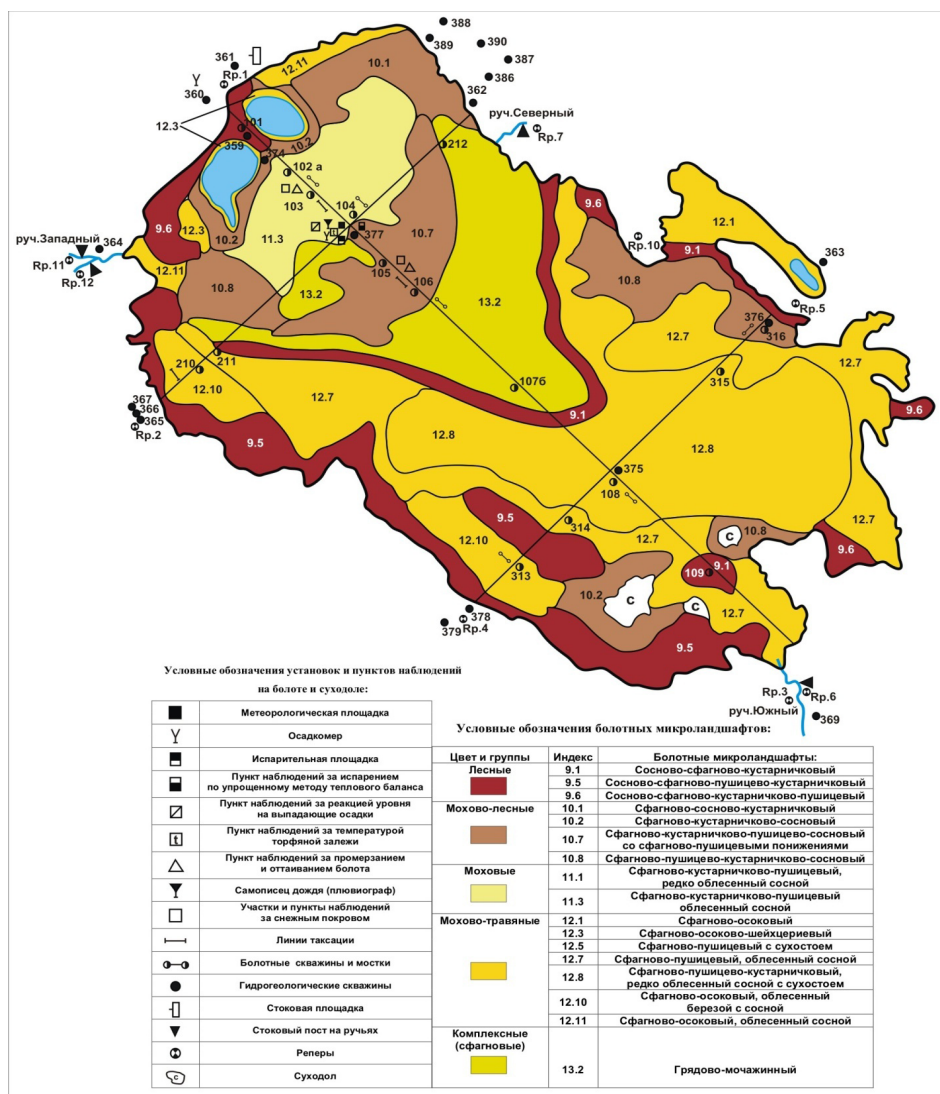


Рисунок 5.1. Типологическая карта болота Ламмин-Суо 2014 года (цвет и индекс микроландшафтов в соответствии с [122, 214])

9.1. Сосново-сфагново-кустарничковый микроландшафт (здесь и далее цифровые индексы микроландшафтов соответствуют единой легенде к построению типологических карт болот [122, 214]) образует на склоне массива лесное полукольцо (шириной 20–40 м), которое окаймляет с западной, южной и восточной стороны грядово-мочажинный комплекс (рисунок 5.1 и 5.2).

Этот микроландшафт также встречается в районе водомерной скважины 109 (рисунок 5.3). В прежние годы он был распространен только по окрайке болота (рисунок 3.3), в настоящее время занимает небольшую площадь болота (3 %).

Таблица 5.1. Площади групп и типов болотных микроландшафтов в разные годы (% от площади болота)

| Группа и тип болотного микроландшафта | Год обследования | | |
|---|------------------|------|------|
| | 1950 | 1990 | 2014 |
| Лесные | 3 | 6 | 17 |
| Сосново-сфагново-кустарничковый | 3 | 6 | 3 |
| Сосново-сфагново-пушицево-кустарничковый | – | – | 11 |
| Сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый | – | – | 3 |
| Мохово-лесные | 23 | 26 | 19 |
| Сфагново-сосново-кустарничковый | 7 | 3 | 3 |
| Сфагново-кустарничково-сосновый | 11 | 11 | 1 |
| Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | – | 8 | 6 |
| Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 5 | 4 | 9 |
| Моховые | 27 | 9 | 7 |
| Сфагново-кустарничково-пушицевый, редко облесенный сосной | 5 | – | – |
| Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 22 | 9 | 7 |
| Мохово-травяные | 28 | 43 | 40 |
| Сфагново-осоковый | 2 | 2 | 2 |
| Сфагново-осоково-шейхцериевый | <1 | 1 | 1 |
| Сфагново-пушицевый, облесенный сосной | – | 10 | 10 |
| Сфагново-пушицевый с сухостоем | 20 | – | – |
| Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем | – | 25 | 22 |
| Сфагново-осоковый, облесенный березой с сосной | 6 | 5 | 4 |
| Сфагново-осоковый, редко облесенный сосной | – | – | 1 |
| Комплексные | | | |
| Грядово-мочажинный комплекс | 16 | 13 | 14 |

Примечание. Общая площадь болотного массива — 1,84 км². Озера занимают 2 %, а минеральные острова – 1 % площади болота.

Микрорельеф поверхности кочковатый, приствольные и моховые повышения (высотой до 30 см и диаметром основания 0,5–0,8 м) занимают до 50 % площади микроландшафта.

Древесный ярус с сомкнутостью крон 0,5–0,6 образует сосна высотой 4–5 м (отдельные деревья до 10–15 м) и диаметром стволов (на уровне мохового покрова) 5–22 см.

В травяно-кустарничковом ярусе сомкнутостью 60–80 % преобладают голубика, багульник, вереск, в меньшем количестве произрастают кассандра, брусника, морошка, местами — пушица.

Моховой покров состоит из сфагновых мхов, на кочках местами (в небольшом количестве) произрастают зеленые мхи и лишайники.



Рисунок 5.2. Сосново-сфагново-кустарничковый микроландшафт (лесное полукольцо)



Рисунок 5.3. Сосново-сфагново-кустарничковый микроландшафт (окрайка болота)

9.5. Сосново-сфагново-пушицево-кустарничковый микроландшафт, самый распространенный среди лесной группы, занимает 11% площади болота. Он встречается по окрайке болотного массива (в основном с западной стороны) и в виде островков среди мохово-травяных микроландшафтов (рисунок 5.4).

Микрорельеф представлен приствольными кочками высотой до 20 см, занимающими до 50% площади микроландшафта.

Древесный ярус (сомкнутостью 0,5) представлен сосной высотой 3–12 м и диаметром стволов 5–22 см.

Травяно-кустарничковый покров, сомкнутостью 60–80 %, состоит из пушицы и кустарничков (багульник, голубика, кассандра, черника, брусника), которые произрастают на повышениях.

Моховой покров сплошной из сфагновых мхов.



Рисунок 5.4. Сосново-сфагново-пушицево-кустарничковый микроландшафт

9.6. Сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый микроландшафт расположен на контакте с суходолом в начале водомерного створа 1 и занимает всего 3 % площади болота (рисунок 5.5). В этом микроландшафте расположена водомерная скважина 101 (рисунок 5.1).

Микрорельеф поверхности волнистый с отдельными приствольными моховыми повышениями (высотой 10–30 см), занимающими до 60 % площади этого микроландшафта.

Древесный ярус с сомкнутостью крон 0,5–0,6 состоит из сосны высотой 6–12 м, с отдельными деревьями до 15 м.

Травяно-кустарничковый ярус, сомкнутостью покрова на повышениях до 70 %, а в западинах до 30 %, представлен обильно произрастающими кустарничками (вереск, багульник, подбел, голубика, морошка, клюква) и пушицей, которая обильно произрастает на контакте с суходолом.

Моховой покров сплошной из сфагновых мхов, местами на кочках встречаются зеленые мхи.

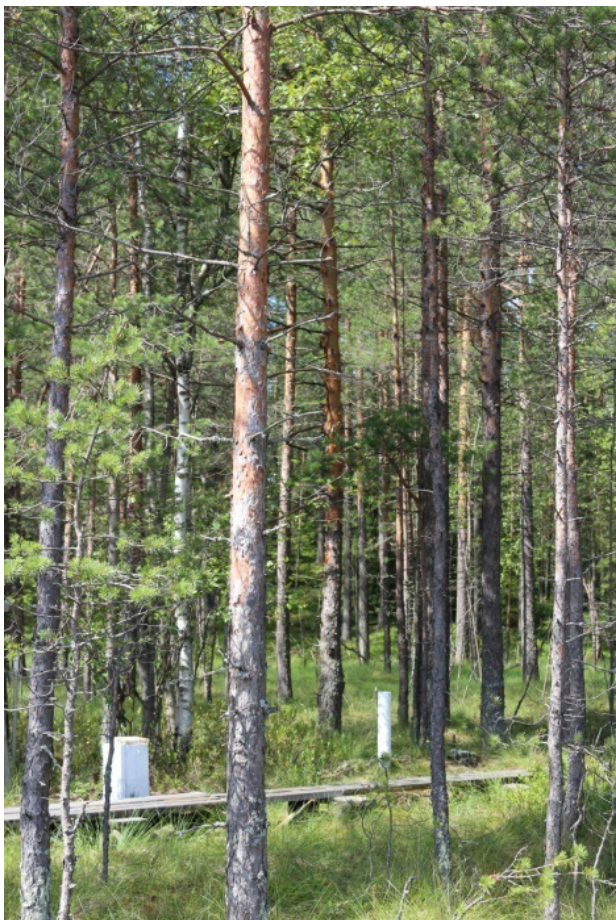


Рисунок 5.5. Сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый микроландшафт (гидрогеологическая скважина 359 и водомерная скважина 101)

Мохово-лесная группа болотных микроландшафтов довольно широко распространена на болотном массиве Ламмин-Суо и занимает до 19 % площади болота. Эти микроландшафты встречаются как на окрайке, так и в центре болотного массива. В этой группе древесный ярус менее развит, чем в лесных микроландшафтах, здесь сомкнутость крон деревьев не превышает 0.3–0,4, господствуют сосны *f. Litwinowii* и *f. Willkommii*. Эта группа представлена 4 типами микроландшафтов (рисунок 5.1):

10.1. Сфагново-сосново-кустарничковый микроландшафт занимает незначительную площадь данного массива (3 %) и в настоящее время располагается северо-восточнее оз. Купальное (рисунки 5.1 и 5.6). В 1950–1985 годах этот микроландшафт располагался в лесном полукольце и на окрайке болота (рисунок 3.3).

Микрорельеф поверхности кочковатый с нечетко выраженными приствольными повышениями, высотой до 30 см.

Древесный ярус с сомкнутостью крон деревьев 0,4 состоит из сосны высотой 2,5–5,0 м (отдельные деревья до 8 м) и диаметром стволов — 3–15 см.

Травяно-кустарничковый ярус, сомкнутостью до 80 %, представлен в основном кустарничками (голубика, морошка, багульник, вереск), местами с примесью пушицы.

Моховой покров сплошной из сфагновых мхов.

10.2. Сфагново-кустарничково-сосновый микроландшафт в начале работы станции встречался на окрайке болота (рисунок 3.3). В настоящее время он располагается в виде узкой полосы вокруг озер Две Сестры (рисунок 5.7), занимая всего 1 % площади массива.

Микрорельеф представлен моховыми повышениями, высотой до 30 см, занимающими до 50 % площади микроландшафта.



Рисунок 5.6. Сфагново-сосново-кустарничковый микроландшафт

Древесный ярус сомкнутостью крон 0,4 представлен сосной высотой 1,5–4 м (отдельные — до 6 м) и диаметром стволов — 3–12 см.

Кустарничково-травяной ярус (сомкнутостью 60–80 %) состоит из багульника, вереска, морошки, черники, клюквы, водяники, в понижениях местами произрастает пушица.

Моховой ярус сплошной из сфагновых мхов, местами на кочках — зеленые мхи.



Рисунок 5.7. Сфагново-кустарничково-сосновый микроландшафт (вокруг озер Две Сестры)

10.7. Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый микроландшафт со сфагново-пушицевыми понижениями. Этот микроландшафт окаймляет с юго-восточной стороны центральную часть болотного массива и занимает в настоящее время до 6 % площади болота. Микрорельеф поверхности кочковатый, моховые повышения (высотой 30–35 см) занимают до 40 % площади микроландшафта. Здесь широко распространены неориентированные крупные западины — понижения в виде мочажин со сфагново-пушицевой растительностью. Эти понижения занимают до 20 % площади микроландшафта (рисунок 5.8).

Древесный ярус с сомкнутостью крон 0,3–0,4 состоит из сосны, высотой до 1,5–4,0 м (отдельные — до 5 м).

В травяно-кустарничковом ярусе (сомкнутостью 80 %) господствуют кустарнички (вереск, кассандра, подбел, багульник), в понижениях и западинах — пушица (*Eriophorum vaginatum*), местами с примесью подбела.

Моховой покров сплошной и состоит из сфагновых мхов, местами с примесью зеленых мхов.



Рисунок 5.8. Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый микроландшафт со сфагново-пушицевыми понижениями

10.8. Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый микроландшафт расположен в западной и восточной части болота (рисунок 5.1) и занимает до 9 % площади болота (рисунок 5.9). Поверхность болота характеризуется кочковатым микрорельефом. Кочки приствольные и пушицевые высотой 20–40 см занимают до 40 % площади микроландшафта.

Древесный ярус с сомкнутостью крон деревьев 0,3 представлен сосной высотой 2–4 м с единичными деревьями сухостоя (высотой до 6 м).

Травяно-кустарничковый ярус (сомкнутостью покрова 50–70 %) состоит преимущественно из пушицы (*Eriophorum vaginatum*) с примесью кустарничков (вереск, кассандра, багульник, клюква, подбел) и морошки, произрастающих на кочках.

Моховой покров сплошной, представлен сфагновыми мхами.

Моховая группа микроландшафтов распространена в настоящее время в центральной части массива (рисунок 5.1), а в 1960–1970 годы встречалась на окрайке и склоне болота (рисунок 3.3). Эта группа характеризуется хорошо развитым моховым (сфагновым) и кустарничковым покровом, древесный ярус представлен сосной с сомкнутостью крон порядка 0,1–0,3 и занимала в разные годы наблюдений от 27 % (1950 г.) до 7 % (2014 г.) площади болота (таблица 5.1). Она представлена двумя типами болотных микроландшафтов:



Рисунок 5.9. Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый микроландшафт

11.1. Сфагново-кустарничково-пушицевый, редко облесенный сосной микроландшафт, исследованный Е. А. Романовой в 1950-е годы, встречался на окрайке болота в начале 1-го водомерного створа (рисунок 3.3).

Микрорельеф кочковатый, моховые повышения (высотой до 10 см и диаметром основания 0,3–0,7 м) занимают до 40 % площади этого микроландшафта.

Древесный ярус здесь очень разреженный, сомкнутостью крон порядка 0,1–0,2. Высота сосны 1–3 м, диаметр стволов 3–8 см.

Травяно-кустарничковый покров, сомкнутостью 75 %, представлен в равном соотношении кустарничками (вереск, багульник, подбел, водяника, морошка, кассандра, клюква) и пушицей (таблица П.5.2 Приложения к главе).

Моховой покров сплошной из сфагновых мхов с примесью зеленых мхов.

11.3. Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт располагается в генетическом центре болотного массива и характеризуется хорошо развитым микрорельефом поверхности, представленным моховыми повышениями (высотой 10–30 см), занимающими до 50–60 % его площади (рисунок 5.10). В этом микроландшафте находится метеорологическая площадка.

Древесный ярус представлен сосной, произрастающей неравномерно, обычно сомкнутостью крон деревьев 0,2–0,3, местами до 0,4. Высота деревьев порядка 2,5–4,0 м, отдельных — до 6 м, диаметр стволов 3–16 см.

Травяно-кустарничковый ярус (сомкнутостью 70–80 %) состоит из вереска, морошки, кассандры, подбела, багульника, водяники и пушицы.

Моховой покров сплошной и представлен сфагновыми мхами, местами встречаются зеленые мхи и лишайники (таблица П.5.2 Приложения к главе).

Мохово-травяная группа микроландшафтов широко распространена на болотном массиве, занимая 40 % площади болота. Для этой группы микроландшафтов характерны: хорошо развитый моховой и травяной покров и сильно разреженный или полностью отсутствующий древесный ярус. Эта группа представлена 7 типами болотных микроландшафтов (рисунки 3.3 и 5.1):

12.1. Сфагнуво-осоковый микроландшафт занимает незначительную площадь болота (до 2 %) вокруг 3-го озера (рисунок 5.11).

Микрорельеф поверхности болота плоский. Древесный ярус полностью отсутствует. Травяной покров состоит преимущественно из осок. Моховой покров сплошной из сфагновых мхов.

12.3. Сфагнуво-осоково-шейхцериевый микроландшафт (рисунок 5.12) расположен к западу от озера Купального, а также представлен в виде сплавины вокруг двух озер (рисунок 5.1). Поверхность этого микроландшафта плоская с отдельными приподнятыми моховыми площадками. Он занимает всего до 1 % площади болота.



Рисунок 5.10. Сфагнуво-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт (водомерная скважина 104)



Рисунок 5.11. Сфагново-осоковый микроландшафт (около озера № 3)



Рисунок 5.12. Сфагново-осоково-шейхцериевый микроландшафт (сплавина вокруг озера Питьевого)

Травяной ярус, сомкнутостью до 40 %, представлен осокой (*Carex limosa*) и шейхцерией (*Scheuchzeria palustris*), а на моховых площадках обильно произрастают клюква, росянка, подбел.

Моховой покров сплошной и представлен сфагновыми мхами.

12.5. Сфагново-пушицевый с сухостоем микроландшафт занимал довольно обширную площадь (20 %) на болотном массиве в период 1950–1960-х годов (рисунок 3.3). В настоящее время его нет, этот микроландшафт с 1970 года сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем (таблица П.5.1 Приложения к главе).

Микрорельеф поверхности болота слабо выражен и представлен отдельными моховыми кочками (высотой 10–20 см), занимающими до 10 % площади. На этих кочках произрастали кустарнички (вереск, багульник, кассандра, водяника, подбел).

Древесный ярус как таковой отсутствовал, встречались отдельные сосны высотой до 1,5 м и обильный сухостой высотой 3–4 м.

Моховой ярус, сомкнутостью 100%, из сфагновых мхов (таблицы П.5.1 и П.5.2 Приложения к главе).

12.7. Сфагново-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт (рисунок 5.13) располагается на склоне и окрайках болота, занимая до 10 % площади болотного массива (рисунок 5.1).

Микрорельеф поверхности слабо выражен и представлен отдельными моховыми кочками, высотой до 20 см и диаметром в основании 0,5–0,7 м, занимающими 20 % площади микроландшафта.

Древесный ярус относительно разрежен, сомкнутость крон деревьев не превышает 0,2. Высота сосны порядка 2,5–4,0 м, встречаются отдельные стволы сухостоя — до 4 м.

Травяно-кустарничковый ярус представлен в основном пушицей (*Eriophorum vaginatum*) с примесью кустарничков (вереск, кассандра, подбел, багульник) на кочках, а на контакте с суходолом обильно произрастает осока.

Моховой покров сплошной и состоит из сфагновых мхов.

12.8. Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем микроландшафт (рисунок 5.14) расположен южнее лесного кольца и занимает значительную часть (22 %) площади болота (рисунок 5.1).

Микрорельеф кочковатый; кочки моховые высотой 15–30 см и диаметром у основания 0,5–0,8 м занимают до 50 % площади микроландшафта.

Древесный ярус разреженный (сомкнутость крон не превышает 0,2) и представлен сосной высотой 1–4 м с отдельными деревьями до 6 м. Встречается сухостой высотой 2–4 м.



Рисунок 5.13. Сфагново-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт (окрайка болота)



Рисунок 5.14. Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем микроландшафт

В травяно-кустарничковом ярусе преобладает пушица (*Eriophorum vaginatum*) с примесью болотных кустарничков (вереск, подбел, кассандра), произрастающих обильно на кочках.

Моховой ярус сплошной и состоит из сфагновых мхов.

12.10. Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной микроландшафт (рисунок 5.15) расположен на обводненной юго-западной окрайке болота в конце второго и третьего болотных створов (рисунок 5.1). Он занимает до 4 % площади болота.

Микрорельеф поверхности слабо выражен и представлен моховыми невысокими повышениями высотой до 20 см, занимающими 20 % площади микроландшафта.

Древесный ярус, с сомкнутостью крон 0,1–0,2, представлен березой и сосной высотой до 1,5–3,0 м (отдельные деревья до 4 м).

Травяной покров состоит преимущественно из осок (*Carex lasiocarpa*, *C. rostrata*) и только в районе скважины 210 наравне с осоками произрастает вейник.

Моховой покров сплошной, состоит из сфагновых мхов.



Рисунок 5.15. Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной

12.11. Сфагново-осоковый, облесенный сосной микроландшафт (рисунок 5.1) располагается узкой полосой вдоль суходола за озером Питьево (рисунок 5.16). Он также встречается на западной окрайке болота, где

формируется ложбина стока ручья Западный (рисунок 5.17). Этот микроландшафт занимает незначительную площадь болота (1 %).

Микрорельеф слабо выраженный, представлен отдельными приствольными повышениями высотой до 30 см, на которых произрастают кустарнички (обильно голубика).

Древесный ярус с сомкнутостью крон 0,2 представлен сосной высотой 4–6 м, диаметром стволов 10–20 см, местами встречаются отдельные деревья березы.

Травяной покров — сплошная заросль осок (*Carex rostrata*).

Моховой покров из сфагновых мхов, сомкнутостью 100 %.



Рисунок 5.16. Сфагново-осоковый, облесенный сосной микроландшафт

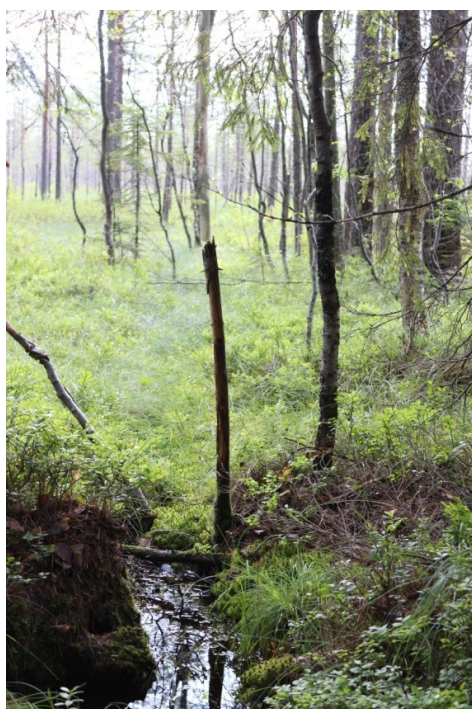


Рисунок 5.17. Ложбина стока ручья Западный в сфагново-осоковом, облесенном сосной, микроландшафте и его исток на контакте с суходолом

Комплексная группа микроландшафтов, занимающая 14 % площади болота, представлена одним типом микроландшафта (комплексом):

13.2. Грядово-мочажинный комплекс (рисунок 5.18) расположен на склоне болотного массива, располагаясь в основном перед лесным полукольцом. Этот комплекс также встречается и в центральной части болота (рисунки 3.3 и 5.1).

Гряды сфагново-кустарничково-пушицевые, облесенные сосной; мочажины сфагново-пушицево-шейхцеривые. Гряды занимают 40–50 %, мочажины — 50–60 % площади комплекса. Среднее превышение гряд над поверхностью мочагин составляет 20–30 см.

Гряды облесены сосной высотой 1–4 м. В травяно-кустарничковом ярусе гряд преобладают кустарнички (вереск, багульник, кассандра, морошка, водяника, подбел) и в небольшом количестве произрастает пушица (*Eriophorum vaginatum*).

Моховой покров сплошной и состоит из сфагновых мхов.

Мочажины не облесены. В травяном покрове господствует пушица, а на более обводненных участках – шейхцерия. Моховой покров сплошной из сфагновых мхов.



Рисунок 5.18. Рядово-мочажинный комплекс

По определениям М. С. Боч и Е. О. Кузминой, исследовавших растительность этого массива, на нем встречаются в моховом покрове следующие виды: сфагновые мхи — *Sphagnum fuscum*, *Sph. angustifolium*, *Sph. magellanicum*, *Sph. majus*, *Sph. balticum*, *Sph. rubellum*, *Sph. cuspidatum*, *Sph. tenellum*, *Sph. russowii*, *Sph. lindbergii*, *Sph. fallax*, *Sph. fimbriatum*, *Sph. girgensohnii*, *Sph. riparium* (причем первые три вида господствуют в моховом покрове). Зеленые мхи — *Aulacomnium palustre*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum strictum*, *Dicranum polysetum*, *Dicranum scoparium*. Лишайники — *Cladonia sylvatica*, *Cladonia rangiferina*. Среди трав встречаются: осоки — *Carex limosa*, *C. rostrata*, *C. lasiocarpa*, пушица — *Eriophorum vaginatum*.

Необходимо отметить, что описанные выше болотные микроландшафты характерны для всех верховых простых болотных массивов и их сложных систем на территории Северо-Запада РФ, а на болотных системах широко распространены не только грядово-мочажинные комплексы, но и грядово-мочажинно-озерковые и грядово-озерковые комплексы [189, 190].

5.3. Изменения болотных микроландшафтов болота Ламмин-Суо за период с 1950 по 2014 год

Одной из основополагающих работ в области изучения болотных ландшафтов является работа Е. А. Галкиной [38], подготовленная ею на основании многолетних исследований болотных массивов, в том числе и с использованием материалов аэрофотосъемки. В этой работе детально рассмотрены последовательность стадий развития болота, смена растительного покрова и характер напластования торфа.

Болото Ламмин-Суо, по классификации Е. А. Галкиной, относится к VI стадии развития — резковыпуклому моховику. Его типология, как уже отмечалось в начале главы, была составлена Е. А. Романовой, а фиксация ее изменений — Л. И. Усовой.

Анализ материалов геоботанических обследований и сопоставление типологических карт 1950 и 2014 годов позволяет выявить изменения, произошедшие в типологической характеристике массива за рассматриваемый период. Прежде всего, выявлено заметное изменение в увеличении степени облесенности отдельных болотных микроландшафтов. Склоны и окрайки болотного массива стали более облесены, в результате чего произошла смена болотных микроландшафтов: моховых или мохово-травяных групп на мохово-лесные и лесные группы. Это хорошо прослеживается при анализе данных таблицы П.5.1 (Приложение к главе), где указано расположение водомерных скважин по болотным микроландшафтам за весь период наблюдений (1950–2014 гг.). Следует отметить, что местоположение водомерных скважин на болоте (кроме скважин 106, 107, 109, 210) не менялось.

Так, например, в 1950 году в необлесенном сфагново-пушицевом с сухостоем микроландшафте, где была установлена скважина 108, со временем стала произрастать сосна, формироваться микрорельеф и на кочках поселяться кустарнички. Таким образом, за 20-летний период на этом участке сформировался сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем микроландшафт. Изменение растительного состава на этом участке представлено в таблице П.5.2 Приложения к главе. В районе

скважины 109 в 1950 году располагался сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый микроландшафт, который в 1970 году сменился на сфагново-сосново-кустарничковый, а к 2005 году — на сосново-сфагново-кустарничковый. В последнем соответственно увеличивались сомкнутость крон деревьев от 0,3 до 0,6 и их высота от 1–5 м до 4–12 м (таблицы П.5.1 и П.5.2 Приложения к главе).

По данным таблицы П.5.1 и типологических карт 1950 и 2014 годов (рисунки 3.3 и 5.1), на участке водомерных скважин 101 и 102 также произошла смена болотных микроландшафтов. Сфагново-кустарничково-пушицевый, редко облесенный сосной, микроландшафт на этом участке сменяется к 1975 году на сфагново-кустарничково-сосновый, а в 2005 году в районе скважины 101 уже появился сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый. Согласно таблице, здесь увеличились сомкнутость крон деревьев от 0,1–0,2 до 0,5–0,6 и высота сосны от 1–3 до 6–12 м.

В центре болотного массива сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт (скважины 103 и 104) остается неизменным за весь период наблюдений. Однако необходимо отметить, что и на этом участке также произошло увеличение древостоя, сомкнутость яруса неравномерно распределена (0,2–0,4) и высота деревьев значительно возросла от 1,0–2,5 м до 4–6 м (таблица П.5.2 Приложения к главе). Только на склоновом участке болота в районе водомерных скважин 105 и 106 увеличивается облесение (0,3–0,4), и к 1970 году этот участок относится уже к сфагново-кустарничково-пушицево-сосновому со сфагново-пушицевыми понижениями.

Мохово-лесное кольцо (сфагново-сосново-кустарничковый микроландшафт) за грядово-мочажинным комплексом к 2000 году сменяется на лесное (сосново-сфагново-кустарничковый).

В видовом составе растительности травяно-кустарничкового и мохового покрова указанных микроландшафтов изменений не наблюдалось. Только отмечалось в отдельных микроландшафтах увеличение обилия кустарничков на повышенных элементах микрорельефа.

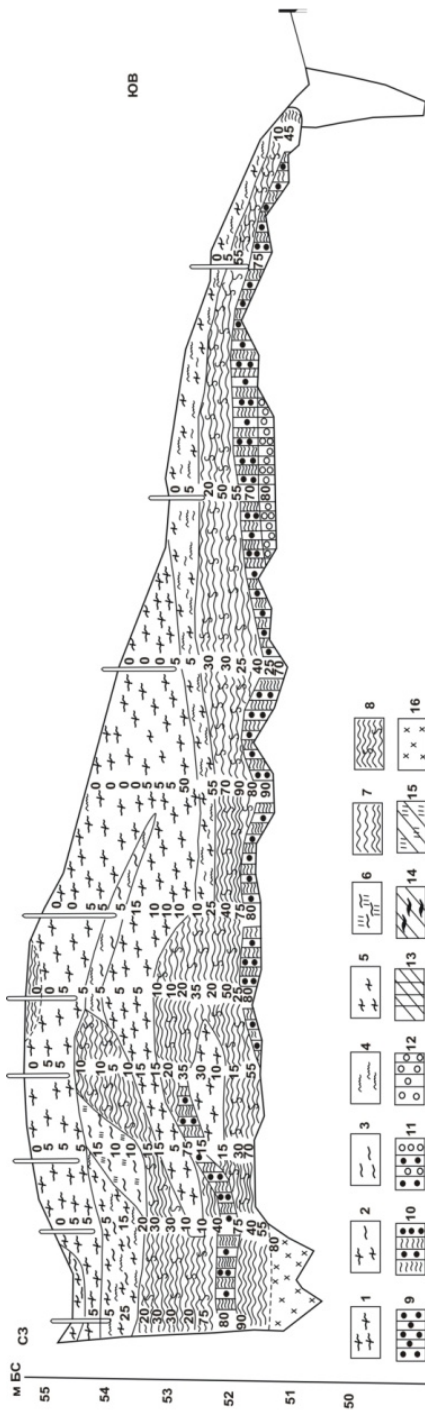
В таблице 5.1 приведены данные о площадях различных болотных микроландшафтов, определенных по типологическим картам болота Ламмин-Суо (рисунки 3.3 и 5.1). Анализ данных этой таблицы показывает на тенденцию увеличения площади микроландшафтов лесной группы и уменьшение площадей моховой. В других группах микроландшафтов (мохово-лесной, моховой и мохово-травяной) прослеживается явный прирост сосны (несколько увеличивается сомкнутость крон и высота деревьев). Это также хорошо видно при сравнении фотографий болотной метеорологической площадки 1950 и 2014 годов (рисунок 3.9а и 3.9б).

Следовательно, изменения в типологии болотного массива Ламмин-Суо, происшедшие за последние шестьдесят лет, свидетельствуют о достаточно интенсивной динамике отдельных болотных микроландшафтов, что связано, по-видимому, с антропогенным воздействием (раздел 1.2).

5.4. Торфяная залежь

Изучение торфяной залежи болотного массива Ламмин-Суо проведено при его обследовании в период открытия станции по трем профилям, проложенным вдоль водомерных створов. Стратиграфические профили торфяной залежи представлены на рисунках 5.19–5.21. Как видно из рисунков, торфяная залежь массива на 95 % сложена верховыми торфами. Наиболее распространенными из них являются фускум, пушицево-сфагновый, пушицевый и комплексный вид торфа. На их долю приходится соответственно 32, 18, 15 и 13 % запасов торфа (таблица 5.2). Сосново-пушицевый, пушицево-сфагновый и пушицевый верховые виды торфа часто залегают непосредственно на минеральном дне болота (1-й створ скважины 103–107, 109; 2-й створ скважины 212; 3-й створ скважины 315 и 316). Низинные (березовый, древесно-осоковый, осоково-сфагновый, шейхцериевый и хвоцевой) торфа, составляющие около 5 % от общих запасов торфа, встречаются только на окрайке болота в придонных слоях (1-й створ скважины 101 и 108, 2-й створ скважина 210, 211, 3-й створ скважина 313).

На долю переходных (березово-сосновый) торфов приходится менее 1 % запасов (таблица 5.2). Причем на участке расположения грядово-мочажинного комплекса (скважина 1076) строение залежи показано по данным бурения только на грядах. По данным исследований К. Е. Иванова, Г. Ф. Кузмина [69], торфяная залежь грядово-мочажинных комплексов болотных массивов и систем Северо-Западного региона и в частности болота Ламмин-Суо имеет некоторую вертикальную составляющую в своей структуре. Бурение торфяной залежи на контакте гряда – мочажина с отбором образцов торфа на видовой состав и степени разложения показало, что под мочажинами иной состав видов торфа, чем под грядами, и имеет вертикальное развитие. Глубина вертикального расчленения залежи порядка 0,50–0,75 м. Как правило, под грядами залегают фускум-торф, а под мочажинами — сильно обводненные сфагново-мочажинные верховые торфа, ниже залегают верховые пушицево-сфагновые торфа. Такое же расчленение торфяной залежи в грядово-мочажинных комплексах наблюдается на верховых болотных системах Западной Сибири [213].



| NN скважин и реперов | Расстояние от репера, м | Отметка РПМ, м БС | Глубина торфа, м |
|----------------------|-------------------------|-------------------|------------------|
| | 101 | 60 | 54,6 |
| | 102 | 74 | 54,1 |
| | 103 | 110 | 53,5 |
| | 104 | 127 | 53,0 |
| | 105 | 147 | 52,4 |
| | 106 | 203 | 51,8 |
| | 107 | 222 | 51,2 |
| | 108 | 240 | 50,6 |
| | 109 | 253 | 50,0 |
| | 110 | 288 | 49,4 |
| | 111 | 308 | 48,8 |
| | 112 | 338 | 48,2 |
| | 113 | 380 | 47,6 |
| | 114 | 503 | 47,0 |
| | 115 | 554,2 | 46,4 |
| | 116 | 560 | 45,8 |
| | 117 | 603 | 45,2 |
| | 118 | 660 | 44,6 |
| | 119 | 703 | 44,0 |
| | 120 | 753 | 43,4 |
| | 121 | 803 | 42,8 |
| | 122 | 853 | 42,2 |
| | 123 | 903 | 41,6 |
| | 124 | 953 | 41,0 |
| | 125 | 1003 | 40,4 |
| | 126 | 1076 | 39,8 |
| | 127 | 1113 | 39,2 |
| | 128 | 1153 | 38,6 |
| | 129 | 1207 | 38,0 |
| | 130 | 1253 | 37,4 |
| | 131 | 1327 | 36,8 |
| | 132 | 1360 | 36,2 |
| | 133 | 1453 | 35,6 |
| | 134 | 1503 | 35,0 |
| | 135 | 1553 | 34,4 |
| | 136 | 1603 | 33,8 |
| | 137 | 1653 | 33,2 |
| | 138 | 1703 | 32,6 |
| | 139 | 1760 | 32,0 |
| | 140 | 1813 | 31,4 |
| | 141 | 1860 | 30,8 |
| | 142 | 1898 | 30,2 |
| | 143 | 1928 | 29,6 |
| | 144 | 1958 | 29,0 |
| | 145 | 2003 | 28,4 |
| | 146 | 2030 | 27,8 |
| | 147 | 2100 | 27,2 |
| | 148 | 2151 | 26,6 |
| | 149 | 2193 | 26,0 |
| | 150 | 2203 | 25,4 |
| | 151 | 2203 | 24,8 |
| | 152 | 2203 | 24,2 |
| | 153 | 2203 | 23,6 |
| | 154 | 2203 | 23,0 |
| | 155 | 2203 | 22,4 |
| | 156 | 2203 | 21,8 |
| | 157 | 2203 | 21,2 |
| | 158 | 2203 | 20,6 |
| | 159 | 2203 | 20,0 |
| | 160 | 2203 | 19,4 |
| | 161 | 2203 | 18,8 |
| | 162 | 2203 | 18,2 |
| | 163 | 2203 | 17,6 |
| | 164 | 2203 | 17,0 |
| | 165 | 2203 | 16,4 |
| | 166 | 2203 | 15,8 |
| | 167 | 2203 | 15,2 |
| | 168 | 2203 | 14,6 |
| | 169 | 2203 | 14,0 |
| | 170 | 2203 | 13,4 |
| | 171 | 2203 | 12,8 |
| | 172 | 2203 | 12,2 |
| | 173 | 2203 | 11,6 |
| | 174 | 2203 | 11,0 |
| | 175 | 2203 | 10,4 |
| | 176 | 2203 | 9,8 |
| | 177 | 2203 | 9,2 |
| | 178 | 2203 | 8,6 |
| | 179 | 2203 | 8,0 |
| | 180 | 2203 | 7,4 |
| | 181 | 2203 | 6,8 |
| | 182 | 2203 | 6,2 |
| | 183 | 2203 | 5,6 |
| | 184 | 2203 | 5,0 |
| | 185 | 2203 | 4,4 |
| | 186 | 2203 | 3,8 |
| | 187 | 2203 | 3,2 |
| | 188 | 2203 | 2,6 |
| | 189 | 2203 | 2,0 |
| | 190 | 2203 | 1,4 |
| | 191 | 2203 | 0,8 |
| | 192 | 2203 | 0,2 |
| | 193 | 2203 | 0,0 |
| | 194 | 2203 | 0,0 |
| | 195 | 2203 | 0,0 |
| | 196 | 2203 | 0,0 |
| | 197 | 2203 | 0,0 |
| | 198 | 2203 | 0,0 |
| | 199 | 2203 | 0,0 |
| | 200 | 2203 | 0,0 |

Рисунок 5.19. Стратиграфический профиль торфяной залежи болота Ламмин-Суо по водомерному створу № 1. Условные обозначения видов торфов: верховые: 1 – фукусум, 2 – комплексный, 3 – сфагново-мочажинный, 4 – магелляникум, 5 – ангустифолиум, 6 – шейхцериево-сфагновый, 7 – пушицевый, 8 – пушицево-сфагновый, 9 – сосновый, 10 – сосново-пушицевый; переходные: 11 – березово-сосновый; низинные: 12 – березовый, 13 – древесно-осоковый, 14 – осоково-сфагновый, 15 – шейхцериевый, 16 – хвощевой

Степень разложения торфов в верхних слоях — 0–5 %, средних — 20–30 %, нижних (придонных) — 55–80 %, местами до 90 %.

Средняя мощность торфяной залежи — 1,9 м. На рисунке 5.22 показаны изолинии глубин торфа на болоте Ламмин-Суо. Эта карта получена в результате зондирования глубин торфа по 19 промерным поперечникам на болотном массиве. Максимальные глубины торфа порядка 3,8–4,3 м встречаются в районе пересечения 1-го и 2-го водомерных створов, т. е. в генетическом центре болота.

Объемный запас торфа сырца на болотном массиве составляет около 3 380 000 м³.

Подстилаются торфа в основном супесью.

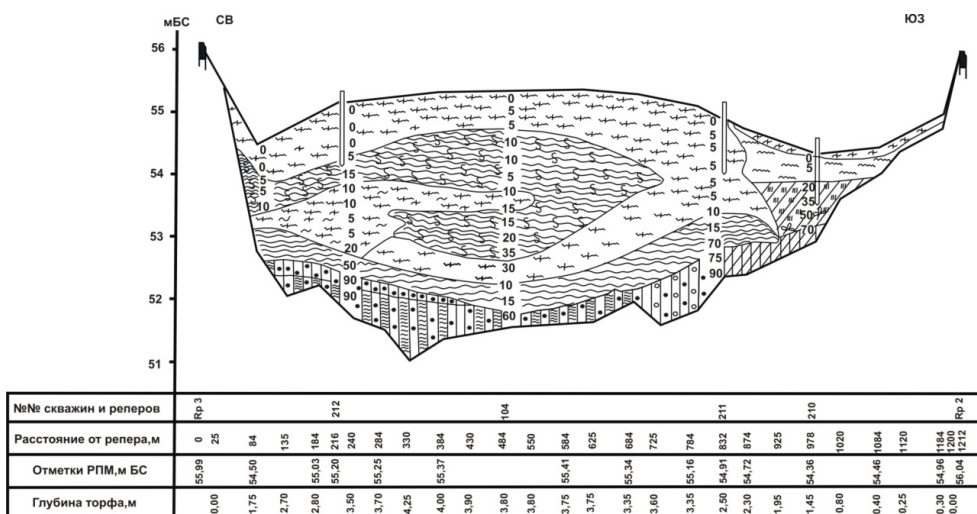


Рисунок 5.20. Стратиграфический профиль торфяной залежи болота Ламмин-Суо по водомерному створу № 2. Условные обозначения видов торфов — на рисунке 5.19

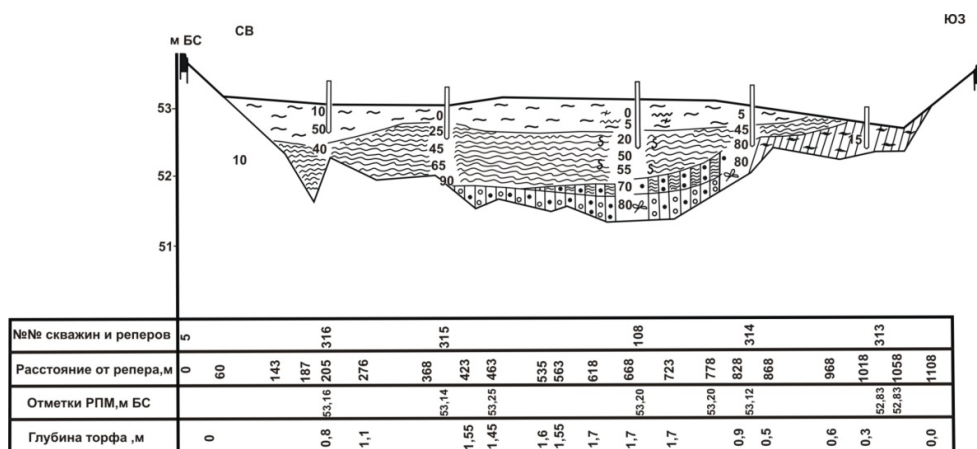


Рисунок 5.21. Стратиграфический профиль торфяной залежи болота Ламмин-Суо по водомерному створу № 3. Условные обозначения видов торфов — на рисунке 5.19

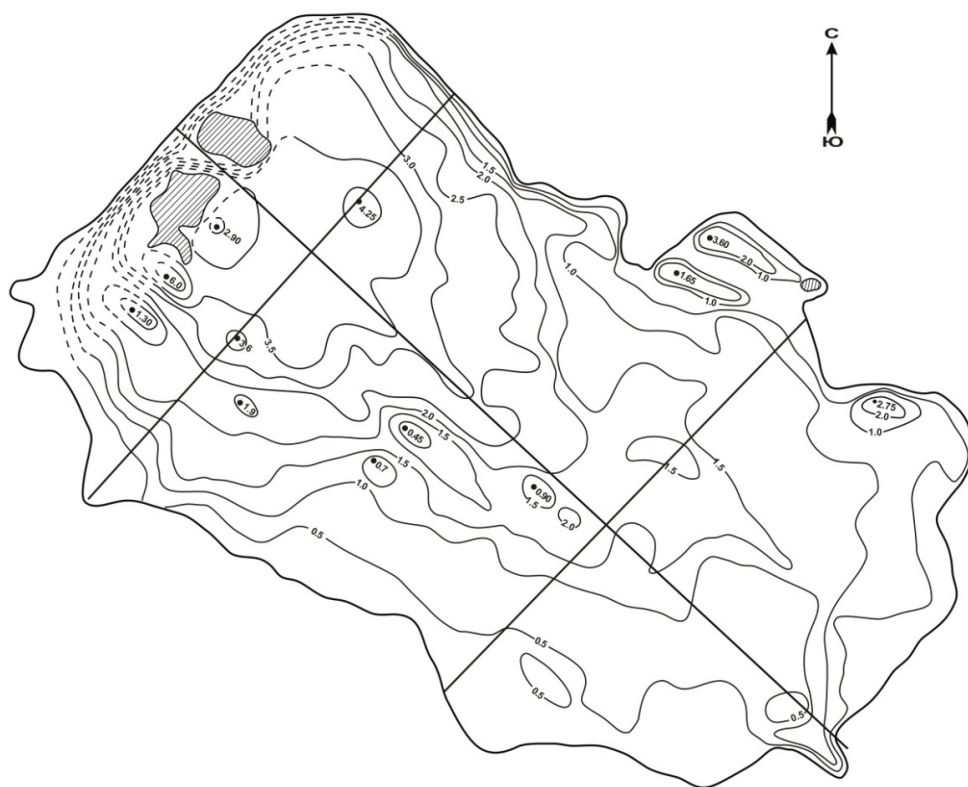


Рисунок 5.22. Карта изолиний глубин торфяной залежи на болоте Ламмин-Суо

Таблица 5.2. Процентное содержание видового состава торфяной залежи болота Ламмин-Суо

| Тип залежи | Вид торфа | Содержание, % |
|------------------------|---------------------|---------------|
| Верховой | фускум | 32 |
| | комплексный | 13 |
| | сфагново-мочажинный | 3 |
| | магеляникум | 1 |
| | ангустифолиум | 1 |
| | сосновый | 1 |
| | сосново-пушицевый | 9 |
| | пушицевый | 15 |
| | пушицево-сфагновый | 18 |
| шейхцеригово-сфагновый | 2 | |
| Переходный | березово-сосновый | <1 |
| Низинный | березовый | <1 |
| | древесно-осоковый | 1 |
| | осоково-сфагновый | 1 |
| | шейхцериговый | <1 |
| | хвощевой | 1 |

По данным, приведенным в работе [222], абсолютный возраст (по C^{14}) придонного слоя (на глубине 3,8 см) торфяной залежи болотного массива составляет 7770 ± 50 лет (таблица 5.3). Согласно этим данным, средняя скорость торфонакопления за этот период равна 0,49 мм/год, хотя в разные периоды голоцена интенсивность торфонакопления изменялась от 0,25 до 0,80 мм/год (таблица 5.4).

Таблица 5.3. Абсолютный возраст слоев торфяной залежи болота Ламмин-Суо [222]

| Слой торфяной залежи, см | Лабораторный индекс | Абсолютный возраст, календарных лет |
|--------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| 0–10 | ЛУ-3080 | 113,2±8,6 |
| 10–15 | ЛУ-3081 | 271,6±7,9 |
| 15–20 | ЛУ-3082 | 390,4±9,1 |
| 20–25 | ЛУ-3087 | 17,5±7,2 |
| 25–30 | ЛУ-3084 | 18,7±8,6 |
| 30–35 | ЛУ-3085 | -2,1±7,8 |
| 35–40 | ЛУ-3086 | -9,7±8,5 |
| 40–45 | ЛУ-3087 | 5,4±7,7 |
| 45–50 | ЛУ-3018 | 0,7±7,5 |
| 50–60 | ЛУ-3063 | 6,3±9,4 |
| 70–80 | ЛУ-3064 | 490±60 |
| 90–100 | ЛУ-3065 | 650±80 |
| 100–110 | ЛУ-3168 | 1410±50 |
| 110–120 | ЛУ-3066 | 1800±40 |
| 120–130 | ЛУ-3169 | 1940±50 |
| 150–160 | ЛУ-3068 | 1950±50 |
| 170–180 | ЛУ-3069 | 2230±70 |
| 180–190 | ЛУ-3171 | 2370±60 |
| 200–210 | ЛУ-3172 | 2800±60 |
| 210–220 | ЛУ-3071 | 2790±60 |
| 220–230 | ЛУ-3173 | 3080±50 |
| 240–250 | ЛУ-3174 | 3210±60 |
| 250–270 | ЛУ-3073 | 3780±40 |
| 260–270 | ЛУ-3175 | 5610±70 |
| 270–280 | ЛУ-3074 | 6320±50 |
| 280–290 | ЛУ-3176 | 6590±60 |
| 310–320 | ЛУ-3076 | 6860±60 |
| 330–340 | ЛУ-3077 | 7170±70 |
| 350–360 | ЛУ-3078 | 7490±90 |
| 370–380 | ЛУ-3079 | 7770±50 |

Таблица 5.4. Толщина слоя торфяной залежи и интенсивность торфонакопления на болоте Ламмин-Суо в различные периоды голоцена

| Характеристика | Периоды голоцена, календарные годы | | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Субатлантический SA (0-2500) | Суббореальный SB (2500-4700) | Атлантический 2 AT2 (4700-7000) | Атлантический 1 AT1 (7000-8000) |
| Слой торфа, см | 195 | 78 | 57 | 65 |
| Интенсивность торфонакопления, мм/год | 0,78 | 0,35 | 0,25 | 0,65 |

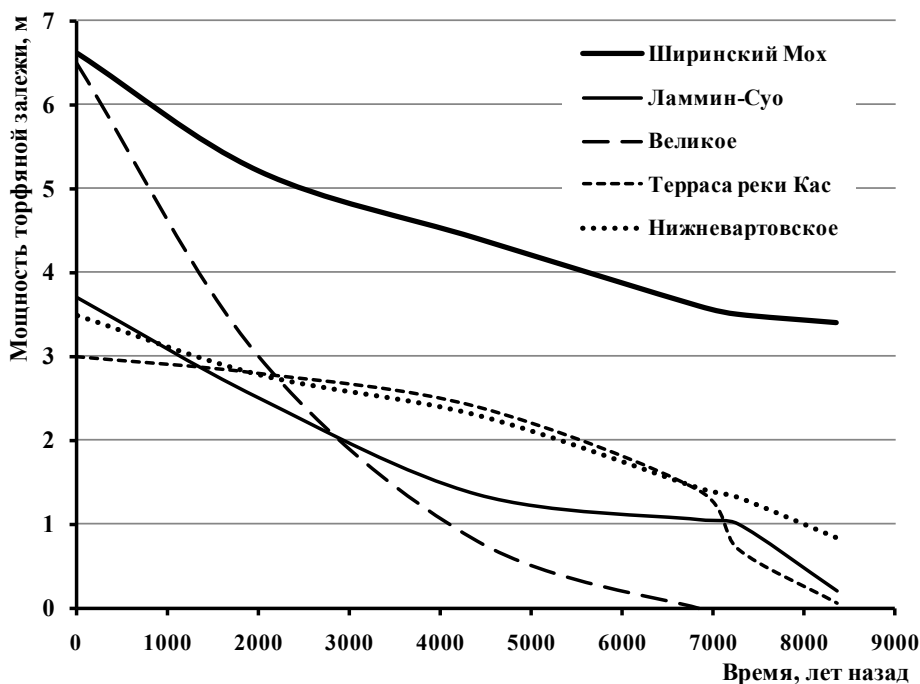


Рисунок 5.23. Сглаженные кривые хода торфонакопления на некоторых олиготрофных болотных массивах [12]

Общее представление об интенсивности торфонакопления в голоцене на верховых болотных массивах разных регионов страны, сравнительно с болотным массивом Ламмин-Суо, показано на рисунке 5.23. Совмещенные кривые приведены за период с начала образования болота Ламмин-Суо. На территории ЕТР: болото Великое находится на западе страны, в Калининградской области, Ширинский Мох (Ширинское) — на границе Ленинградской и Новгородской областей. В Западной Сибири: болото Нижневартовское — в Ханты-Мансийском автономном округе, а болото террасы реки Кас — в Томской области. Более детально сравнительный ход торфонакопления для этих регионов рассмотрен в работе [12].

ГЛАВА 6

ДЕЯТЕЛЬНЫЙ ГОРИЗОНТ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ И ЕГО ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

6.1. Строение деятельного слоя

Разделение толщи торфяной залежи болот на активный (деятельный) и инертный горизонты было предложено в пятидесятые годы прошлого века К. Е. Ивановым [57] и В. Д. Лопатиным [110] независимо друг от друга. В качестве основного критерия разделения залежи ими была принята интенсивность тепло-влагообмена в этих горизонтах. В деятельном слое происходит колебание уровней болотных вод и интенсивный процесс тепло-влагообмена, в инертном слое сохраняется постоянство содержания влаги во времени и крайне замедленный процесс тепло-влагообмена. По исследованиям К. Е. Иванова [57], расход воды, фильтрующейся через инертный горизонт, составляет менее 1 % от расхода, пропускаемого деятельным слоем. Именно этим объясняется особенный интерес гидрологов к деятельному слою при изучении гидрологического режима болот. Следует отметить, что деятельный горизонт является переходным от торфяной залежи к поверхности живого растительного мохового покрова (в моховых и мохово-лесных группах микроландшафтов) или к поверхности плотных сплетенных корневищ (в травяной, тростниковой и травяно-лесных группах микроландшафтов). За верхнюю границу деятельного слоя

принимают поверхность болота, за нижнюю — среднемноголетний минимальный уровень болотных вод. Деятельный слой практически совпадает с торфогенным слоем, т. е. слоем, в котором происходит превращение отмерших, но еще не разложившихся растительных остатков в торф. Толщина деятельного слоя, обозначаемая обычно Z_0 , является расчетной характеристикой при определении стока с болот. Многолетние наблюдения за уровнем болотных вод позволили определить толщину деятельного слоя практически для всех болотных микроландшафтов рассматриваемого массива (таблица 6.1).

Таблица 6.1. Толщина деятельного слоя микроландшафтов болота Ламмин-Суо

| Микроландшафт | Толщина слоя, см |
|---|------------------|
| Сосново-сфагново-кустарничковый | 51 |
| Сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый | 50 |
| Сфагново-сосново-кустарничковый | 45 |
| Сфагново-кустарничково-сосновый | 43 |
| Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 36 |
| Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 47 |
| Сфагново-кустарничково-пушицевый, редко облесенный сосной | 42 |
| Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 41 |
| Сфагново-пушицевый с сухостоем | 46 |
| Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной | 49 |
| Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной и сухостоем | 48 |
| Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 35 |
| Грядово-мочажинный (гряды сфагново-кустарничковые, мочажины сфагново-пушицево-шейхцериевые) | 41 (гряда) |

Строение и структура деятельного слоя торфяной залежи болот очень детально рассмотрены В. В. Романовым в его монографии [185], подготовленной на основе исследований, проведенных на болотах Ширинское и Ламмин-Суо, а также П. К. Воробьевым, изучавшим строение и водно-физические свойства этого слоя на болотах ЕТР [32] и Западной Сибири [16]. Следует отметить, что самый верхний слой от поверхности (на верховых болотах) состоит из вертикально расположенных живых стеблей мха, трав и кустарничков. Поры между стеблями растений имеют четко выраженную вертикальную ориентировку. Под этим слоем залегает слой, в котором отмершие стебли мха под давлением лежащего выше слоя живой растительности постепенно переходят в горизонтальное положение. В связи с

изменением способа укладки этот слой характеризуется большим разнообразием размеров пор. В следующем нижележащем слое отмершие и отмирающие растения и их части принимают горизонтальную ориентировку, поры становятся более однородными по размерам.

На низинных болотах с травяным покровом слой с еще не сложившейся структурой тоньше, чем на верховых, и состоит из обломков стеблей и корневищ отмерших и живых растений. В связи с этим деятельный слой травяных болот имеет резкое изменение размеров пор только в тонком поверхностном слое толщиной до 10 см, ниже пористая структура деятельного слоя изменяется мало. Необходимо отметить, что микроландшафты низинного и переходного типа встречаются на окрайках верховых болот.

Изменение способа укладки и уплотнение частиц растительных остатков в деятельном слое обуславливает интенсивный рост объемного веса абсолютно сухого вещества с глубиной. По исследованиям П. К. Воробьева [16], на верховых болотах Западной Сибири естественное уплотнение мохового очеса в деятельном слое составило в разных болотных микроландшафтах 300–480 % по отношению к объемному весу сухого растительного вещества в живом моховом покрове, что соответствует уплотнению растительного вещества в среднем на 2,5 % на каждый сантиметр глубины. На болоте Ламмин-Суо плотность деятельного слоя наиболее быстро увеличивается с глубиной на кочках сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта, в западинах сфагново-осокового, облесенного березой и сосной микроландшафта и на грядах грядово-мочажинного комплекса.

Кроме механического уплотнения (снеговая нагрузка, вес растительной массы и капиллярной влаги), на структуру материала в деятельном слое торфяной залежи оказывает влияние биохимические процессы разложения растительных остатков. В результате разложения появляются новые органические вещества, образующие сложные коллоидные комплексы.

Как известно, большинство болот имеют неровную кочковатую поверхность, в связи с чем возникают определенные проблемы при гидрологических и гидрофизических исследованиях болот. Это касается, прежде всего, «привязки» определяемых характеристик водно-теплового режима (уровень, глубина промерзания, температура торфяной залежи) и водно-физических свойств деятельного слоя (коэффициенты фильтрации и водоотдачи, плотность сухого вещества) к поверхности болота. Первоначально за нее принималась поверхность болота непосредственно у водомерной скважины, а чуть позже — средняя поверхность повышенных или пониженных (в зависимости от их соотношения) элементов микрорельефа, определяемая путем нивелировки заданного количества кочек и межкочечных западин. Выбор

повышенных и пониженных элементов микрорельефа все же был недостаточно объективен. П. К. Воробьев предложил более объективный метод определения расчетной поверхности болот и исследования горизонта формирования микрорельефа — метод линейной таксации [31].

Горизонт формирования микрорельефа — это верхняя часть деятельного слоя, где формируются элементарные формы поверхности болота: кочки, западины, гряды, мочажины и т. п. Суть метода таксации заключается в съемке профиля микрорельефа поверхности болота (измерения высот различных точек поверхности над уровнем болотных вод) и получения с помощью статистических методов ее количественных характеристик. Разработка метода проводилась на болоте Ламмин-Суо в середине 1960-х годов и болотах Западной Сибири. В начале 1970-х годов он был внедрен на сеть болотных станций [127].

Полевые данные по таксации обрабатываются и используются для построения кривых распределения высоты поверхности болота над уровнем болотных вод (рисунок 6.1). Такие кривые были получены практически для всех болотных микроландшафтов болота.

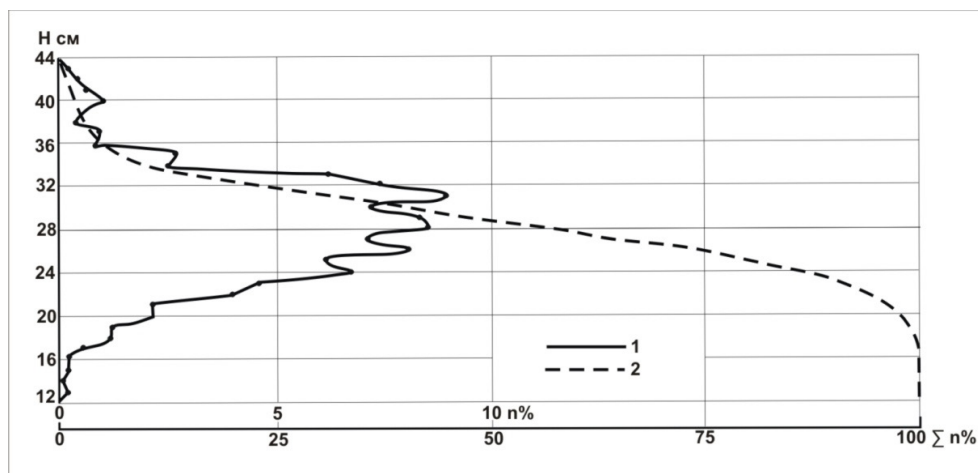


Рисунок 6.1. Кривые распределения вероятных высот поверхности болота над уровнем болотных вод в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте [31]. Болото Ламмин-Суо: 1 — дифференциальная, 2 — интегральная

Анализ кривых распределения высот поверхности болот позволяет получить весьма интересную дополнительную информацию о строении зоны формирования микрорельефа и ее количественные характеристики (таблица 6.2).

Таблица 6.2. Статистические характеристики профилей вертикального сечения горизонта развития микрорельефа различных микроландшафтов

| Микроландшафт | Амплитуда изменения ординат, Ак, см | Среднее квадратическое отклонение, S | Коэффициент вариации, Cv | Коэффициент асимметрии, Cs |
|---|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Сфагново-кустарничково-сосновый | 25 | 5,5 | 0,40 | 0,39 |
| Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 33 | 5,4 | 0,34 | 0,42 |
| Грядово-мочажинный комплекс | 36 | 7,0 | 0,45 | 0,29 |
| Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной и сухостоем | 42 | 6,4 | 0,38 | 0,54 |
| Сфагново-сосново-кустарничковый | 33 | 5,9 | 0,51 | 1,25 |
| Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 25 | 4,27 | 0,48 | 1,76 |

6.2. Водно-физические свойства деятельного слоя

6.2.1. Общие положения

Изучение водно-физических и тепловых свойств деятельного слоя связано с исследованием процессов теплообмена болот с атмосферой и прилегающими суходольными территориями. Поскольку процессы теплообмена происходят в основном в деятельном горизонте, то и рассматриваемые свойства изучаются обычно в этом слое. При исследовании процесса перемещения влаги в болотах необходимо знание водопропускной способности торфяной залежи, которая численно характеризуется коэффициентом фильтрации. Изменение влагосодержания в деятельном слое при изменении уровня болотных вод можно определить лишь в случае, если известны послойные коэффициенты водоотдачи (при снижении уровня) или коэффициенты подъема уровня (при повышении уровня). Изучение капиллярных свойств деятельного слоя позволяет не только определять содержание капиллярной влаги в зоне аэрации, но и рассчитать расход капиллярной влаги к испаряющей поверхности [185].

6.2.2. Фильтрационные свойства

Исследования фильтрационных свойств деятельного слоя торфяной залежи на болоте Ламмин-Суо велись с момента открытия Зеленогорской

болотной станции (таблица П.3.14 Приложения к главе 3). Как видно из таблицы, они продолжались до 1970 года, однако наиболее интенсивно — в 1950-е годы. Материалы, полученные в эти годы, послужили основой для глубокого познания процесса перемещения влаги в торфяной залежи и разработки уникального метода расчета стока с болот [61]. Эксперименты проводились в лаборатории на специальных фильтрационных лотках (рисунок 6.2) по методике, разработанной К. Е. Ивановым [57]. Монолиты торфа ненарушенной структуры размером 90×60×70 см отбирались на болоте в зимнее время. Поскольку естественное промерзание болота, как показали наблюдения, обычно не превышает 30–35 см, то для того чтобы отобрать монолит высотой 60–70 см, площадки для взятия монолита специально промораживались — регулярно очищались от снега. Монолит («кабан») вырубался топором и пешней, извлекался из болота с помощью ваг (рисунок 6.3), доставлялся в лабораторию станции и там обрабатывался с помощью пилы и рубанка до внутренних размеров фильтрационного лотка.

Методика проведения работ по определению коэффициентов фильтрации изложена в «Наставлении», выпуск 8 [128].

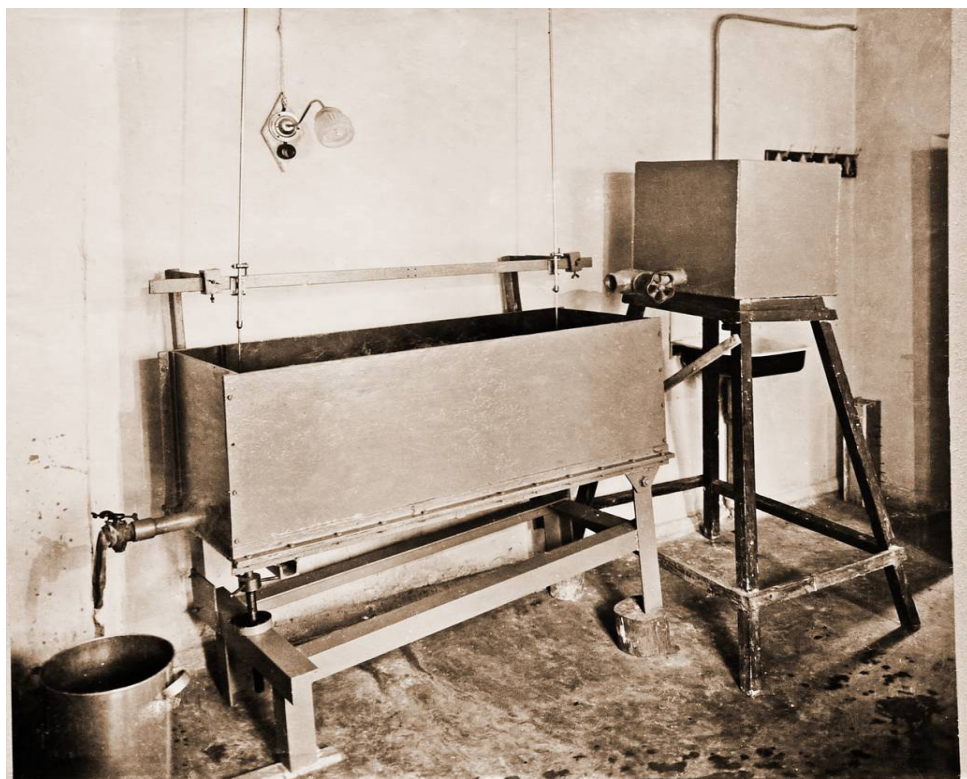


Рисунок 6.2. Фильтрационный лоток



Рисунок 6.3. Отбор монолита для изучения фильтрационных свойств

За время работы Зеленогорской болотной станции было отобрано для изучения фильтрационных свойств деятельного слоя торфяной залежи 68 монолитов торфа ненарушенной структуры. Из них: 24 — в грядово-мочажинном; 23 — в сфагново-пушицево-кустарничковом, редко облесенном сосной с сухостоем; 16 — в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной; 3 — в сфагново-осоковом, редко облесенном березой и сосной; 2 — в сфагново-сосново-кустарничковом микроландшафтах.

На рисунке 6.4 представлен один из графиков связи послойных коэффициентов фильтрации с уровнем болотных вод, приведенных в монографии К. Е. Иванова [57]. Как видно из рисунка, коэффициент фильтрации очень резко уменьшается с падением уровня, особенно в приповерхностном 10-сантиметровом слое, что обусловлено резким снижением пористости деятельного горизонта.

Результаты обобщения материалов экспериментальных исследований фильтрационных свойств деятельного слоя торфяной залежи верховых болот, проведенных на болотных станциях территории Северо-Запада, приведены в виде единичных расходов воды в Приложении к главе (таблица П.6.1).

Методика расчета стока с верховых болот с использованием фильтрационных характеристик деятельного слоя торфяной залежи изложена в работе [121].

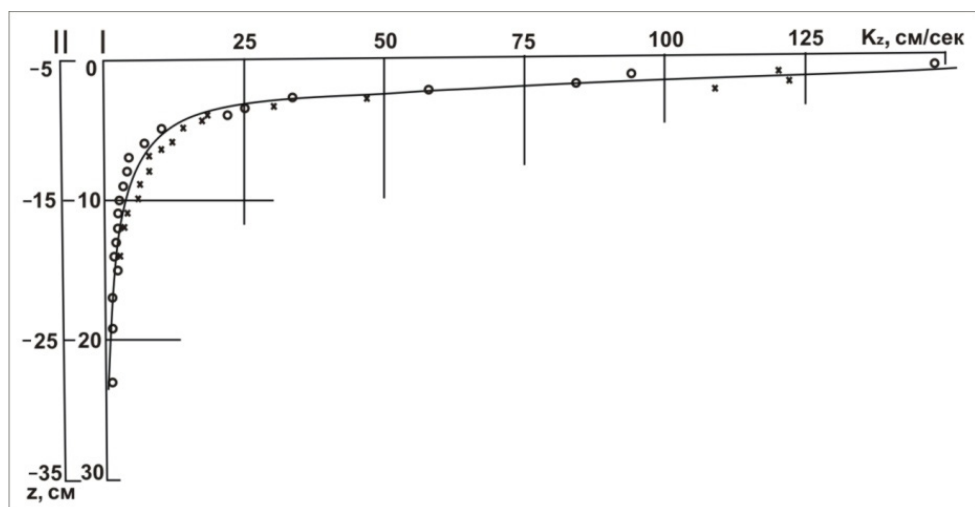


Рисунок 6.4. Кривая $k = f(z)$ для сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта (I — шкала отсчета уровней от средней поверхности монолитов; II — шкала отсчета уровней от поверхности повышений микрорельефа)

6.2.3. Водоотдача

Водоотдача — это способность грунта отдавать воду при понижении уровня грунтовых вод. Количественной характеристикой ее является коэффициент водоотдачи, определяющий слой воды в сантиметрах, который может отдать торфяная залежь при понижении уровня на 1 см. Величина послойного коэффициента водоотдачи, как и коэффициента фильтрации, резко уменьшается с глубиной, особенно в приповерхностном слое. На болоте Ламмин-Суо водоотдача деятельного слоя торфяной залежи начала изучаться практически с момента открытия болотной станции. Эксперименты проводились В. В. Романовым на мерзлых монолитах размером 10×10 см, отбираемых в различных болотных микроландшафтах. Методика отбора монолитов и проведения лабораторных работ по определению коэффициентов водоотдачи описана в «Наставлении» [127].

В 1952 году К. Е. Ивановым [62] был предложен полевой метод определения коэффициента водоотдачи. Суть его заключается в определении величины повышения уровня болотных вод и количества осадков, вызвавших это повышение. Приборы, регистрирующие осадки (плювиограф) и уровень

болотных вод (уровнемер), устанавливаются в непосредственной близости друг от друга, чтобы избежать ошибок, которые могут быть связаны с неравномерностью распределения осадков по площади. Отношение слоя осадков, выпавших за относительно короткое время (не более 4–5 часов), к величине повышения уровня и принималось за коэффициент водоотдачи. Следует отметить, что величина коэффициента водоотдачи, полученная этим методом, несколько отличается от величины, определенной методом дренирования колонн торфа. Это отличие обусловлено тем, что в первом случае коэффициент водоотдачи определяется при повышении уровня, а во втором – при его снижении. Однако разница между величинами коэффициентов, полученных этими двумя методами, весьма мала.

В конце 1960-х годов прошлого века на Зеленогорской болотной станции П. К. Воробьевым [29] начали проводиться экспериментальные работы по определению коэффициента водоотдачи методом дренирования колонн торфа. Была разработана специальная установка и методика [127] по определению послойных коэффициентов водоотдачи на крупных (площадь поперечного сечения 500 и 700 см², высота 80 и 100 см) монолитах торфа ненарушенной структуры (рисунок 6.5).



Рисунок 6.5. Установка для изучения водоотдачи торфяной залежи деятельного слоя

Процесс водоотдачи в монолитах торфа был максимально приближен к процессу водоотдачи на болоте. В результате полученные коэффициенты водоотдачи деятельного слоя оказались близкими к истинным значениям. Следует отметить, что уже в начале 1970-х годов экспериментальные работы по определению коэффициента водоотдачи методом дренирования колонн торфа были включены в программу работ болотных станций.

На рисунке 6.6 представлена зависимость послойного коэффициента водоотдачи от уровня болотных вод для сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта (центральная часть болотного массива Ламмин-Суо), построенная по данным, полученным при дренировании колонн торфа.

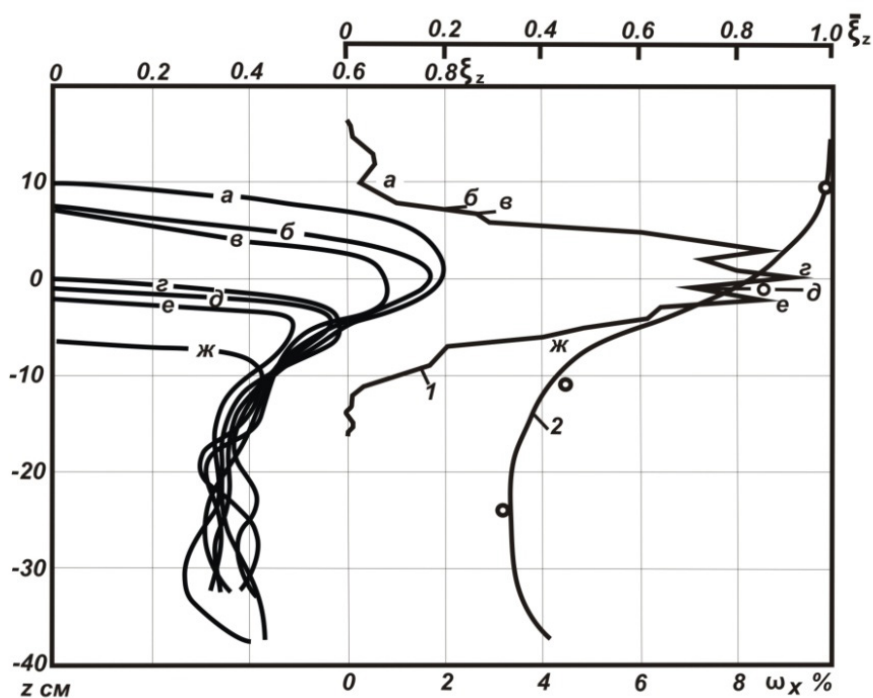


Рисунок 6.6. Экспериментальные кривые водоотдачи, полученные по методу дренирования колонн торфа: 1 — кривая распределения поверхности болота в зоне микро рельефа, 2 — средняя кривая водоотдачи [29]

Кривые водоотдачи $\xi_z = f(z)$ отдельных монолитов, так называемые частные кривые, находятся в левой части графика, а обобщенная кривая для всего микроландшафта — в правой. При наличии экспериментальных данных по дренированию колонн торфа расчет средних коэффициентов водоотдачи $\xi_{cp} = f(z)$ в любом слое деятельного горизонта торфяной залежи исследуемого болотного микроландшафта производится по формуле:

$$\xi_{\text{ср}} = (\sum \xi_z F_M / \sum F_M) F_T / 100 + F_{\text{св}} / 100, \quad (6.1)$$

где: ξ_z — значения коэффициента водоотдачи на глубине z от расчетной поверхности микроландшафта (РПМ), снятые с кривой $\xi_z = f(z)$ для отдельных монолитов; F_M — площадь микроучастков (в % от площади микроландшафта), отражаемых частными кривыми $\xi_z = f(z)$; F_T — часть площади сечения залежи на рассматриваемой глубине (в % от всей площади этого сечения), занятая торфяным материалом кочек гряд; $F_{\text{св}}$ — площадь, занятая межкочечными понижениями.

Результаты исследований водоотдачи деятельного слоя торфяной залежи болота Ламмин-Суо, проведенных П. К. Воробьевым, представлены в таблице 6.3. Значения послойных коэффициентов водоотдачи, полученные в результате обобщения материалов экспериментальных исследований, проведенных на болотных станциях Северо-Запада, приведены в таблице П.6.2 Приложения к главе. Эти данные могут быть использованы при водобалансовых расчетах, определении динамических запасов болотных вод и при моделировании гидрологических процессов на болотах.

Таблица 6.3. Значения эмпирических функций $\xi_z = f(z)$ для деятельного слоя торфяной залежи ряда микроландшафтов болота Ламмин-Суо [29]

| Уровень от РПМ z , см | Тип болотного микроландшафта | | |
|-------------------------|---|--------------------|--|
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | Сфагново-пушицевый | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной |
| | ξ_z | ξ_z | ξ_z |
| 17,5 | 1,0 | 1,0 | 0,99 |
| 12,5 | 0,99 | 0,99 | 0,98 |
| 7,5 | 0,98 | 0,98 | 0,96 |
| 2,5 | 0,87 | 0,94 | 0,93 |
| -2,5 | 0,69 | 0,82 | 0,82 |
| -7,5 | 0,50 | 0,70 | 0,68 |
| -12,5 | 0,40 | 0,62 | 0,56 |
| -17,5 | 0,35 | 0,53 | 0,47 |
| -22,5 | 0,34 | 0,46 | 0,44 |
| -27,5 | 0,34 | 0,42 | 0,42 |
| -32,5 | 0,35 | 0,40 | 0,41 |
| -37,5 | 0,42 | 0,38 | |
| -42,5 | | 0,37 | |

6.2.4. Коэффициент подъема уровня

Коэффициентом подъема уровня называется отношение величины его подъема (Δz) к слою вызвавших этот подъем осадков (h):

$$\eta_z = \Delta z / (h - h_0), \quad (6.2)$$

где h_0 — часть слоя осадков, поглощенных аккумулятивной емкостью зоны аэрации. Величина атмосферных осадков и значения уровня берутся в мм.

Коэффициент η_z показывает, на сколько миллиметров повысится уровень болотных вод при инфильтрации до него 1 мм осадков.

Величины осадков и уровня для определения коэффициента подъема получают по установке, состоящей из самописца дождя (плювиограф) и самописца уровня («Валдай»), расположенных в непосредственной близости (2–3 м) друг от друга (рисунок 6.7). Болотные микроландшафты, в которых располагались эти установки, и время их работы указаны в таблице П.3.15 Приложения к главе 3.



Рисунок 6.7. Установка для определения коэффициента подъема уровня болотных вод

Коэффициент η_z используется при расчетах уровня в период снеготаяния и выпадения дождей. Обработка полевых материалов и методика расчета коэффициентов подъема уровня изложена в «Наставлении» [128].

Значения коэффициентов подъема уровня, полученных за период работы станции, представлены в таблице П.6.3 Приложения к главе.

6.2.5. Капиллярные свойства торфяной залежи

Целью исследований этой водно-физической характеристики является получение осредненных для различных слоев зоны аэрации торфяной залежи кривых влагоемкости торфа $W_k = f(z)$, характеризующих максимальное равновесное влагосодержание в зоне аэрации при различной глубине уровня болотных вод.

Капиллярные свойства на болоте Ламмин-Суо вначале исследовались по методу высоких колонн (на монолитах торфа ненарушенной структуры размером 10×10 см). Установка, на которой проводились эти опыты, показана на рисунке 6.8. Несколько позже изучение равновесного распределения влаги в деятельном слое торфяной залежи проводилось на капилляриметрах [127–129, 185]. Конструкция капилляриметра показана на рисунке 6.9. В основу его работы положен принцип отсоса связанной воды из образца торфа ненарушенной структуры под действием отрицательного гидростатического давления.

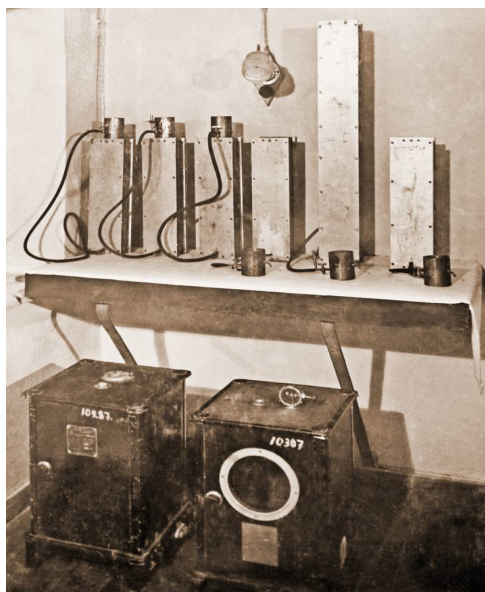


Рисунок 6.8. Установка для определения капиллярных свойств торфяной залежи деятельного слоя

Метод капилляриметров оказался весьма эффективным при исследовании рассматриваемой водно-физической характеристики и уже в 1972 году был включен в программу наблюдений болотных станций [127]. Наибольший вклад в исследование капиллярных свойств деятельного слоя торфяной залежи, и в первую очередь верховых болот, внесли В. В. Романов [175, 179, 185] и П. К. Воробьев [27, 30, 32], работая многие годы на болоте Ламмин-Суо.

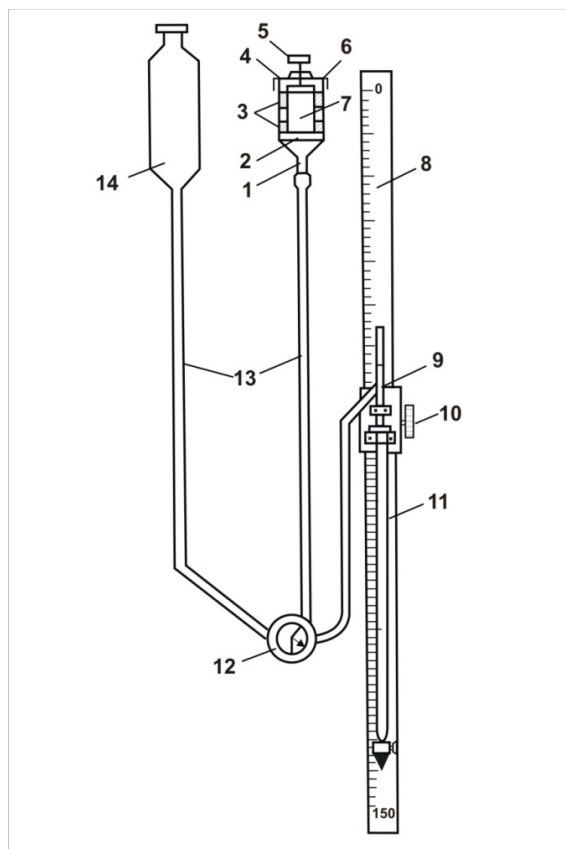


Рисунок 6.9. Капиллярметр: 1 – стеклянная воронка, 2 – пористая мембрана, 3 – свободное пространство, 4 – упорная пластинка, 5 – регулирующий винт, 6 – крышка, 7 – цилиндр, 8 – металлическая линейка длиной 150 см, 9 – водослив в виде стеклянного тройника, 10 – подвижная каретка, 11 – измерительная бюретка, 12 – трехходовой кран, 13 – резиновые соединительные шланги, 14 – делительная воронка

Некоторые результаты исследований капиллярных свойств деятельного слоя торфяной залежи болота Ламмин-Суо, полученные П. К. Воробьевым, представлены в таблице П.6.4 Приложения к главе.

На основе материалов экспериментальных исследований В. В. Романов получил зависимость капиллярной влагоемкости (W_k) в зоне аэрации от уровня болотных вод. Эта зависимость имеет вид:

$$W_k = a/h_k^m, \quad (6.3)$$

где: h — высота над свободной поверхностью воды, a и m — параметры кривой.

К сожалению, в работах Романова не приводятся обобщенных (расчетных) параметров a и m к такого рода кривым (для различных болотных

микрорландшафтов), что не позволяет широко использовать эту зависимость при расчете значений капиллярной влагоемкости.

В 1970-х годах П. К. Воробьев, изучая водно-физические свойства деятельного слоя болота Ламмин-Суо, а также верховых болот Западной Сибири, получил зависимость равновесной влажности в зоне аэрации от уровня болотных вод (или отрицательного гидростатического давления) и величины объемного веса абсолютно сухого вещества (ρ), являющегося показателем степени уплотнения органического скелета в единице объема [16, 29]. Графический вид зависимости (6.4) представлен на рисунке 6.10.

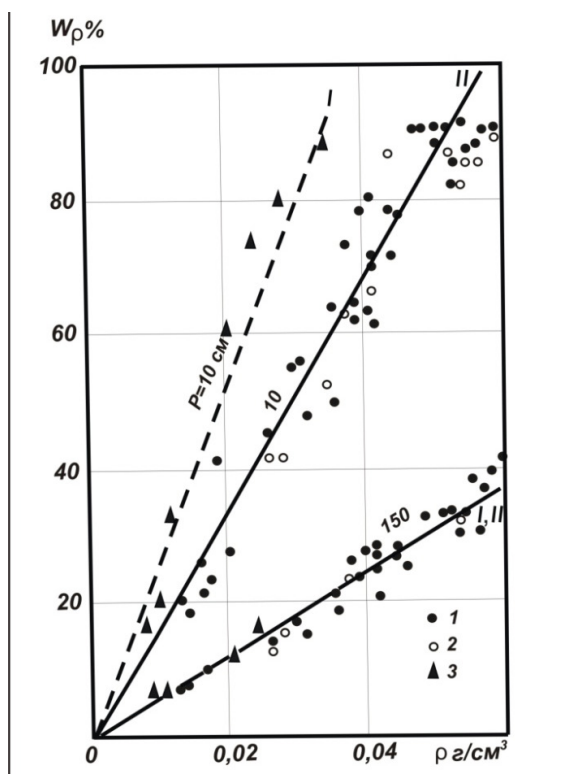


Рисунок 6.10. Графики связи $W_p=f(\rho)$ при различном отрицательном гидростатическом давлении P

Аналитическое выражение этой связи имеет следующий вид:

$$W_z = e^{-n \cdot k \cdot g \cdot z} \rho, \quad (6.4)$$

где e — основание натуральных логарифмов, z — уровень болотных вод, n и k — коэффициенты для групп видов торфа: с преобладанием *Sphagnum fuscum* и *Sph. angustifolium* $n=8,33$; $k=0,870$, а с преобладанием *Sph. balticum*, *Sph. majus* и *Sph. cuspidatum* $n=8,90$ $k=1,165$.

Для облегчения расчетов равновесной влажности в зоне аэрации деятельного слоя верховых болот по зависимости (6.4) составлены графики, представленные на рисунке 6.11.

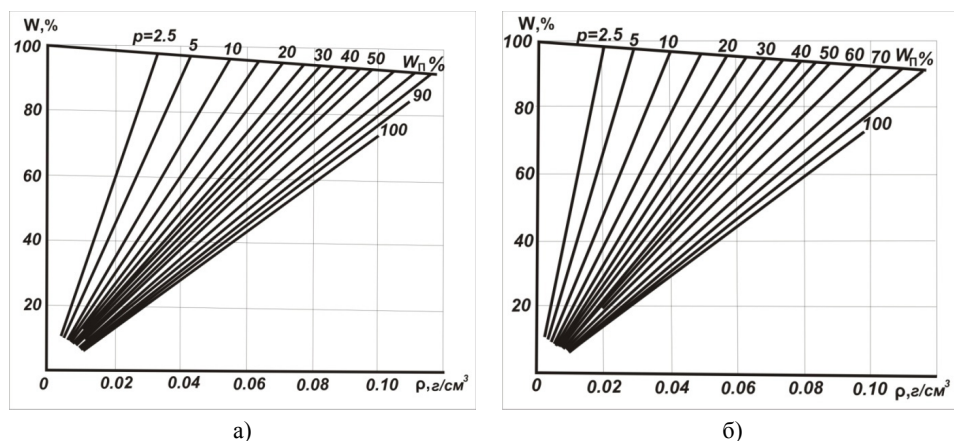


Рисунок 6.11. Универсальные графики для определения равновесной влажности в зоне аэрации деятельного слоя верховых болот: а – для сфагнового очеса и торфа с преобладанием *Sph. fuscum*, *Sph. angustifolium*; б – для мочажин и других переувлажненных участков с преобладанием *Sph. balticum*, *Sph. majus*, *Sph. cuspidatum*.

В случае необходимости приведенная зависимость может быть использована при приближенной оценке равновесного распределения влаги на болотах Северо-Запада.

Таким образом, кривая равновесного распределения влаги в зоне аэрации позволяет получить кривую распределения пор по размерам и на основе полученных результатов определить ряд водных свойств деятельного слоя и, в частности, коэффициенты фильтрации и водоотдачи, а также вычислить капиллярный расход.

6.2.6. Объемный вес сухого вещества торфяной залежи

Под плотностью (объемным весом) сухого вещества ρ понимают содержание сухого растительного и минерального вещества в единице объема образца торфяной залежи, имеющего ненарушенную структуру. Определение объемного веса сухого вещества проводилось согласно «Наставлению», выпуск 8 [128]. Эта характеристика определяет плотность сложения торфяной залежи в разных ее слоях и используется при расчетах влагосодержания в зоне аэрации деятельного слоя болот, а также при определении ее тепловых характеристик.

Плотность сухого вещества в деятельном слое верховых болот очень мала. Согласно исследованиям В. В. Романова [185], она изменяется в пределах от

0,017 до 0,076 г/см³, соответственно доля объема, занятая плотным (без пор) органическим веществом, колеблется от 0,69% до 4,9%. Как правило, плотность увеличивается с глубиной, но все же до глубины 40–50 см остается весьма малой. Следует отметить, что, несмотря на очень малое объемное содержание растительного вещества в деятельном слое болот, все водно-физические свойства последнего определяются составом и строением живых и отмерших растительных волокон.

На болоте Ламмин-Суо, согласно исследованиям В. В. Романова [185] и П. К. Воробьева [27], плотность наиболее быстро увеличивается с глубиной на кочках сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта, в западинах сфагново-пушицевых микроландшафтов, занимающих окрайки массива, и на грядах грядово-мочажинного комплекса.

Результаты определения плотности сухого вещества деятельного слоя болота Ламмин-Суо, полученные П. К. Воробьевым, представлены в таблице 6.4.

Таблица 6.4. Плотность сухого торфа деятельного слоя залежи, г/см³

| Глубина от СПБ, см | Тип болотного микроландшафта | | |
|-----------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| | сфагново-кустарничково- пушицевый | сфагново- пушицевый | грядово-мочажинный (гряда) |
| 0 | 0,023 | | |
| 2 | 0,020 | 0,012 | 0,013 |
| 4 | 0,014 | 0,012 | 0,014 |
| 6 | 0,015 | 0,013 | 0,017 |
| 8 | 0,027 | 0,013 | 0,031 |
| 10 | 0,042 | 0,014 | 0,044 |
| 12 | 0,044 | 0,014 | 0,048 |
| 14 | 0,044 | 0,015 | 0,048 |
| 16 | 0,046 | 0,016 | 0,048 |
| 18 | 0,047 | 0,020 | 0,048 |
| 20 | 0,047 | 0,025 | 0,049 |
| 22 | 0,047 | 0,029 | 0,050 |
| 24 | 0,046 | 0,031 | 0,051 |
| 26 | 0,045 | 0,033 | 0,051 |
| 28 | 0,044 | 0,035 | 0,051 |
| 30 | 0,045 | 0,037 | 0,051 |
| 32 | 0,046 | 0,038 | 0,051 |
| 34 | 0,047 | 0,040 | 0,051 |
| 36 | 0,050 | 0,040 | 0,051 |
| 38 | 0,053 | 0,040 | 0,052 |
| 40 | 0,054 | 0,040 | 0,052 |
| 42 | 0,053 | 0,039 | 0,053 |
| 44 | 0,047 | 0,038 | 0,055 |

Как видно из таблицы, плотность торфа в деятельном слое изменяется в широких пределах — от 0,012 до 0,055 г/см³, причем в верхних слоях сфагново-пушицевого микроландшафта она втрое меньше, чем в тех же слоях сфагново-кустарничково-пушицевого и грядово-мочажинного.

Следует отметить, что К. Е. Иванов в результате исследований строения и водно-физических свойств деятельного слоя показал, что каждый болотный микроландшафт обладает вполне определенной гидрологической характеристикой, складывающейся из совокупности значений: среднего уровня болотных вод (z_{cp}), толщины деятельного слоя (z_o), средней проточности (q_{cp}), коэффициента фильтрации $Kz=f(z)$, коэффициента водоотдачи $\xi_z=f(z)$, уклона поверхности (i). Наличие одной и той же гидрологической характеристики для однотипных болотных микроландшафтов, расположенных на одном или различных болотных массивах [9], свидетельствует о сходстве не только растительного покрова, но и стратиграфии торфяной залежи деятельного слоя. Последнее объясняется, как известно, тем, что торфообразователями всего деятельного горизонта или большей его части является существующая в настоящее время растительность.

Таким образом, наличие у болотного микроландшафта вполне определенной гидрологической характеристики позволило широко использовать ландшафтно-гидрологический метод при исследовании водного и теплового режима обширных заболоченных территорий, а также при гидрологическом обосновании мероприятий, связанных с освоением и охраной болот. Применение этого метода в гидрологии болот оказалось особенно эффективным в связи с внедрением и широким использованием при исследованиях материалов аэрофотосъемки [39, 149, 193, 194].

При разработке классификации болотных микроландшафтов применительно к гидрологическим исследованиям К. Е. Иванов [62] отмечал: «Нет также полной ясности в вопросе о том, какую предельную степень вариации признаков (в растительных ассоциациях и комплексах последних в соответствующих им строении и водных свойствах верхнего горизонта торфяной залежи и очесного слоя) следует относить к одному и тому же типу болотного микроландшафта и начиная с какой вариации можно выделять уже разные типы микроландшафтов». И далее: «По мере накопления новых экспериментальных данных и материалов по исследованию болот, несомненно, потребуется дальнейшее уточнение и расширение этой классификации». Несовершенство в выделении болотных микроландшафтов сохранилась до настоящего времени. Основным критерием при их определении является видовой состав растительного покрова; все остальные признаки (микрорельеф, уровень болотных вод, водно-физические свойства) практически

не используются. Попытка ввести при исследовании болот дополнительные, более объективные критерии выделения микроландшафтов — значения статистических характеристик зоны формирования микрорельефа — не увенчались успехом. Схема выделения болотных микроландшафтов осталась прежней. Наибольшие расхождения в определении болотных микроландшафтов возможны в пределах одной группы, поскольку разделение микроландшафтов в группах осуществляется достаточно субъективно по степени покрытия площади той или иной растительной ассоциацией. Оценить точно степень покрытия на больших площадях при наземных обследованиях весьма сложно. Этим и объясняются ошибки в определении типа болотного микроландшафта. Поскольку каждый болотный микроландшафт обладает вполне определенной гидрологической характеристикой, о чем говорилось выше, то ошибки в выделении микроландшафтов должны быть сведены к минимуму.

Таким образом, возникает острая необходимость в повышении объективности выделения болотных микроландшафтов. Важность этого мероприятия заключается в том, что, как показали исследования последних лет (раздел 5.3), смена болотных микроландшафтов в процессе естественного развития болотных массивов происходит относительно быстро (в течение 40-50 лет), особенно в пределах отдельных групп болотных микроландшафтов. Как показывают наблюдения [142], смена болотного микроландшафта происходит в результате изменения обилия тех или иных растений и их видового состава. Естественно, что за столь короткий период времени существенно измениться структура деятельного слоя не может, а, следовательно, не могут заметно измениться и его водно-физические свойства и гидрологическая характеристика (совокупность q, z, z_0, k_0, i)⁴. В результате этого при проведении гидрологических расчетов в условиях изменения типа болотного микроландшафта возникает вопрос, связанный с выбором водно-физических характеристик. Не ясно, для какого микроландшафта надо брать эти характеристики, для предшествовавшего или для нового, сменившего его. Данный вопрос требует неотложного экспериментального решения. Для этого необходимо на болоте Ламмин-Суо в «новых» (появившихся в результате эволюции) микроландшафтах провести определения всех водно-физических характеристик деятельного слоя торфяной залежи, используя те же методы, которые применялись раньше. Совместный анализ вновь полученных данных и ранее накопленных экспериментальных материалов позволит решить этот весьма важный вопрос не только для совершенствования методологии проведения экспериментальных исследований на болотах, но и для усовер-

⁴ q — проточность, z — среднееголетний уровень болотных вод, z_0 — толщина деятельного слоя, k_0 — средний коэффициент фильтрации.

шенствования классификации болотных микроландшафтов применительно к гидрологическим исследованиям болот. В условиях разноскоростных процессов смены растительного покрова и изменения структуры деятельного слоя следует по-новому взглянуть на проблему гидрологических исследований болот и особенно на аспекты, связанные с изучением и использованием водно-физических характеристик деятельного слоя при водно-балансовых расчетах.

ГЛАВА 7

УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ

7.1. Режим уровней болотных вод

Колебания уровней воды на болотах являются сложной функцией большого числа факторов — внешних (количество и характер распределения во времени атмосферных осадков, интенсивность испарения), связанных с климатическими условиями, и внутренних (интенсивность стока и водоотдачи), определяемых водно-физическими свойствами деятельного слоя торфяной залежи.

Положение уровня воды относительно поверхности болота характеризует степень его обводненности. Знание уровня режима болотных вод необходимо как при расчетах стока, влагозапасов и испарения с естественных (неосушенных) болот и оценке их проходимости, так и при гидрологическом обосновании проектов осушительных систем на болотных массивах.

Поскольку болотные воды залегают вблизи дневной поверхности, то их поверхность практически повторяет форму поверхности болотного массива. По этой же причине уровень болотных вод быстро реагирует на все изменения прихода и расхода влаги на болото. Приход влаги определяется условиями питания болот; для олиготрофных (верховых) массивов, к которым относится болото Ламмин-Суо, это в основном атмосферные осадки. Расход влаги с массива происходит за счет испарения, горизонтального фильтрационного

стока и инфильтрации ее в подстилающее минеральное ложе. Следует отметить, что испарение является основной расходной статьей водного баланса, доля которого в общем расходе колеблется для верховых болот от 60 до 75%.

Весной на верховых болотах талые воды обычно инфильтруются до уровня болотных вод и частично аккумулируются в зоне аэрации. В особо суровые зимы при значительном промерзании торфяной залежи возможны непродолжительные весенние периоды стекания талых вод по поверхности мерзлого слоя. В эти короткие периоды на болоте наблюдаются два уровня: уровень в промерзшем слое и уровень талых вод выше мерзлого слоя. Стеkanie талых вод происходит в основном в виде фильтрационного потока через деятельный слой торфяной залежи. Полуповерхностный сток наблюдается при высоких уровнях болотных вод, когда вода появляется в межкочечных понижениях. Такой сток имеет место в микроландшафтах мохово-травяной и комплексной групп [62].

В летний, особенно засушливый период уровни на болоте падают до нижней границы деятельного слоя. В этот период сток с болот снижается до минимума или совсем прекращается. Небольшие осадки, выпадающие в такие периоды, полностью аккумулируются в зоне аэрации, не образуя стока.

В характере изменения уровней болотных вод в микроландшафтах болотного массива много общего, поскольку уровни на болоте, из-за близкого залегания к поверхности, колеблются синхронно (рисунок 7.1). Как видно из рисунка, в колебаниях уровней на болоте прослеживается общая закономерность: повышение уровней весной в период снеготаяния; постепенное снижение после наступления весеннего максимума; летний минимум, который наблюдается обычно в июле-августе; осеннее повышение уровней, обусловленное снижением испарения с болот и осенними осадками; зимнее понижение уровней с минимумом, приходящимся на февраль-март. В зимний безоттепелый период, при отсутствии питания болотных вод осадками и расхода воды на испарение, изменение уровня воды происходит под влиянием фильтрационного стока воды через деятельный слой.

Весенний подъем уровня воды, обусловленный таянием снега, начинается на болоте обычно в первой декаде апреля, в годы с ранней весной (1968, 1973, 1974 гг.) — в третьей декаде марта. Дата наступления максимального уровня обычно приходится на период максимальной интенсивности снеготаяния, что наблюдается в апреле (таблица 1, раздел 1, Приложения «Многолетние характеристики»). Наивысшие уровни в весенний период в генетическом центре массива (скважины 103 и 104) достигают 6-8 см от СПБ⁵.

⁵ Средняя поверхность болота, определяемая методом линейной таксации или микронивелировки микрорельефа поверхности болота. За СПБ принимается поверхность, соответствующая отметке средней высоты элементов микрорельефа.

В летний период колебания уровней болотных вод зависят главным образом от количества выпадающих осадков и их распределения во времени и в меньшей степени от интенсивности испарения с поверхности болота. Как только прекращается поступление воды от сильных дождей, уровень болотных вод начинает быстро понижаться под влиянием испарения и стока. На низшие уровни в летний период достигают -78 см от СПБ в мохово-лесной группе микроландшафтов, -63 см от СПБ в моховой и -62 см от СПБ на гряде в грядово-мочажинном комплексе. Абсолютный летний минимум на болоте, равный -79 см от СПБ, наблюдался в 1959 году на сфагново-осоковом, редко облесенном березой и сосной микроландшафте.

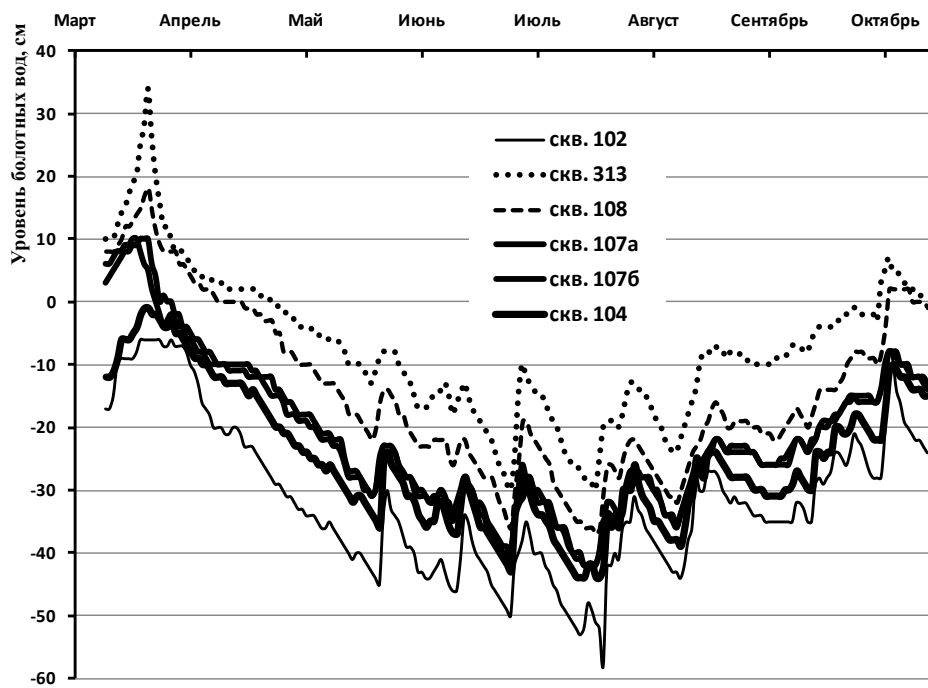


Рисунок 7.1. Хронологический график колебания уровней болотных вод в различных микроландшафтах в средний по водности 1971 год: сфагново-кустарничково-сосновый (скв. 102); сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной (скв. 313); сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем (скв. 108); грядово-мочажинный, гряда (скв. 107б) и мочажина (скв. 107а); сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной (скв. 104)

В ноябре–декабре, реже в январе, когда торфяная залежь еще не промерзла или промерзла неглубоко, на болоте наблюдаются подъемы уровня воды за счет таяния снега во время оттепелей. Подъемы эти небольшие (2–12 см), поскольку основная часть воды от таяния снега замерзает в верхних

горизонтах промерзшего слоя торфяной залежи и только небольшая ее часть, фильтруя через талые участки, достигает уровня болотных вод. В зимний период уровень воды в мохово-лесной и моховой группах микроландшафтов (сфагново-сосново-кустарничковый, сфагново-кустарничково-сосновый, сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной) снижается до 45–55 см от СПБ. В остальных микроландшафтах, кроме грядово-мочажинного комплекса, уровень опускается до 60–75 см от СПБ. Самые низкие зимние уровни наблюдались на болоте Ламмин-Суо в ноябре 1951 года и достигали в сфагново-пушицевом, облесенном сосной с сухостоем микроландшафте 75 см от СПБ.

Годовая амплитуда колебаний уровней и положение поверхности болотных вод относительно поверхности болота в разных микроландшафтах рассматриваемого массива неодинаковы (таблица 1 раздела 1 Приложения «Многолетние характеристики»). Диапазон изменения величин средних за период наблюдений амплитуд в разных микроландшафтах колеблется от 38 до 52 см, а за отдельные годы — от 24 до 65 см (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной, скважина 104) и от 17 до 81 см (сфагново-сосново-кустарничковый, скважина 109). Большой диапазон изменения годовых амплитуд (от 25 до 83 см) также в сфагново-осоковом, облесенном березой и сосной микроландшафте. Наибольшая амплитуда (80 см) отмечена в сфагново-кустарничково-пушицево-сосновом микроландшафте (окрайка массива), наименьшая (64 см) — в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенным сосной (центр массива). Наиболее низкое стояние уровней болотных вод наблюдается в микроландшафтах лесной группы (среднемноголетний уровень равен -36 см от СПБ), наиболее высокое -18 см — в микроландшафтах мохово-травяной.

По мере увеличения среднемноголетних значений уровней болотных вод (повышение обводненности) в составе растительности микроландшафтов древесная растительность вначале становится более угнетенной, далее постепенно гибнет, превращаясь в сухостой, а затем полностью исчезает. При дальнейшем повышении средних уровней уменьшается количество кустарничковой растительности, которую замещает травяная.

Согласно исследованиям К. Е. Иванова, растительность болот [67] является хорошим индикатором их водного режима. По древесной растительности, чутко реагирующей на положение уровня болотных вод, можно судить об обводненности болота [192]. Чем выше и гуще древостой на болоте, тем ниже уровни, и наоборот. Однако это положение подтверждается данными наблюдений, полученных на болоте Ламмин-Суо, только для групп болотных микроландшафтов (таблица 7.1).

Таблица 7.1. Средний многолетний годово́й уровень болотных вод в различных микроландшафтах болотного массива Ламмин-Суо

| Микроландшафт | Средний многолетний уровень от СПБ, см |
|--|--|
| Группа лесных (-36 см) | |
| Сосново-сфагново-кустарничковый | -55 |
| Сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый | -18 |
| Группа мохово-лесных (-20 см) | |
| Сфагново-сосново-кустарничковый | -30 |
| Сфагново-кустарничково-сосновый | -19 |
| Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | -15 |
| Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | -14 |
| Группа моховых (-20 см) | |
| Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | -22 |
| Сфагново-кустарничково-пушицевый, редко облесенный сосной | -18 |
| Группа мохово-травяных (-18 см) | |
| Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем | -22 |
| Сфагново-пушицевый с сухостоем | -20 |
| Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | -13 |
| Группа комплексных (-22 см) | |
| Грядово-мочажинный (гряды сфагново-кустарничковые, облесенные сосной; мочажины сфагново-пушицево-шейхцериевые) | -22 |

Так, этот уровень в микроландшафтах лесной группы в среднем равен -36 см от СПБ, в мохово-лесной — (-20) см, мохово-травяной — (-18) см, а в комплексной — (-22) см. Однако среднемноголетний уровень в группе моховых микроландшафтов (-20) см оказался равным группе мохово-лесных, что несколько нарушает выявленную К. Е. Ивановым закономерность и изменяет наше представление о соотношении значений этих уровней, о котором упоминалось выше. Для отдельных же микроландшафтов такой четкой закономерности в их разделении по величине среднемноголетнего уровня практически не прослеживается. Последнее объясняется, по-видимому, тем, что величина уровня воды в определенной мере зависит от приуроченности их к элементу рельефа болотного массива (вершина, склон).

Разделение болотных микроландшафтов по величине среднемноголетнего уровня было более четким, когда за поверхность болота принималась средняя поверхность повышенных элементов микрорельефа. В 1980-х годах за поверхность отсчета уровней принята средняя поверхность болота (СПБ), определяемая методом линейной таксации. Переход к новой поверхности отсчета уровней «снивелировал» поверхность отсчета, что и привело

к описанному выше уменьшению (сглаживанию) различий в среднемноголетних уровнях.

В многоводные годы амплитуда колебаний уровня меньше и годовой ход уровней имеет более плавный характер, чем в маловодные (рисунок 7.2).

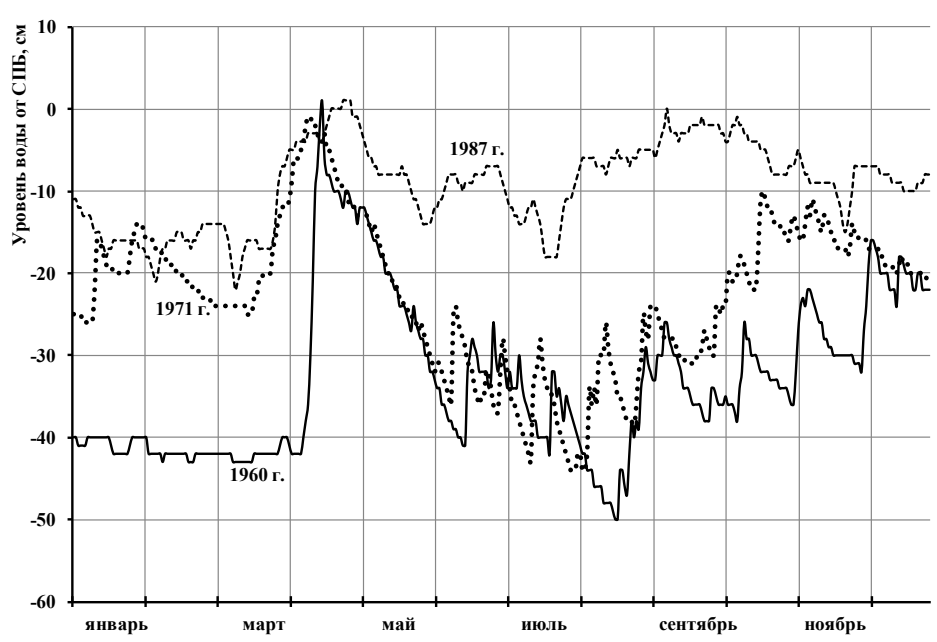


Рисунок 7.2. Ход уровня болотных вод в разные по водности годы (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт): многоводный (1987), средний (1971) и маловодный (1960)

В пределах одного болотного массива, как показали исследования, прослеживается синхронность в колебаниях уровня, однако величины его изменений в различных микроландшафтах отличаются друг от друга, что объясняется разным микрорельефом (по высоте и структуре), различной проточностью и водоотдачей деятельного слоя торфяной залежи. Наличие синхронности в колебаниях уровней воды на болоте (рисунок 7.1) позволяет получить довольно тесные связи соответственных уровней в различных болотных микроландшафтах (рисунок 7.3). Эти связи или составленные по ним таблицы соответственных уровней (таблица П.7.1 Приложение к главе) широко используются в практике гидрологических расчетов [122]. Располагая уровнями в каком-либо одном микроландшафте, по этим связям можно восстановить значения уровней во всех остальных микроландшафтах изучаемого болотного массива. Особенно большой эффект дает использование этих связей, когда гидрологические расчеты выполняются на основе данных наблюдений болотных постов, на которых измерение уровня проводится обычно в ограниченном числе (1–3) микроландшафтов.

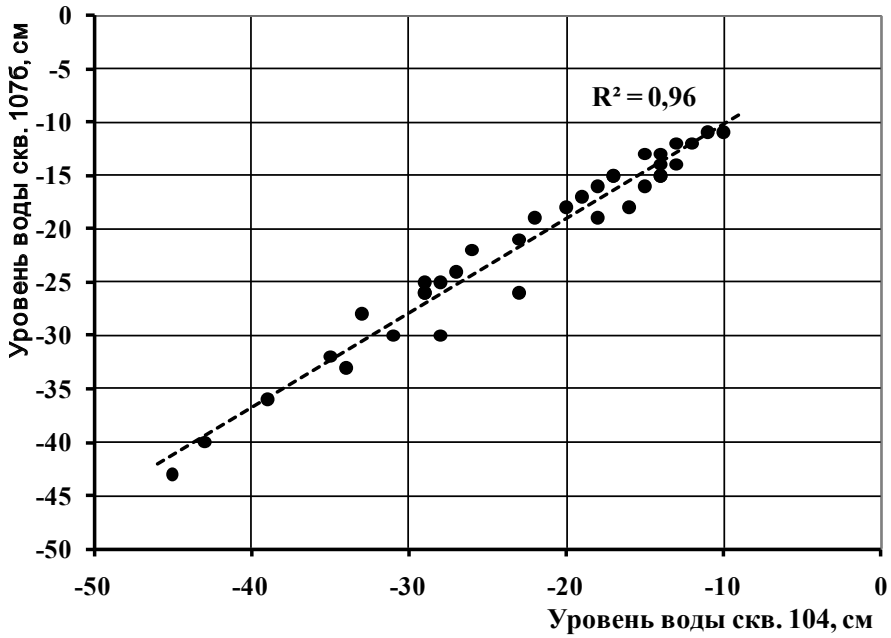


Рисунок 7.3. Связь соответственных уровней воды в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте (скважина 104) и грядово-мочажинном комплексе (скважина 1076)

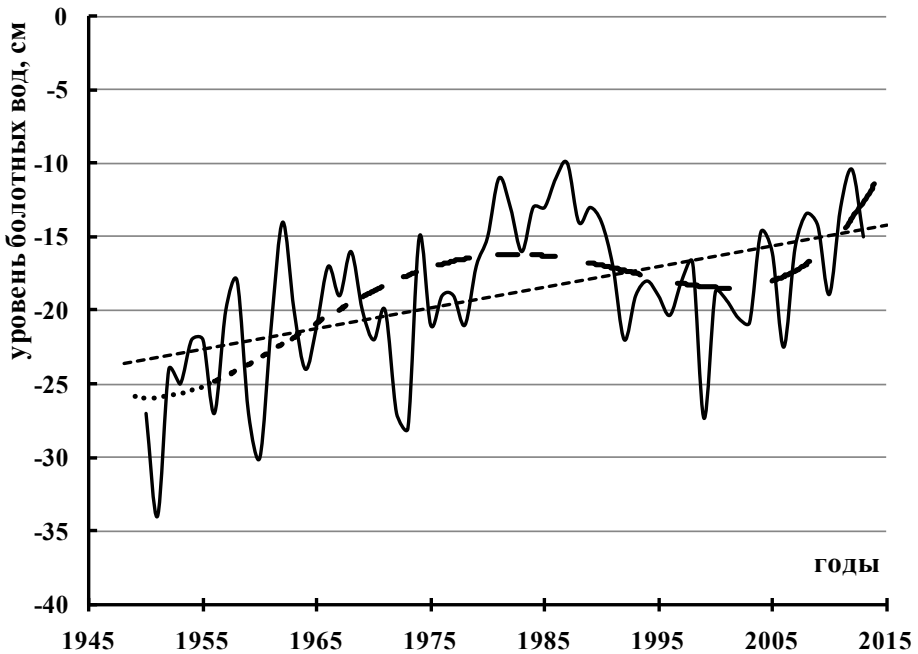


Рисунок 7.4. Изменение среднегодового уровня болотных вод (скважина 104) за период наблюдений

Значения среднемесячных уровней болотных вод и уровней на 1-е число месяца, полученные за весь период наблюдений, приведены в таблицах 2 и 3 раздела 1 Приложения «Многолетние характеристики».

Довольно длинные ряды наблюдений за уровнем болотных вод на болоте Ламмин-Суо позволяют проследить характер изменений его в многолетнем плане, а точнее, за вторую половину XX века (1950–2013 гг.). На рисунке 7.4 представлен график изменений среднегодовых уровней болотных вод за 64-летний период. Многолетний ход среднегодовых уровней представляет собой кривую, состоящую из подъемов и спадов разной величины и продолжительности при тенденции общего повышения уровня за рассматриваемый период. Эта тенденция, как показывает анализ, обусловлена, прежде всего, ростом годовых сумм осадков (рисунки 7.14 и 8.13). Самый низкий уровень (-34 см) наблюдался в 1951 году, после чего в течение 7 лет, изменяясь по величине, он постепенно повышался. В конце 1950-х – начале 1960-х годов отмечается относительно резкое изменение уровня. Подобное изменение повторилось в конце 1960-х — середине 1970-х годов. В 1980-е годы наблюдается повышение уровня, которое продолжалось до 1987 года, после чего начался его резкий спад. С 1993 года отмечено устойчивое общее повышение уровня при относительно небольших его годовых колебаниях.

7.1.1. Расчет уровней болотных вод

В конце 1950-х годов, когда ряды наблюдений за уровнем составляли порядка 10 лет, появилась реальная возможность для разработки методов их расчета по метеорологическим данным [136, 137]. Исходным материалом для этого явились данные наблюдений болотных станций и прежде всего Зеленогорской, на которой с момента ее открытия проводился более широкий комплекс наблюдений, чем на остальных станциях. В основу методики расчета уровней болотных вод был положен воднобалансовый подход. Используя уравнение водного баланса, выход на уровень болотных вод получается, если записать его в виде:

$$O - E - C + \Delta U = 0, \quad (7.1)$$

$$O - E - C = \Delta z \xi_z, \quad (7.2)$$

$$\Delta z = (O - E - C) / \xi_z, \quad (7.3)$$

где O — осадки, E — испарение, C — сток, ΔU — изменение влагозапасов за расчетный период, Δz — изменение уровня болотных вод за расчетный период, ξz — послойный коэффициент водоотдачи торфяной залежи.

При наличии начального уровня болотных вод (z_n) и возможности расчета суточных значений составляющих водного баланса болота по метеорологическим данным [138] вычисление ежедневных уровней производится по зависимости:

$$z = z_n + c/10w \sum (q_z/\xi_z) \Delta t_i - 1/10 \sum (1/\xi_z)_i \{ [s_{p.ост.} - (s_{p.ост.})_{\Delta z=0}] / 60 \}_i \Delta t_i, \quad (7.4)$$

где z — уровень на момент времени t ; c — коэффициент размерности; l — спроектированный контур площади микроландшафта; w — площадь микроландшафта; Δt — расчетный интервал; ξz — послойный коэффициент водоотдачи; $s_{p.ост.} = s_p - LO$; s_p — поглощенная радиация; L — скрытая теплота испарения; $(s_{p.ост.})_{\Delta z=0}$ представляет собой тепло, расходуемое на турбулентный теплообмен, эффективное излучение и прогревание почвы.

Методика расчета ежедневных уровней болотных вод по метеорологическим данным детально рассмотрена в работах [136–138]. Приведены примеры расчета, даны рекомендации по определению начального уровня.

Следует отметить, что в настоящее время при наличии достаточно длинных рядов наблюдений за уровнем болотных вод и их расчетных значений (таблица 4 раздела 1 Приложения «Многолетние характеристики») потребность в расчетах уровня значительно снизилась особенно для изученных в гидрологическом отношении болот. Однако при оценке уровня режима болот за период, предшествующий началу наблюдений на них, без расчета уровней по метеоданным не обойтись, принимая во внимание то обстоятельство, что метеорологические станции были открыты намного раньше гидрологических. Рассмотренная методика может быть использована в качестве основы при разработке методики расчета уровней совершенно неизученных и слабо изученных типов болот и болотных микроландшафтов, к примеру, болот Восточной Сибири и Дальнего Востока.

7.1.2. Связь уровней болотных и грунтовых вод

Характер взаимосвязи уровней болотных и грунтовых вод рассматриваемого болота исследован по материалам многолетних наблюдений пяти со вмещенных (болотная и гидрогеологическая) водомерных скважин. Как уже отмечалось в главе 3, на болоте Ламмин-Суо установлено 16 болотных и 20 гидрогеологических скважин, причем из последних только пять — на самом болоте, остальные на окружающем суходоле. В настоящее время на суходоле осталось только 8 скважин (360, 364, 365, 366, 367, 369, 378, 379).

На болоте гидрогеологические скважины установлены около водомерных болотных скважин. Таким образом, сформировано пять пар скважин: 759/101, 374/102, 377/104, 375/108 и 376/316. Параллельные наблюдения по этим скважинам позволяют определить направление возможного вертикального потока на границе торфяная залежь — минеральный грунт, а при наличии коэффициентов фильтрации разделяющего слоя — подсчитать величину этого потока. В настоящем разделе рассмотрим лишь характер возможного взаимодействия болотных и грунтовых вод верхнего горизонта в различных частях болотного массива.

На рисунках 7.5–7.9 представлен ход годовых уровней болотных и грунтовых вод по совмещенным скважинам за весь период наблюдений для различных участков болотного массива. Анализ этих графиков позволяет проследить общий характер возможной взаимосвязи уровней болотных и грунтовых вод.

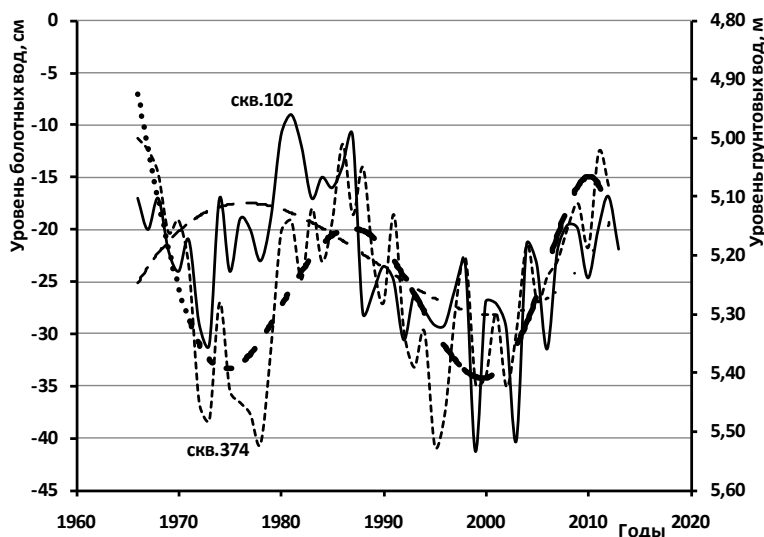


Рисунок 7.5. Совмещенный ход уровней болотных (скважина 102, с 1990 года уровни восстановлены) и грунтовых вод (скважина 374), северная часть болота

Ход уровней болотных и грунтовых вод (рисунок 7.5) в северной части болота во второй половине XX века имел в основном разнонаправленную тенденцию. Циклы колебания водности на болотной скважине по продолжительности не совпадают с циклами грунтовой скважины. Полный цикл изменения уровней болотных вод по продолжительности в два раза длиннее, чем аналогичный цикл для грунтовых вод. Если первый цикл изменения уровней грунтовых вод находился в противофазе по отношению к ходу уровней болотных вод, то во втором цикле водности годовой ход уровней болотных

и грунтовых вод показывал синхронную направленность. Данные наблюдений за последние годы позволяют предполагать, что ход изменения уровней воды для рассматриваемых горизонтов следующего цикла водности на этом участке болота будет вновь иметь разнонаправленный характер.

В то же время практически синхронная картина в колебании среднегодовых уровней болотных и грунтовых вод за весь период наблюдений прослеживается также в северной части болота, но уже ближе к окрайке болотного массива, в районе расположения совмещенных скважин 101/359 (рисунок 7.6). Эти данные подтверждают тезис о том, что наиболее тесная взаимосвязь между уровнями болотных и грунтовых вод (рисунок 7.10) наблюдается на окрайках, вблизи границ болотных массивов. В центральных частях болотных массивов для многолетнего периода такая связь практически отсутствует. Относительно низкие уровни болотных вод на данном участке в начальный период наблюдений, по-видимому, связаны с началом функционирования гидромелиоративной сети в западной части болота, куда и осуществляется основная разгрузка расположенного здесь довольно широкого лагга. Лагг – это сравнительно более обводненная узкая полоса контакта верхового болота с суходолом, которая в отдельный микроландшафт обычно не выделяется. В дальнейшем, по мере зарастания дренажной сети, уровни болотных вод на северной окрайке начинают постепенно приближаться к естественному ходу.

В генетическом центре массива (рисунок 7.7) изменения годовых уровней болотных и грунтовых вод во второй половине XX века близки к изменениям уровней первой из рассматриваемых пар совмещенных скважин (рисунок 7.5). Если в первом случае наблюдается отсутствие линейного тренда для болотных вод, то здесь прослеживается его тенденция в положительную сторону. Разница соответственных уровней болотных и грунтовых вод на участке расположения этих скважин в среднем составляет около 7 м. Взаимосвязь между ними отсутствует. Уровни грунтовых вод залегают под болотом, располагаясь в 3 метрах от его дна.

В южной части массива совмещенные скважины (болотная 108 и грунтовая 375) расположены на пересечении 1-го и 3-го водомерных створов. Ход годовых уровней болотных вод во второй половине XX века показывает тенденцию к снижению, а в начале XXI века уровни начинают возрастать (рисунок 7.8). В изменении годовых уровней грунтовых вод прослеживаются тенденции изменения и характер цикличности, аналогичные другим гидрогеологическим скважинам, расположенным в пределах болотного массива. Грунтовые воды здесь залегают близко к поверхности болота и, как следствие этого, отличаются наименьшей амплитудой их колебания. Несмотря на это, взаимосвязь с уровнями болотных вод также отсутствует.

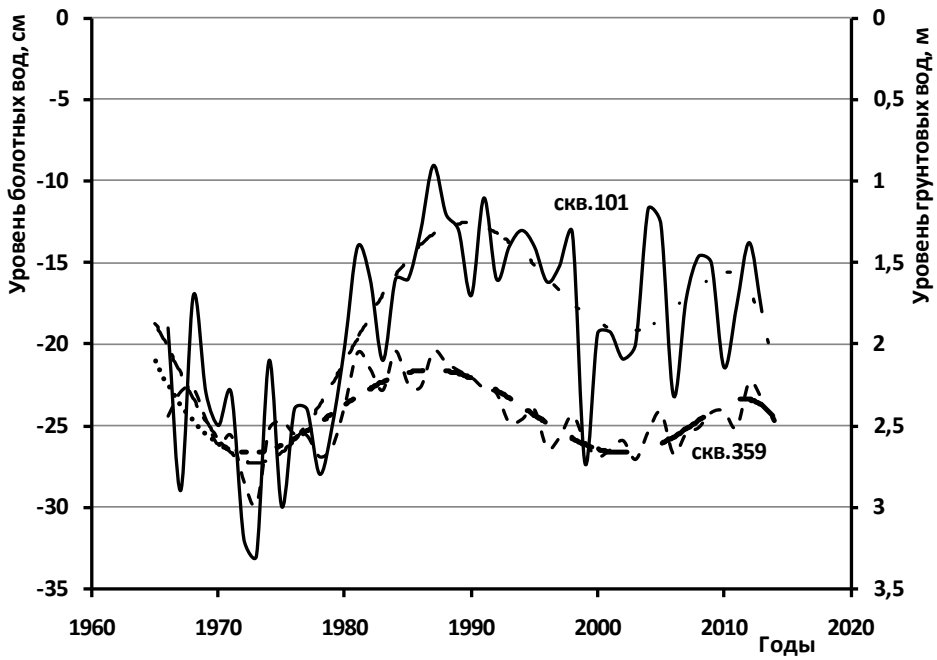


Рисунок 7.6. Ход уровней болотных (скважина 101) и грунтовых вод (скважина 359) за многолетний период. Окрайка болота в начале 1-го водомерного створа

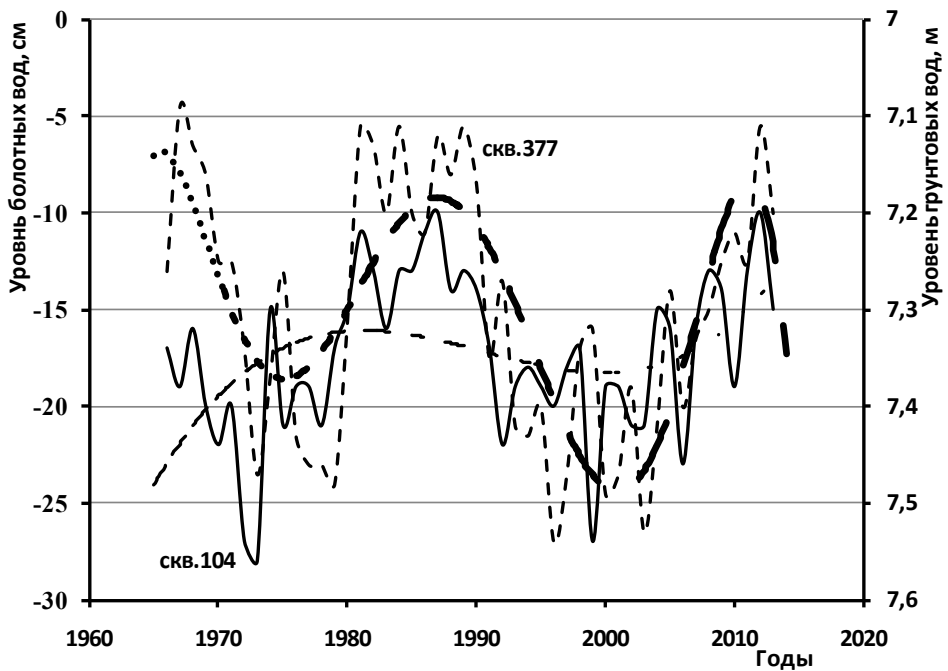


Рисунок 7.7. Ход уровней болотных (скважина 104) и грунтовых вод (скважина 377) за многолетний период. Генетический центр болота

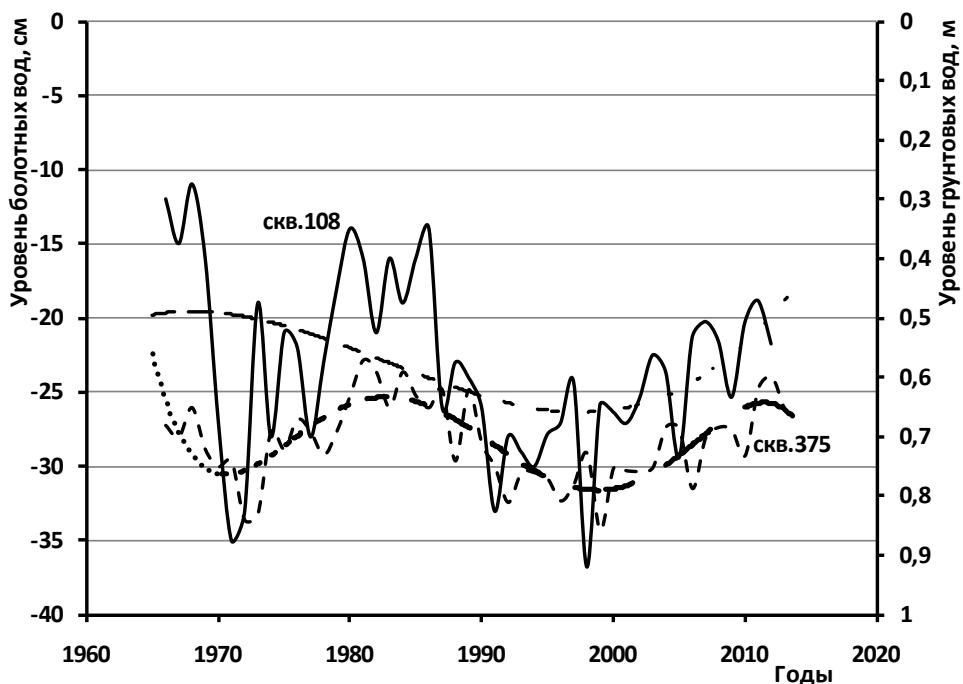


Рисунок 7.8. Ход уровней болотных (скважина 108) и грунтовых вод (скважина 375) за многолетний период. Южная часть болота

В восточной части массива возможная связь болотных и грунтовых вод прослеживается по данным наблюдений совмещенных (болотной 316 и грунтовой 376) скважин (рисунок 7.9). Как видно из этого рисунка, второй цикл повышения уровня, начавшийся примерно 15 лет назад на болоте (рисунки 7.5–7.8), на данном участке так и не наступил. Это объясняется тем, что последний период относительно повышенной влажности на этом участке проходит при более высоких уровнях воды во время весеннего половодья, чем предыдущий цикл водности. Это, по-видимому, связано с повышением высотной отметки порога слива с болотного массива ручья Восточный в его истоке. При оборудовании поста исток был расчищен, однако затем активно начал затягиваться сфагновым ковром (рисунок 4.6а). В результате большая часть весеннего стока начала разгружаться в урочище Копеечка широким фронтом через минеральный перешеек за менее продолжительные сроки (рисунок 4.2) по незакальмированной полосе расширяющегося лагга непосредственно в озеро № 3. И чем выше было половодье, тем большая доля годового стока не участвовала в установлении среднегодового уровня воды на болоте.

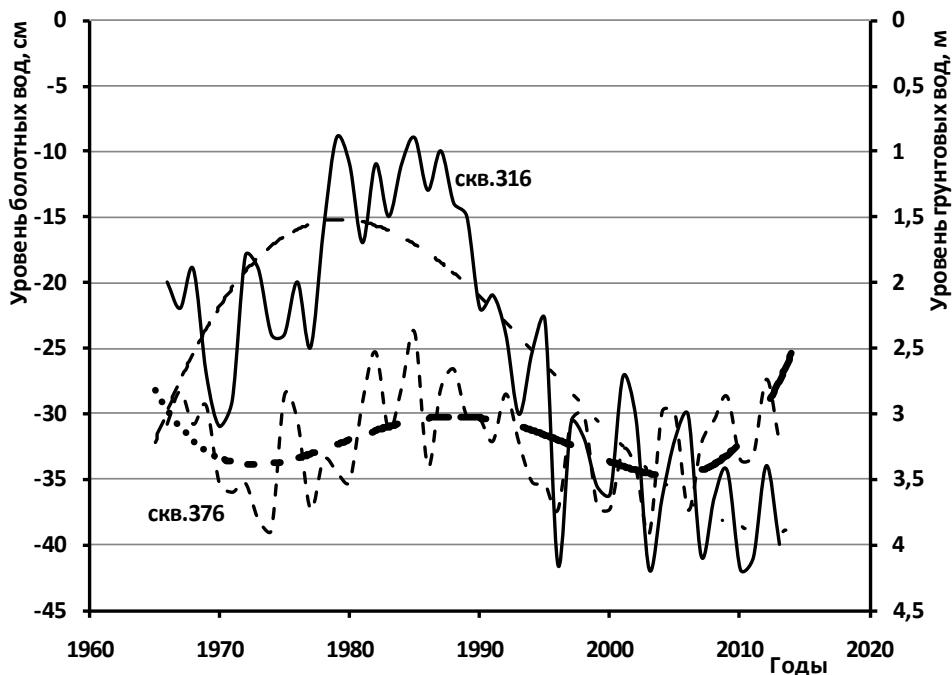


Рисунок 7.9. Ход уровней болотных (скважина 316) и грунтовых вод (скважина 376) за многолетний период. Восточная часть болота

На основании приведенных данных наблюдений по пяти парам совмещенных скважин можно сделать вывод: постоянная связь между уровнями болотных и грунтовых вод в пределах контура болотного массива Ламмин-Суо отсутствует. Исключением могут являться участки с островным выклиниванием минерального дна до глубины деятельного горизонта, которые встречаются на других, более обширных по площади верховых болотных массивах. Коэффициенты корреляции таких связей на болоте Ламмин-Суо находятся в пределах от 0,09 до 0,28. Наиболее высокой степенью взаимосвязи обладает пара скважин 101/359, находящаяся на северной окрайке болота, с достоверностью аппроксимации 0,39 (рисунок 7.10). По-видимому, это характерно для всей полосы лагга вдоль границ болотного массива, где и осуществляется взаимодействие болотных и грунтовых вод, особенно в периоды половодья. Суходольные острова, в том числе даже сложенные слабофильтрующимися грунтами, внутри границ болотного массива практически всегда являются зонами частичной утечки воды под болото. Это происходит тогда, когда уровень болотных вод находится выше зоны кальматации, которая определяется средним многолетним уровнем болотных вод на данном участке лагга при отсутствии промерзшего слоя.

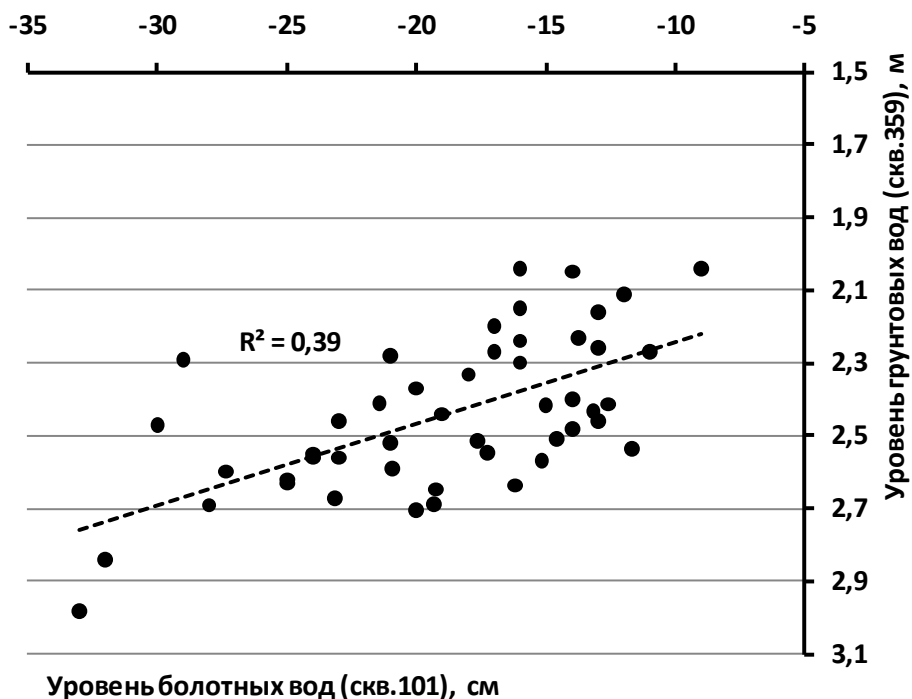


Рисунок 7.10. Связь среднегодовых уровней болотных и грунтовых вод на северной окрайке болотного массива

В последние годы такая взаимосвязь прослеживается и в периоды зимних оттепелей с выпадением жидких атмосферных осадков, при которых наблюдается влагоотдача из снежного покрова. Относительно теплые зимы препятствуют образованию сплошного мерзлого запирающего слоя на суходолах. На образовавшиеся объемы воды во время таких оттепелей реагируют прежде всего уровни грунтовых вод примыкающих к болоту суходолов и, как следствие этого, уровни болотных вод на окрайках массива. На самом же болоте эта вода пополняет влагозапасы мерзлого слоя и не оказывает значительного влияния на ход уровней болотных вод.

7.2. Режим уровней грунтовых вод

Для выявления роли грунтовых вод в водном балансе болотного массива с 1965 года (на самом болоте с 1964 года) начали производиться наблюдения за их уровнями по 20 гидрогеологическим скважинам. Шесть скважин установлено в пределах болотного массива, причем фильтры их расположены непосредственно под дном болота в подстилающих минеральных грунтах,

остальные — на склонах прилегающих к нему суходолов. В настоящее время наблюдения ведутся на 13 скважинах (таблица П.3.7 Приложения к главе 3). Заложённые по берегам болота наблюдательные скважины вскрыли толщу камовых образований на глубину до 16 м. Последние представлены в одних случаях мелко- и разнородными песками и пылеватыми супесями с прослоями алеврита, в других — плотными валунными суглинками, залегающими мощными линзами среди тех же песков. Абсолютное преобладание в разрезе имеют супеси и пески. Данные наблюдений за уровнем грунтовых вод представлены в таблице 6 раздела 1 Приложения «Многолетние характеристики».

Основной локальной областью питания подземных вод в пределах водосбора болота является камовый массив, окаймляющий болотную котловину с северо-западной стороны и сложенный преимущественно песчаными породами, а также озовая гряда, простирающаяся с северо-запада на юго-восток. Локальной областью разгрузки периодически может являться как сам болотный массив, так и его первичная гидрографическая сеть.

Если уровни болотных вод на массиве находятся вблизи дневной поверхности и мало изменяются от микроландшафта к микроландшафту, то грунтовые воды на прилегающих суходолах залегают на различных глубинах. Диапазон изменения этих глубин колеблется от 0,5 до 13,0 м. Уровненный режим грунтовых вод определяется морфологией береговой полосы на контакте болото–суходол, условиями естественного дренажа и литологическим составом водовмещающих пород.

По периферии болотного массива, почти по всему его периметру, прослеживается кольцеобразный желоб (лагг), в котором сосредотачивается поверхностный сток с массива и склонов прилегающих суходолов. На севере и востоке болота он сравнительно неширок и тесно прижат к береговому склону озовой гряды; на юге и юго-западе этот желоб имеет форму широкой, уплощенной ложбины с расплывчатыми границами, под ним проходит выклинивание придонного, хорошо разложившегося слоя торфяной залежи и заиленной супеси ее минерального дна.

Для анализа качества полученных материалов наблюдений летом 2015 года произведено опробование скважин с целью оценки их современного технического состояния, а также для определения фильтрационных параметров водоносного горизонта.

В ходе работы была опробована сеть из 13 наблюдательных гидрогеологических скважин с использованием экспресс-метода желонкой — быстрая откачка воды из скважины с последующим наблюдением за восстановлением уровня. Перед опробованием замерялась реальная глубина скважин

и определялся уровень воды в скважинах, что показало отрыв поверхности уровней болотных вод от залегающего ниже грунтового водоносного горизонта.

Полученные данные были обработаны в программе AQUITEST Л. Н. Синдаловского с использованием решения Bouwer и Rice. Результаты интерпретации представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2. Коэффициенты фильтрации грунтового горизонта болотного массива Ламмин-Суо (2015 год)

| Номер скважины | Породы | Коэффициент фильтрации, м/сут |
|----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 377 | супеси и пески | 0,0348 |
| 359 | плотные супеси | 0,1200 |
| 375 | тяжелые супеси | 0,0035 |
| 360 | тонкозернистый песок | 0,3400 |
| 374 | супесь | 0,3700 |
| 369 | супесь | 0,0190 |
| 359 | плотная супесь | 0,1200 |
| 376 | мелкозернистый песок | 0,0520 |
| 378 | суглинок и песок | 0,2200 |
| 379 | разнозернистый песок | 0,1700 |
| 366 | мелкозернистый песок | 1,9200 |
| 365 | мелко- и среднезернистый песок | 2,6500 |
| 367 | среднезернистый песок | 2,8200 |

В целом состояние гидрогеологических скважин на болотном полигоне Ламмин-Суо удовлетворительное. Исключение могут составлять две скважины — 375 и 378. В скважине 378 повреждена обсадная труба, а фильтр скважины 375 находится в кольматированном состоянии — на восстановление уровня воды в скважине уходит более 36 часов. Для остальных скважин время восстановления уровня воды составляет около двух часов. Полученные значения коэффициентов фильтрации соответствуют реально наблюдаемым в исследуемом регионе для соответствующих разностей пород.

Оценка фильтрационных параметров (водопроницаемости) пород зоны аэрации проводилась методом налива воды в шурфы по Н. С. Нестерову, который широко используется для определения коэффициентов фильтрации грунтов в этой зоне. Согласно методике, налив воды в шурфы должен проводиться с постоянным уровнем воды в кольцах (рисунок 7.11). Количество шурфов, их глубина и расположение определялись исходя из геолого-гидрогеологических условий участка работ.



Рисунок 7.11. Общий вид на опытную установку (шурф 6)

Точки проведения опытов по наливам в шурфы располагались на возвышенных участках рельефа, приуроченных к камовой террасе или в верхней части склона террасы. Всего было проведено 9 опытов; координаты с привязкой шурфов к геоморфологическим элементам и результаты расчетов приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3. Водопроницаемость пород зоны аэрации полигона Ламмин-Суо

| № шурфа | Координаты | Геоморфологическая привязка | Глубина промачивания, м | Продолжительность налива, мин | Коэффициент фильтрации, м/сут |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 60°14'78,7''С 29°48'62,4''В | склон | – | 28,15 | 0,14 |
| 2 | 60°14'77,1''С 29°48'64,0''В | склон | – | 30,13 | 0,18 |
| 3 | 60°14'93,0''С 29°48'75,4''В | склон | 0,41 | 23,77 | 0,06 |
| 4 | 60°14'78,5''С 29°48'60,7''В | склон | 0,51 | 8,75 | 0,12 |
| 5 | 60°14'74,0''С 29°48'54,5''В | терраса | 0,73 | 26,51 | 0,06 |
| 6 | 60°14'70,0''С 29°48'49,8''В | терраса | >2 | 12,33 | 0,06 |
| 7 | 60°14'86,6''С 29°48'81,4''В | терраса | – | 15,26 | 0,14 |
| 8 | 60°14'87,2''С 29°48'82,3''В | терраса | – | 9,42 | 0,17 |
| 9 | 60°14'86,8''С 29°48'87,7''В | терраса | – | 12,81 | 0,0016 |

В результате проведенных работ были получены коэффициенты фильтрации песчаных пород, слагающих суходолы. Как видно из таблицы, коэффициенты фильтрации изменяются в пределах от 0,06 до 0,18 м/сут. Исключение составляет шурф № 9, где он равен 0,0016 м/сут. В целом полученные значения коэффициентов фильтрации ниже характерных их значений для песков различной крупности (от мелкозернистых до гравелистых). Только в одном случае (шурф № 3) наблюдалось относительное постоянство расхода в ходе налива. Для остальных опытов в течение всего промежутка времени фиксировались резкие изменения расхода, не позволяющие однозначно судить о стационарности фильтрации через внутреннее кольцо.

Анализ материалов наблюдений за уровнями болотных и грунтовых вод показывает, что на самом массиве уровень болотных вод располагается выше уровня грунтовых вод. Слоем, изолирующим болотные воды от грунтовых вод, служит кольматированный придонный слой минерального грунта. На практически полное отсутствие водообмена в центральной части болота Ламмин-Суо и отсутствие контакта между болотными и грунтовыми водами (рисунки 7.5–7.9) указывает и В. В. Романов [185]. Полоса непосредственного контакта этих вод выделена в юго-западном секторе болотного массива, на участке расположения гидрогеологических скважин 364, 365–367, 378 и 379. Она приурочена к краевой зоне, окаймляющей болотный массив с юго-запада и сложенной минеральными, преимущественно песчаными грунтами, которые на глубине около 2 м подстилаются валунными супесями и суглинками. В связи с этим для сравнительного анализа режима уровней грунтовых вод сеть скважин разделена на две группы: гидрогеологические скважины, находящиеся в границах болотного массива (374–377, 359) и расположенные на суходолах (360, 365–367, 369, 378 и 379).

На рисунке 7.12 показан средний внутригодовой ход уровней грунтовых вод за период наблюдений с 1965 по 2013 год. Характер графиков для гидрогеологических скважин, расположенных на окружающих болотный массив суходолах (рисунок 7.12а), соответствует типовому гидрографу для поверхностных водотоков исследуемого района, что свидетельствует о наличии связи между режимом водности грунтовых вод и стоком воды в реках. Как известно, водотоки рассматриваемого района характеризуются выраженными фазами водного режима, сменяющимися друг друга в течение года. В годовом ходе уровня воды четко выражены четыре фазы: весеннее половодье, летне-осенняя межень, осенне-зимний период с повышенной водностью рек и зимняя межень. Сток весеннего половодья обычно составляет наибольшую часть от объема годового стока.

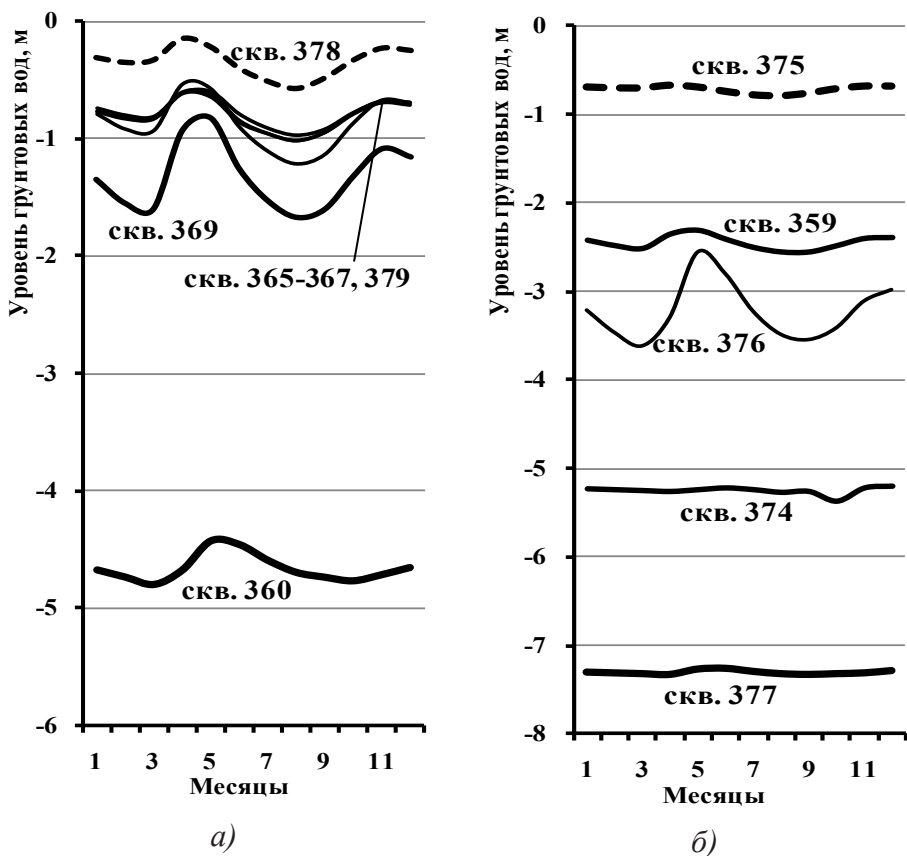


Рисунок 7.12. Средний многолетний внутригодовой ход уровней грунтовых вод: а) на суходолах, б) под болотом

Наибольшей средней многолетней амплитудой изменения уровней грунтовых вод (порядка 100 см) обладает скважина 369, расположенная у южной границы болотного массива, куда и осуществляется большая часть стока с болота. На остальных скважинах, расположенных за пределами границ болотного массива, эта характеристика составляет от 50 до 70 см. Наиболее близко к поверхности земли (20–50 см) средний многолетний уровень грунтовых вод наблюдается у юго-западной части болотного массива (скважина 378). На суходоле у северной границы болотного массива грунтовые воды залегают на глубине 4,5–5,0 метров (скважина 360).

Средние многолетние уровни грунтовых вод под болотом характеризуются относительно небольшой амплитудой их изменения (рисунок 7.12б). Исключение составляет скважина 376 в силу ряда обстоятельств, уже ранее рассмотренных (раздел 7.1.2). Характер режима грунтовых вод здесь близок к показателям, наблюдаемым на скважинах, расположенных за границами

болота. Наиболее устойчивы уровни грунтовых вод по внутригодовому ходу под куполом болотного массива (скважина 377). На данном участке они залегают на средней глубине 7,3 метра, что ниже дна болота примерно на 3 метра.

Многолетний ход уровней грунтовых вод по средним годовым значениям для рассмотренных выше групп скважин представлен на рисунках 7.13 и 7.15.

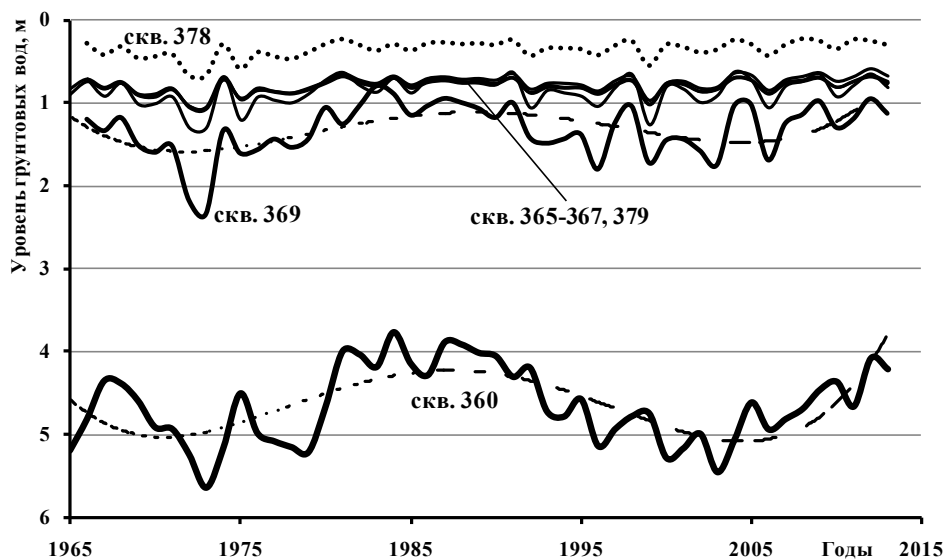


Рисунок 7.13. Изменение уровней грунтовых вод на прилегающих к болоту суходолах за многолетний период (1965–2013 гг.)

Наиболее четко циклы водности за пределами болотного массива (рисунок 7.13) прослеживаются на камовой возвышенности по данным скважины 360 (пунктирная аппроксимация) и за пределами южной границы болотного массива, куда дренируется основная часть стока с болота (скважины 369). В первом случае такая цикличность обусловлена цикличностью водности основного фактора питания – атмосферных осадков (рисунок 7.14). Во втором случае зоной основного питания грунтовых вод является болотный массив, аккумулирующая емкость которого несколько сглаживает амплитуду изменения многолетнего среднегодового уровня первого водоносного горизонта, при этом наблюдается аналогичная цикличность изменения водности (рисунок 7.14). Средняя многолетняя (т. е. без учета экстремальных значений) амплитуда уровней грунтовых вод находится в пределах 1,5–2,0 м.

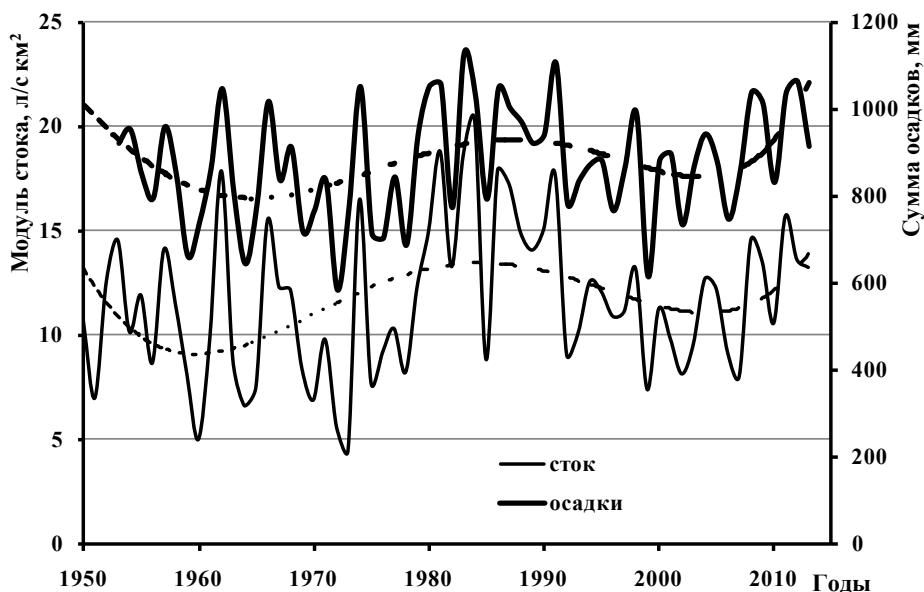


Рисунок 7.14. Изменение сумм годовых осадков и годового руслового стока за период 1950–2013 гг. (болото Ламмин-Суо)

На остальных скважинах, которые расположены за пределами юго-западной границы болотного массива, периоды водности практически не прослеживаются. Здесь грунтовые воды расположены наиболее близко к поверхности и амплитуда изменения среднегодовых значений уровня воды менее одного метра.

Еще более сглаженный многолетний ход средних годовых уровней грунтовых вод наблюдается под болотным массивом (рисунок 7.15). Данное обстоятельство определяется тем, что зона их питания приурочена к контурам болотного массива либо расположена за его границами, и цикличность водности основных факторов питания здесь мало выражена и практически не влияет на изменение запасов грунтовых вод под болотом. Амплитуда изменения среднегодовых значений уровня воды здесь находится в пределах 0,5 м. Исключение составляют скважины 359 и 376, которые расположены на окрайках болотного массива, и где еще велико влияние внешних факторов.

Исходя из вышеизложенного, при решении некоторых локальных задач практической гидрогеологии необходимо учитывать следующее: в случае необходимости использования грунтовых вод для водозабора вблизи заболоченных территорий, обустройство скважин (колодцев) следует вести на болоте. Во-первых, относительно малая амплитуда колебания уровней грунтовых вод под болотным массивом позволяет снизить вероятность их обсыхания и повышает устойчивость фильтров к засорению. Во-вторых, в случае

аварийного загрязнения грунтовых вод от источника, расположенного как на суходоле, так и на болоте, период добегания загрязнителей до фильтра водозаборной скважины будет более продолжительным.

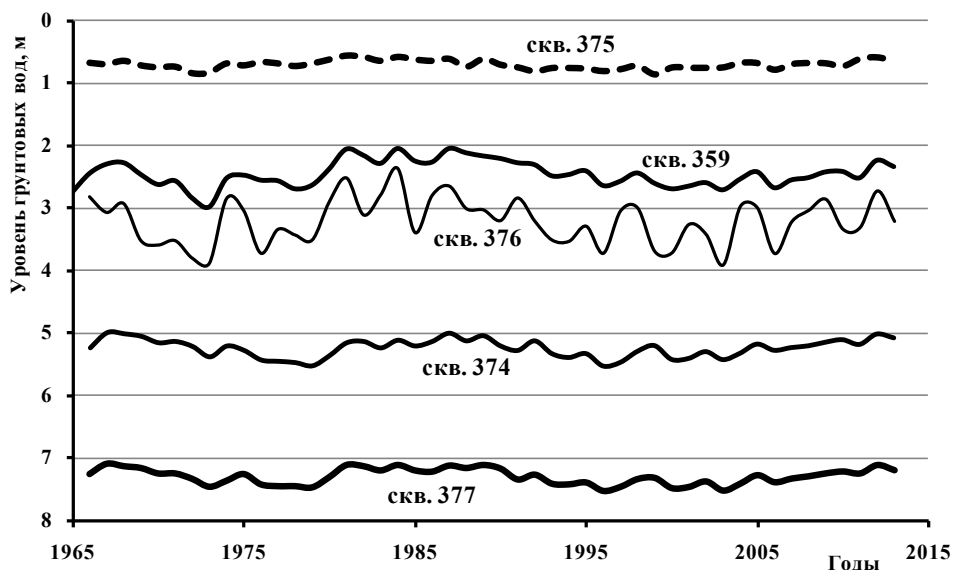


Рисунок 7.15. Изменение уровней грунтовых вод под болотным массивом за многолетний период (1965–2013 гг.)

Режим уровней грунтовых вод болота Ламмин-Суо рассматривается исходя из классификации, предложенной ВСЕГИНГЕО и частично представленной в таблице 7.4. За основу классификации авторы [94] приняли условия питания грунтовых вод, характер их дренирования, литологию водоносных пород и рельеф местности.

В соответствии с условиями рельефа и дренажа выделены междуречный, склоновый и камовый виды режима уровней воды. Междуречный вид режима представлен двумя разновидностями: болотно-мочажинной и низинно-мочажинной. Болотно-мочажинная разновидность режима наблюдается в самой торфяной залежи — болотные воды.

Низинно-мочажинная разновидность территориально связана с краевой зоной, окаймляющей болотный массив с юго-запада (365–367, 369, 376, 378, 379) и сложенной минеральными, преимущественно песчаными грунтами, которые на глубине около 2 м подстилаются валунными супесями и суглинками. Признаки, отличающие ее от болотно-мочажинной разновидности, следующие: большие амплитуды колебаний (от 0,75 до 2,0 м и более), запаздывание, иногда на 1–2 декады, наступления максимумов и минимумов уровня, некоторая сглаженность пиков подъема и спада.

Таблица 7.4. Схема классификации режима грунтовых и грунтово-напорных вод в районе болота Ламмин-Суо

| Вид режима | Разновидность режима | Режимообразующие постоянно действующие факторы | | | | Номера скважин |
|------------------|----------------------|---|--|--|--------------------------|-------------------------|
| | | тип водоносного горизонта (гидравлические условия) | морфо-генетические условия залегания водоносного горизонта | водосодержание породы (литологический состав) | мощность зоны аэрации, м | |
| Междуречья | Болотно-мочажинный | Болотные воды – подвешенный водоносный горизонт типа верховодки | Верховое болото центрально-олиготрофного типа | Торф | 0,0–0,5 | Болотные скважины |
| | Низинно-мочажинный | Грунтовые воды | Низкие берега верхового болота на слабо пересеченном участке камового типа | Песок разноразмерный с гравием, на глубине 2,0 м подстилаемый валунными сулинками и супесями | 0,5–2,0 | |
| Склоновьи | - | Грунтовые воды | Дно суходольной ложбины среди холмисто-котлованного камового рельефа | Песок мелкозернистый, пылеватый с линзами разноразмерного гравелистого песка | 5,0 | 360 |
| Камовьи | - | Грунтовые воды | Озовые гряды и сильно пересеченный холмисто-котловинный камовый рельеф | Песок мелкозернистый, пылеватый с линзами разноразмерного гравелистого песка, супеси и алевроита | 7,5–16,0 | 361, 362, 363, 387, 389 |
| Зарегулированные | Слабонапорный | Напорно-грунтовые (межпластовые) воды. Высота напора 0,5 м | Минеральное дно верховых и низинных болот | Песок мелкозернистый, пылеватый с линзами разноразмерного гравелистого песка и супеси | 3,2 | 359 |
| | Высоконапорный | Напорно-грунтовые (межпластовые) воды. Высота напора 3,5–10,0 м | Минеральное дно верховых и низинных болот | Песок мелкозернистый с прослоями супеси и черного ила | до 10 м | 375, 386, 388, 390 |
| Гидростатиче- | - | Напорно-грунтовые (межпластовые) воды. Высота напора 0,5 м | Минеральное дно верхового болота | Линзы мелкозернистого песка и погребенного торфа в илистых суглинках и супесях | 5,5–8,0 | 374, 377 |

Склоновый вид режима относится к скважине 360, заложенной на дне суходольной ложбины среди холмисто-котловинного камового рельефа на северном берегу болота в мелкозернистых пылеватых песках. Глубина зеркала воды составляет 3,8–5,6 м. Внутригодовой ход уровня характеризуется максимальным подъемом весной и осенью, плавными изменениями уровня. В отличие от разновидности междуречного вида, динамика уровня рассматриваемого режима определяется не столько инфильтрацией атмосферных осадков, сколько подтоком грунтовых вод с междуречья и со стороны болота. Амплитуда колебаний уровня за многолетний период составляет 0,8 м.

Камовый режим наблюдается в грунтовых водах камов и озовых гряд на севере и востоке от болотного массива в разнородных по механическому составу песчаных грунтах, с прослоем супесей и алевритов (361–363, 389). Рельеф сильно пересеченный, дренирующее влияние оказывает долина ручья Болотного. Большая мощность зоны аэрации (от 7,5 до 16,0 м) определяет характерное для данного вида режима постоянство уровня с амплитудой колебания до 0,5 м. Отмечается значительное запаздывание (по сравнению с уровнем болотных вод) наступления пиков подъема и спада, имеющих при этом плавные, сильно сглаженные очертания.

В напорно-грунтовых водах минерального дна болота выделены два вида режима, которым условно присвоены наименования зарегулированного и гидродинамического. Зарегулированный вид режима имеет две разновидности: слабо- и высоконапорную.

Слабонапорная разновидность режима свойственна напорно-грунтовым водам, расположенным непосредственно под торфяной залежью на глубине около 3,0 м (359). Она характеризуется ясно выраженными сезонными подъемами и спадами со сглаженными пиками, на которые накладываются пульсации, связанные с колебаниями атмосферного давления.

Гидростатический вид режима наблюдается в скважинах 374 и 377, расположенных вблизи купола болотного массива, где торфяная залежь достигает максимальной мощности. Этот вид режима характерен для напорно-грунтовых вод песков и супесей, расположенных на глубинах 3,5–8,0 м ниже органических остатков озерного происхождения (мелкозернистые илистые пески, супеси и суглинки с прослоями погребенного торфа и гитти). Эти органические остатки служат переходным горизонтом от торфяной залежи к минеральным грунтам, слагающим дно бывшей озерной котловины. Характерные особенности этого режима – очень резкие и частые подъемы и спады уровня безотносительно к осадкам и времени года. Эти спады и подъемы на протяжении года достигают 50–75 см, а в многолетнем

периоде — 60 см. Такая пульсация уровня объясняется его зависимостью от изменчивости давления атмосферного воздуха (рисунок 7.15).

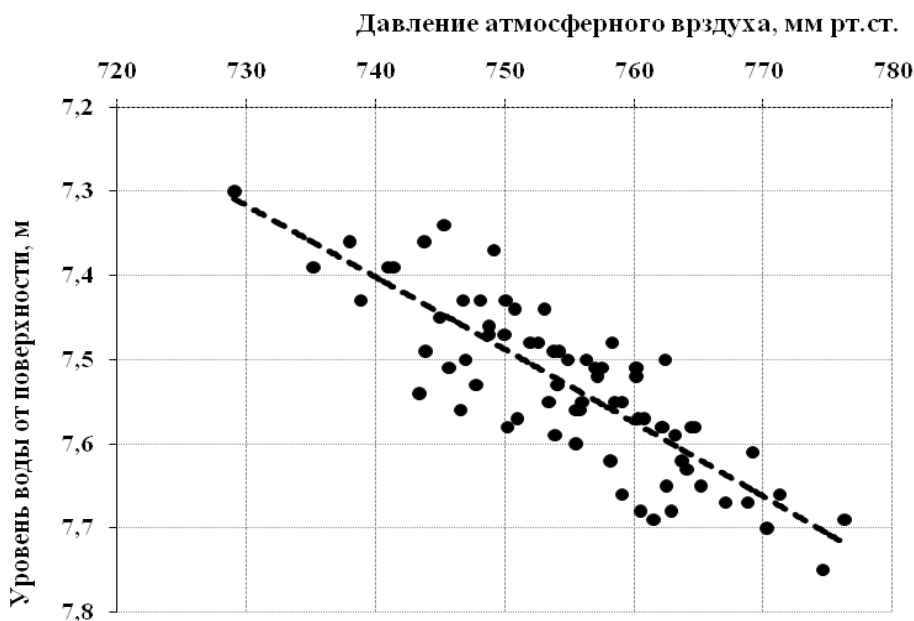


Рисунок 7.15. Связь измеренных уровней воды в скважине 377 с атмосферным давлением за 2003 год

Среднемесячные уровни грунтовых вод за весь период работы Зеленогорской болотной станции приведены в таблице 5 раздела 1 Приложения «Многолетние характеристики».

ГЛАВА 8

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ БОЛОТА

Наблюдения за метеорологическим режимом болота Ламмин-Суо ведутся с 1950 года. Параллельно с наблюдениями на болоте в течение 12 лет (с 1952 по 1964 год) проводились наблюдения за температурой и влажностью воздуха на прилегающем суходоле. В программу наблюдений входят следующие элементы метеорологического режима: атмосферное давление, температура и влажность воздуха, осадки, снежный покров, температура и промерзание торфяной залежи, скорость и направление ветра, облачность. Наблюдения и обработка полученных данных проводятся в соответствии с требованиями «Наставления» (выпуск 3) [130] за исключением сроков наблюдений. Сведения о сроках наблюдений на болоте Ламмин-Суо приведены в таблице П.3.3 Приложения к главе 3.

Климатологическое обобщение полученных данных выполнено согласно рекомендациям, приведенным в работах [91, 119]. Проведен анализ материалов с целью выявления неоднородности рядов наблюдений и ее устранения, подсчета статистических характеристик, описания метеорологического режима изучаемого болота. В качестве материала для обобщения приняты средние месячные значения метеорологических элементов, полученные по срочным наблюдениям на болотной метеорологической площадке. Они представлены в виде таблиц 1–27 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики».

Метеорологический режим рассматриваемой местности, включая болото, формируется под влиянием климатообразующих факторов различного масштаба (раздел 4.2). К макромасштабным факторам относятся

атмосферная циркуляция и радиационный режим. Помимо макромасштабных факторов на метеорологический режим территории изучаемого болота оказывают влияние местные условия: наличие вблизи значительных водных пространств (Финский залив), высота и форма рельефа, прилегающие к болоту суходолы, почвы и растительность.

На рисунке 8.1 представлен ход среднегодовой температуры воздуха в городе Санкт-Петербурге за весь период инструментальных наблюдений [91]. Как видно из графика, температура воздуха начала неуклонно расти с 1825 года от 3,6 °С до 6,2 °С в настоящее время. За последний 15-летний период интенсивность повышения среднегодовой температуры воздуха установилась на уровне 0,05 °С/год. Максимальная среднегодовая температура воздуха, наблюдавшаяся в XX веке (1989 год, 7,6 °С), на 1,3 °С выше, чем в XIX веке (1826 год, 6,3 °С). В то же время минимальные среднегодовые температуры воздуха вполне сопоставимы, соответственно — 1,8 °С (1941 год) и 1,2 °С (1809 год). К тому же зимний период ноябрь–март (1941–42 гг.) был самым холодным за весь период наблюдений, средняя температура которого составила -11,9 °С. Самой холодной в XIX веке была зима 1808–09 годов со средней температурой -11,5 °С.

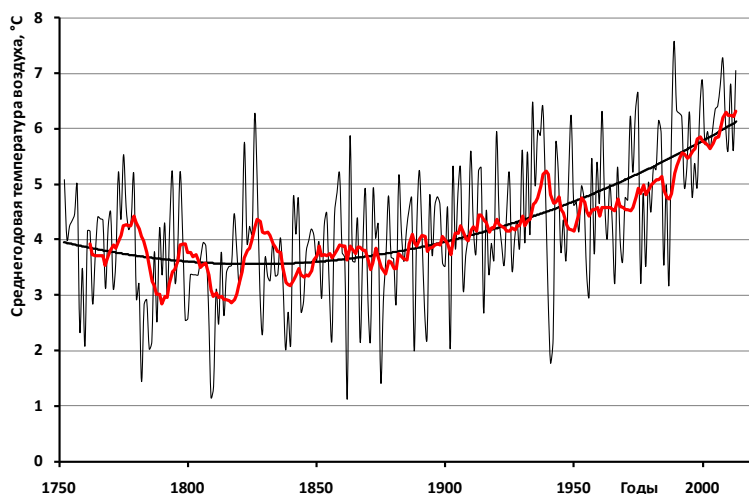


Рисунок 8.1. Ход среднегодовой температуры воздуха в Санкт-Петербурге за весь период наблюдений и скользящая кривая по 11-летним значениям [91]

Исходя из характера колебания сглаживающей кривой среднегодовых температур воздуха по 11-летним средним значениям, следующий относительно аномальный выброс от скользящей климатической нормы произойдет около 2050–51 годов. Из этого следует, что наиболее сильные положительные отклонения следует ожидать с 2046 года. При этом климатическая

норма последнего 30-летнего периода (1990–2020 гг.), установившаяся в настоящее время, учитывая перспективу следующего такого периода, окажется завышенной примерно на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

За совместный период наблюдений (рисунок 8.2) средняя годовая температура воздуха в Санкт-Петербурге на полтора градуса выше, чем на Ламмин-Суо. Для самого холодного 1987 года разница температуры между городом и болотом составила два градуса. Средняя годовая температура воздуха за совместный период наблюдений в городе равнялась $5,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на болотном массиве она составила $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Интенсивность роста температуры воздуха в настоящее время практически одинакова, однако в районе болотного массива начинает увеличиваться амплитуда ее изменения, по сравнению с мегаполисом. Как видно из рисунка, диапазон изменения годовой температуры на болоте к настоящему времени установился на уровне около $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в многолетнем ходе пока прослеживается устойчивая тенденция к ее повышению, что обусловлено относительным потеплением климата на данный период времени.

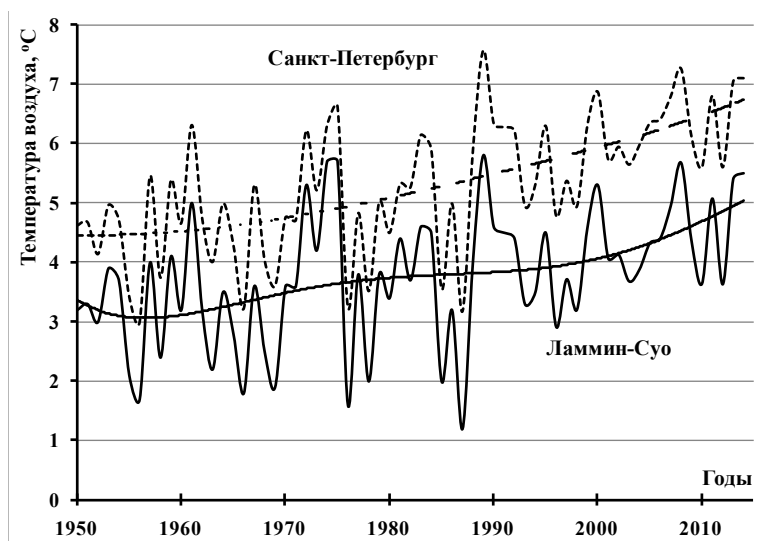


Рисунок 8.2. Ход среднегодовой температуры воздуха в Санкт-Петербурге [91] и болоте Ламмин-Суо за совместный период наблюдений (1950–2014 гг.)

Если ход температуры воздуха на болоте за совместный период наблюдений показывает некоторую реакцию на климатические изменения в виде цикличности с амплитудой порядка $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, то в условиях мегаполиса такая реакция сглаживается и проявляется на более продолжительных временных циклах. Под воздействием местных условий метеорологические характеристики вблизи болотного массива могут существенно меняться на расстоянии нескольких километров или даже сотен метров.

8.1. Температура воздуха

За основные количественные характеристики температуры воздуха принимают средние многолетние годовые, месячные и суточные значения и их экстремальные величины.

На болоте Ламмин-Суо среднемесячная и годовая температура воздуха, по данным наблюдений за период с 1950 по 2013 год, составляет 3,7 °С (таблица 1 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»). Относительно теплыми годами за этот период были 1961, 1974, 1975, 1989 и 2008 годы, а наиболее холодными — 1956, 1966, 1969, 1976 и 1987 годы. Наиболее низкая среднегодовая температура воздуха (1,2 °С) наблюдалась в 1987 году. Финский залив, вблизи которого находится болото Ламмин-Суо, оказывает заметное влияние на температуру воздуха, что проявляется в характере ее внутригодового хода и выражается в сдвиге минимума температуры с января на февраль.

В среднестатистическом внутригодовом ходе средняя месячная температура воздуха изменяется от самой холодной –8,8 °С в феврале до самой теплой 16,8 °С в июле. Максимальная амплитуда изменения среднемесячных температур воздуха для реального года (2010 г.) составляет 37,4 °С. Наиболее холодным месяцем за период наблюдений был январь 1987 года (-21,7 °С), а наиболее теплым – июль 2010 года (22,6 °С) Среднемесячные отрицательные температуры воздуха сохраняются с ноября по март. Январь по температурному режиму близок к февралю и нередко (в 43 % случаев) бывает холоднее февраля.

В таблице 8.1 приведены обеспеченные значения средней месячной температуры воздуха на болотном массиве Ламмин-Суо и средние ее величины за рассматриваемый период наблюдений. Первичный анализ данной таблицы можно составить, используя рисунок 8.3. На этом рисунке представлен годовой ход значений средних месячных температур воздуха 5%-й и 95%-й вероятности превышения и годовой ход средних значений этих же температур, а также огибающие кривые по экстремально теплым и холодным величинам.

Анализ исходных данных (таблица 1 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики») показывает: 96–97 % наблюдаемых значений температуры воздуха помещаются в доверительном интервале 5–95%-й обеспеченности, что свидетельствует об устойчивости данной характеристики на болоте. Наиболее стабильным временем года по температуре воздуха являются весна и осень, наименее — зимний период. Наибольшее число экстремальных значений в сторону повышения температуры наблюдается в июле

Таблица 8.1. Средняя месячная и годовая температуры воздуха различной вероятности превышения за период 1951–2013 гг. Болото Ламмин-Суо

| Период | Среднее за период наблюдений | Вероятность превышения, % | | | | | | |
|----------|------------------------------|---------------------------|-------|-------|------|------|------|------|
| | | 95 | 90 | 75 | 50 | 25 | 10 | 5 |
| январь | -8,5 | -16,2 | -14,2 | -11,0 | -8,0 | -5,4 | -3,4 | -2,5 |
| февраль | -8,8 | -15,5 | -14,1 | -11,6 | -8,8 | -6,0 | -3,4 | -1,8 |
| март | -4,3 | -9,4 | -8,2 | -6,2 | -4,1 | -2,2 | -0,5 | 0,4 |
| апрель | 2,5 | -0,1 | 0,4 | 1,3 | 2,4 | 3,6 | 4,8 | 5,4 |
| май | 9,3 | 6,4 | 7,1 | 8,1 | 9,3 | 10,5 | 11,5 | 12,1 |
| июнь | 14,4 | 11,5 | 12,1 | 13,1 | 14,3 | 15,5 | 16,7 | 17,4 |
| июль | 16,8 | 14,3 | 14,7 | 15,5 | 16,6 | 17,8 | 19,1 | 19,9 |
| август | 14,9 | 12,9 | 13,3 | 14,0 | 14,9 | 15,7 | 16,6 | 17,1 |
| сентябрь | 9,7 | 7,0 | 7,6 | 8,6 | 9,7 | 10,7 | 11,7 | 12,2 |
| октябрь | 4,3 | 0,9 | 1,8 | 3,2 | 4,6 | 5,7 | 6,6 | 7,0 |
| ноябрь | -1,2 | -5,3 | -4,4 | -2,8 | -1,1 | 0,4 | 1,7 | 2,5 |
| декабрь | -5,8 | -12,9 | -11,1 | -8,3 | -5,5 | -3,0 | -1,1 | 0,0 |
| год | 3,7 | 1,9 | 2,3 | 3,0 | 3,8 | 4,5 | 5,1 | 5,5 |

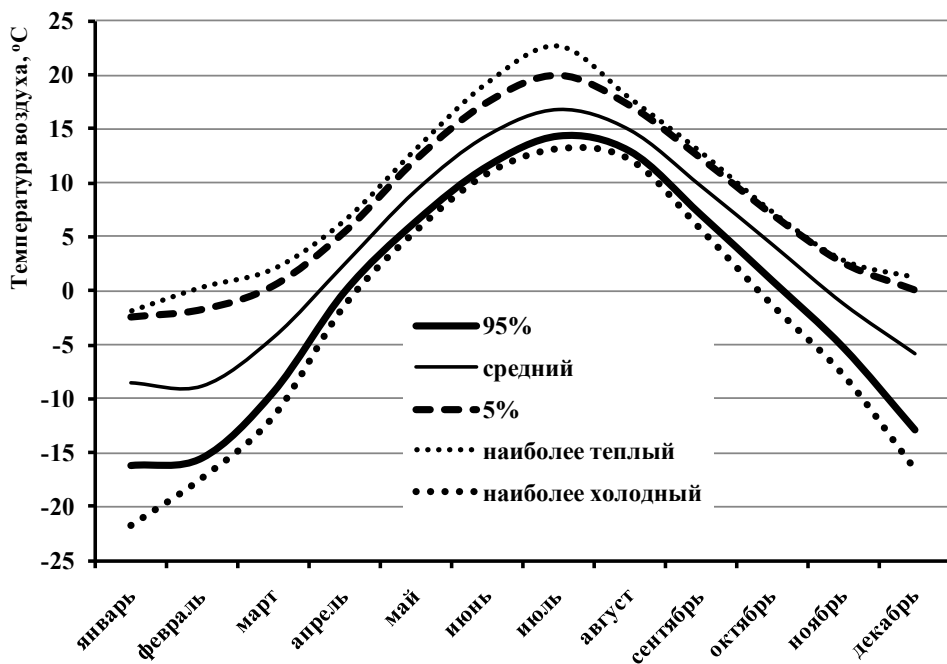


Рисунок 8.3. Годовой ход средних месячных температур воздуха 5%-й и 95%-й вероятности превышения со средними многолетними огибающими кривыми экстремально теплых и холодных значений

и феврале. Несмотря на то, что наиболее холодным месяцем является февраль, наибольшее число экстремальных отклонений в сторону отрицательных температур воздуха наблюдается в январе.

Суточный ход температуры воздуха неодинаков в разное время года и определяется адвекцией воздушных масс и ходом радиационного баланса поверхности болота. Для периода ноябрь–январь характерен сглаженный суточный ход температуры воздуха. Амплитуда внутрисуточных колебаний температуры в этот период составляет 1–2 °С. С февраля месяца амплитуда начинается возрастать, и на май–июнь приходится максимальное ее значение, около 10 °С.

В теплый период года от восхода солнца до 12 часов температура воздуха быстро повышается, затем ее рост замедляется (рисунок 8.4). В дни со сплошной облачностью, как видно из рисунка, суточный ход температуры почти не просматривается. Максимальных значений температура достигает к 15–16 часам.

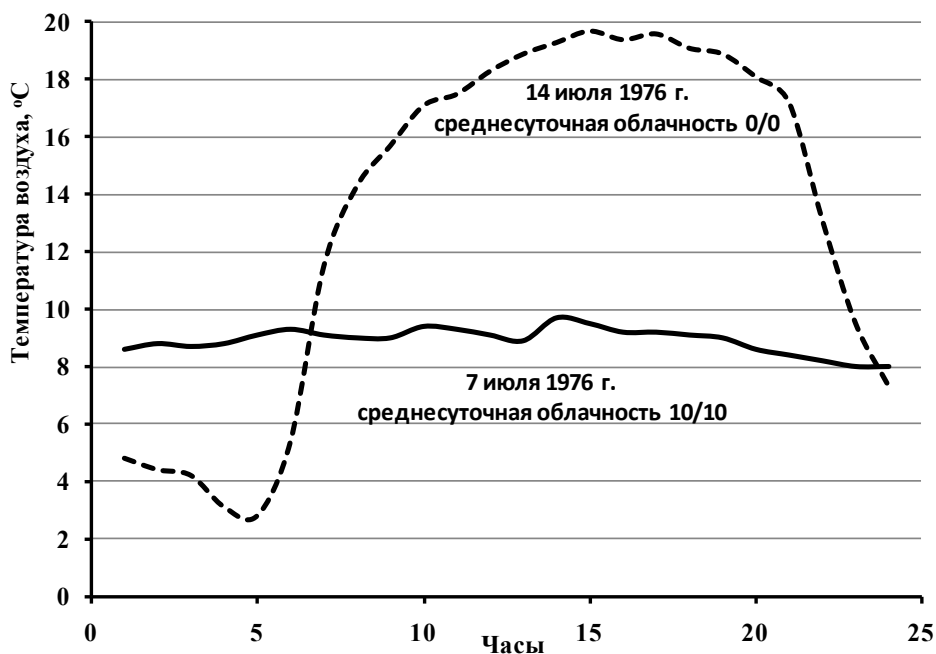


Рисунок 8.4. Суточный ход температуры воздуха на болоте Ламмин-Суо в разные по облачности дни

В холодный период года внутрисуточная температура воздуха медленно растет до своего максимума, который наступает обычно в 15–16 часов, а затем также медленно понижается. Минимум температуры наблюдается перед восходом солнца. В зимние месяцы наиболее низкие температуры приходятся на 7–8 часов, в переходные месяцы — на 5–6 часов. В летний период

они наблюдаются около 4 часов утра. Наиболее высокие температуры воздуха наблюдаются в июле.

Абсолютный максимум температуры воздуха за рассматриваемый период (1950–2013 гг.) отмечен в июле 2002 года и составил 36,3 °С (таблица 2 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»). Абсолютный минимум температуры воздуха (-45,6 °С) на болотной метеорологической площадке зафиксирован в январе 1987 года (таблица 3 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»). Минимальная температура воздуха ниже 0 °С возможна в любом месяце года. Даже в самом теплом месяце года — июле отрицательная температура воздуха наблюдалась в 8 % лет периода работы станции. Обеспеченности экстремальных температур воздуха дают возможность определения вероятностей появления их выше или ниже заданных значений (таблицы 4 и 5 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»).

Средняя дата устойчивого перехода средней суточной температуры через 0 °С весной приходится на 4 апреля, осенью — на 11 ноября (таблица 6 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»). В зависимости от характера весны и осени переход возможен: весной — в период с III декады февраля до III декады апреля, осенью — со II декады октября и до III декады декабря. Таким образом, период между самой ранней и самой поздней датой перехода температуры воздуха через 0 °С весной составляет около двух месяцев, а осенью — около трех месяцев.

Средняя продолжительность теплого периода года составляет 222 суток, холодного — 143 суток. В отдельные годы отклонения продолжительности теплых периодов от среднего за период наблюдений составляют 35–40 суток. Самым продолжительным (274) был теплый период 2011 года, самым коротким (183) – 1976 года.

Средняя дата начала вегетационного периода (переход средней суточной температуры воздуха через 5 °С) приходится на 29 апреля, а конца этого периода — на 14 октября. Однако такой переход весной возможен в период со II декады апреля по III декаду мая, а осенью — с III декады сентября по I декаду ноября.

Переход среднесуточной температуры через 10 °С, приходящийся в среднем на 25 мая, является началом активной вегетации всех растений. В рассматриваемом районе этот переход возможен как в первой декаде мая, так и в третьей декаде июня. Средняя дата перехода температуры воздуха через 10 °С осенью приходится на 19 сентября, но такой же переход может наблюдаться и в первой декаде сентября, и в первой декаде октября (таблица 7 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»).

Таблица 8.2. Суммы положительных и отрицательных среднесуточных температур воздуха различной вероятности превышения за теплый и холодный периоды (болото Ламмин-Суо)

| Средняя за период наблюдений | Вероятность превышения, % | | | | | | |
|------------------------------|---------------------------|-------|-------|------|------|------|------|
| | 95 | 90 | 75 | 50 | 25 | 10 | 5 |
| 2270 | 1961 | 2024 | 2136 | 2265 | 2397 | 2523 | 2600 |
| -933 | -1421 | -1316 | -1132 | -930 | -735 | -562 | -462 |

Средняя многолетняя сумма положительных среднесуточных температур воздуха за теплый период на болотной метеорологической площадке составляет 2270 °С. Средняя многолетняя сумма отрицательных температур воздуха за холодный период составляет -933 °С. В отдельные годы отклонения сумм температур воздуха в обе стороны достигают 300–400 °С. Наибольшая сумма положительных температур наблюдалась в 2013 году (2720 °С), а наименьшая в 1976 году (1756 °С). Эти же суммы для отрицательных температур воздуха соответственно составили: -345 °С зимой 2007–08 годов и -1662 °С зимой 1955–56 годов (таблицы 7 и 8 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»). Суммы положительных и отрицательных средних суточных температур воздуха различной обеспеченности приведены в таблице 8.2, а изменение их годовых величин в многолетнем плане — на рисунке 8.5.

В целом за 64-летний период наблюдений прослеживается некоторое увеличение как положительной суммы годовых температур воздуха, так и

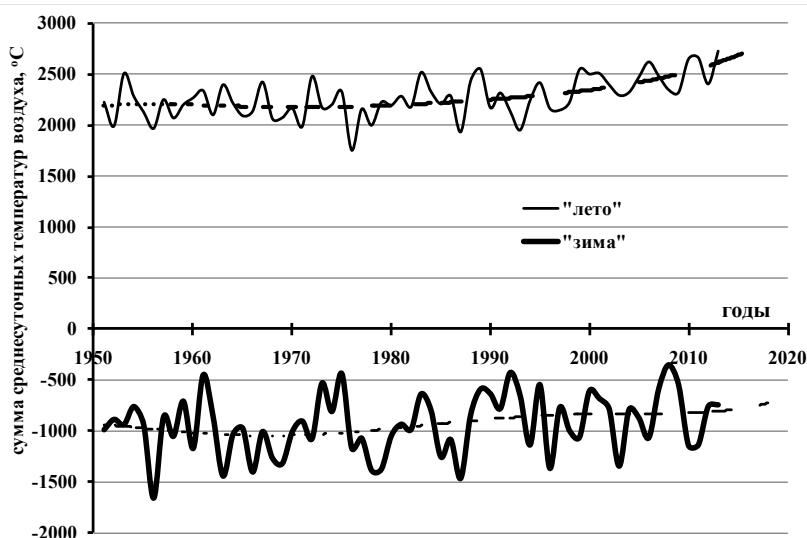


Рисунок 8.5. Изменение годовых сумм положительных и отрицательных среднесуточных температур воздуха за период 1950–2013 гг.

повышение отрицательной суммы (рисунок 8.5). К настоящему времени суммы отрицательных температур изменяются значительно менее интенсивно и стабилизировались на уровне -750°C .

С начала XXI столетия усиливается следующая тенденция: «зимние» периоды становятся короче и, вследствие этого, прохладнее (рисунок 8.6). Если средняя продолжительность холодного периода за весь период наблюдений, как указывалось выше, равняется 143 суткам, то за последний пятилетний период (2009–2013 гг.) она составила 121 суток. Средняя температура воздуха за эти же периоды составила соответственно $-6,7^{\circ}\text{C}$ и $-7,4^{\circ}\text{C}$. Интенсивность нарастания сумм положительных температур за последний 15-летний период менее выражена и, в первую очередь, сглаживается в связи с увеличением продолжительности теплого периода года. Средняя сезонная температура «лета» стабилизировалась на уровне 11°C .

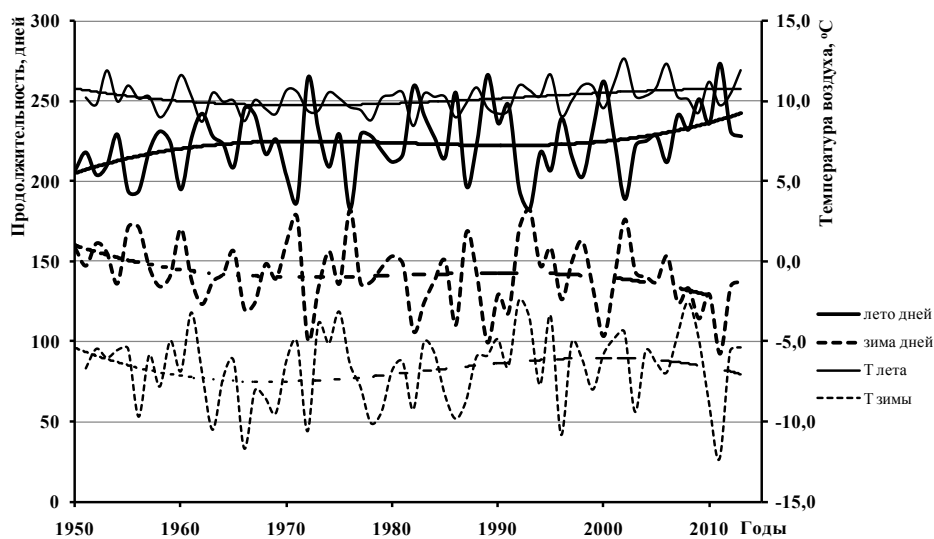


Рисунок 8.6. Изменение продолжительности летнего (теплого) и зимнего (холодного) периодов, средней сезонной температуры воздуха (1950–2013 гг.)

8.2. Статистическая зависимость между температурами воздуха на болоте и суходоле

Количество болотных массивов в нашей стране насчитывает сотни тысяч [5], а число пунктов мониторинга, производивших непосредственно на них метеорологические наблюдения, — порядка десяти, в том числе шесть болотных станций на Северо-Западе страны (таблица 2.1, рисунок 2.1). В то же время на суходольных территориях в системе Росгидромета

существует весьма многочисленная сеть метеорологических станций и постов. В связи с этим у гидрологов-болотоведов давно возникла идея использовать метеорологическую информацию, получаемую этой наблюдательной сетью, для изучения водно-теплового режима болот. Для реализации этой идеи на организуемых болотных станциях в их программу работ были включены практически все виды метеорологических и актинометрических наблюдений, которые ведутся на метеорологических станциях. Целью этих наблюдений было не только изучение метеорологического режима различных типов болот, но и выявление его особенностей по сравнению с прилегающими суходолами. Выявление сходств и различий в режиме метеорологических элементов болота и суходола позволяет разработать методики использования метеоданных суходольных станций для характеристики метеорологического режима близ расположенных к ним болот. К метеорологическим элементам на болоте, характеристики которых могут заметно отличаться от аналогичных на суходоле, следует отнести: температуру и влажность воздуха, высоту и плотность снежного покрова, температуру подстилающей поверхности и температуру торфяной залежи по глубине, глубину промерзания и оттаивания. К ним также следует отнести такие характеристики, как радиационный баланс, альбедо и эффективное излучение.

На болоте Ламмин-Суо, как уже отмечалось в начале этой главы, параллельные метеорологические наблюдения на болоте и суходоле проводились в период с 1952 по 1964 год, в это же время велись и серийные теплосбалансовые исследования на болоте.

На рисунке 8.7 представлены совмещенные графики внутрисуточного хода температуры воздуха на болоте Ламмин-Суо и прилегающем суходоле, построенные по многолетним данным для весеннего, летнего и осеннего периодов. Как следует из рисунков, в среднем температура на болоте весной только в утренние часы превышает температуру воздуха на суходоле. Летом различие в ходе температур несколько изменяется: температуры во второй половине дня на болоте и суходоле становятся одинаковыми. Осенью практически в течение всего дня температура воздуха на болоте превышает (на 0,2–1,5 °С) температуру воздуха на суходоле.

На рисунке 8.8 представлен график связи среднесуточных температур воздуха на болоте Ламмин-Суо и прилегающем к нему суходоле, построенный по данным за совместный период наблюдений. Как видно из рисунка, связь весьма тесная. Это дает основание для возможности использования ее при характеристике температурного режима неисследованных болот по данным суходольных метеостанций.

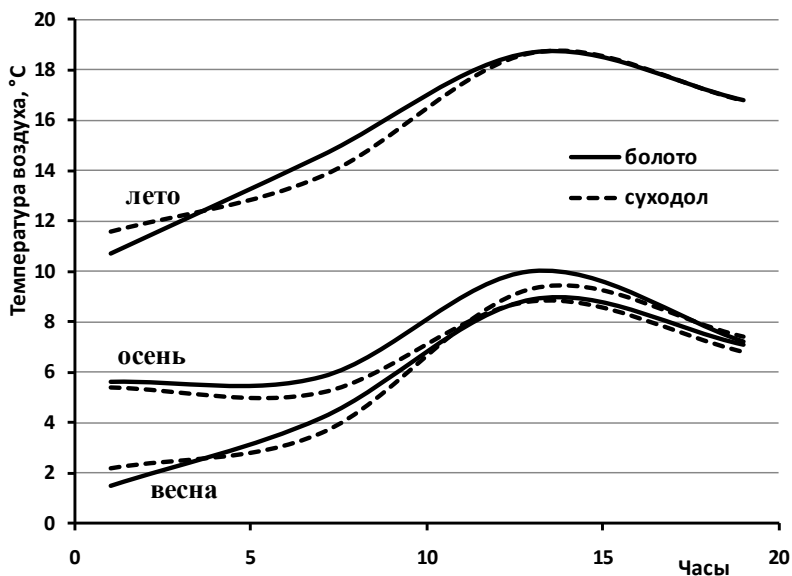


Рисунок 8.7. Многолетний (1952–1964 гг.) внутрисуточный ход температуры воздуха на болоте Ламмин-Суо и прилегающем суходоле: весной (апрель–май), летом (июнь–август), осенью (сентябрь–октябрь)

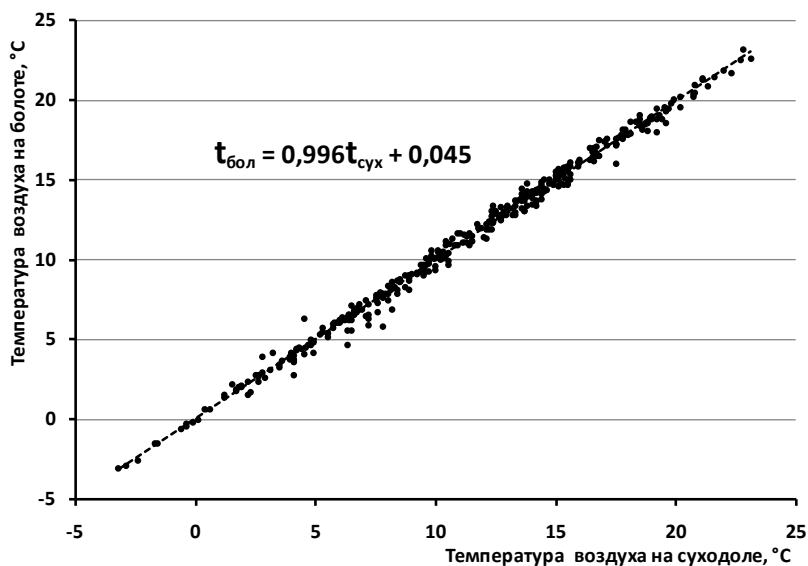


Рисунок 8.8. Связь среднемесячных температур воздуха (май–октябрь) на болоте Ламмин-Суо и прилегающем суходоле за период 1952–1964 гг.

Аналогичные зависимости получены для Ширинского болота (станция Вильи Горы) $t_{\text{бол}} = 1,042t_{\text{сух}} + 0,025$ и Иласского болота (станция Брусовица) $t_{\text{бол}} = 1,018t_{\text{сух}} + 0,119$.

8.3. Влажность воздуха

Влажность воздуха является одним из элементов режима его увлажнения и определяется содержанием в нем водяного пара. Она характеризуется тремя основными показателями: величиной парциального давления пара, относительной влажностью и недостатком насыщения. Все эти характеристики, как и температура воздуха, имеют отчетливо выраженный годовой и суточный ход.

Содержание влаги в воздухе меняется в зависимости от температуры воздуха, физико-географических условий местности, особенностей циркуляции воздушных масс, характера и состояния подстилающей поверхности. Парциальное давление (упругость водяного пара) содержащегося в воздухе водяного пара наименьших значений достигает в конце зимы (в феврале оно снижается до 2,8 гПа). Начиная с марта упругость водяного пара довольно быстро увеличивается, особенно интенсивно от мая к июню, достигая наибольших значений в июле (15 гПа). Амплитуда годового хода составляет 11 гПа (таблица 9 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»).

Относительная влажность воздуха характеризует степень насыщения воздуха водяным паром и представляет собой отношение (в процентах) фактической упругости водяного пара, содержащегося в воздухе, к максимально возможной при данной температуре. Годовой ход относительной влажности воздуха (таблица 10 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики») имеет обратную зависимость от хода его температуры, но несколько сдвинут на более ранние сроки с минимумом в мае (67 %) и максимумом в ноябре (91 %). Годовая амплитуда изменений относительной влажности воздуха составляет 24 %. В связи с тем, что в районе расположения болота преобладают морские воздушные массы, влажность воздуха остается достаточно высокой в течение всего года (в основном более 70 %).

Ожидаемого значительного превышения величины влажности на болоте по сравнению с суходолом не прослеживается, что объясняется влиянием на величину влажности достаточно обширных водных масс (Финский залив). В качестве подтверждения этого положения в таблице 8.3 и на рисунке 8.9 приведены сравнительные данные по значениям относительной влажности за двухлетний период на болоте Ламмин-Суо и метеостанции Роцино, расположенной в этом же районе. Некоторое превышение влажности воздуха на болоте в течение года наблюдается на двух временных отрезках. Первый период характеризуется стоянием высоких уровней воды на болоте в фазе половодья, которая соответствует наиболее сухому воздуху на суходолах. Второй период связан с переходом к холодному сезону, когда установление

отрицательных температур воздуха приводит к заметному понижению его влажности над суходолами, которое над болотами менее выражено, в связи с большой инерцией к изменениям их водно-тепловых характеристик, и происходит в более поздние сроки.

Таблица 8.3. Относительная влажность воздуха (1964–65 гг.), %

| Станция | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год |
|------------|----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|-----|
| Ламмин-Суо | 87 | 87 | 76 | 65 | 66 | 67 | 72 | 80 | 84 | 88 | 89 | 91 | 79 |
| Роцино | 88 | 87 | 79 | 69 | 64 | 66 | 72 | 82 | 88 | 86 | 88 | 92 | 80 |

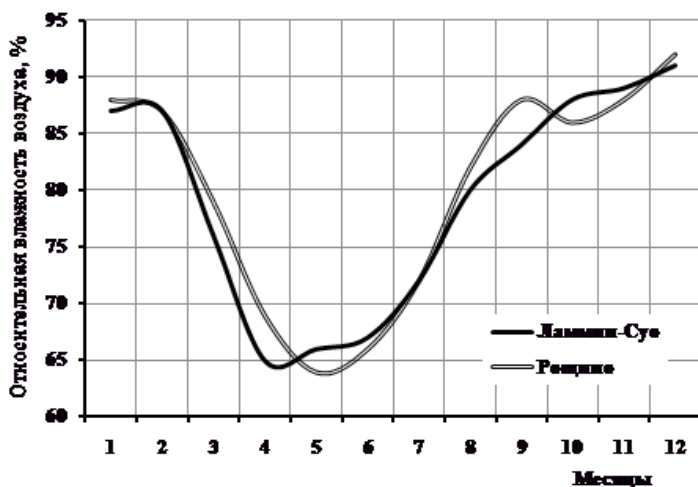


Рисунок 8.9. Годовой ход относительной влажности воздуха (1964–65 гг.) на болоте Ламмин-Суо и метеостанции Роцино

В таблице 8.4 и на рисунке 8.10 приведены сравнительные данные среднего месячного и годового парциального давления водяного пара для периода 1950–1985 годы по болоту Ламмин-Суо и метеостанциям Выборг, Роцино, Санкт-Петербург, расположенным в прибрежной полосе Финского залива по направлению с северо-запада на юго-восток [205]. Представленные данные для болота получены: по средним значениям из ежечасных величин до 1965 года и по 8 срочным наблюдениям (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 час) начиная с 1966 года.

Таблица 8.4. Средняя месячная и годовая упругость водяного пара (1950–85 гг.), гПа

| Станция | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Ламмин-Суо | 3,0 | 2,8 | 3,6 | 5,3 | 7,2 | 11,1 | 13,8 | 13,4 | 10,2 | 7,5 | 5,2 | 3,8 | 7,3 |
| Выборг | 3,3 | 3,0 | 3,8 | 5,4 | 7,9 | 11,5 | 14,2 | 13,9 | 10,7 | 7,7 | 5,5 | 4,1 | 7,6 |
| Роцино | 3,3 | 3,1 | 3,5 | 5,3 | 7,5 | 11,4 | 14,1 | 13,9 | 10,6 | 7,4 | 5,4 | 4,1 | 7,5 |
| Санкт-Петербург | 3,3 | 3,2 | 4,0 | 5,7 | 8,1 | 11,6 | 14,4 | 14,1 | 10,8 | 7,9 | 5,5 | 4,2 | 7,7 |

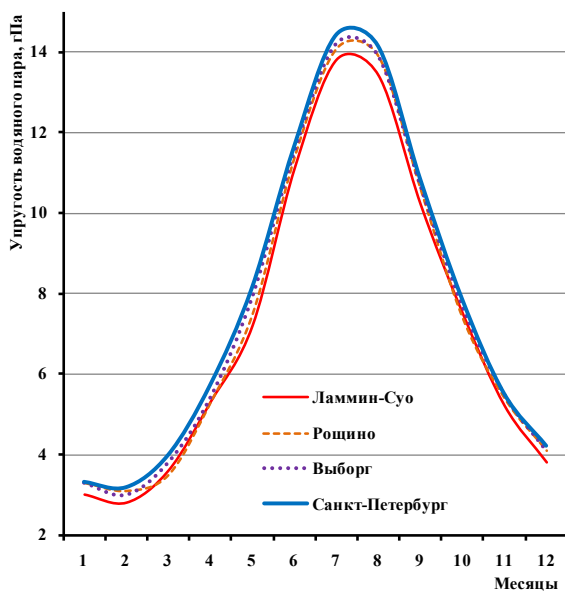


Рисунок 8.10. Годовой ход среднемесячных значений упругости водяного пара за период 1950–1985 гг. на болоте Ламмин-Суо и метеостанциях: Рошино, Выборг, Санкт-Петербург.

Исходя из приведенных выше данных, следует, что содержание влаги в воздухе на болоте меньше, чем на суходолах. Иными словами, потенциально возможное испарение с поверхности болота, при прочих равных условиях, выше, чем на суходолах. Если принять температуру воздуха по всему побережью примерно одинаковой, то на болоте практически весь год воздух суше, и особенно заметна эта разница в наиболее холодное время (январь–февраль) и наиболее жаркое (июль–август). На урбанизированной территории (г. Санкт-Петербург) наоборот, весь год наблюдается более теплый воздух и сравнительно большие значения упругости водяного пара, чем над болотом, то есть — большее содержание влаги в воздухе. Парадоксально, но воздух над верховым болотом суше, чем на сопредельных территориях. Во всяком случае, данное утверждение может быть справедливо для представленного климатического периода (рисунок 8.10). В настоящее время, в связи с относительным потеплением климата и увеличивающейся увлажненностью, такое различие нивелируется.

Суточный ход относительной влажности заметно выражен только в теплый период года. В этот период амплитуда колебаний влажности достигает 15–20 %. Максимум в суточном ходе наблюдается перед восходом солнца, минимум — обычно в 15–16 часов. Наибольший диапазон изменений относительной влажности приходится на май, когда величина ее может быть как более 95 %, так и менее 10 %.

Относительная влажность воздуха чаще, чем другие показатели влажности, применяется в практике, и в частности, при оценке испаряемости.

Показателем сухости погоды считают число дней с относительной влажностью, равной 30 % и ниже хотя бы в один срок наблюдений. Сухие дни на болоте Ламмин-Суо довольно редки и составляют в среднем за год 11 дней. Наблюдаются они в основном с марта по июль. Наиболее сухим месяцем является май (4 дня). В мае 1978 года был зафиксировано наибольшее за период наблюдений (таблица 11 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики») количество сухих дней (17 дней).

Число дней, когда относительная влажность воздуха в течение суток выше 80 % (влажные дни) в среднем за год составляет 154. Влажные дни — обычное явление для холодного периода года. Летом влажные дни возможны при выпадении осадков. В среднем за период наблюдений наибольшее число влажных дней приходится на декабрь и составляет 29 дней (таблица 12 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»).

На рисунке 8.11 представлены совмещенные графики внутрисуточного хода влажности воздуха на болоте Ламмин-Суо и прилегающем суходоле, построенные за совместный период наблюдений для весеннего, летнего и осеннего периодов. Как видно из рисунков, весной и летом влажность на болоте в течение всего дня на 0,2–0,5 мб ниже, чем на суходоле.

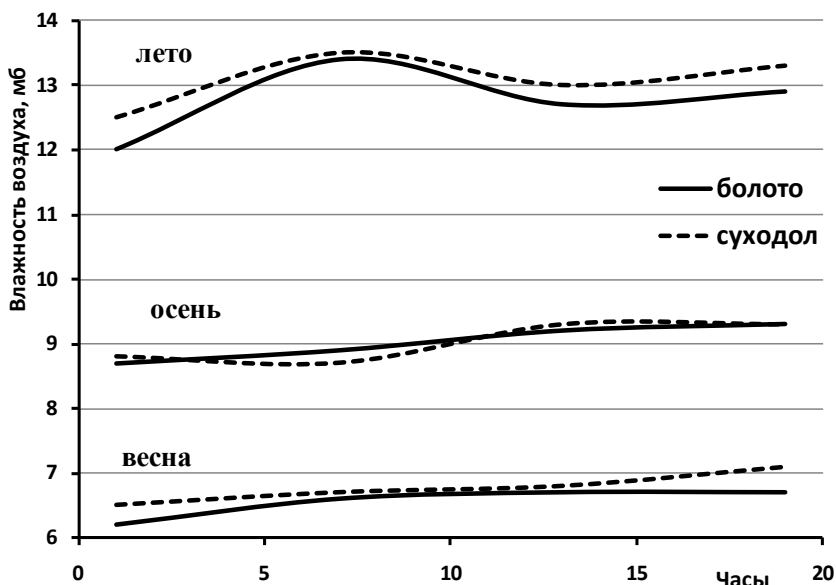


Рисунок 8.11. Многолетний (1952–1964 гг.) внутрисуточный ход влажности воздуха на болоте Ламмин-Суо и прилегающем суходоле: весной (апрель–май), летом (июнь–август), осенью (сентябрь–октябрь)

Осенью влажность на болоте также ниже, кроме утренних часов, чем на суходоле. Однако в целом оказывается, что влажность воздуха на болоте Ламмин-Суо меньше, чем на суходоле, что представляется не совсем обычным. Такое положение, по-видимому, можно объяснить тем, что суходольная метеорологическая площадка была организована в сосновом лесу и располагалась под пологом древостоя. Чтобы установить истинное соотношение величин влажности воздуха на болоте и суходоле, были привлечены данные наблюдений болотной станции Вильи Горы, на которой суходольная метеорологическая площадка находилась вблизи болота Ширинское и была оборудована с учетом всех предъявляемых требований. На рисунке 8.12 представлен график связи среднесуточных значений влажности воздуха на болоте и суходоле за теплый период 1984 года. Связь оказалась достаточно тесной и показывающей, что среднесуточная влажность воздуха на болоте все же немного выше влажности воздуха на суходоле.

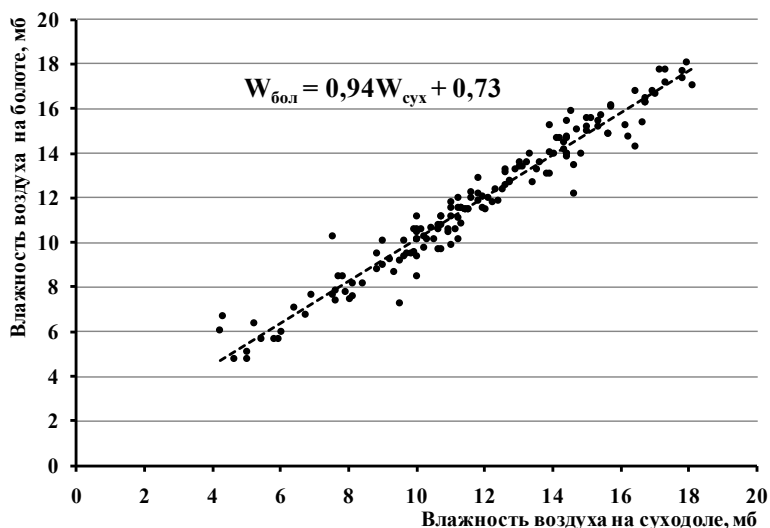


Рисунок 8.12. Связь среднесуточных значений влажности воздуха на болоте Ширинское и прилегающем суходоле, май–октябрь 1984 года

8.4. Атмосферные осадки

Осадки, выпадающие на болото Ламмин-Суо в виде дождя и снега, распределены в году неравномерно: большая часть их (61 %) приходится на теплый период, меньшая (39 %) — на холодный. В среднем за год выпадает 875 мм осадков. Наибольшее годовое количество осадков (1126 мм) наблюдалось в 1983 году, наименьшее (585 мм) — в 1972 году. За период наблюдений

(1953–2013 гг.) в четырнадцати случаях годовые суммы осадков превышали 1000 мм (таблица 13 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»).

Среднее за время наблюдений количество осадков теплого периода года составляет 521 мм. При этом наибольшее количество осадков (744 мм) выпало в 1984 году, наименьшее (274 мм) — в 1999 году (таблица 14 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»).

Средняя за время наблюдений сумма осадков холодного периода составляет 333 мм, наибольшее количество осадков (492 мм) выпало в 1981 году, наименьшее (187 мм) — в 1984 году.

Поскольку приведенные выше средние суммы осадков в полной мере не отражают условий увлажнения болотного массива, то для месячных сумм осадков приводятся их вероятностные характеристики (таблица 15 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»).

Внутригодовое распределение осадков неравномерное. Максимальное количество осадков приходится на октябрь. В этом месяце выпадает в среднем до 97 мм. Меньше всего осадков выпадает в апреле — 42 мм. Изменчивость месячных сумм осадков достаточно велика. Например, в октябре 1963 года выпало 222 мм осадков, что составляет 229 % от средней за период наблюдений, а в том же месяце 1951 года выпало всего 17 мм, или 17 % от нормы.

Число дней в году с осадками более 0,1 мм составляет 200 дней. Наибольшее количество их приходится на декабрь. Дни с осадками более 20 мм в сутки наблюдаются в основном в теплый период и не каждый год (таблица 16 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»).

Суточный максимум осадков представляет собой наибольшую их сумму, выпавшую в течение календарных суток. Средний суточный максимум осадков в течение года изменяется от 10,5 мм в феврале до 24,7 мм в августе. Наибольшие значения суточного максимума приходятся в основном на июль–август.

Самое большое количество осадков (59,7 мм) выпало 8 августа 1974 года и составило 242% от средней суточной суммы осадков за период наблюдений. Абсолютный максимум суточных осадков за холодный период, равный 39,3 мм, наблюдался 2 февраля 1957 года (таблицы 17 и 18 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»).

Изменение сумм годовых осадков в многолетнем плане показано на рисунке 8.13. Из рисунка видно, что годовые суммы атмосферных осадков во второй половине XX столетия имели тенденцию роста (линейный тренд), обуславливая увеличение обводнения болотного массива. Среднее

многолетнее количество годовых осадков, при условии неизменности линейного тренда, увеличилось с 830 мм в начальный период наблюдений до 920 мм в настоящее время.

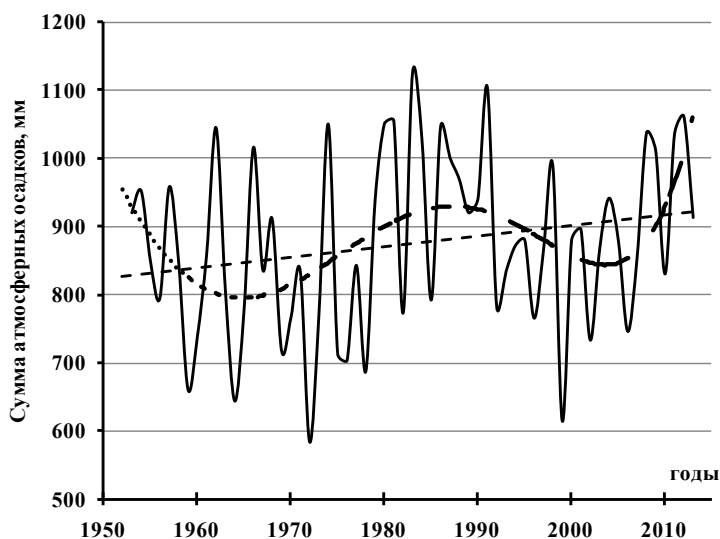


Рисунок 8.13. Изменение сумм годовых осадков на болоте Ламмин-Суо (1950–2013 гг.)

Как видно из рисунка, с начала XXI века наблюдается очередной цикл повышения водности, в связи с чем представляется маловероятным, чтобы атмосферные осадки в ближайшие годы могли способствовать повышению облесения болота

8.5. Снежный покров

Снежный покров является важной гидрометеорологической характеристикой, оказывающей значительное влияние на процесс промерзания и температурный режим почвогрунтов в холодный период года, гидрограф половодья и представляющей большой интерес при решении практических задач в строительстве, транспорте, сельском и коммунальном хозяйстве.

Наблюдения за характеристиками снежного покрова на болоте Ламмин-Суо ведутся с зимы 1949–50 гг. и включают в себя: ежедневные наблюдения по постоянным рейкам на метеорологической площадке, еженедельные наблюдения на постоянных снегомерных участках и проведение ежегодной расширенной снегомерной съемки в период максимального снегонакопления [117] (таблицы 19–21 раздела 2 Приложения «Многолетние

характеристики»). Кроме того, ведутся наблюдения за снеготаянием и влагоотдачей на специально оборудованной стоковой площадке [168]. При организации наблюдений за снежным покровом на болоте используется ландшафтно-гидрологический подход, предусматривающий производство наблюдений на всех характерных участках (микрорландшафтах) болотного массива и прилегающих к нему суходолах (лесные и склоновые площадки) в пределах его водосборной площади.

Высота снежного покрова на болоте определяется не только количеством выпадающих твердых осадков, но и температурой воздуха и характером подстилающей поверхности (степень развития мезо- и микрорельефа, вид растительности). Расчетные же значения высоты, плотности и запасов воды в снеге на болотном массиве определяются с учетом «веса» площади болотных микрорландшафтов (таблицы 22 и 23 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»).

Материалы наблюдений по постоянным снегомерным рейкам позволяют установить календарные даты, характеризующие режим снежного покрова в районе пункта наблюдений: даты появления и схода снежного покрова, периоды образования устойчивого покрова и его разрушения, число дней со снежным покровом (таблица 20 раздел 2 Приложения «Многолетние характеристики»). Эти данные характеризуют состояние снежного покрова лишь в окрестностях болотной метеорологической площадки (осредненные данные по трем постоянным рейкам), где производится основной комплекс наблюдений. Состояние снежного покрова (средние характеристики) по основным микрорландшафтам, как и в целом по болоту, в том числе на окрайках болотного массива и суходольной части водосбора, определяются с помощью снегомерных съемок.

Наиболее ранняя дата появления снега на болоте Ламмин-Суо наблюдалась 5 октября 1981 года, а наиболее поздняя — 24 декабря 2000 года. Средняя дата появления снега — 4 ноября. В годы с наиболее ранними датами появления снега он обычно сходит при оттепелях. Устойчивый снежный покров образуется в среднем 20 ноября. Самая ранняя дата установления снежного покрова за период наблюдений также приходится на 5 октября 1981 года, наиболее поздняя — на 14 января 2007 года.

В течение зимнего периода высота снега постепенно растет, достигая максимума обычно в начале марта. Средняя максимальная высота снежного покрова на болоте составляет 65 см. Наибольшая высота снега на болотной метеорологической площадке за период наблюдений зафиксирована зимой 1983–84 года и составила 114 см. Наименьшая высота снежного покрова наблюдалась зимой 2006–07 года — 33 см.

Разрушение снежного покрова начинается в начале третьей декады марта, а полный сход его приходится на конец второй декады апреля. Средняя продолжительность периода залегания снега составляет 164 дня, наибольшая — 199 дней (1981–82 гг.), наименьшая — 86 дней (1972–73 гг.).

На рисунке 8.14 показана хронология изменения высоты снежного покрова в течение зимнего сезона в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте, где расположена болотная метеорологическая площадка. Высота снежного покрова приведена по данным ежедекадных снегомерных съемок в указанном микроландшафте. Сплошной линией показана осредненная кривая значений высоты снежного покрова за весь период наблюдений 1950–2015 годы. Наиболее снежной была зима 1983–84 года при максимальной сезонной средней высоте снежного покрова на микроландшафте 117 см. Наименьшая максимальная средняя высота снежного покрова (16 см) была зафиксирована в зимний период 2013–14 года, когда снег лежал лишь во второй половине зимы.

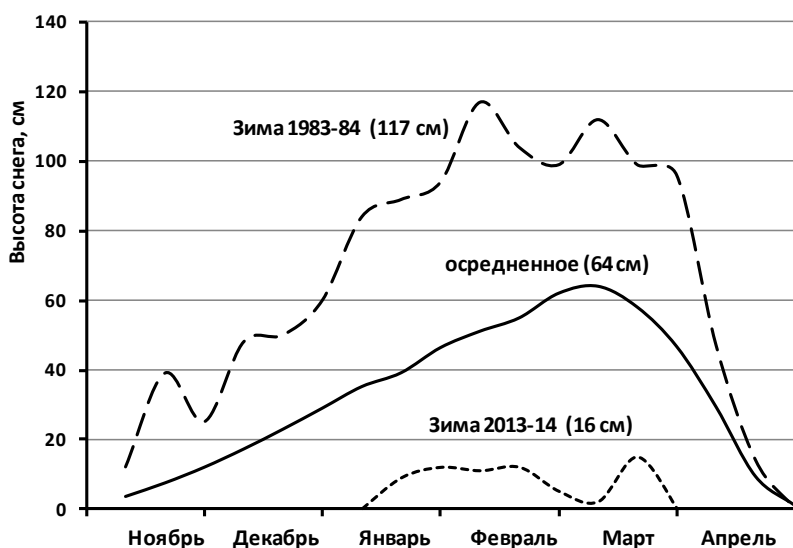


Рисунок 8.14. Нарастание высоты снежного покрова (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт) за характерные зимы и среднее ее значение за период наблюдений по данным снегомерных маршрутов (в скобках указаны максимальные значения высоты снега)

Графики изменения влагозапасов в снежном покрове (мм слоя воды) за характерные зимы приведены на рисунке 8.15. Как видно из рисунка, экстремальные зимние сезоны по влагозапасам наблюдаются в те же годы, что и экстремальные значения высоты снежного покрова. Наиболее высокие максимальные влагозапасы наблюдались в зимний период 1983–84 года и равнялись 336 мм слоя воды. Самой низкой по максимальным влагозапасам

в снежном покрове явилась зима 2013–14 года, когда они составили всего 29 мм слоя воды (таблица 22 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»).

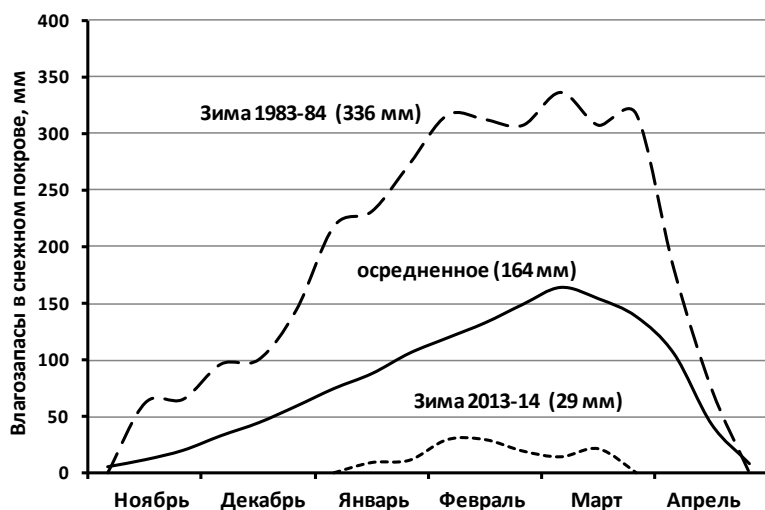


Рисунок 8.15. Изменение влагозапасов в снежном покрове (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт) за характерные зимы и среднее за период наблюдений по данным снегомерных маршрутов (в скобках указаны максимальные значения влагозапасов)

В течение зимы снег уплотняется под действием ветра, оттепелей и собственного веса, в результате чего его плотность постепенно растет от 0,16-0,17 до 0,35-0,37 г/см³. Запас воды в снеге постепенно увеличивается в течение холодного периода и достигает максимальных значений к началу весеннего снеготаяния. В самую многоснежную зиму (1983–84 гг.) максимальные запасы воды на болоте варьировали в зависимости от типа болотного микроландшафта в пределах от 270 до 336 мм, а в самую малоснежную (2013–14 гг.) — от 29 до 48 мм. В лесном массиве, на прилегающем к болоту суходоле, в многоснежную зиму максимальный запас воды в снеге составлял 350 мм, а в малоснежную — 52 мм.

На рисунке 8.16 показано колебание максимальных влагозапасов в снежном покрове за весь 66-летний период наблюдений. Как видно из рисунка, в колебаниях представленной кривой просматриваются два полных 28-летних цикла, ограниченных четко выраженными максимумами. Первый цикл характеризуется большей величиной и вариацией максимальных влагозапасов в снежном покрове, чем второй, который был более устойчивым. В целом за период наблюдений, согласуясь с тенденцией линейного тренда,

максимальные влагозапасы в снежном покрове сократились на 62 мм слоя воды с дальнейшим прогнозом на понижение, что подтверждается общей тенденцией к повышению годовых сумм отрицательных температур воздуха (рисунок 8.5).

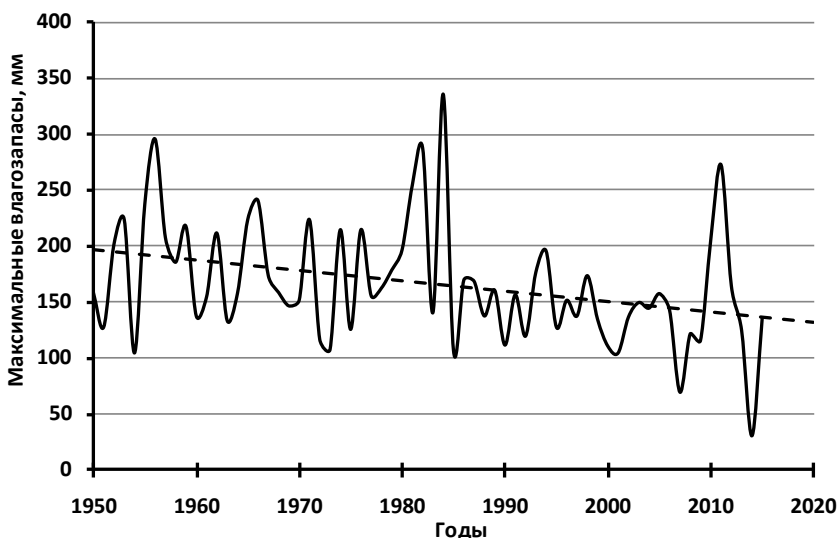


Рисунок 8.16. Изменение максимальных влагозапасов в снежном покрове (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт) за период 1950–2015 гг.

Касаясь многолетнего хода высоты снежного покрова, следует отметить, что данная характеристика не в полной мере отражает закономерность распространения снега по территории [46,98] и его изменчивость во времени. Сравнительная оценка изменения данной характеристики с пунктом наблюдений Санкт-Петербург-ИЦП (Информационный центр погоды) приведена в работе [10]. Обеспеченные значения характеристик снежного покрова для различной вероятности превышения приведены в таблицах 8.4 и 8.5 для верхней и нижней частей кривой обеспеченности.

Таблица 8.4. Параметры кривых малой обеспеченности и значения характеристик снежного покрова по данным максимальных снегомерных съемок на болотном массиве Ламмин-Суо за период 1950–2015 гг.

| Характеристика | Среднее значение | Cv | Cs/Cv | Вероятность превышения, % | | | | | |
|-------------------------------|------------------|------|-------|---------------------------|-----|------|------|------|------|
| | | | | 1 | 3 | 5 | 10 | 25 | 50 |
| Максимальная высота снега, см | 64,3 | 0,26 | 4,5 | 115 | 102 | 95,7 | 86,8 | 73,7 | 61,4 |
| Максимальные влагозапасы, мм | 167 | 0,33 | 5,0 | 349 | 298 | 273 | 240 | 194 | 155 |

Таблица 8.5. Параметры кривых большой обеспеченности и значения характеристик снежного покрова по данным максимальных снегомерных съемок на болотном массиве Ламмин-Суо за период 1950–2015 гг.

| Характеристика | Среднее значение | Cv | Cs/Cv | Вероятность превышения, % | | | | | |
|-------------------------------|------------------|------|-------|---------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | | 50 | 75 | 90 | 95 | 97 | 99 |
| Максимальная высота снега, см | 64,3 | 0,26 | 0,0 | 64,3 | 53,0 | 42,8 | 36,7 | 32,7 | 25,1 |
| Максимальные влагозапасы, мм | 167 | 0,33 | 1,5 | 163 | 128 | 99,1 | 82,8 | 72,8 | 54,1 |

8.6. Ветер

Направление и скорость ветра, повторяемость сильных ветров в отдельные сезоны года и в целом за год обуславливаются, прежде всего, преобладающими атмосферными процессами. Основной климатологической характеристикой направления ветра является его повторяемость по румбам. Средняя многолетняя повторяемость различных направлений в течение года испытывает значительные колебания. Для рассмотрения повторяемости ветра и штилей в процентах нами выбран характерный период 1965–1975 гг. Данные получены по флюгеру высотой 10 м (класс открытости флюгера по румбам за рассматриваемый период по классификации В. Ю. Милевского — «К»), расположенному на болотной метеорологической площадке. Календарный год условно разделен на холодные и теплые месяцы. Весенний перелом определялся по переходу апрель–май и перепаду северо-восточного и юго-восточного румба на 8 %. Соответственно, осенний перелом установлен по переходу октябрь–ноябрь и скачку юго-восточного и северо-западного ветров на 7%.

На болоте Ламмин-Суо в целом за год и в теплую его часть (таблица 24 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики») преобладают ветра западных (17 %) и юго-западных (20 %) направлений при 23 % штилей (рисунок 8.17). Теплое полугодие начинается с преобладания ветров северо-восточного румба (май). Постепенно роза ветров начинает соответствовать направлению основного влагопереноса, с юго-запада на северо-восток, который характеризуется усиливающимися ветрами юго-западного направления в тыловой части циклонов. Ветровая диаграмма за октябрь характеризует смещение циклонической деятельности на север с усилением ветров западного и северо-западного направлений, что свидетельствует о переходе к холодному полугодию.

В холодную часть года (рисунок 8.18) преобладающими становятся ветра южных румбов — от юго-восточных (19 %) до юго-западных (16 %)

направлений при 20 % штилей. Все еще преобладающие западные ветра (ноябрь) переходят в противоположные румбы, и роза ветров начинает соответствовать преобладающему влагопереносу данного полугодия — с северо-западного в южное и южно-восточное направление. Диаграммы за март и апрель свидетельствуют о постепенном переходе к теплomu времени года.

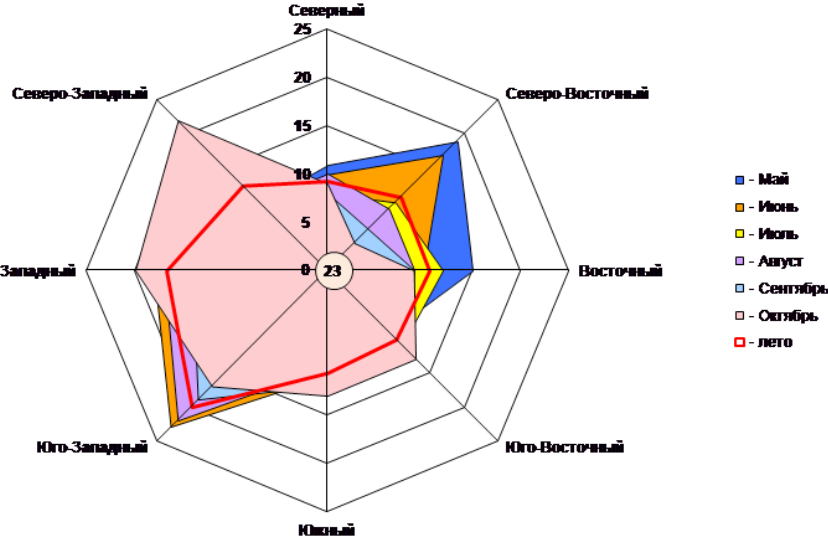


Рисунок 8.17. Повторяемость различных направлений ветра в теплое полугодие

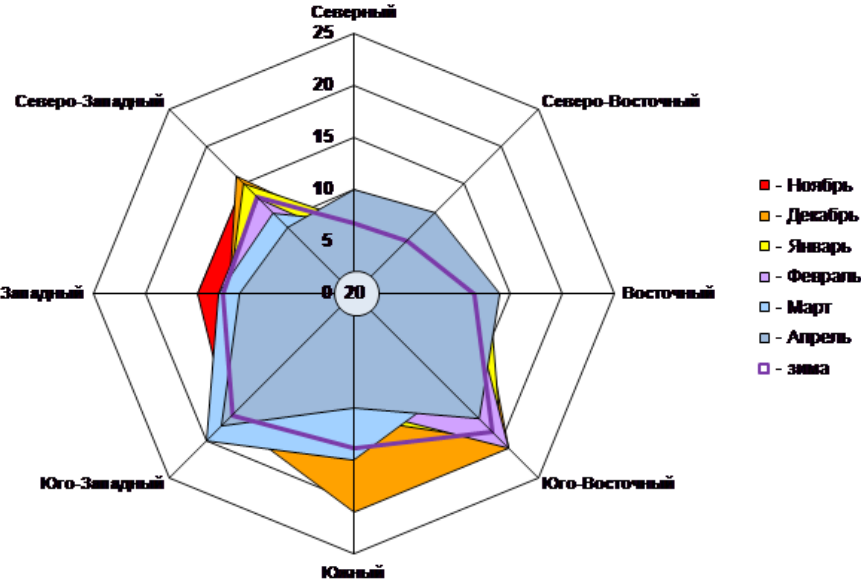


Рисунок 8.18. Повторяемость различных направлений ветра в холодное полугодие

Средняя месячная и годовая скорость ветра за этот же период получены по средним суточным величинам, рассчитанным по данным 4 срочных наблюдений на болотной метеорологической площадке. В годы с малой циклонической активностью средняя месячная скорость ветра изменяется от 1,8 до 2,7 м/с, а в годы с высокой циклонической активностью от 2,1 до 4,1 м/с (таблица 25 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»). Наиболее ветреным месяцем является декабрь, а наименее ветреным — август.

8.7. Облачность

Наблюдения на болотной метеорологической площадке включают в себя определение количества облаков (в баллах) и их формы. Количество облаков, закрывающих часть небосвода, оценивается по десятибалльной шкале. Устанавливается общее количество облаков (общая облачность) всех ярусов и количество облаков только нижнего яруса (нижняя облачность). В более общей форме по облачности различают три состояния неба: ясное (0–2 балла), облачное (3–7 баллов) и пасмурное (8–10 баллов). В районе болота Ламмин-Суо в течение года преобладает пасмурная погода. Повторяемость ее по общей облачности составляет в холодный период 70–80 %, а в теплый период несколько меньше — 65–75 %.

Определяющую роль в формировании облачности играет циркуляция воздушных масс. В результате весьма активной циклонической деятельности облачность в районе болотного массива в течение всего года значительна (рисунки 8.19 и 8.20), особенно в осенне-зимний период. Частое прохождение циклонов в это время вызывает значительное увеличение нижней облачности, снижение высоты нижней границы облаков и частое выпадение осадков. Среднее годовое значение общей облачности за период наблюдений составило 7,6 балла.

Ясная погода в осенне-зимний период наблюдается весьма редко и обычно обусловлена вторжением воздушных масс с Арктики [91]. Для рассматриваемого района в осенне-зимний период характерно сплошное покрытие неба облаками нижнего яруса слоисто-кучевых и слоисто-дождевых форм. Высота их над поверхностью земли обычно около 400 м. Как видно из рисунка 8.19, наиболее облачным месяцем является ноябрь со средней облачностью 8,8/7,0. Немногим менее облачным является и декабрь, со значением нижней облачности 6,5 балла. Максимальное значение (10/10) средней месячной облачности за период наблюдений зафиксировано в 6 случаях: февраль 1997 года, октябрь 1952 года и декабрь 1953, 1954, 1994, 2008 годов.

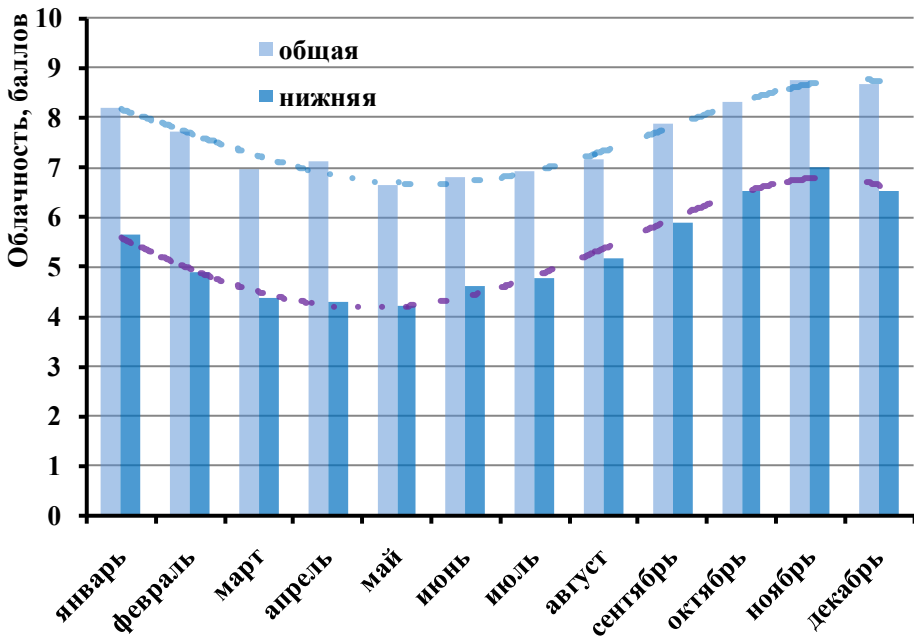


Рисунок 8.19. Средние месячные значения облачности над болотом Ламмин-Суо за период 1950–2013 гг.

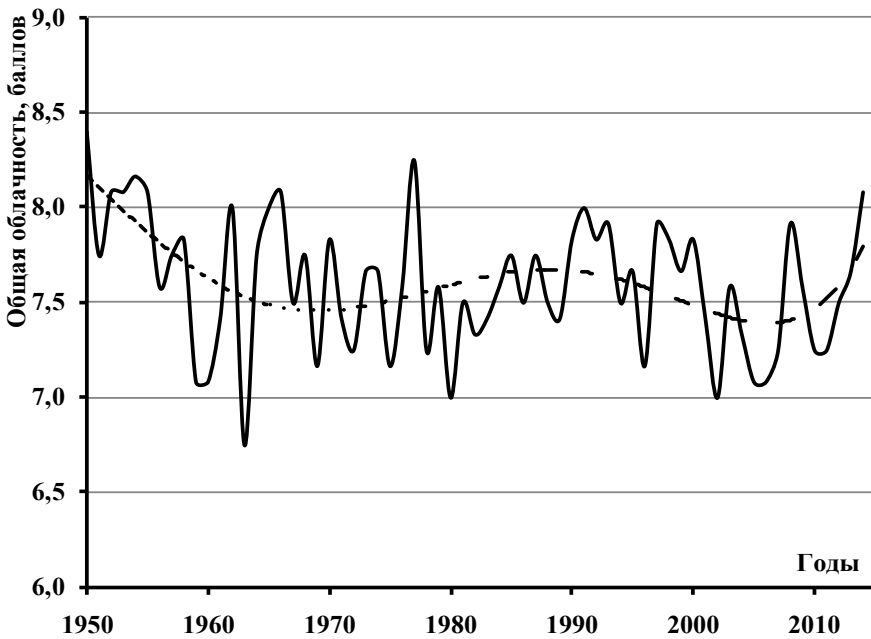


Рисунок 8.20. Изменение средних годовых значений общей облачности над болотом Ламмин-Суо за период 1950–2013 гг.

В весенне-летний период число ясных дней существенно возрастает. Облака различных форм оказывают разное влияние на приход солнечной радиации, а соответственно и на температуру воздуха и почвы. В теплый период наряду со слоисто-кучевыми облаками характерными становятся кучевые и кучево-дождевые облака. Наименее облачным месяцем за период наблюдений является май, со средней облачностью 6,6/4,2. Самое ясное небо над болотом наблюдалось в мае 1984 года со средней облачностью 4/1.

Наиболее облачными за период наблюдений были 1950 и 1977 годы со средней годовой общей облачностью 8,4 и 8,3 балла соответственно. Наиболее ясным и относительно безоблачным был 1963 год с общей средней годовой облачностью 6,8 баллов.

Ход изменения средних годовых значений общей облачности над болотом (рисунок 8.20) синхронизируется с ходом сумм годовых осадков (рисунок 8.13), что вполне естественно, за исключением отдельных лет, когда нарушалось установившееся соотношение между общей и нижней облачностью. Аппроксимирующие полиномы 5-й степени (пунктиром) выделяют в пределах ряда одинаковую цикличность, в данном случае около 35 лет, и с меньшей долей общей дисперсии, что также естественно по отношению к атмосферным осадкам. Данные сглаживающие кривые при высоких степенях полинома в большой мере зависят от начальных и конечных значений ряда («уводятся»), поэтому как прогноз, так и ретроспектива требуют дополнительных комплексных данных и их анализа. Несмотря на это, внутри ряда для использования знаний как по формированию режима, так и по физическим основам процесса они вполне информативны.

8.8. Атмосферное давление

Давление воздуха является одной из основных характеристик физического состояния атмосферы. Данные наблюдений за этим элементом режима на болоте Ламмин-Суо представлены в таблицах 26 и 27 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики». Следует отметить, что некоторые показатели давления служат дополнительной и существенной характеристикой циклонической деятельности атмосферы [90], и, более того, атмосферное давление в определенной мере влияет на режим болотных и грунтовых вод [61, 228] (рисунок 7.15). Представление о годовом ходе атмосферного давления в районе болота можно получить на основе анализа таблицы 8.6, где приведены данные наблюдений Зеленогорской болотной станции.

Таблица 8.6. Средние многолетние значения атмосферного давления (1964–2011 гг.), мб

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Сред. |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1004,7 | 1006,4 | 1005,6 | 1006,4 | 1008,0 | 1005,1 | 1004,7 | 1005,5 | 1005,5 | 1005,7 | 1004,1 | 1003,1 | 1005,4 |

Как видно из таблицы, наиболее высокое давление наблюдается в мае, наиболее низкое — в декабре. С декабря до мая давление постепенно повышается, а с июня до конца года падает.

Самые большие в году значения междусуточной изменчивости давления воздуха (25–33 мб) отмечаются в январе–феврале, в летние месяцы они уменьшаются до 12–16 мб (таблица 27 раздела 2 Приложения «Многолетние характеристики»).

Режим всех основных рассматриваемых в главе 8 характеристик болотного массива, связанных с метеорологическими параметрами, показывает цикличность 28–36 лет, что соответствует трем 11-летним циклам солнечной активности, которые также прослеживаются внутри ряда [1, 217]. Данная продолжительность цикличности и длина ряда наблюдений позволяют перейти от набора погодных условий к сегодняшним температурным параметрам регионального климата (рисунок 8.2), но не дают возможности для оценки и прогноза более продолжительного цикла климатической изменчивости, связанной с глобальными изменениями (рисунок 8.1). Анализ скорости торфонакопления торфяной залежи болотных массивов позволяет найти подходы не только для реконструкции и долгосрочного прогноза изменения климата, но и для прогноза интенсивности регионального заболачивания территории в обозримом интервале времени [12], которая является интегральным показателем региональных климатических изменений.

ГЛАВА 9

РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ БОЛОТА

На болоте Ламмин-Суо наблюдения за составляющими радиационного баланса велись с 1951 года, что было связано с изучением теплового режима и составляющих теплового баланса болота и прежде всего с исследованием процесса испарения с болот. Эти исследования проводились под руководством В. В. Романова в течение более 10 лет. К сожалению, архив данных актинометрических наблюдений не сохранился в связи с обстоятельствами чрезвычайного характера, не попали исходные данные серийных наблюдений и в «Материалы наблюдений болотных станций». Нет их и в научных публикациях, посвященных исследованию теплового режима болот. Сохранились лишь материалы серийных наблюдений, выполненных значительно позже (в 1971–72 годах) на болоте и прилегающем к нему суходоле (таблицы П.12.1-П.12.3 в Приложении к главе 12). Наблюдения проводились в соответствии с требованиями «Руководств» [195, 197, 198]. Данные до 1982 года, представленные по Международной пиргелиометрической шкале (МПШ-56), скорректированы ($k = 1,022$) в соответствии с Международным радиометрическим эталоном (МРЭ).

9.1. Суммарная солнечная радиация

Основными факторами, определяющими интенсивность суммарной солнечной радиации при безоблачном небе, является высота солнца над горизонтом и прозрачность атмосферы. Величина прихода суммарной солнечной

радиации в значительной степени зависит от облачности — ее количества и формы облаков. Результирующее влияние этих факторов в итоге и определяет радиационный режим подстилающей поверхности, его суточный и годовой ход.

При отсутствии данных актинометрических наблюдений по болоту Ламмин-Суо характеристику режима суммарной солнечной радиации в районе болота можно составить по материалам наблюдений ближайших актинометрических станций, расположенных в 40–60 км к юго-востоку. К ним в данном случае относятся две станции — Ленинград и Воейково. Первая станция расположена в черте города и поэтому находится в условиях сильно загрязненной атмосферы. Вторая станция расположена в 19 км к востоку от города, в условиях менее загрязненной атмосферы.

Представление о суточном ходе суммарной солнечной радиации на болоте Ламмин-Суо можно получить из графика (рисунок 9.1), построенного по данным наблюдений актинометрической станции Воейково.

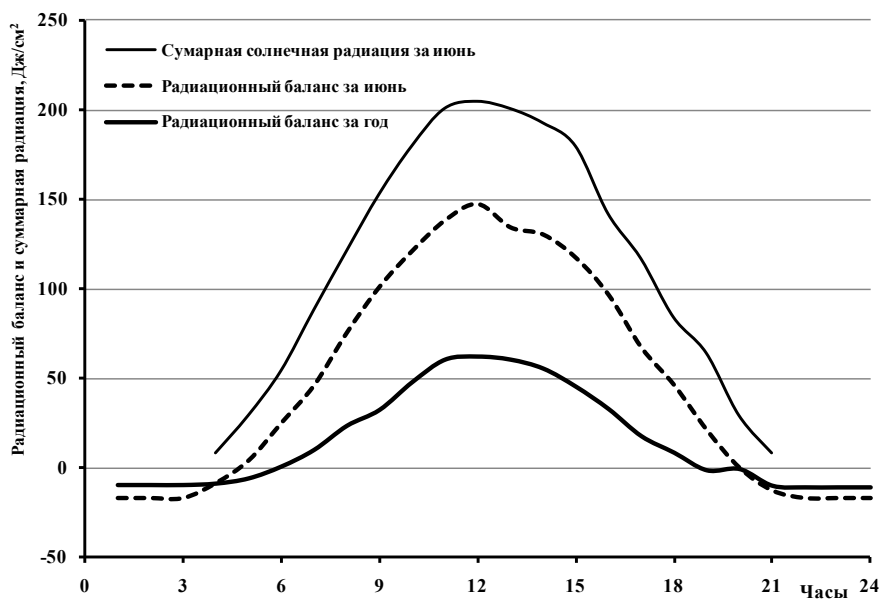


Рисунок 9.1. Суточный ход суммарной солнечной радиации и радиационного баланса (по среднееголетним данным ст. Воейково)

Как следует из рисунка, который показывает режим радиации при средних условиях облачности, максимум в суточном ходе суммарной радиации приходится на 12 часов дня и в среднем составляет 205 Дж/см² час.

В таблице 9.1 представлены средние многолетние (1950–1985 гг.) месячные значения суммарной радиации по ст. Воейково, позволяющие составить

достаточно четкое представление о внутригодовом распределении и величинах суммарной солнечной радиации в районе болота Ламмин-Суо.

Таблица 9.1. Величины суммарной радиации при средних условиях облачности, МДж/м² (ст. Воейково)

| Месяцы | | | | | | | | | | | |
|--------|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|----|-----|
| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| 34 | 93 | 251 | 377 | 573 | 644 | 597 | 439 | 256 | 104 | 37 | 18 |

Как видно из таблицы, величины суммарной радиации с начала года довольно быстро увеличиваются и в июне достигают своего максимума (644 МДж/м²). Начиная с июля происходит вначале медленное, а затем быстрое снижение величин суммарной радиации. Минимум ее (18 МДж/м²) приходится на декабрь.

9.2. Альbedo поверхности различных болотных микроландшафтов

Альbedo характеризует отражательную способность поверхности микроландшафтов по отношению к солнечной радиации. Величина его в значительной мере зависит от высоты солнца над горизонтом, окраски, состояния и состава растительного покрова, степени развития микрорельефа поверхности болота и ее увлажнения. В связи с этим альbedo изменяется как в течение суток, так и в течение года. В теплый период года величина альbedo на верховых болотах изменяется в пределах от 13 до 22 %. В практике гидрофизических расчетов пользуются осредненными значениями альbedo (таблица 9.2), полученными на основе данных наблюдений на болотах Северо-Запада ЕТР и Западной Сибири.

Таблица 9.2. Альbedo поверхности различных групп болотных микроландшафтов в теплое время года

| Группа микроландшафтов | Альbedo, % |
|------------------------|------------|
| Лесные | 14 |
| Мохово-лесные | 15 |
| Моховые | 16 |
| Мохово-травяные | 18 |
| Комплексные | 17 |

9.3. Радиационный баланс

В начале настоящей главы отмечалось, что из материалов актинометрических наблюдений по болоту Ламмин-Суо сохранились лишь данные, полученные в 1971–72 годах. В эти годы были проведены серийные наблюдения в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте (центральная часть массива) и на прилегающем с северо-запада участке суходола. Суходольный участок слабо облесен сосной, поверхность почвы в месте установки приборов частично покрыта вереском и лишайником. В 1971 году наблюдения проводились как на болоте, так и на суходоле, а в 1972 году — только на болоте. В 1971 году на болоте было проведено 13 суточных серий, на суходоле — 7; в 1972 году с мая по сентябрь на болоте было отработано 28 серий. При проведении серийных наблюдений измерялись составляющие радиационного и теплового балансов, температура и влажность воздуха на двух высотах, температура торфяной залежи и скорость ветра. Методика проведения серийных наблюдений изложена в «Наставлении», выпуск 8 [128]. Первоначальное обобщение полученных материалов провела в 1973 году И. И. Калюжная. Она выполнила анализ суточного хода радиационного баланса, суммарной солнечной радиации, теплопотока в торфяную залежь, температуры и влажности воздуха с целью выявления связей отдельных элементов между собой. Результаты этого исследования подтвердили ранее установленную тесную связь между испарением и радиационным балансом, а также позволили уточнить величину удельного испарения для засушливых лет.

По данным упомянутых выше серийных наблюдений были построены связи суточных значений радиационного баланса с суммарной солнечной радиацией (рисунок 9.2).

Используя полученную связь, по данным суммарной солнечной радиации были вычислены величины радиационного баланса за дни, в которые не проводились серийные наблюдения. В дальнейшем полученные значения радиационного баланса были использованы для построения связи с декадными величинами радиационного баланса актинометрической станции Воейково (рисунок 9.3), расположенной в пригороде Санкт-Петербурга. Как видно из графика, связь оказалась достаточно тесная и поэтому может быть использована как при характеристике радиационного режима болота Ламмин-Суо, так и при контроле качества материалов наблюдений, полученных по испарителям ГГИ-Б-1000.

На рисунке 9.4 представлен график связи месячных сумм радиационного баланса болота Ламмин-Суо и ст. Воейково [131], позволивший рассчитать средние величины радиационного баланса исследуемого болота (таблица 9.3).

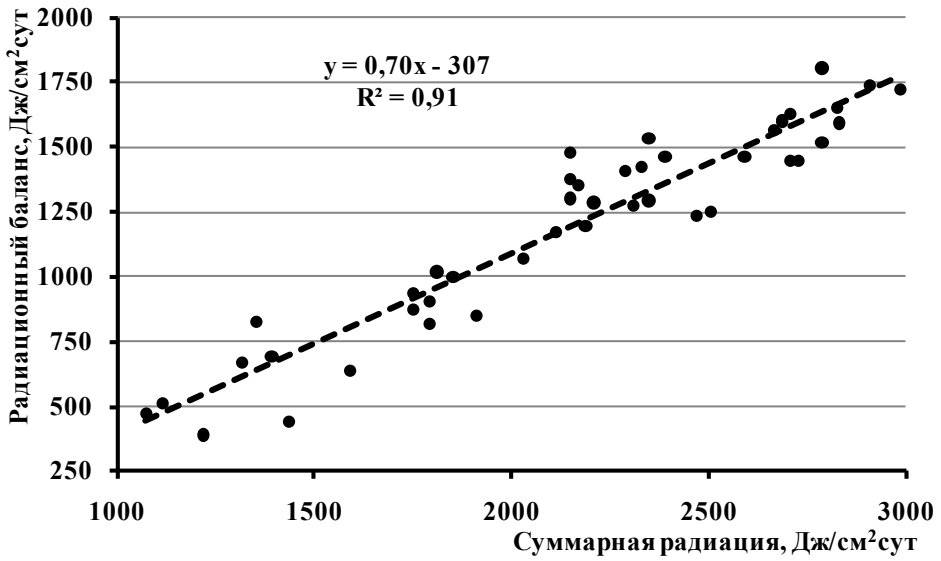


Рисунок 9.2. Связь радиационного баланса с суммарной солнечной радиацией (болото Ламмин-Суо, 1971–72 годы)

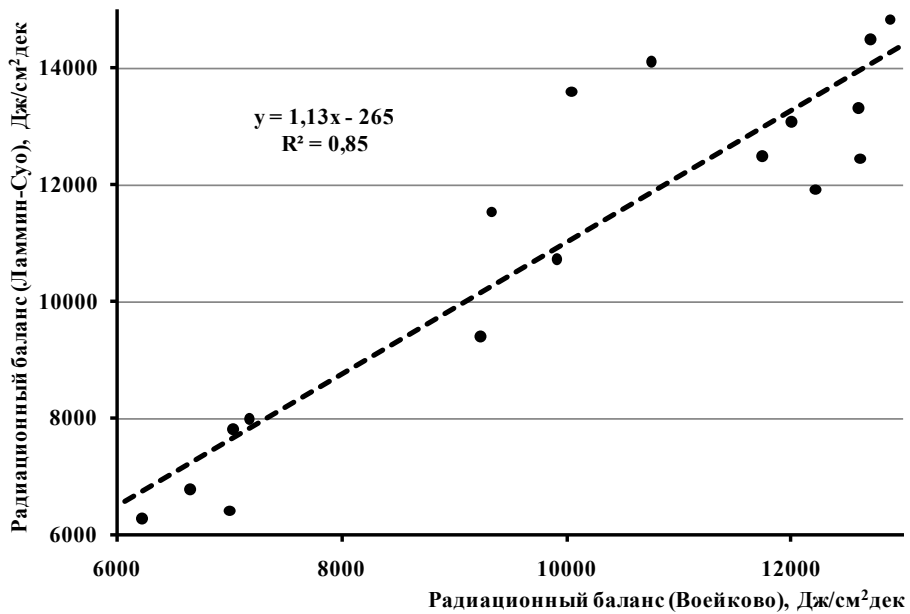


Рисунок 9.3. Связь декадных величин радиационного баланса

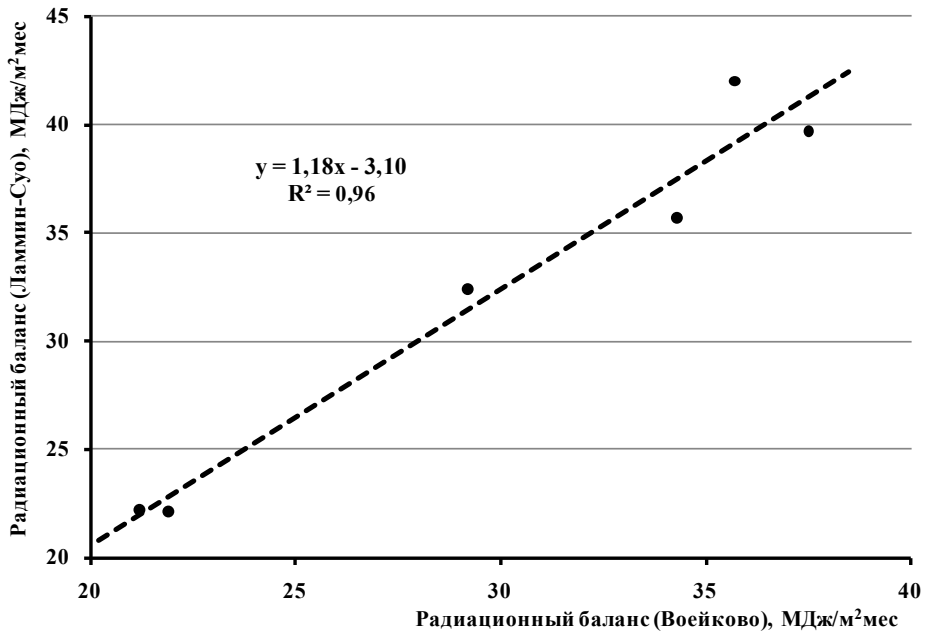


Рисунок 9.4. Связь месячных величин радиационного баланса

Таблица 9.3. Средние многолетние месячные значения радиационного баланса (МДж/м²) болота Ламмин-Суо

| Месяцы | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|------|-----|----|
| IV | V | VI | VII | VIII | IX | X |
| 151 | 281 | 348 | 331 | 205 | 105 | 13 |

Среднемноголетние месячные величины радиационного баланса болота в теплый период года, как видно из таблицы, изменяются от 151 МДж/м² в апреле, до 348 МДж/м² в июне, затем постепенно снижаясь до 13 МДж/м² в октябре.

ГЛАВА 10

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ БОЛОТА

10.1. Тепловые свойства деятельного слоя торфяной залежи

В связи с процессом теплообмена болот с атмосферой и подстилающими минеральными грунтами тепловой режим торфяной залежи, и особенно ее деятельного слоя, непрерывно изменяется во времени и пространстве. Величина этих изменений, зависящая главным образом от радиационного баланса поверхности болота и водно-физических свойств торфяной залежи, не остается постоянной, а изменяется как в течение года, так и в течение отдельных суток. Важную роль в формировании теплового режима торфяной залежи играют ее термические константы: объемная теплоемкость (c_p), коэффициент теплопроводности (λ) и коэффициент температуропроводности (κ). Эти характеристики связаны между собой уравнением:

$$\kappa_t = \lambda/c_p \quad (10.1)$$

Следует отметить, что торфяные и минеральные грунты различаются между собой не только по их составу (органический и минеральный), но и по количественному соотношению слагающих их фаз (твердое вещество, вода, воздух). Так, объемное содержание сухого растительного вещества в деятельном слое верховых болот составляет от долей процента до 4–5 % [185].

Изучением тепловых свойств деятельного слоя болота Ламмин-Суо в 1950–1960-х годах занимался В. В. Романов [185]. Он использовал в своих исследованиях все существовавшие в то время методики и приборы, применяемые при изучении тепловых свойств, в основном, минеральных почвогрунтов. При определении объемной теплоемкости торфяной залежи деятельного слоя В. В. Романов использовал мерзлые торфяные монолиты. Коэффициенты теплопроводности залежи определялись как по методу Кондратьева [185], так и с помощью шаровых термозондов.

Объемная теплоемкость. Величина объемной теплоемкости торфяной залежи, ввиду крайне малого содержания в ней твердого растительного вещества, определяется влажностью залежи. В монографии [185] В. В. Романов приводит следующую формулу для расчета объемной теплоемкости (c_p) в кал/см³град:

$$c_p = \rho_1 d_1 + W/100, \quad (10.2)$$

где ρ_1 — удельная теплоемкость сухого растительного вещества, кал/г·град; d_1 — его плотность, г/см³; W — влажность деятельного слоя в объемных процентах.

Для верховых болот при отсутствии данных о влажности залежи и плотности сухого растительного вещества он рекомендует пользоваться полученными им осредненными величинами (Таблица П.10.1 Приложения к главе). В этой таблице представлены значения теплоемкости торфяной залежи различных болотных микроландшафтах и элементов микрорельефа при разных уровнях болотных вод. Проанализировав эту таблицу, можно составить достаточно четкое представление о теплоемкости деятельного слоя болота Ламмин-Суо. Диапазон изменений объемной теплоемкости в деятельном слое на исследуемом массиве, как следует из анализа таблицы, достаточно широк: от 0,16 кал/см³град при низких уровнях болотных вод, до 0,99 кал/см³град при высоких уровнях. Соответственно этот диапазон в Дж/см³град — от 0,67 до 4,15.

Поскольку теплоемкость льда практически вдвое меньше теплоемкости воды, то при замерзании торфяной залежи ее теплоемкость сильно снижается. Величину теплоемкости мерзлой залежи можно определить по формуле [185]:

$$c_{p_m} = 0,4d + 0,48W/100 \quad (10.3)$$

Теплопроводность. Поскольку в деятельном слое болот процессы перемещения влаги достаточно развиты, то в переносе тепла в талой залежи,

помимо молекулярной теплопередачи, большую роль играет перенос тепла движущейся водой (фильтрационной, капиллярной, осмотической) и паром. Этим в значительной мере объясняется весьма широкий диапазон (от 0,17 до 1,40 Вт/м°C) изменения теплопроводности деятельного слоя торфяной залежи.

Большие экспериментальные работы на болоте Ламмин-Суо по определению теплопроводности торфяной залежи деятельного слоя, выполненные В. В. Романовым, позволили ему получить расчетную зависимость коэффициента теплопроводности от определяющих его факторов — влажности (W) и температуры (t) залежи [185].

$$\lambda_{t,w} = \lambda_{6,10} + m(W-10) + 1,583 \cdot 10^{-5}(t-6) + 0,0417 \cdot 10^{-5}W(t-6), \quad (10.4)$$

где $\lambda_{6,10}$ в среднем равняется $12 \cdot 10^{-5}$; m — угловой коэффициент, изменяется от $0,72 \cdot 10^{-5}$ до $1,00 \cdot 10^{-5}$; W — объемная влажность деятельного слоя, %.

Коэффициент теплопроводности по этой формуле вычисляется в кал/см·сек·град, для перевода в Вт/м·град надо полученную величину умножить на 419. Для облегчения вычисления $\lambda_{t,w}$ в работе [185] приведена номограмма.

Исследованием теплопроводности торфов в свое время занимался С. С. Корчунов [95], который указывал на сильное влияние объемного веса на величину λ . В полученной им расчетной зависимости коэффициент теплопроводности (ккал/м·час°C) увязан с объемным весом (γ), г/см³:

$$\lambda = 0,050 + 0,340\gamma^2 \quad (10.5)$$

В этой же работе приведена таблица средних значений коэффициентов теплопроводности для торфов с влажностью более 70%.

Зависимости коэффициента теплопроводности талого (λ) и мерзлого (λ_m) торфа от влажности, полученные при лабораторных исследованиях в ГГИ, имеют следующий вид:

$$\lambda = 0,181 \exp(0,017W), \quad (10.6)$$

$$\lambda_m = 0,313 e^{0,03W_m} (0,41 - 1,26\rho), \quad (10.7)$$

где W — влажность талого торфа; W_m — влажность мерзлого торфа.

Температуропроводность. Численной характеристикой ее является коэффициент температуропроводности (K_t), определяющий скорость

распространения температурной волны в торфяной залежи. Величина этого коэффициента зависит от влажности и плотности торфа. Результаты определения коэффициентов теплопроводности почвенного слоя на болоте Ламмин-Суо приведены в монографии В. В. Романова [185].

Зависимости для расчета K_t торфяной залежи верховых болот, полученные при лабораторных исследованиях в ГГИ [83], представлены ниже:
при степени разложения торфа $R=3-10\%$

$$K_t = 0,922 \cdot 10^{-3} e^{0,017W} / (\rho + 0,021W), \quad (10.8)$$

при степени разложения торфа $R=10-30\%$

$$K_t = 1,08 \cdot 10^{-3} e^{0,017W} / (\rho + 0,021W), \quad (10.9)$$

где ρ — плотность торфа, г/см³; W — его влажность, %.

При наличии значений двух каких-либо из рассмотренных выше тепловых характеристик по формуле (10.1) можно определить величину третьей.

10.2. Режим теплообмена в деятельном слое залежи

Поток тепла в торфяную залежь является одной из составляющих теплового баланса болот и поэтому представляет большой интерес при изучении теплового режима болот и процесса фазовых превращений влаги в деятельном слое. Его величина и характер изменения во времени в значительной степени зависит от радиационного баланса. Изучение теплообмена в деятельном слое торфяной залежи болот интенсивно началось с появлением тепломера конструкции АФИ (агрофизического института). В конце 1950-х — начале 1960-х годов на болоте Ламмин-Суо под руководством В. В. Романова начали проводиться тепlobалансовые исследования с использованием тепломеров [13, 14, 22, 88], а чуть позже весьма широко и на болотах Западной Сибири [16, 42].

Согласно результатам проведенных на болоте исследований теплоточков в деятельном слое торфяной залежи [88], суточный ход тепла синхронен ходу радиационного баланса с максимумом в 11–13 часов и минимумом в 22–23 часа (рисунок 10.1). Переход отрицательных значений теплоточка к положительным значениям происходит в утренние часы, от положительных к отрицательным — в вечерние часы. Причем часы перехода в течение теплого сезона постепенно сдвигаются, что ведет к постепенному сокращению периода положительных величин суточного потока тепла. Аналогичная картина

наблюдается и на верховых болотах Западной Сибири [16]. С глубиной суточная амплитуда теплопотока уменьшается. Если на повышенных элементах микрорельефа на глубине 2,5 см в летние месяцы она колеблется в диапазоне 17–20 Дж/см²час, то на глубине 20 см — в диапазоне 7–8 Дж/см²час. На пониженных элементах микрорельефа амплитуда несколько больше. Однако наибольшая амплитуда отмечается весной в период снеготаяния, когда она может достигать 55 Дж/см²час. Авторы [88], получившие такие результаты, объясняют это фильтрационной составляющей теплового потока, обусловленной инфильтрацией талых вод.

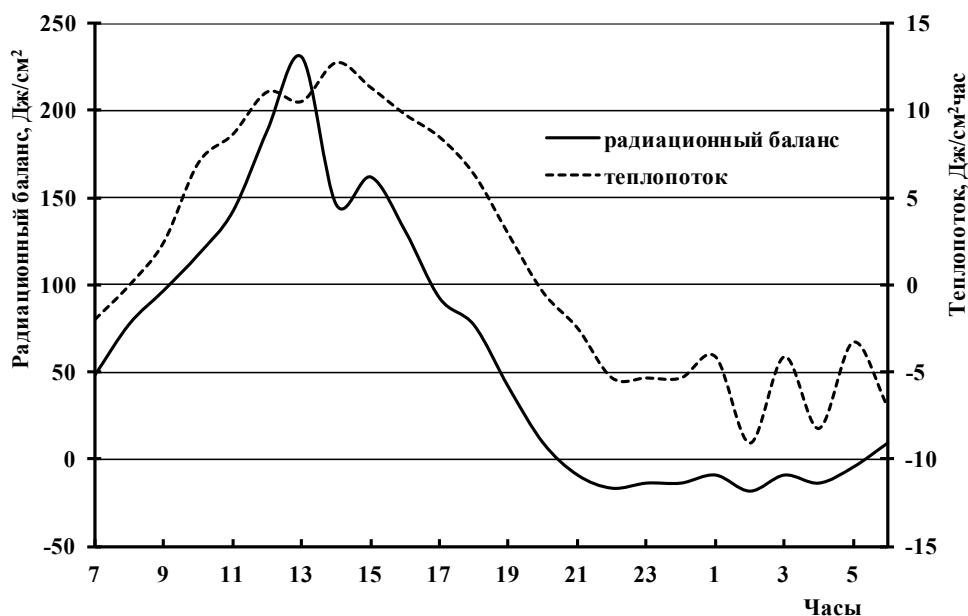


Рисунок 10.1. Суточный ход радиационного баланса и теплопотока на глубине 2,5 см (23 июля 1971 года)

Достаточно четкое представление о внутригодовом режиме теплопотока на болотном массиве Ламмин-Суо можно получить из данных, приведенных в таблице 10.1 и заимствованных из работы [88].

Таблица 10.1. Месячные величины теплопотока (Дж/см²) на глубине 2,5 см (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт, 1964 год)

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год |
|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|
| -880 | -600 | -509 | 896 | 913 | 540 | 591 | 337 | -139 | -450 | -1861 | -1233 | -2394 |

Как видно из таблицы, прогрев торфяной залежи происходит в течение 5 месяцев (апрель–август). Причем максимум теплоточка приходится не на летние месяцы (июнь, июль), а на весенние — апрель, май.

Расхождение величин притока тепла в торфяную залежь и оттока из нее за рассматриваемый год оказалось довольно значительным — отток превысил приток на 2400 Дж/см². Если рассматривать этот год по средней годовой температуре воздуха (3,5 °С), то он был близок к норме (3,8 °С) при соотношении сумм среднесуточных положительных и отрицательных температур воздуха 2195 °С / -1020 °С. Авторы статьи столь большое превышение оттока над притоком тепла объясняют значительным ноябрьским выхолаживанием болота, обусловленным отсутствием снежного покрова. К сожалению, отсутствие длительных наблюдений за потоком тепла в торфяную залежь не позволяет выявить характер соотношений годового притока и оттока тепла в разные по водно-тепловому режиму годы.

Параллельные наблюдения за теплоточком в различных болотных микроландшафтах, а также на суходоле не выявили каких-либо закономерностей в его распределении по площади. Полученные данные [88] показали, что соотношения величин теплоточка в различных болотных микроландшафтах не остаются постоянными, а изменяются в зависимости от гидрометеорологических условий. Однако установлено, что на более увлажненных элементах поверхности болота (межкочечные понижения, западины, мочажины) величина теплоточка больше, чем на менее увлажненных (кочки, гряды). Это положение подтвердили и теплбалансовые исследования на болотах Западной Сибири [16].

В результате работ по изучению теплоточка в деятельном слое торфяной залежи болота Ламмин-Суо [88] авторы получили расчетную зависимость для определения его суточных величин на глубине 2,5 см по данным о радиационном балансе. Зависимость имеет следующий вид:

$$Q_{п\ 2,5} = 0,06Rб - 15, \quad (10.10)$$

где $Q_{п\ 2,5}$ — теплоточок, Дж/см²сут; $Rб$ — радиационный баланс, Дж/см²сут.

Используя эту зависимость и данные по радиационному балансу, можно уже сейчас пока приближенно определить величины теплоточка на верхних болотах Северо-Запада в различные по водно-тепловым условиям годы. Величины радиационного баланса для этого, как было показано выше, могут быть получены расчетным путем.

10.3. Температурный режим торфяной залежи

Термический режим торфяной залежи характеризуется температурой ее поверхности и распределением температур по глубинам.

В отличие от суходолов, где температура поверхности почвы на метеорологических станциях измеряется на хорошо разрыхленном, без растительного покрова и не затеняемом от солнца участке, на верховом болоте температура поверхности измеряется на участке с естественной растительностью, но без кустарничков и древостоя, затеняющих термометры. Резервуары напочвенных термометров погружаются наполовину в мох. Следует отметить, что поверхность болота в большинстве случаев имеет достаточно развитый микрорельеф, и это обстоятельство создает определенные трудности в измерении ее температуры. Вследствие несовершенства методики наблюдений за температурой поверхности болота, покрытой растительностью, результаты их недостаточно точны. Однако учитывая, что именно через эту поверхность осуществляется теплообмен торфяной залежи с атмосферой, весьма важно знать температурный режим поверхности болота. В связи с этим данные о ее режиме, даже приближенные, представляют большой научный и практический интерес. Следует заметить, что с целью повышения точности измерения температуры поверхности болота в середине 1950-х годов [127] была предпринята попытка измерять ее температуру электрическим термометром — термопауком. Этот прибор имел 16 термопар и позволял получать осредненную температуру поверхности болота, одновременно измеряемую в 16 точках. Однако из-за некоторой недоработки конструкции прибора и отсутствия возможности его массового изготовления внедрить его на сеть болотных станций в то время не удалось. В настоящее время появились приборы, позволяющие измерять среднюю температуру подстилающей поверхности болота с достаточно высокой точностью. В связи с этим на сеть болотных станций необходимо внедрить новые приборы для измерения температуры поверхности болота и провести 2-3-летние параллельные наблюдения «старым» (по ртутным термометрам) и «новым» (электронным прибором) методом. Это позволит повысить точность измерений и сохранить однородность многолетнего ряда наблюдений. В связи с большой изменчивостью температуры поверхности болота, для получения надежных средних ее величин необходимы достаточно длинные ряды наблюдений.

Средняя за период наблюдений годовая температура поверхности болота Ламмин-Суо составляет 3 °С (таблица 1 раздела 3 Приложения «Многолетние характеристики»), в то время как на суходоле — (5 °С) [91]. Последнее свидетельствует о том, что поверхность болот более холодная, чем поверхность суходолов.

10.3.1. Суточные колебания температуры торфяной залежи

Суточные колебания солнечной радиации обуславливают суточный ход температуры поверхности болота и его деятельного слоя. На рисунке 10.2 представлен график изменения температуры поверхности и торфяной залежи на разных глубинах в течение суток.

Как видно из рисунка, прослеживается четкая синхронность в ходе температуры поверхности болота и радиационного баланса. Ход температуры строго повторяет ход радиационного баланса, и время наступления их максимумов практически совпадает. На глубинах время наступления экстремальных температур запаздывает. Так, запаздывание наступления максимальной температуры на глубине 5 см составляет в среднем 3 часа, на глубине 10 см — 4 часа, на глубине 15 см — 7 часов. Как показывают наблюдения, суточные колебания температуры хорошо выражены в верхнем 20–25-сантиметровом слое на повышенных элементах микрорельефа (кочках) и 15–20-сантиметровом слое на пониженных элементах. Из-за различия в коэффициентах теплопроводности повышений и понижений (на кочках K_t обычно больше) суточный ход температуры на них заметно различается: на повышениях он более четко выражен. С глубиной суточные колебания температуры постепенно затухают и на глубине 20–25 см не прослеживаются. Согласно работе [90, 91]: «В Санкт-Петербурге в среднем за год затухание амплитуды суточных колебаний температуры почвы происходит на глубине от 45 до 100 см».

Температурное поле торфяной залежи, особенно в ее деятельном слое, постоянно меняется под влиянием целого ряда факторов. К их числу в первую очередь следует отнести постоянно изменяющийся радиационный баланс, а также уровень болотных вод, испарение и осадки, влияющие на влажность залежи, а, следовательно, и на теплофизические ее характеристики, которые в значительной степени определяют интенсивность прогревания залежи.

Значительные изменения среднесуточной температуры по глубине залежи имеют место в верхних горизонтах деятельного слоя (рисунок 10.3).

В слое 0–2 см суточные градиенты температуры в июле в среднем составляют 1,5–2,0 град/см. С глубиной они быстро уменьшаются. Так, в этом же месяце на глубине 15–20 см градиент был равен 0,1 град/см, на глубине 0,7 м — 0,04 град/см, а на 3 метрах от поверхности — близким к нулю. Среднесуточная температура торфяной залежи на глубине 320 см в течение года колеблется в диапазоне 1 °С.

В летнее время температура поверхности болота в отдельные сутки (июнь 1986 года) может достигать 54 °С (таблица 2 раздела 3 Приложения

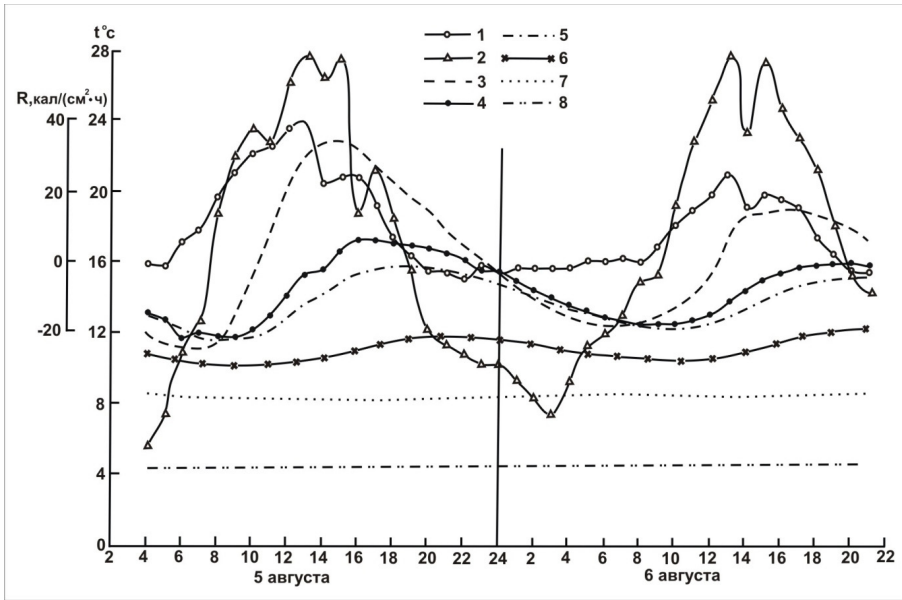


Рисунок 10.2. Суточный ход температуры торфяной залежи в грядово-озерковом комплексе (гряда). Западная Сибирь (Сургутское Полесье), 1968 год: 1 – радиационный баланс, 2 – температура поверхности болота; 3, 4, 5, 6, 7, 8 – температура торфяной залежи соответственно на глубинах 5, 10, 15, 20, 30 и 40 см

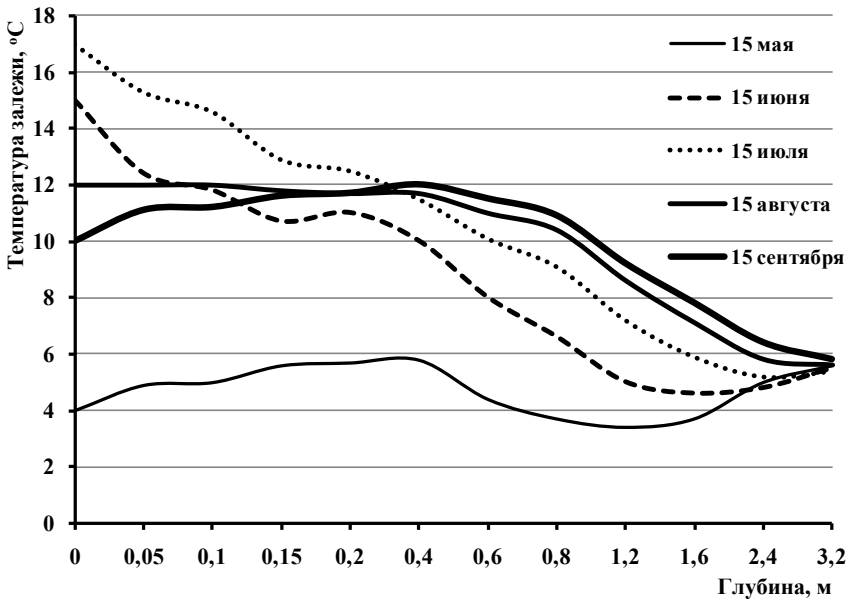


Рисунок 10.3. Распределение среднесуточной температуры торфяной залежи по глубине в теплый период 1965 года на болоте Ламмин-Суо (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт)

«Многолетние характеристики»). В декабре-марте температура поверхности болота (снега) снижается до -40°C . Абсолютный минимум наблюдался в декабре 1978 года и составлял -47°C (таблица 3 раздела 3 Приложения «Многолетние характеристики»). В ночные часы теплого периода поверхность болота охлаждается и становится холоднее воздуха в среднем на $2-4^{\circ}\text{C}$. В отдельные дни лета на поверхности болота в ночные часы отмечаются отрицательные температуры до -5°C в июне и до -3°C в июле, т. е. наблюдаются заморозки. В среднем за год температура поверхности болота на 1°C выше температуры воздуха.

Как показывает анализ данных наблюдений, в ходе среднесуточных температур воздуха и поверхности болота прослеживается достаточно четкая синхронность (рисунок 10.4).

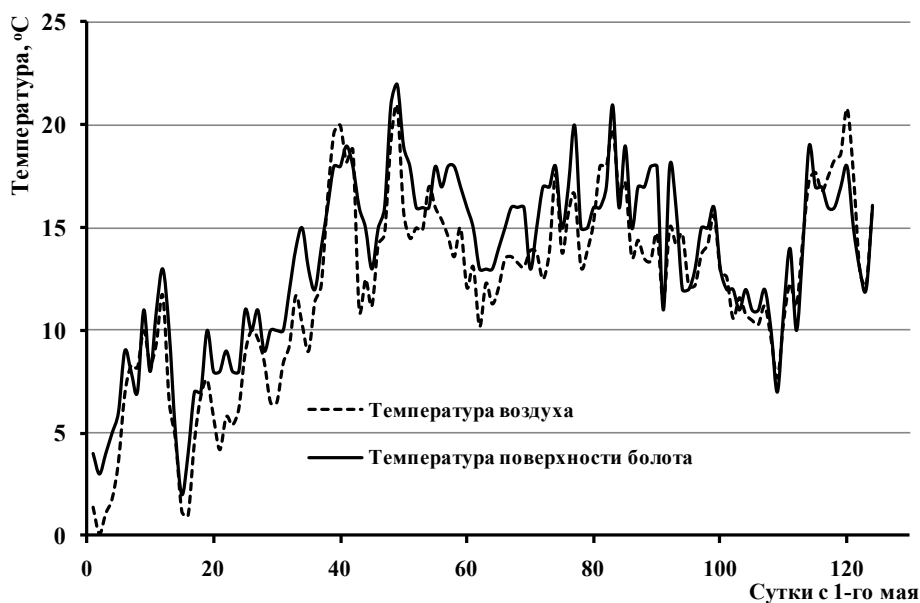


Рисунок 10.4. Совмещенный хронологический график колебания среднесуточных температур поверхности болота (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт) и воздуха за период май-сентябрь 1965 года

Синхронность в ходе температур воздуха и поверхности болота обуславливает и тесную связь между ними (рисунок 10.5).

Наличие достаточно тесной связи между этими температурами позволяет, при отсутствии сведений о температурном режиме болот, определять температуру поверхности любого верхового болота, расположенного вблизи метеорологической станции. А наличие связей между температурами торфяной залежи на соседних глубинах в верхнем 30-сантиметровом

слое позволяет определять и ее температуру. Сеть метеорологических станций Росгидромета открывает широкие возможности для изучения температурного режима торфяной залежи неисследованных болотных массивов.

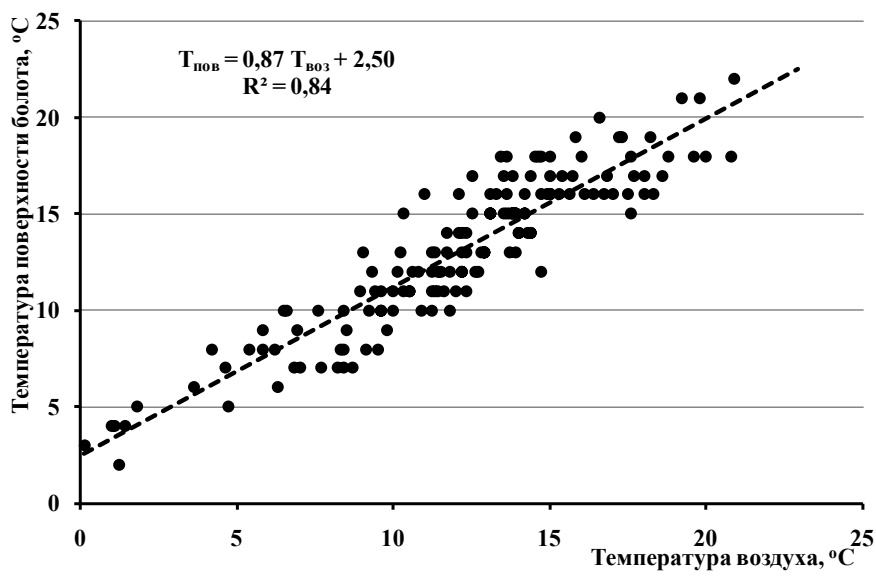


Рисунок 10.5. Связь среднесуточных температур поверхности болота (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт) и воздуха за период май–сентябрь 1965 года

В процессе работы болотной станции была построена серия графиков связи среднесуточных температур залежи на соседних глубинах в верхнем 30-сантиметровом слое залежи, обобщенные уравнения которых представлены в таблице 10.2.

Методика определения температуры торфяной залежи по температуре воздуха заключается в следующем: используя графики связи, по температуре воздуха определяем температуру поверхности болота. По уравнениям, приведенным в таблице 10.2, начиная с глубины 5 см, последовательно определяем температуру на 10, 15 и 20 см.

На глубинах свыше 30–35 см суточные колебания температуры не прослеживаются и связь между температурами на соседних глубинах нарушается. Поэтому для приближенного определения температуры более глубоких слоев торфяной залежи (>30–40 см) неизученных болот на основе материалов наблюдений по рассматриваемому болоту составлена таблица пределов изменения среднесуточных температур за каждый месяц года (таблица 10.3). Приведенные в таблице данные позволяют с приемлемой для практики точностью описывать температурный режим торфяной залежи неизученных верховых болот Северо-Запада России.

Таблица 10.2. Уравнения связи температур торфяной залежи на соседних глубинах деятельного слоя в теплый период года (май–сентябрь)

| Месяц | Глубина, см | | | |
|----------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Май | $0,65T_{пов}+1,72$ | $0,90T_5+0,16$ | $0,77T_{10}+1,01$ | $0,94T_{15}+0,15$ |
| Июнь | $0,69T_{пов}+2,48$ | $0,98T_5+0,52$ | $0,84T_{10}+0,46$ | $0,89T_{15}+0,79$ |
| Июль | $0,50T_{пов}+6,55$ | $0,78T_5+2,82$ | $0,58T_{10}+4,86$ | $0,66T_{15}+3,90$ |
| Август | $0,58T_{пов}+5,36$ | $0,84T_5+1,94$ | $0,89T_{10}+1,27$ | $1,05T_{15}+0,46$ |
| Сентябрь | $0,65T_{пов}+4,33$ | $0,90T_5+1,05$ | | |

Таблица 10.3. Пределы изменения среднесуточных температур торфяной залежи (°С) в течение месяца для верховых болот Северо-Запада России (Ламмин-Суо)

| Глубина, см | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|---------|
| | 40 | 2,0–1,1 | 1,6–0,8 | 1,3–0,7 | 0,6–3,6 | 0,6–8,6 | 5,9–13,3 | 10,4–15,3 | 14,9–11,0 | 14,1–8,1 | 10,4–4,6 | 7,8–2,3 |
| 60 | 3,1–1,8 | 2,3–1,5 | 2,0–1,2 | 2,3–1,1 | 1,1–6,9 | 4,6–11,1 | 9,1–13,4 | 13,4–10,5 | 12,8–9,1 | 10,8–5,9 | 8,1–3,4 | 5,3–2,4 |
| 80 | 4,6–2,7 | 3,5–2,2 | 3,4–1,9 | 1,7–2,9 | 1,6–6,2 | 3,7–9,5 | 7,6–12,0 | 9,8–12,5 | 12,1–9,2 | 11,2–6,9 | 9,0–4,5 | 6,9–3,3 |
| 120 | 5,6–3,7 | 4,4–3,2 | 3,7–2,8 | 3,2–2,5 | 2,4–4,4 | 3,1–6,7 | 5,8–9,1 | 7,8–10,2 | 10,2–8,8 | 9,8–7,5 | 8,7–5,8 | 7,4–4,5 |
| 160 | 6,6–4,9 | 5,6–4,3 | 4,8–3,9 | 4,3–3,8 | 3,3–4,2 | 3,4–5,6 | 4,7–7,4 | 6,3–8,4 | 7,4–8,6 | 8,6–7,4 | 8,3–6,5 | 7,7–5,6 |
| 240 | 7,0–5,8 | 6,5–5,4 | 5,9–5,1 | 5,4–4,7 | 5,1–4,4 | 4,4–5,0 | 4,4–5,6 | 5,0–6,4 | 5,7–7,0 | 6,4–7,3 | 6,5–7,4 | 7,3–6,2 |
| 320 | 7,4–6,2 | 7,3–6,1 | 7,2–5,8 | 7,0–5,6 | 6,8–5,3 | 6,6–5,2 | 5,1–6,6 | 5,2–6,8 | 5,4–7,1 | 5,6–7,4 | 5,9–7,6 | 6,1–7,8 |

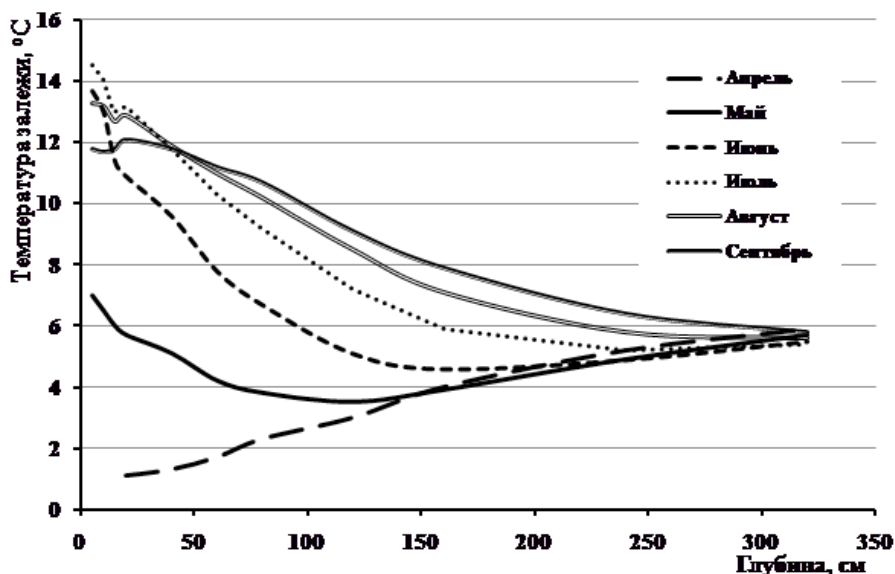


Рисунок 10.6. Распределение среднемесячной температуры торфяной залежи по глубине в теплый период 1965 года (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт)

На рисунке 10.6 показаны распределения среднемесячных температур торфяной залежи по глубине. Анализ этого рисунка позволяет получить достаточно четкое общее представление о температурном поле торфяной залежи теплого периода в год по температурным условиям, близким к среднему. Изменение температуры в торфяной залежи по глубинам имеет следующую закономерность: наиболее интенсивно температура изменяется (снижается) в июне–июле, наименее интенсивно — в августе–сентябре. В мае снижение температуры прослеживается до глубины 120 см, в апреле — температура с глубиной повышается.

Весной после схода снежного покрова начинается постепенный прогрев торфяной залежи. Этот прогрев хорошо просматривается по майской кривой изменения температуры с глубиной (рисунок 10.7). В июне и июле интенсивность прогрева залежи повышается, а в августе начинает снижаться. Наблюдения показывают на весьма значительные изменения кривых вертикального распределения температуры в верхних горизонтах деятельного слоя. В поверхностном слое до глубины 2 см градиенты среднемесячных температур в среднем составляют 2 град/см. С глубиной они очень быстро уменьшаются. Так, в июле на глубине 20 см градиент был около 0,1 град/см, на глубине 1 м — 0,04 град/см, а на 3 метрах от поверхности — близким к нулю. Кстати, среднемесячная температура торфяной залежи на глубине 3,20 м в течение года колеблется в диапазоне 1 °С, минеральных почв — в диапазоне 3 °С [131].

10.3.2. Внутригодовой ход температуры торфяной залежи

Годовой ход температуры торфяной залежи, как и суточный, в общем, повторяет ход радиационного баланса. Он характеризуется одним максимумом и одним минимумом, время наступления которых с глубиной сдвигается на более поздние сроки (рисунок 10.7). На поверхности болота и на глубинах до 30 см максимум температуры обычно приходится на июль, а минимум — на март; на глубине 160 см — на сентябрь и май, а на глубине 320 см — на декабрь и июнь соответственно (таблица 1 раздела 3 Приложения «Многолетние характеристики»). Годовой ход температуры с глубиной сглаживается. Годовая амплитуда температуры на поверхности болота достигает 30 °С. Однако с глубиной она быстро уменьшается и на глубине 20 см составляет 14,1 °С, на глубине 160 см — 4,5 °С, а на глубине 320 см — всего 1,2 °С.

Таким образом, в слое торфяной залежи 20–160 см годовая амплитуда колебаний температуры уменьшается в 3 раза, в слое 20–320 см — в 12 раз. При этом время наступления экстремальных величин температуры в годовом ходе запаздывает на месяц на глубине 40 см, на 2–3 месяца на глубине 160 см и на 4–5 месяцев на глубине 320 см.

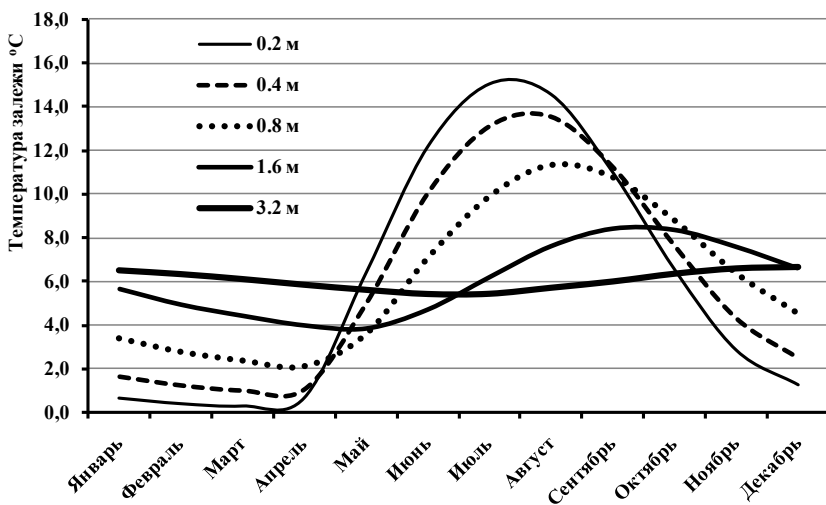


Рисунок 10.7. Годовой ход средней месячной температуры залежи на различных глубинах по данным наблюдений за период 1964–2013 гг. (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт)

На минеральных почвах (суходолах) характер температурного режима, в общем-то, схож с температурным режимом болот. Однако из-за больших различий в водно-физических свойствах минеральных почв и торфов наблюдаются и существенные отличия в величине и характере распределения температуры на болотах и суходолах. Отличие, прежде всего, состоит в меньшей глубине распространения суточных и годовых колебаний температуры и более низких температурах на болотах. Так, по данным наблюдений на болоте Ламмин-Суо годовая амплитуда среднемесячной температуры на глубине 1,6 и 3,2 м составляет соответственно 4,5 °С и 1,2 °С, а на суходоле на тех же глубинах — 8 °С [90] и 4 °С [203]. На глубинах более 35 см температура торфяной залежи в течение всего года остается положительной.

Среднемесячные отрицательные температуры поверхности болота наблюдаются с ноября по апрель, минимум ее приходится на январь (-12 °С). Повышение средней месячной температуры поверхности в среднем на 5-6 °С начинается с марта и достигает максимума (18 °С) в июле. С августа средняя месячная температура начинает снижаться.

Представление об изменении температуры залежи с глубиной в разные по температурным условиям годы можно получить, анализируя рисунки 10.8 и 10.9. На этих рисунках приведены графики для самого теплого по сумме положительных среднесуточных температур воздуха (2 476 °С) 1972 года и самого холодного (1756 °С) 1976 года.

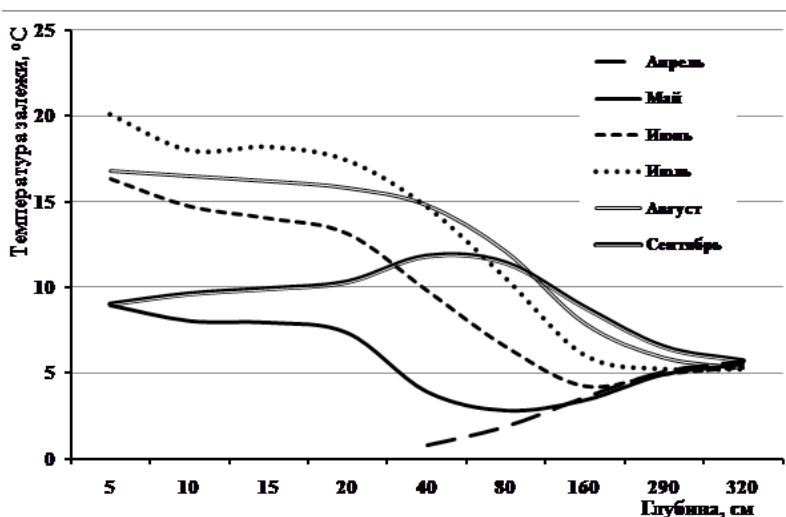


Рисунок 10.8. Распределение среднемесячных температур торфяной залежи по глубине в теплый 1972 год

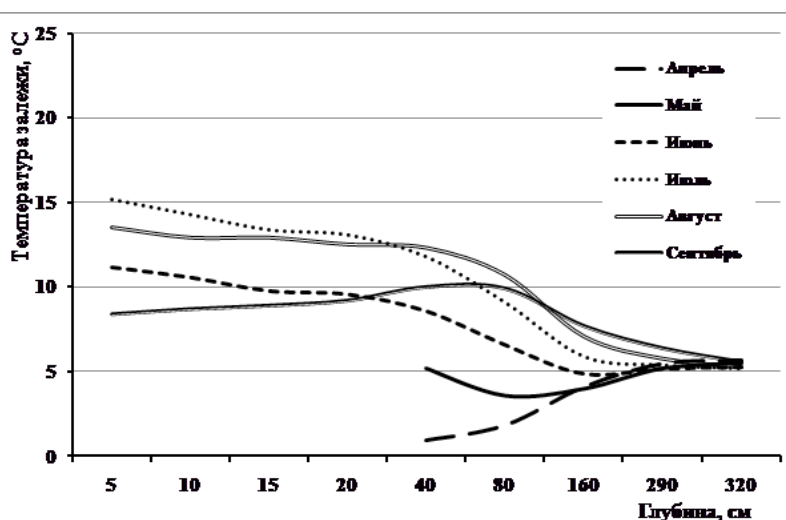


Рисунок 10.9. Распределение среднемесячных температур торфяной залежи по глубине в холодный 1976 год

В теплый год кривые распределения температуры торфяной залежи по глубине образуют своеобразный треугольник, основание которого на глубине 5 см вдвое больше основания подобного треугольника холодного года. Разброс среднемесячных температур на глубине 5 см в теплый год составляет 12 °С, в холодный – 5,5 °С. Заметных различий в эти годы не просматривается в ходе апрельской и майской кривых, а также кривых сентября.

Как видно из рисунков, среднемесячные температуры торфяной залежи на глубине 40 см изменяются от 1 °С (апрель) до 13,5 °С (июль), в то время

как на глубине 320 см — остается практически постоянной, около 5,5 °С (таблица 4 раздела 3 Приложения «Многолетние характеристики»). Диапазон изменений температуры, обусловленный разными температурными условиями года, на глубине 40 см составляет: в апреле -0,1 °С, в мае -1,2 °С, в июне 1,2 °С, в июле 2,9 °С, в августе 2,5 °С, в сентябре 1,8 °С. Наибольшей величины он достигает в июле (таблица 5 раздела 3 Приложения «Многолетние характеристики»).

Средняя месячная за период наблюдений температура торфяной залежи на глубине 160 см с октября по апрель на 2–5 °С выше температуры верхних слоев. На глубине 320 см температура практически постоянна и в холодный период года выше температуры торфяной залежи на глубине 20 см на 5–6 °С, а в теплый — ниже на 7–9 °С. На суходоле среднемесячная температура на глубине 320 см с октября по апрель выше температуры на глубине 20 см, а в остальное время ниже.

Изменение температуры торфяной залежи происходит неравномерно и медленно вследствие низкой теплопроводности торфяных почв. Градиенты температуры в верхних горизонтах торфяной залежи болот на порядок выше, чем в минеральных почвогрунтах суходолов. Следует заметить, что в верхних горизонтах торфяной залежи градиенты температуры значительно больше, чем в нижних (таблица 10.4). Годовой ход градиентов подобен ходу самих температур, максимумы и минимумы сдвинуты по времени, амплитуды с глубиной заметно затухают.

Таблица 10.4. Средние значения градиентов средних месячных температур торфяной залежи (°С/см) по слоям

| Слой, см | Месяц | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 |
| 20–40 | -0,05 | -0,04 | -0,04 | -0,02 | 0,07 | 0,10 | 0,10 | 0,05 | -0,02 | -0,05 | -0,07 | -0,06 |
| 40–80 | -0,04 | -0,04 | -0,03 | -0,02 | 0,04 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,02 | -0,05 | -0,05 | -0,05 |
| 80–160 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,00 | -0,02 | -0,03 |
| 160–290 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,0 |
| 290–320 | 0,00 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,0 |

Важной термической характеристикой температурного режима торфяной залежи является глубина проникновения в нее температуры 0 °С [90]. В среднем отрицательные среднесуточные температуры проникают в торфяную залежь до глубины 30 см, в то время как на суходоле — до глубины 60 см. Глубина проникновения температуры 0 °С в залежь зависит не только от суровости зимы, но и от высоты снежного покрова и степени увлажнения торфяной залежи перед замерзанием.

10.3.3. Изменение температуры торфяной залежи за многолетний период

Ряд наблюдений за температурой торфяной залежи на болоте Ламмин-Суо составляет 50 лет (1964–2013 гг.) и захватывает период начала относительного потепления климата [90]. Поэтому изменения среднегодовых температур торфяной залежи за вторую половину XX столетия представляют особый интерес.

Изменения среднегодовых температур на разных глубинах: 20, 40, 80, 160, 290 и 320 см получены по вытяжным термометрам. На рисунке 10.10 показан ход изменения температуры торфяной залежи на глубинах 20, 80 и 320 см.

Анализ графиков изменения средних годовых температур торфяной залежи показывает, что на всех глубинах при заметных колебаниях годовых величин прослеживается общая тенденция повышения температуры в рассматриваемый период. При этом просматривается снижение с глубиной интенсивности ее повышения. Так, если на глубине 20 см среднегодовая температура повысилась на 1,0 °С, то на глубине 320 см — только на 0,2 °С. Очевидно, это повышение обусловлено относительным потеплением климата. О тенденции повышения температуры торфяной залежи в определенной мере свидетельствует график изменения среднегодовых температур торфяной залежи (рисунок 10.10).

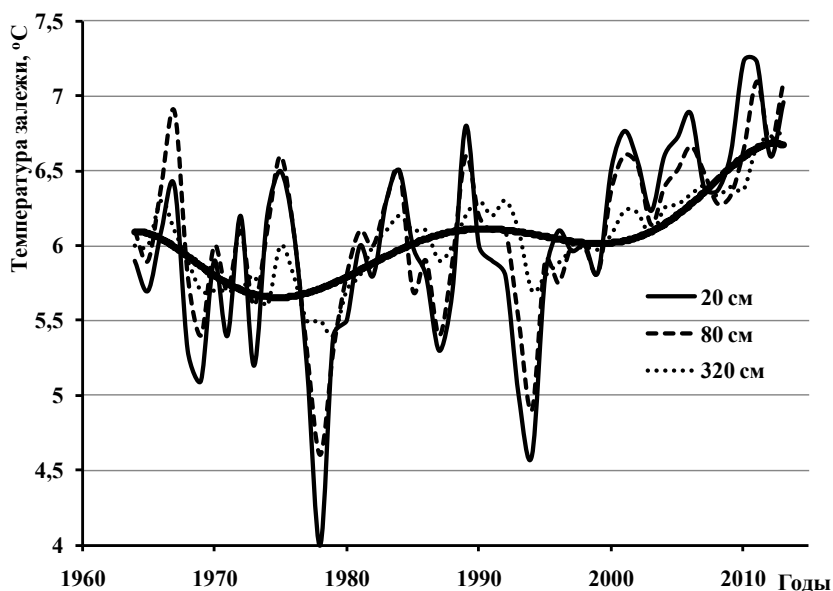


Рисунок 10.10. Колебания среднегодовых температур торфяной залежи в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте во второй половине XX века

Сравнивая многолетнюю цикличность колебания температуры воздуха и среднюю температуру торфяной залежи, необходимо отметить значительную инертность последней. После начала очередного цикла относительного повышения температуры воздуха торфяная залежь начинает показывать аналогичную тенденцию лишь через 8–10 лет, когда она только начинает разогреваться [87]. И наоборот, после начала понижения температуры воздуха торфяная залежь все еще продолжает разогреваться в течение приблизительно такого же периода времени. Тем самым наличие торфяных болот на определенной территории способствует некоторому нивелированию перепадов в ходе изменения региональных погодных условий.

ГЛАВА 11

ПРОМЕРЗАНИЕ И ОТТАИВАНИЕ БОЛОТА

Промерзание болот, прежде всего, представляет большой интерес для практического решения коммуникационных задач на заболоченных территориях [106, 201], которых в нашей стране достаточно много [5]. Возможность передвижения по болотам в холодное время года целиком и полностью зависит от сроков замерзания торфяной залежи и несущей способности мерзлого слоя. Поскольку болота весьма разнообразны по своему строению и обводненности, то их несущая способность заметно различается. Поэтому, чтобы успешно осваивать новые трассы «зимников» через болота, надо знать, что несущая способность болот в зимнее время в значительной степени определяется гидрометеорологическим режимом.

Процесс промерзания почвогрунтов обусловлен целым рядом внешних и внутренних факторов. К числу первых относятся факторы (температура воздуха, высота и плотность снежного покрова), обуславливающие интенсивность оттока тепла от поверхности деятельного слоя. К числу вторых относятся влажность, плотность, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность торфяной залежи. Они определяют интенсивность процесса теплообмена в деятельном слое болот. Обычно неровная (кочковатая) поверхность болот, неравномерность залегания снежного покрова и разная увлажненность различных элементов микрорельефа обуславливают значительную изменчивость глубины промерзания по площади даже в одном и том же болотном микроландшафте, особенно в начальный период промерзания. Коэффициент вариации глубин промерзания в этот период изменяется в пределах 0,35–0,45. В конце зимнего периода величина коэффициента вариации снижается до 0,15–0,20 [18].

Наблюдения за режимом промерзания болот состоят из периодических измерений толщины промерзшего слоя («приведенного слоя») и его влагосодержания. При производстве наблюдений отбираются монолиты (керны) торфяной залежи и по ним делаются измерения глубины промерзания и влагосодержания мерзлого слоя. Следует отметить некоторую субъективность в методике определения «приведенного слоя», действовавшей до выхода в свет «Наставления» издания 1990 года [128] и сказавшейся на качестве полученного материала. Дело в том, что влагосодержание в мерзлом слое определялось визуально при осмотре отобранного монолита и оценивалось на основе описаний «форм» промерзания.

Наблюдения за промерзанием и оттаиванием болота Ламмин-Суо проводятся в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной и сфагново-кустарничково-сосновом микроландшафтах с 1950 года по настоящее время. В сфагново-пушицево-кустарничковом, редко облесенном сосной с сухостоем микроландшафте и на грядово-мочажинном комплексе наблюдения проводились с 1950 по 1991 год.

11.1. Режим промерзания торфяной залежи

Промерзание торфяной залежи болота начинается с момента перехода средней суточной температуры воздуха через 0 °С. Данные о глубинах промерзания на повышенных и пониженных элементах микрорельефа различных болотных микроландшафтов приведены в таблице 1 раздела 4 Приложения «Многолетние характеристики».

Средняя дата начала промерзания болота Ламмин-Суо приходится на 16 ноября, самая ранняя — на 12 октября (1973 и 1976 годы), самая поздняя — на 30 декабря (1957 год). Даты, характеризующие режим промерзания, представлены в таблице 2 раздела 4 Приложения «Многолетние характеристики».

По условиям нарастания мерзлого слоя торфяной залежи выделяются два периода в промерзании болота: осенний бесснежный (малоснежный) и зимний с наличием снежного покрова. За осенний период некоторые исследователи [216] принимают период с высотой снежного покрова до 10 см. Более высокий снежный покров, являясь хорошим теплоизолирующим слоем, резко снижает интенсивность процесса промерзания торфяной залежи (рисунок 11.1). В осенний (начальный) период средняя интенсивность промерзания торфяной залежи составляет 0,5–0,6 см/сутки, в зимний — 0,1–0,2 см/сутки. Как видно из рисунка, интенсивное нарастание глубин промерзания

происходит до набора суммы отрицательных средних суточных температур воздуха порядка -300°C .



Рисунок 11.1. Глубина промерзания зимой 1959–60 годов (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт)

При дальнейшем увеличении суммы отрицательных температур интенсивность роста глубины промерзания сильно падает, особенно при большой высоте снежного покрова.

Глубина промерзания болот зависит не только от суровости зимы, но и от количества и особенностей распределения осадков в течение холодного периода. На рисунке 11.2 показан ход нарастания толщины мерзлого слоя торфяной залежи в одну из зим с глубоким промерзанием. До февраля, как видно из рисунка, идет интенсивный рост мерзлого слоя, в марте рост его практически прекращается, а в апреле толщина его резко уменьшается в результате процесса оттаивания болота.

Анализ данных наблюдений показывает, что в зимы, характеризующиеся ранним появлением снега и большой его высотой, глубины промерзания обычно небольшие. В малоснежные зимы с поздним появлением снега и достаточно низкими температурами воздуха в осенне-зимний период глубины промерзания, как правило, максимальные. Поскольку зимние периоды по температурному режиму, высоте и распределению снежного покрова сильно различаются, то и максимальные глубины варьируют в широком диапазоне и трудно предсказуемы. На рисунках 11.3 и 11.4 представлен ход глубины промерзания, изменение высоты снежного покрова и суммы отрицательных среднесуточных температур воздуха для зим с разной глубиной промерзания

болота (малой и большой). Сравнимые две зимы, помимо сильно различающихся глубин промерзания залежи, характеризуются следующим: зимой 1991–92 годов максимальная высота снежного покрова 50 см, сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха $-422\text{ }^{\circ}\text{C}$; зимой 1967–68 годов соответственно 69 см и $-1268\text{ }^{\circ}\text{C}$. Как видно, эти зимы довольно сильно различались по сумме отрицательных температур воздуха (в три раза) и сравнительно мало различались по высоте снежного покрова. Поэтому разницу в глубине промерзания болота в сравниваемые зимы определила температура воздуха.

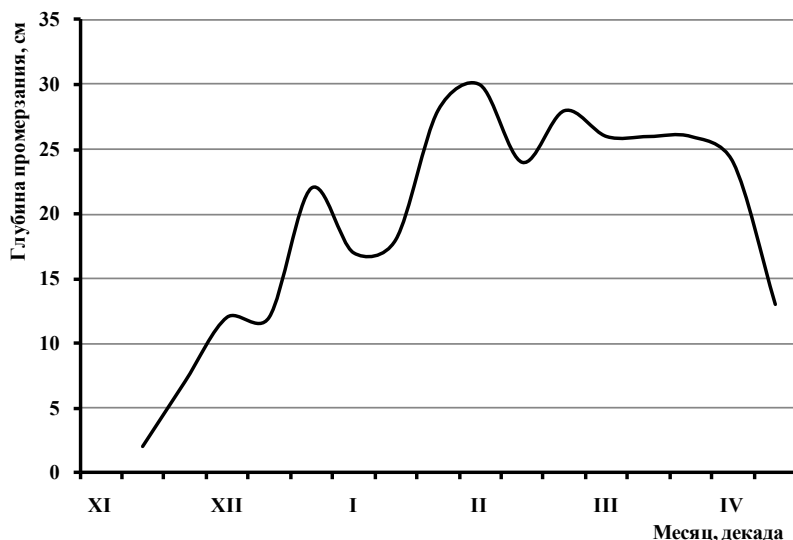


Рисунок 11.2. Хронологический график изменения глубины промерзания торфяной залежи, зима 1967–68 годов (сфагново-кустарничково-сосновый микроландшафт, повышенный элемент микрорельефа)

Максимальная глубина промерзания обычно приходится на февраль–март (рисунок 11.2), хотя в самую теплую зиму 2007–08 годов с суммой отрицательных температур $-345\text{ }^{\circ}\text{C}$ она зафиксирована очень рано — во второй декаде января и составляла всего 13 см. В среднюю по температурным условиям зиму 1980–81 годов с суммой отрицательных среднесуточных температур воздуха $-932\text{ }^{\circ}\text{C}$ и достаточно высоким снежным покровом максимум промерзания, равный 14 см, наблюдался, как обычно, в феврале. Наибольшая глубина промерзания за период наблюдений, равная 42 см (сфагново-пушицево-кустарничковый, облесенный сосной с сухостоем), отмечена в довольно теплую и малоснежную зиму 1972–73 годов при $-526\text{ }^{\circ}\text{C}$ и максимальной высоте снежного покрова 49 см. Наибольшая же за период наблюдений сумма отрицательных средних суточных температур воздуха составляла

-1662 °С и пришлось на зиму 1955–56 годов, когда максимальная глубина промерзания составляла всего 14 см. В зимние периоды, характеризующиеся ранним появлением снега и большой высотой снежного покрова, глубина промерзания не превышала 10 см. Практически совсем не замерзло болото зимой 1954–55 и 1983–84 годов. Следует отметить, что глубина промерзания на повышенных элементах микрорельефа (гряды, кочки) на 7–9 см больше, чем на пониженных (западины, мочажины). Средняя максимальная глубина промерзания за период наблюдений (1950–2013 гг.) на повышенных элементах микрорельефа составляет 19 см, на пониженных — 12 см. Промерзший слой в пониженных элементах микрорельефа более чем в 50 % случаев наблюдался с третьей декады ноября по вторую декаду апреля, т. е. промерзание в понижениях начинается на неделю позже, а заканчивается на неделю раньше, чем на повышенных элементах. Последнее обстоятельство объясняется различной влажностью залежи в сравниваемых элементах микрорельефа, от которой зависит ее теплопроводность, влияющая на процесс промерзания. В теплые зимы, которые уже упоминались выше, промерзание залежи в пониженных элементах микрорельефа практически отсутствовало.



Рисунок 11.3. Хронологический график изменения промерзания торфяной залежи и высоты снежного покрова зимой 1991–92 годов (сфагново-кустарничково-сосновый микроландшафт)

Анализ материалов наблюдений за промерзанием торфяной залежи в различных микроландшафтах показывает на имеющуюся изменчивость глубин промерзания как по площади одного и того же микроландшафта, так и на одинаковых элементах микрорельефа разных болотных микроландшафтов. Ниже приведены графики связи глубин промерзания в различных болотных микроландшафтах и на разных элементах микрорельефа (рисунки 11.5–11.9).

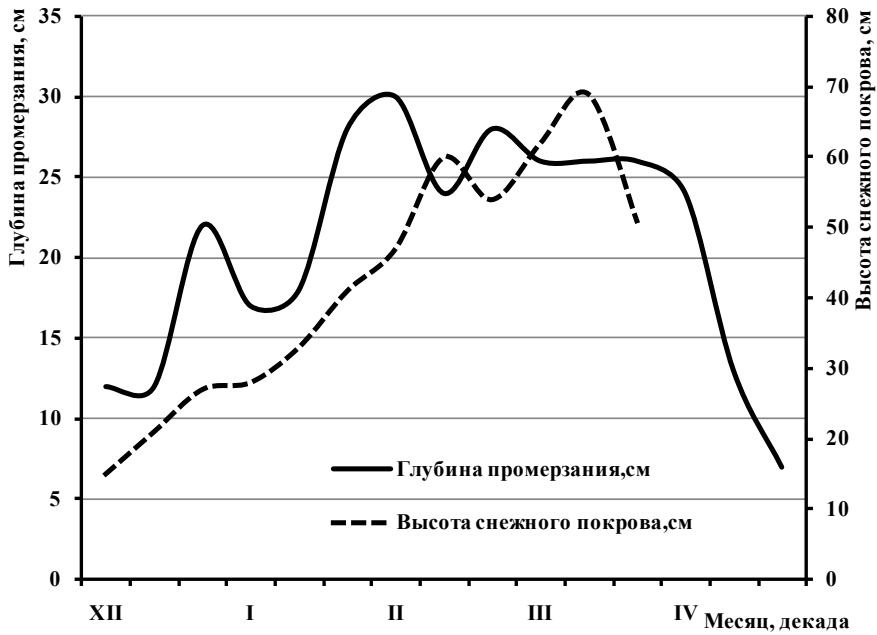


Рисунок 11.4. Хронологический график изменения промерзания торфяной залежи и высоты снежного покрова зимой 1967–68 годов (сфагново-кустарничково-сосновый микроландшафт)

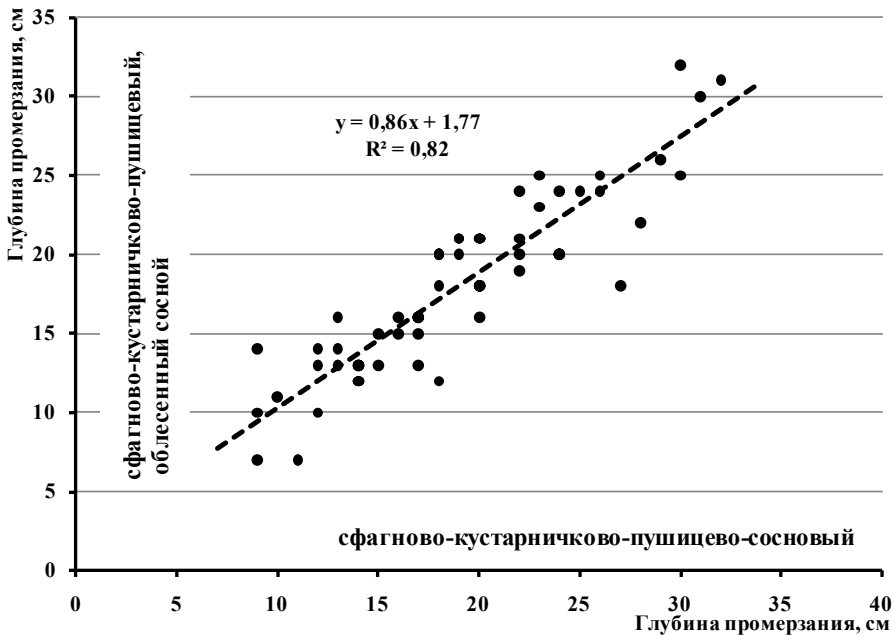


Рисунок 11.5. Связь глубины промерзания на повышенных элементах микро рельефа сфагново-кустарничково-пушицево-соснового и сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафтов

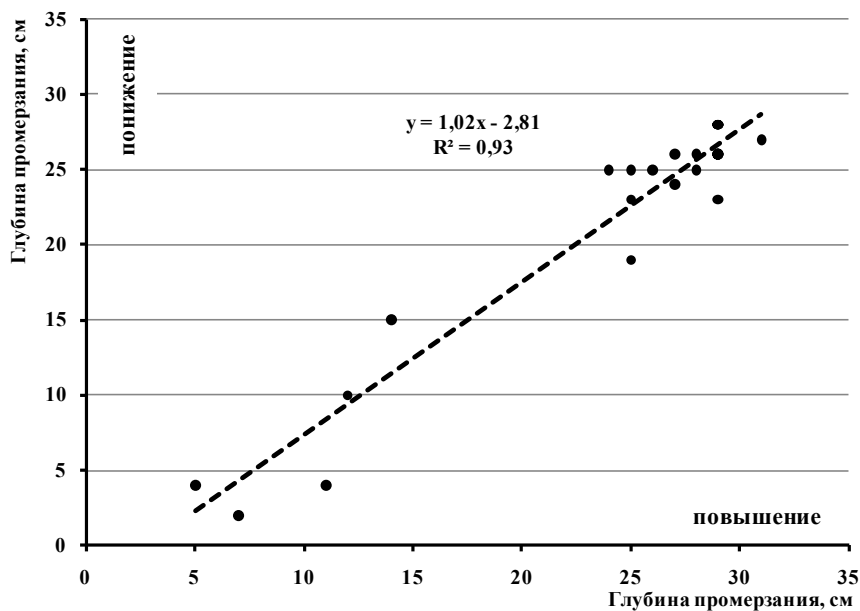


Рисунок 11.6. Связь глубины промерзания на повышенных и пониженных элементах микрорельефа в сфагново-кустарничково-сосновом микроландшафте

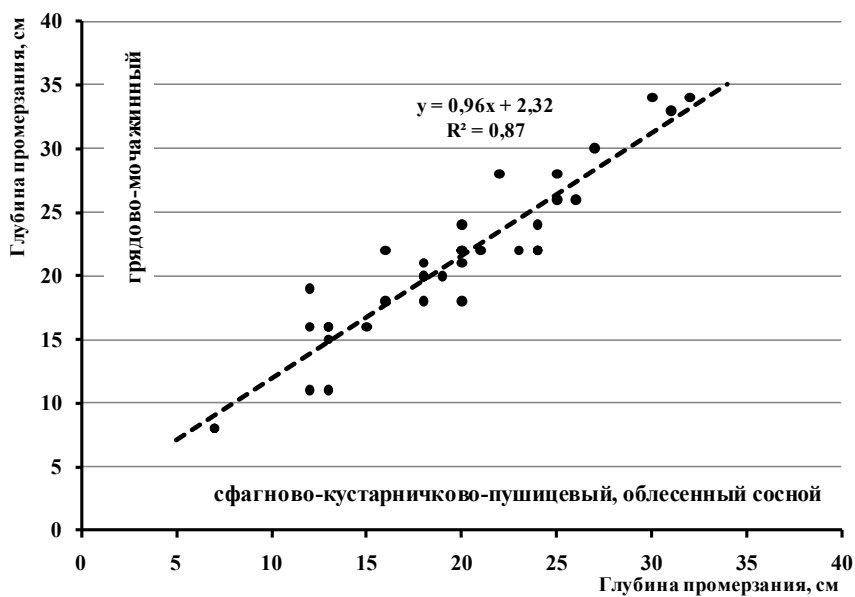


Рисунок 11.7. Связь глубины промерзания на повышенных элементах микрорельефа сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта и на гряде грядово-мочажинного комплекса

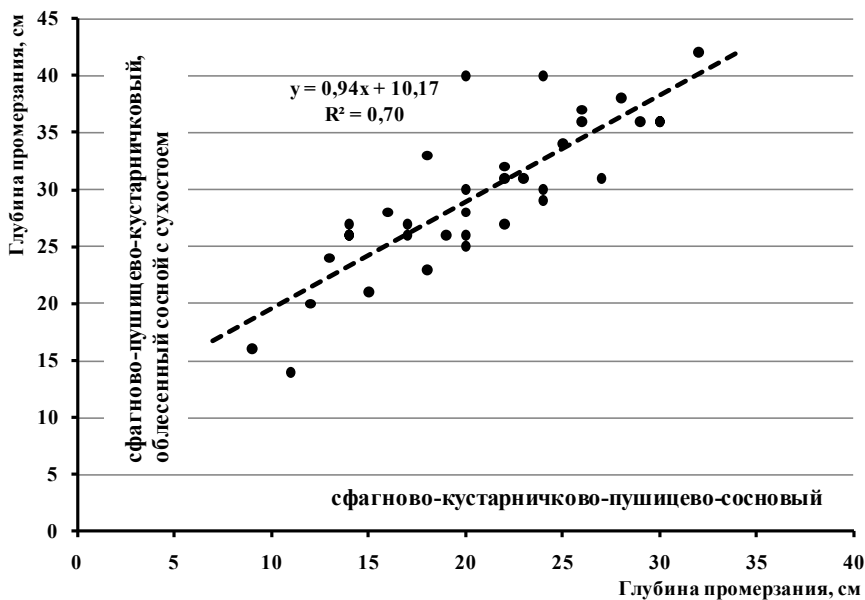


Рисунок 11.8. Связь глубины промерзания на повышенных элементах микрорельефа сфагново-пушицево-кустарничкового, редко облесенного сосной с сухостоем и сфагново-кустарничково-пушицево-соснового микроландшафтов

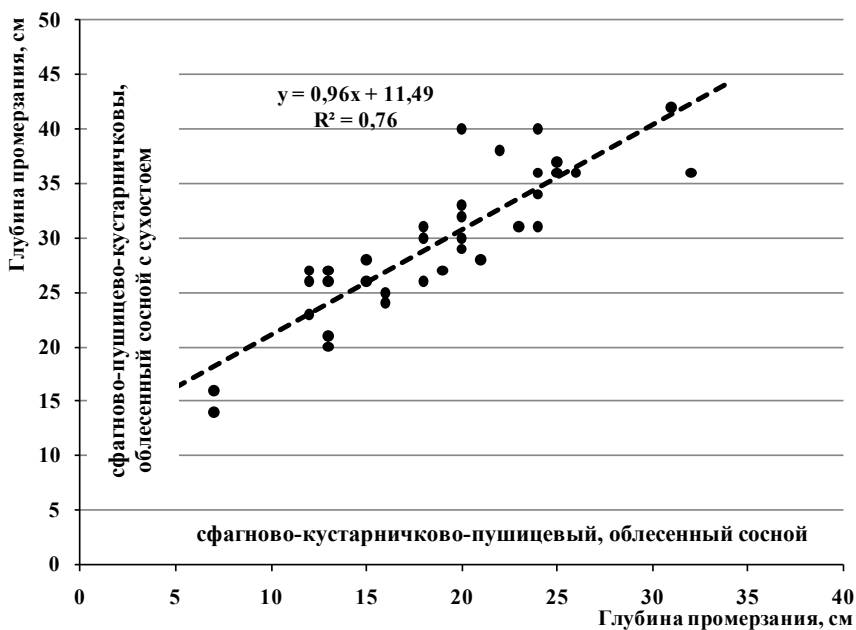


Рисунок 11.9. Связь глубины промерзания на повышениях сфагново-пушицево-кустарничкового, редко облесенного сосной с сухостоем и сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафтов

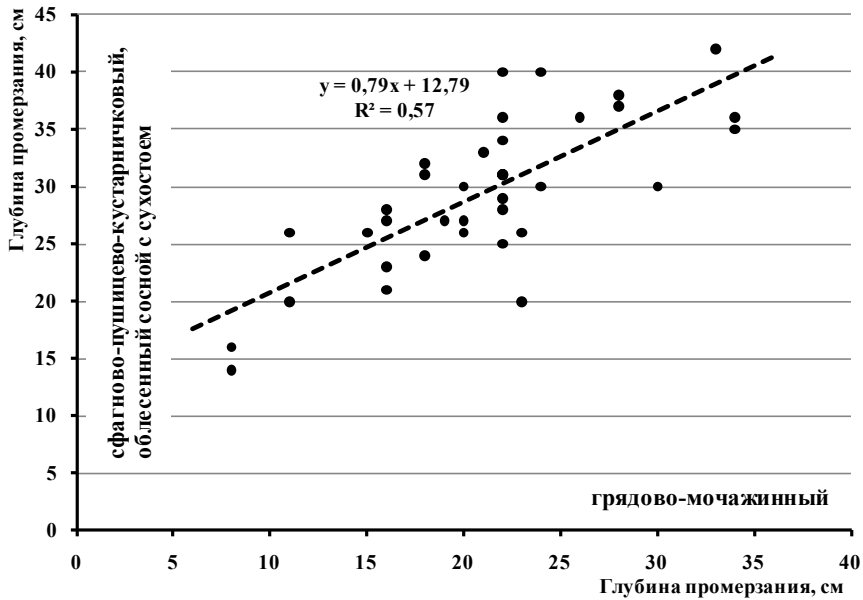


Рисунок 11.10. Связь глубины промерзания на повышенных элементах микрорельефа сфагново-пушицево-кустарничкового, редко облесенного сосной с сухостоем микроландшафта и на гряде грядово-мочажинного комплекса

Менее тесные связи прослеживаются между глубинами промерзания на повышениях сфагново-пушицево-кустарничкового, редко облесенного сосной с сухостоем микроландшафта и грядово-мочажинного комплекса (рисунок 11.10).

За 60-летний период наблюдений максимальная глубина промерзания на повышениях микрорельефа в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте изменялась от 7 до 32 см, на понижениях — от 1 до 25 см. Соответственно, на повышенных элементах микрорельефа сфагново-пушицево-кустарничкового, редко облесенного сосной с сухостоем микроландшафта она изменялась от 14 до 42 см. В среднем повышенные элементы микрорельефа промерзают на 6 см больше, чем понижения. Максимальная глубина промерзания минеральных почвогрунтов в районе пригорода Санкт-Петербурга (метеостанция Ленинград) составляет 51 см [131]. Несмотря на относительно небольшие глубины промерзания рассматриваемого болота, прослеживается весьма значительная их изменчивость как во времени, так и по микроландшафтам (таблица 3 раздела 4 Приложения «Многолетние характеристики»). В этом же Приложении приведены значения обеспеченности максимальных глубин промерзания за весь период наблюдений.

По данным многолетних наблюдений за промерзанием торфяной залежи на болоте Ламмин-Суо составлена таблица вероятностных значений глубин промерзания на 1-е числа месяцев холодного периода (таблица 11.1).

Данные этой таблицы могут быть использованы при характеристике промерзания неисследованных верховых болот Северо-Запада при решении научных и практических задач.

11.2. Влагосодержание мерзлого слоя

С самого начала работы болотной станции при определении глубины промерзания ведутся наблюдения за влагосодержанием в мерзлом слое торфяной залежи. Полученные результаты приведены в таблице 4 раздела 4 Приложения «Многолетние характеристики». Как показывает анализ полученных данных, величина влагосодержания («приведенный слой», «масса промерзания») в мерзлом слое изменяется в довольно больших пределах: на повышенных элементах микрорельефа от 40 до 230 мм в сфагново-кустарничково-пушицевом, редко облесенном сосной микроландшафте; от 50 до 240 мм в сфагново-кустарничково-сосновом; от 90 до 290 мм в сфагново-пушицево-кустарничковом, редко облесенном сосной с сухостоем; от 60 до 260 мм на грядах в грядово-мочажинном комплексе. На пониженных элементах микрорельефа вариация величины влагосодержания в мерзлом слое несколько меньше. Так, в первых трех микроландшафтах она изменяется от 10–20 до 200 мм, а в грядово-мочажинном — от 60 до 290 мм. В этих микроландшафтах зимой 1983–84 годов мерзлый слой на понижениях полностью отсутствовал, несмотря на то, что зима была не самая теплая — с суммой отрицательных температур -792 °С. Причиной этому явился исключительно высокий снежный покров с максимальной высотой до 117 см. Наибольшая величина «приведенного слоя» (250–290 мм) зафиксирована на болоте зимой 1968–69 годов при -1319 °С и максимальной высоте снежного покрова 70 см. Согласно результатам исследования режима промерзания [18], коэффициенты вариации глубин промерзания больше C_v «приведенного слоя». Оба коэффициента имеют ярко выраженный сезонный ход и постепенно уменьшаются от осени к весне.

11.3. Расчет глубины промерзания

Материалы наблюдений болотных станций не только отражают водно-тепловой режим болот, но и служат основой для разработки методик расчета гидрологических характеристик по метеорологическим данным.

В научной литературе можно встретить ряд методик по расчету глубин промерзания минеральных и торфяных почвогрунтов [37, 50, 154, 201, 216]. Для болот, на наш взгляд, физически наиболее обоснованной является расчетная зависимость А. П. Доманицкого [50]:

$$H = \sqrt{\left(h \frac{\lambda_m}{\lambda_c}\right)^2 - \frac{2T\lambda_m}{W_0\delta}(\tau - \tau_0) + H_0^2 + 2H_0h \frac{\lambda_m}{\lambda_c} - h \frac{\lambda_m}{\lambda_c}}, \quad (11.1)$$

где H — глубина промерзания на момент времени τ ; H_0 — глубина промерзания торфяной залежи в начальный момент времени τ_0 ; h — высота снежного покрова, см; λ_m и λ_c — соответственно теплопроводность промерзшего слоя и снежного покрова, кал/(см·с·°С); T — температура поверхности снега, принимаемая равной температуре воздуха, °С; W_0 — содержание воды в единице объема залежи, г/см³; δ — скрытая теплота плавления льда, приближенно равная 80 кал/г.

При использовании рассматриваемой зависимости, как показали исследования, возникают сложности определения расчетной величины коэффициента теплопроводности промерзшего слоя залежи (λ_m). Его величина, как известно, сильно меняется и зависит от влажности залежи, которую определить довольно сложно, особенно в верхних горизонтах деятельного слоя. Чтобы обойти эту сложность, в работе [16] было предложено проводить расчеты для участков болот с мало изменяющейся влажностью — мочажин, приняв при этом коэффициент теплопроводности их постоянным ($46 \cdot 10^{-4}$ кал/(см·с·°С)). По зависимости (11.1) были рассчитаны глубины промерзания мочажин на болотах, где велись наблюдения за промерзанием торфяной залежи (Ламмин-Суо, Пулозерское, Тирели и Иласское). Необходимо было по данным наблюдений проверить пригодность предложенного подхода расчета для широкого использования, особенно при прогнозе глубин промерзания. Коэффициенты корреляции вычисленных и измеренных глубин промерзания мочажин оказались высокими (0,91–0,98), что подтвердило возможность использования этого метода расчета. Рассчитав глубину промерзания мочажин ($H_{\text{моч}}$), по эмпирическим графикам типа $H_i = f(H_{\text{моч}})$ определяются величины промерзания торфяной залежи в других болотных микроландшафтах. Полученные связи глубин промерзания мочажин с глубинами промерзания повышенных элементов микрорельефа ряда болотных микроландшафтов болота Ламмин-Суо приведены в таблице 11.2.

Таблица 11.2. Уравнения связи глубин промерзания мочажины с глубинами промерзания повышенных элементов микрорельефа различных микроландшафтов болота Ламмин-Суо

| Микроландшафт | Уравнение связи |
|---|--|
| Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | $H_1 = 0,62 H_{\text{моч}} + 7,1; (R^2=0,59)$ |
| Сфагново-пушицево-кустарничковый, облесенный сосной с сухостоем | $H_1 = 0,57 H_{\text{моч}} + 18,2; (R^2=0,42)$ |
| Сфагново-кустарничково-сосновый | $H_1 = 0,59 H_{\text{моч}} + 9,4; (R^2=0,59)$ |
| Грядово-мочажинный | $H_1 = 0,65 H_{\text{моч}} + 8,5; (R^2=0,61)$ |

11.4. Изменения глубины промерзания за многолетний период

Достаточно длинный ряд наблюдений за промерзанием болота Ламмин-Суо позволяет проследить изменения годовых глубин промерзания в многолетнем плане. Многофакторность процесса промерзания болот, о чем указывалось в начале главы, обуславливает непредсказуемость глубины сезонного промерзания по суровости зимы ($\Sigma-t$). Подтверждением этого служат приведенные ранее данные наблюдений. Так, в самую холодную зиму 1955–56 годов (-1662°C) периода работы станции промерзание болота составляло всего 14 см и лишь на 1 см было больше глубины промерзания в самую теплую зиму 2007–08 годов (-345°C). Наибольшая же глубина промерзания 42 см в сфагново-пушицево-кустарничковом, редко облесенном сосной с сухостоем и 32 см в сфагново-кустарничково-сосновом микроландшафтах зафиксирована зимой 1972–73 годов при сумме отрицательных температур -526°C . Следует напомнить, что средняя сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха за холодный период для болота Ламмин-Суо равна -936°C .

На рисунке 11.11 представлен хронологический график изменения максимальных глубин промерзания болота Ламмин-Суо за весь период наблюдений.

Как видно из рисунка, прослеживается синхронность в ходе глубин промерзания рассматриваемых микроландшафтов. Многолетний ход изменения максимальных глубин промерзания имеет тенденцию к их снижению, что обусловлено относительным потеплением климата. За рассматриваемый 60-летний период глубина промерзания на болоте Ламмин-Суо, согласно линейному тренду, уменьшилась на 6,5 см. Сравнение характеристик промерзания за два 30-летних периода 1950–1981 и 1982–2013 годов показывает, что средняя дата начала промерзания болота для первого периода (28

октября) была на декаду раньше, чем для второго (7 ноября). Заметной разницы в средних сроках полного оттаивания болота для этих периодов, как показал анализ данных наблюдений, нет.

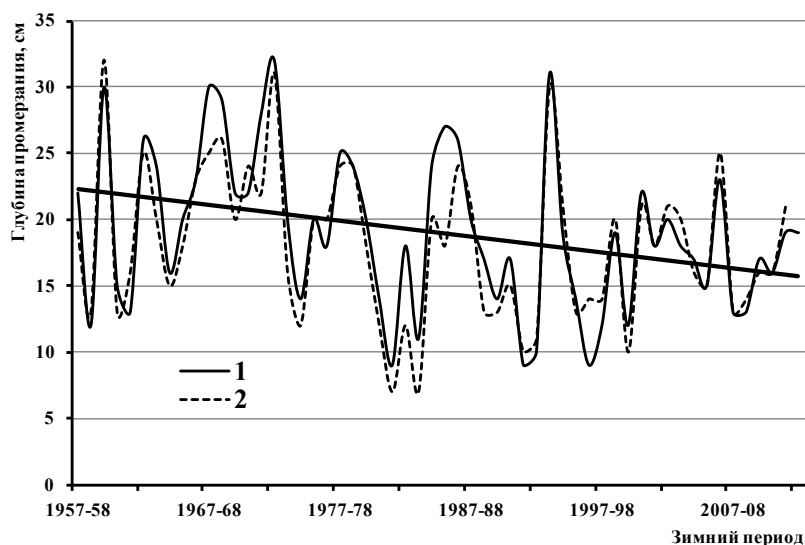


Рисунок 11.11. Многолетний ход изменения максимальной глубины промерзания в сфагново-кустарничково-сосновом (1) и сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной (2) микроландшафтах

11.5. Оттаивание болота

Оттаивание болот представляет собой процесс перехода воды в торфяной залежи из твердого состояния в жидкое. Этот процесс начинается с момента (даты) устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C . Приток тепла, обуславливающий этот процесс, поступает как через верхнюю, так и нижнюю поверхность промерзшего слоя, но в основном оттаивание происходит за счет притока тепла, поступающего к верхней его поверхности.

Анализ данных наблюдений за оттаиванием болота показывает, что появление талого слоя сверху начинается после схода снежного покрова. При малых (до 10 см) глубинах промерзания промерзший слой исчезает сразу после схода снега. В 50 % случаев наличие такого малого промерзания отмечается во второй декаде апреля. Средняя дата схода снежного покрова за период наблюдений — 17 апреля.

Самое раннее оттаивание наблюдалось в третьей декаде марта, самое позднее — во второй декаде мая (раздел 4 Приложения «Многолетние характеристики»).

Полное оттаивание повышенных элементов микрорельефа (кочек) происходит спустя 5–10 дней после перехода средней суточной температуры через 5 °С. Этот переход температуры в среднем за период наблюдений пришелся на 29 апреля. Оттаивание болота Ламмин-Суо приходится на первую декаду мая, минеральных грунтов на суходолах — на конец апреля. За период наблюдений наличие промерзшего слоя после 10 мая было зафиксировано лишь в 25 % случаев.

Оттаивание торфяной залежи на пониженных элементах микрорельефа начинается в основном во второй декаде апреля. В третьей декаде апреля промерзший слой остается только в 19 % случаев. На пониженных элементах микрорельефа в отдельные зимы (1954–55, 1980–81, 1981–82, 1982–83, 1988–89 годов) талый слой, т. е. оттаивание промерзшей залежи, может наблюдаться в любой месяц зимнего периода.

ГЛАВА 12

ИСПАРЕНИЕ С БОЛОТА

Испарение с болот является основной расходной составляющей как водного, так и теплового балансов [185]. Так, для верховых болот доля испарения в расходной части водного баланса составляет от 60 до 75 %.

Основным фактором, определяющим интенсивность испарения с болот, как показали исследования В. В. Романова [185, 186] и В. Ф. Шебеко [218], является энергетический фактор — приток энергии к испаряющей поверхности. Действительно, в условиях близкого к поверхности залегания уровня болотных вод величина испарения с болот определяется, главным образом, их радиационным балансом. Кроме этого, на интенсивность испарения оказывают влияние: положение уровня болотных вод и капиллярные свойства деятельного слоя залежи, определяющие в значительной мере интенсивность притока влаги к испаряющей поверхности, а также состояние приземного слоя воздуха, обуславливающее условия оттока пара в атмосферу.

12.1. Наблюдения за испарением на болоте Ламмин-Суо

Наблюдения начали проводиться практически с самого начала работы Зеленогорской болотной станции. В первые годы работы станции В. В. Романов проводил экспериментальные исследования процесса испарения с целью установления его закономерностей, разработки новых методов и приборов для изучения испарения с болот. При исследовании

проверялись все существующие в то время методы определения испарения с поверхности суши (метод теплового баланса, метод турбулентной диффузии, метод испарителей) и разрабатывались новые. Для этого на болоте была оборудована специальная теплобалансовая площадка (рисунок 12.1), оснащенная актинометрическими приборами, датчиками для измерения температуры и влажности воздуха, температуры торфяной залежи и теплопотока.

Использование метода теплового баланса показало на его большую эффективность при изучении процесса испарения с болот и особенно при измерении величин испарения за короткие промежутки времени — порядка 1 часа. В течение ряда лет (в 1950–1960-е годы, а также в 1971–1972 гг.) на болоте Ламмин-Суо под руководством В. В. Романова проводилось изучение испарения этим методом. В результате данных исследований им были установлены закономерности процесса испарения с болот. Материалы наблюдений, полученные в 1971–1972 годах, представлены в таблицах П. 12.1–П.12.3 Приложения к главе.

Серьезным недостатком этого метода, как и метода турбулентной диффузии, является их трудоемкость. Чтобы снизить трудоемкость наблюдений методом теплового баланса, в 1952 году под руководством В. В. Романова [177] на болоте Ламмин-Суо был смонтирован автоматизированный комплекс (рисунок 12.2). На этом комплексе с помощью самопишущих гальванометров МСЦПР записывались следующие параметры: суммарная и отраженная солнечная радиация, температура поверхности болота, температура и влажность воздуха на высотах 0,5 и 2,0 м, температура почвы. Несмотря на то что эта установка значительно снизила трудоемкость использования метода теплового баланса при определении испарения, применять ее (из-за ее несовершенства) было целесообразным только при проведении специальных исследований.

В конце 1950-х годов в Агрофизическом институте Ю. С. Розенштоком [173] была создана более совершенная установка для определения и регистрации величин испарения с подстилающей поверхности, которая в начале 1960-х годов начала использоваться на Зеленогорской болотной станции В. В. Романовым при исследовании процесса испарения с болота [186]. В результате работы этой установки был получен весьма обширный материал по всем элементам теплового баланса за короткие промежутки времени. Из-за отсутствия в то время необходимой вычислительной техники обработать и проанализировать всю огромную массу данных, выдаваемых установкой, не представлялось возможным. В результате работы на установке были прекращены.

Всесторонняя проверка возможности применения упомянутых выше методов определения испарения в условиях болот, проведенная на болоте Ламмин-Суо в начале 1950-х годов, и их усовершенствование позволили уже в 1955 году включить эти методы в «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам», выпуск 8, т. е. внедрить на специализированной сети болотных станций Гидрометслужбы. К середине 1950-х годов В. В. Романов разработал метод упрощенного теплового баланса [181], который с 1956 по 1961 годы использовался при изучении испарения с болота Ламмин-Суо.



Рисунок 12.1. Теплобалансовая площадка

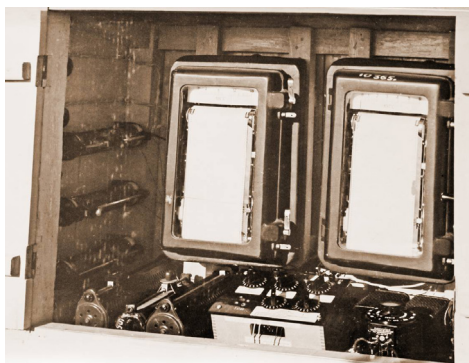


Рисунок 12.2. Регистрирующая часть установки для записи элементов теплового баланса, расположенная в здании станции

В 1956 году на болоте начали проводиться наблюдения за испарением по весовым испарителям ГГИ-Б-1000, вначале по двум испарителям на каждой площадке, с 1980 года — по четырем, а с 1985 года — по шести. Анализ материалов наблюдений показал, что разное количество испарителей, используемое при измерениях, не нарушило однородности ряда многолетних наблюдений. Испарительные площадки были оборудованы в трех микроландшафтах (таблица П.3.9 Приложения к главе 3): в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте (с 1956 года по настоящее время), в грядово-мочажинном комплексе (1962–1976 гг.) и две площадки — в сфагново-пушицево-кустарничковом, редко облесенном сосной и сухостоем микроландшафте (1968–1976 гг.).

Основополагающие исследования процесса испарения с болот, выполненные В. В. Романовым на болоте Ламмин-Суо в 1950-х годах, позволили ему научно обосновать возможность применения на болотах метода теплового баланса и специальных болотных испарителей (ГГИ-Б-1000), а также разработать уникальную по простоте формулу для расчета испарения с болот по метеорологическим данным [176, 185, 186].

$$E = \alpha R_6 + C, \quad (12.1)$$

где E — испарение, α — эмпирический коэффициент (удельное испарение), R_6 — радиационный баланс поверхности, C — свободный член уравнения (испарение за счет адвекции тепла с суходола).

Проверка этой формулы была проведена при изучении испарения с различных типов болот в разных физико-географических зонах [6, 16, 42, 135, 218] и показала свою пригодность для расчета испарения с болот по метеоданным. Несомненным достоинством формулы является доступность исходной информации для расчета — данные сети метеорологических станций Гидрометслужбы.

Многолетние исследования В. В. Романова [176, 181–183, 186] показали, что основным фактором испарения с болот является приток тепловой энергии к испаряющей поверхности (ее радиационный баланс). Большую часть суммарного испарения составляет транспирация растительного покрова, внутрисочвенное испарение в слое колебания суточной температуры не превышает 10 %, а ветер не оказывает существенного влияния на интенсивность испарения с болот, имеющих достаточно большие размеры. Интенсивность испарения зависит от уровня болотных вод (степени увлажнения испаряющей поверхности) и фазы развития растений в течение вегетационного периода (интенсивности их жизнедеятельности).

Режим испарения с болота Ламмин-Суо рассмотрен, прежде всего, на основе материалов многолетних (1956–2013 гг.) наблюдений в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте (центральная часть болотного массива, испарительная установка № 1). В случае отсутствия наблюдений, при расчете величины испарения за вегетационный период, данные за отдельные дни в начале и конце вегетации восстанавливались как среднесуточные значения испарения за данную декаду. Результаты наблюдений представлены в таблицах 1 и 2 раздела 5 Приложения «Многолетние характеристики».

12.2. Изменчивость испарения во времени

Данные наблюдений за испарением, полученные по методу теплового баланса, позволяют рассмотреть внутрисуточный ход испарения в различные по погодным условиям дни.

На рисунках 12.3–12.5 представлен внутрисуточный ход испарения, радиационного баланса, теплоточка в торфяную залежь в июне, в дни с разной облачностью.

Как видно из рисунков, продолжительность процесса испарения и в безоблачный (рисунок 12.3), и в относительно облачный день (рисунок 12.5) одна и та же и составляет в третьей декаде июня 15 часов в сутки.

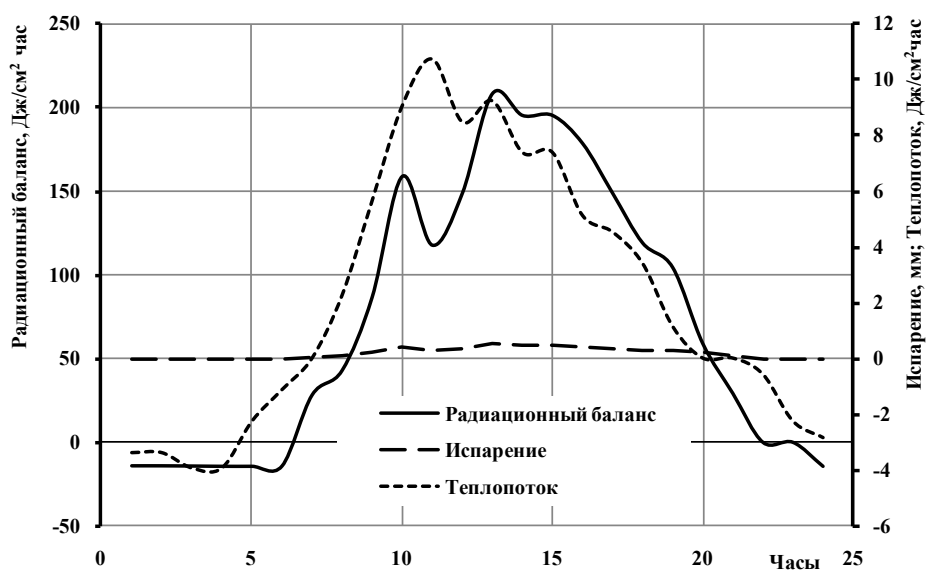


Рисунок 12.3. Внутрисуточный ход испарения, радиационного баланса и теплопотока (Ламмин-Суо, 28 июня 1972 года, средняя облачность 0/0, среднесуточная температура воздуха 25,8 °С)

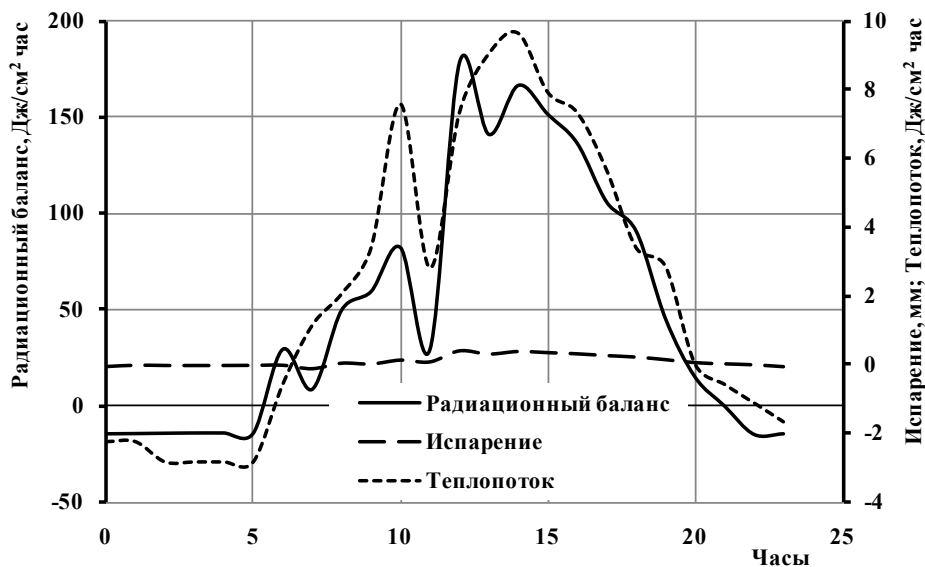


Рисунок 12.4. Внутрисуточный ход испарения, радиационного баланса и теплопотока (Ламмин-Суо, 23 июня 1972 года, средняя облачность 9/0, среднесуточная температура воздуха 18,2 °С)

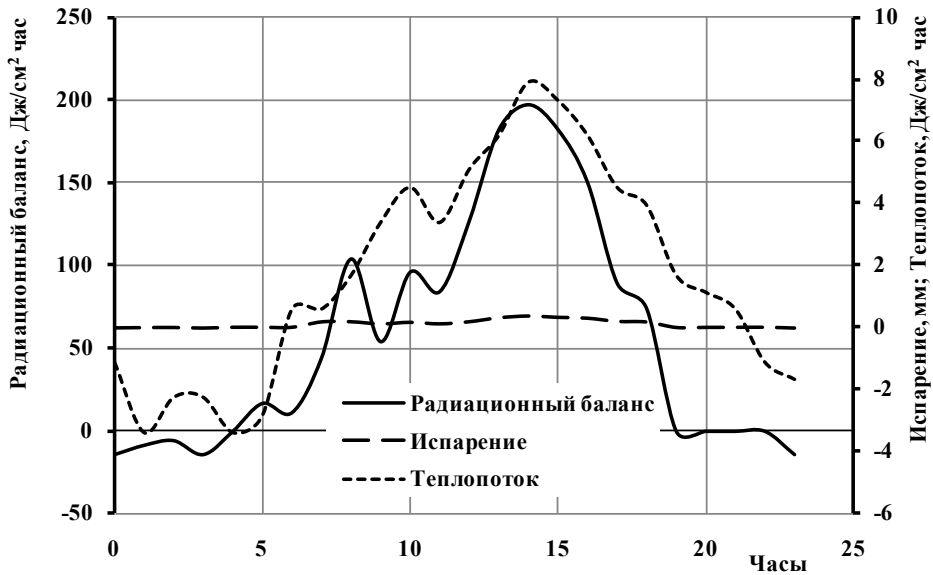


Рисунок 12.5. Внутрисуточный ход испарения, радиационного баланса и теплопотока (Ламмин-Суо, 22 июня 1972 года, средняя облачность 8/4, среднесуточная температура воздуха 18,1 °С)

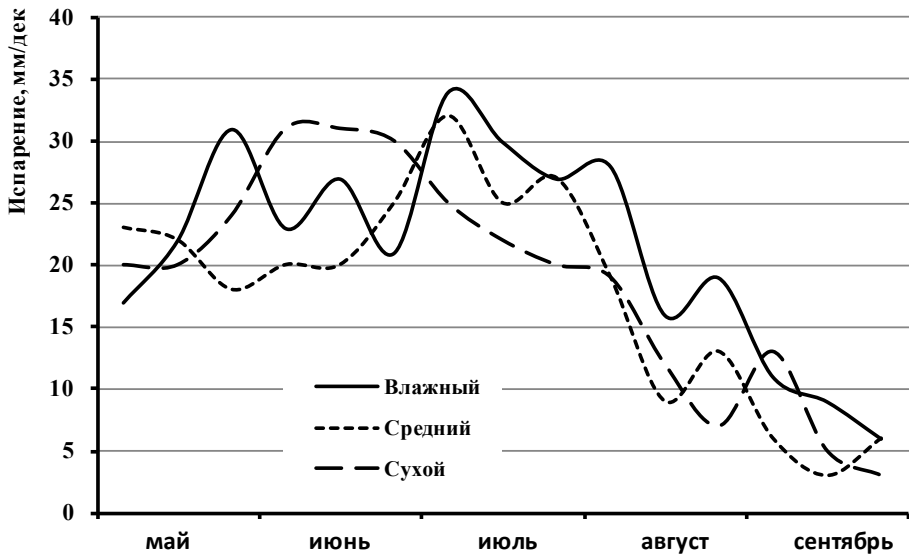


Рисунок 12.6. Ход испарения с болота Ламмин-Суо во влажный (1983), средний (1994) и сухой (1999) годы (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт)

Внутрисуточный ход теплопотока в торфяную залежь практически повторяет ход радиационного баланса.

Изменение испарения за теплый период в разные по увлажнению годы показано на рисунке 12.6, а осредненный ход испарения за многолетний период — на рисунке 12.7.

Как показывает анализ рисунка 12.6, наибольшее испарение наблюдается во влажный год, когда поступление воды к испаряющей поверхности не лимитируется и величина испарения определяется приходом тепла. В сухой год максимальное испарение приходится на конец мая – начало июня, т. е. на период стояния еще относительно высоких уровней воды после половодья. К концу июня уровни болотных вод падают, поступление воды к испаряющей поверхности постепенно уменьшается, что и приводит к сокращению величины испарения.

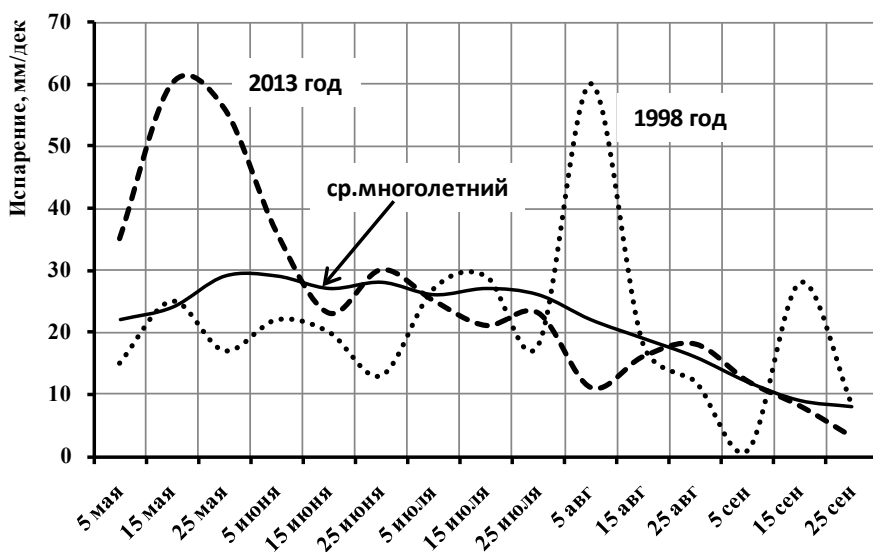


Рисунок 12.7. Ход испарения с болота в теплый период года (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт)

В многолетнем плане, как видно из рисунка 12.7, максимум испарения приходится на третью декаду мая (29 мм/дек). С начала июня и до конца теплого периода наблюдается постепенное снижение испарения. Во второй декаде июня оно равно 27 мм/дек, в третьей декаде июля — 26 мм/дек, в третьей декаде августа — 16 мм/дек и в третьей декаде сентября — 8 мм/дек. Наибольшее возможное декадное испарение, близкое по своим значениям к 60 мм, может наблюдаться в любом месяце, исключая сентябрь. Это зависит от факторов, влияющих на процессы испарения, которые зависят от метеорологических параметров и состояния подстилающей поверхности, складывающихся

в течение определенного времени для конкретного вегетационного периода. Так, в 2013 году пик испарения наблюдался несколько ранее по сравнению со средними многолетними сроками его реализации, и, в дальнейшем, наблюдалось относительно плавное снижение испарения. В 1998 году, наоборот, потенциально высокие значения суммарной солнечной радиации в весенний период не были реализованы, и благоприятные погодные условия сложились лишь в первой половине августа.

На рисунке 12.8 представлен график изменения годового испарения (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт) за период наблюдений с 1950 по 2013 год. Годовая величина испарения получена как сумма его измеренных значений за вегетационный период и вычисленные значения за переходные периоды (весной и осенью) и зимний сезон [146].

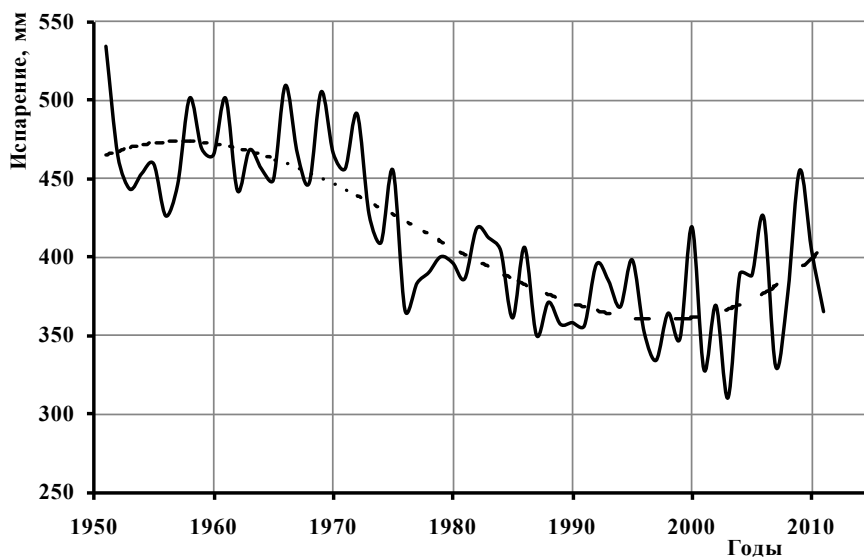


Рисунок 12.8. Изменение годового испарения с болота за многолетний период (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт)

Как видно из рисунка, с начала 1950-х годов прослеживается общая тенденция снижения испарения, особенно с середины 1970-х годов. В 1950–1960-е годы величина годового испарения колебалась в диапазоне 450–500 мм, в 1990-е — в диапазоне 350–400 мм.

Период вегетации растений для рассматриваемого района в среднем за период наблюдений равен 149 дням. Средняя величина испарения за вегетационный период составила 342 мм. Наибольшая величина испарения, равная 446 мм, наблюдалась в 1966 году (при продолжительности вегетационного периода 157 дней), наименьшая (227 мм) — в 1978 году (при продолжительности периода вегетации 116 дней).

Таблица 12.1. Значения испарения (мм) с болота Ламмин-Суо различной вероятности превышения (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной)

| Период | Вероятность превышения, % | | | | | | | | |
|--------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 90 | 95 | 99 |
| Май | 132 | 110 | 100 | 85 | 72 | 61 | 53 | 50 | 43 |
| Июнь | 135 | 118 | 109 | 96 | 82 | 70 | 61 | 56 | 48 |
| Июль | 117 | 105 | 99 | 89 | 79 | 70 | 62 | 58 | 51 |
| Август | 90 | 78 | 72 | 63 | 55 | 48 | 43 | 40 | 35 |
| Сентябрь | 49 | 42 | 38 | 33 | 28 | 24 | 19 | 17 | 12 |
| Май–сентябрь | 447 | 410 | 390 | 358 | 320 | 286 | 264 | 253 | 236 |

Представление о возможных величинах испарения с болота Ламмин-Суо за календарные периоды можно получить из таблицы 12.1, где приведены их обеспеченные значения для соответствующей вероятности превышения. Анализ таблицы позволяет в первом приближении оценить возможные пределы изменения месячных величин испарения с верхового болота. Так, в мае диапазон изменения месячной величины испарения могут колебаться в пределах 43–132 мм, в июне — 48–135, в июле — 51–117, в августе — 35–90 и в сентябре — 12–49 мм. Величина испарения за теплый период в целом изменяется в широком диапазоне — от 236 мм до 447 мм.

12.3. Изменчивость испарения по территории (площади)

Ввиду различий болотных микроландшафтов по составу растительного покрова и степени обводненности испарение с них заметно различается. Так, по исследованиям В. В. Романова [185, 186], испарение с грядово-мочажинного комплекса составляет 110 %, а с переходно-низинных окраек верховых болот — 120 % от величины испарения со сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта в центральной части болотного массива. Он также считал, что разница в испарении с различных микроландшафтов верховых болот должна быть меньше 20–30 %. Следует отметить, что приведенные выше величины испарения с различных болотных микроландшафтов определены В. В. Романовым расчетным путем, поскольку данных наблюдений за испарением в то время было еще крайне мало. Полученные после опубликования работы [186] многолетние материалы наблюдений за испарением на болоте Ламмин-Суо дают возможность уточнить эти цифры.

На рисунках 12.9 и 12.10 представлены графики связи декадных величин испарения с различных болотных микроландшафтов, полученных при параллельных наблюдениях методом весовых испарителей.

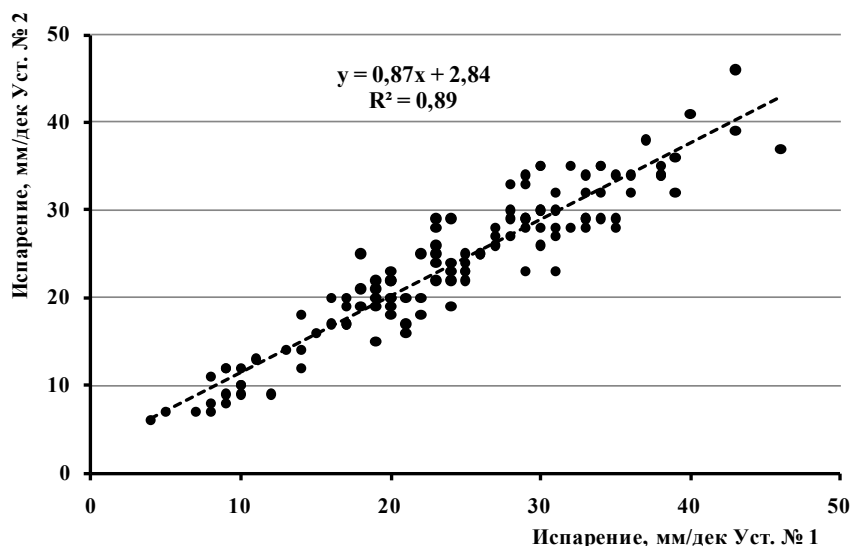


Рисунок 12.9. Связь декадных величин испарения со сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной (установка № 1) и со сфагново-пушицево-кустарничкового, редко облесенного сосной с сухостоем (установка № 2) микроландшафтов

Как видно из рисунка 12.9, связь между величинами испарения с этих двух микроландшафтов довольно тесная, и в среднем испарение с них практически одинаково. Среднее расхождение составляет около 2 %, что находится в пределах точности измерения испарения.

На рисунке 12.10 представлена связь декадных величин испарения со сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта и грядово-мочажинного комплекса. Следует отметить, что за величину испарения с грядово-мочажинного комплекса принята средняя величина испарения с гряд и мочажин, полученная по испарителям ГГИ-Б-1000. Анализ декадных величин испарения с этих микроландшафтов показывает, что при 169 совместных декад наблюдений в 68 случаях (40 %) испарение со сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта было больше, чем с грядово-мочажинного комплекса, в 69 случаях (41 %) меньше и в 32 случаях (19 %) одинаково. При этом разница в величинах декадного испарения этих микроландшафтов не превышает 10 мм, и, как следует из анализа графика, четкого знака различия в испарении сравниваемых микроландшафтов не просматривается. Прослеживается лишь некоторое превышение испарения в грядово-мочажинном комплексе при малых величинах

испарения и незначительное уменьшение различия при больших величинах по сравнению с соответствующим испарением в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте.

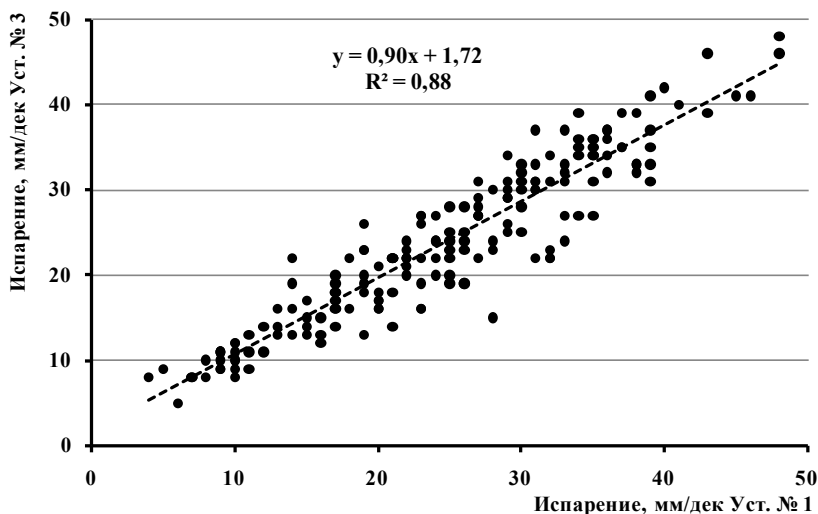


Рисунок 12.10. Связь декадных величин испарения со сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта (установка № 1) и с грядово-мочажинного комплекса (установка № 3)

Неопределенность в соотношении величин испарения с рассматриваемых микроландшафтов в определенной степени объясняется неоднозначностью соотношений величин испарения с гряд и мочажин, что хорошо видно из таблицы 12.1 и рисунка 12.11. Величины этих соотношений имеют значения как меньше единицы (превышение испарения с мочажин), так и больше (превышение испарения с гряд). Число соотношений меньше единицы составляет около 70 % из общего числа рассматриваемых случаев, что свидетельствует об общем преобладании испарения с мочажин над испарением с гряд.

Как известно, величина испарения с грядово-мочажинного комплекса в значительной степени зависит от соотношения площади гряд и мочажин, а также превышения гряд над мочажинами. Чем больше площадь, занятая мочажинами в комплексе, и чем меньше превышение поверхности гряд над мочажинами, тем больше испарение с этого микроландшафта. В грядово-мочажинном комплексе болота Ламмин-Суо гряды занимают 45 %, а мочажины — 55 % площади (глава 5), превышение гряд над мочажинами 20–30 см. Наблюдения за испарением и на грядах, и на мочажинах на болоте проводились в течение 12 лет. По данным этих наблюдений построен график связи декадных величин испарения (рисунок 12.11).

Таблица 12.1. Соотношение величин испарения с гряды к испарению с мочажины

| Год | Май | Июнь | Июль | Август | Сентябрь |
|------|------|------|------|--------|----------|
| 1962 | | 0,88 | 0,90 | 0,98 | |
| 1963 | | 0,60 | 0,62 | 0,63 | 0,76 |
| 1964 | | 0,79 | 1,08 | 1,02 | 1,14 |
| 1965 | 0,74 | 0,55 | 0,53 | 0,67 | 0,93 |
| 1967 | | | 0,97 | 1,00 | 0,93 |
| 1968 | 1,04 | 0,96 | 0,96 | 1,01 | 1,17 |
| 1969 | | 0,76 | 0,76 | 0,83 | 0,95 |
| 1970 | | 0,93 | 0,95 | 0,89 | 0,97 |
| 1972 | 1,13 | 1,04 | 1,18 | 1,32 | 1,00 |
| 1973 | 0,78 | 0,72 | 0,76 | 0,83 | 0,81 |
| 1974 | | 0,79 | 0,81 | | 0,89 |
| 1975 | | 0,94 | 0,95 | 1,03 | 1,17 |
| 1976 | | 0,87 | | | |

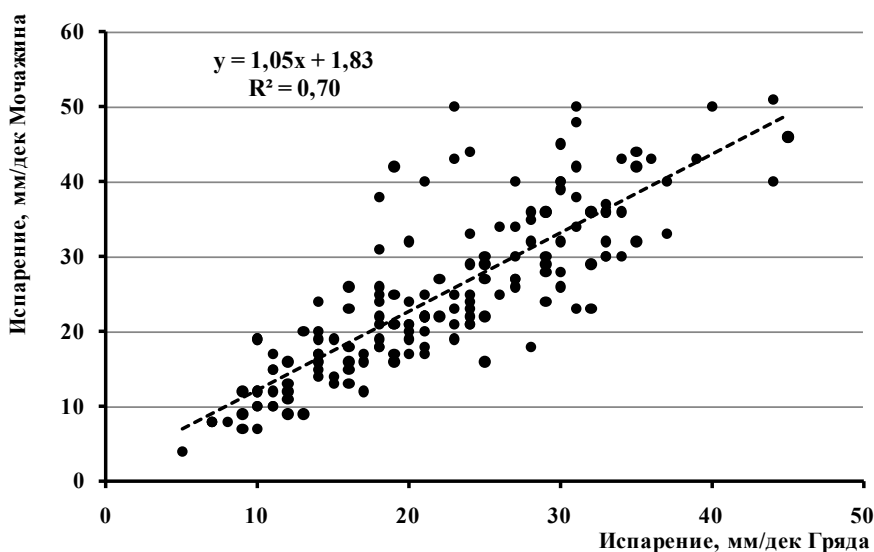


Рисунок 12.11. Связь декадных величин испарения с гряд и с мочажин грядово-мочажинного комплекса

Как видно из графика, испарение с мочажин в среднем на 11 % превышает испарение с гряд. Однако в 58 декадах из 162 испарение с гряд превышало испарение с мочажин, а в 16 декадах было равным ему. Как показывает анализ разницы величин испарения «мочажина–гряда», наибольшие различия наблюдаются при низких уровнях болотных вод. В периоды высокой степени увлажнения болота такие различия малы.

Таким образом, проведенный выше анализ указывает на весьма малое различие в испарении грядово-мочажинного комплекса и сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта. Это подтверждает и график связи месячных величин испарения с рассматриваемых микроландшафтов (рисунок 12.12).

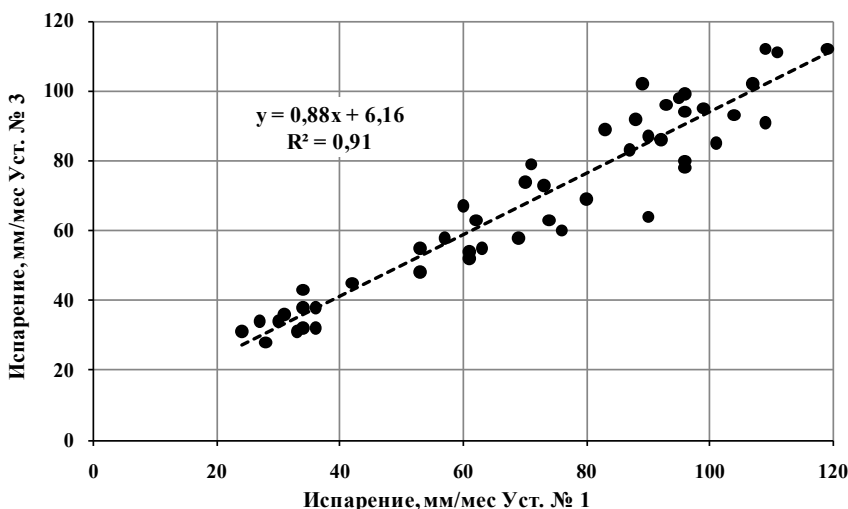


Рисунок 12.12. Связь месячных величин испарения с грядово-мочажинного комплекса (установка № 3) и со сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта (установка № 1)

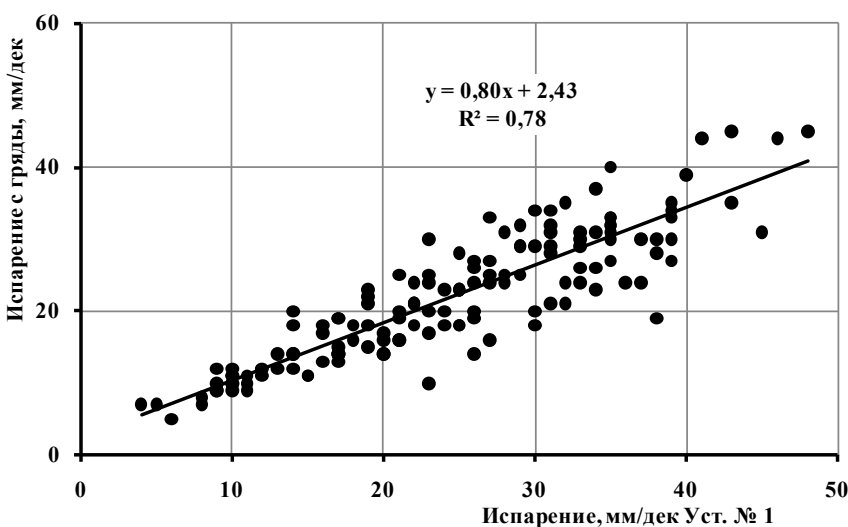


Рисунок 12.13. Связь испарения со сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта и с гряд грядово-мочажинного комплекса

Полученные соотношения величин испарения с этих двух микроландшафтов оказались в какой-то степени неожиданными.

Согласно литературным данным, о чем отмечалось выше, испарение с грядово-мочажинного комплекса превышает испарение со сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта. Это подтверждают и исследования испарения, проведенные на болотах Западной Сибири [8, 16]. Зафиксированный на приведенных выше графиках «парадокс» (соотношение около единицы) объясняется превышением испарения со сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта (характеризующегося слаборазвитым микрорельефом) над испарением с гряд грядово-мочажинного комплекса (рисунок 12.13). Это превышение в среднем составляет 8 % и обусловлено в определенной мере вариацией испарения, которая, как показано в работе [74], зависит от степени развития микрорельефа.

В сфагново-пушицево-кустарничковом, редко облесенном сосной с сухостоем микроландшафте в разных его частях были оборудованы две испарительные площадки (установки № 2 и № 4). Параллельные наблюдения на них проводились в течение 5 лет (1968–1974). На рисунке 12.14 представлен график связи величин испарения, полученных по измерениям на этих установках. Как видно из графика, величины испарения практически одинаковы. Имеющиеся расхождения лежат в пределах точности измерений.

Различие между величинами испарения в сфагново-кустарничково-пушицевом, редко облесенном сосной микроландшафте и сфагново-пушицево-кустарничковом, облесенном сосной с сухостоем микроландшафте весьма мало и составляет около 2 % в пользу первого микроландшафта.

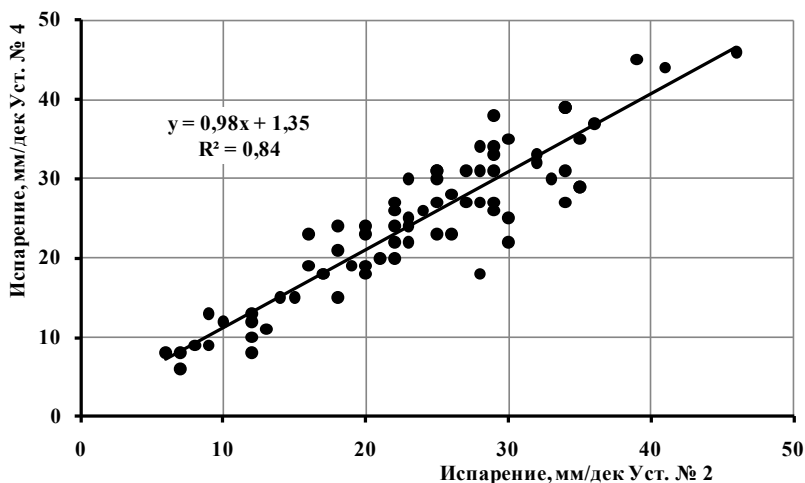


Рисунок 12.14. Связь декадных величин испарения со сфагново-пушицево-кустарничкового, редко облесенного сосной с сухостоем микроландшафта по двум установкам

Таким образом, подводя итоги рассмотрения испарения с различных болотных микроландшафтов, отметим следующее:

— заметного различия в испарении со сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта и грядово-мочажинного комплекса не обнаружено;

— испарение с мочажин в среднем на 11 % превышает испарение с гряд, причем величина расхождения увеличивается с понижением уровня болотных вод;

— испарение с гряд в среднем на 10 % меньше испарения со сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта;

— испарение со сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта практически равно испарению со сфагново-пушицево-кустарничкового, редко облесенного сосной с сухостоем микроландшафта.

Отсутствие четко выраженного различия в испарении с различных микроландшафтов болота Ламмин-Суо объясняется слаборазвитым микрорельефом поверхности, обуславливающим малую вариацию испарения по площади, и недостаточной точностью метода испарителей, чтобы надежно определить разницу в испарении с относительно близких по растительному покрову и уровню воды болотных микроландшафтов. Совершенно очевидно, что для более глубокого исследования процесса испарения с болот и выявления различий в испарении с болотных микроландшафтов и элементов мезорельефа необходима разработка более совершенных и точных методов измерений, позволяющих получать надежные суточные и часовые величины испарения при весьма незначительной вариации его по площади [74]. Технические возможности для этого в настоящее время имеются.

12.4. Испарение с водной поверхности

В сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте (на болотной метеоплощадке) с 1964 по 1976 годы проводились наблюдения за испарением с водной поверхности по испаромеру ГГИ-3000. Обобщенные материалы наблюдений приведены в таблице 3 раздела 5 Приложения «Многолетние характеристики».

На рисунке 12.15 представлен совмещенный график среднесезонного (внутригодового) хода испарения с болота (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт) и водной поверхности за вегетационный период.

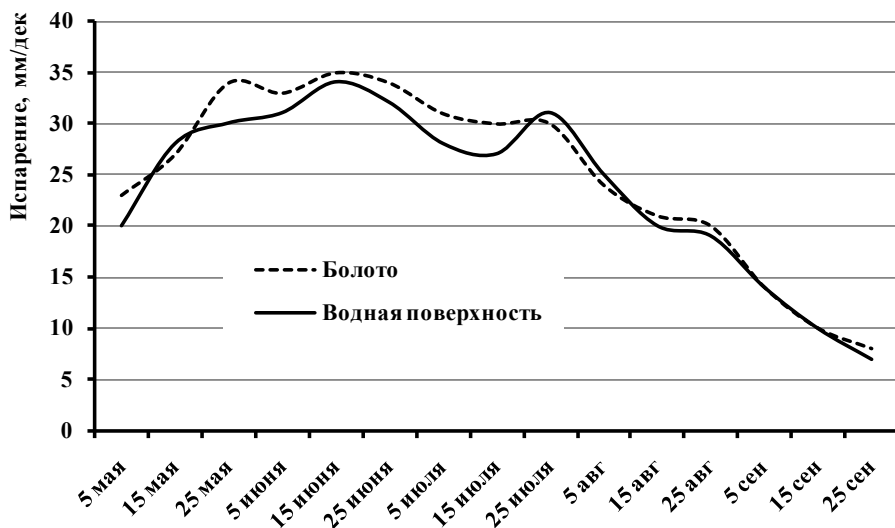


Рисунок 12.15. Средний за период параллельных наблюдений (1964–1976 гг.) ход испарения с болота и с водной поверхности за вегетационный сезон

Как видно из графика, декадные величины испарения с болота в конце мая, июне и июле на 2–4 мм превышают испарение с водной поверхности, а в августе и сентябре равны ему.

Испарение с водной поверхности, как следует из рисунка 12.16, практически равно испарению с болота (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт).

Совмещенные графики изменения декадных величин испарения с болота и с водной поверхности в разные по увлажнению летние сезоны (июнь–август) представлены на рисунках 12.17–12.19.

Анализ приведенных выше графиков позволяет сделать вывод, что испарение с водной поверхности превышает испарение с болота только в годы с сухими летними сезонами. В годы с сильным и даже средним увлажнением летних сезонов (июнь–август) величины испарения за вегетационный период с водной поверхности и с поверхности болота близки между собой.

Сопоставление данных по испарению с водной поверхности и с поверхности мочажин (рисунки 12.20 и 12.21) показывает, что испарение с водной поверхности в начале и середине летнего периода ниже испарения с мочажин, а в августе–сентябре — несколько выше. Это объясняется различием теплового режима в испаромере и верхних слоях торфяной залежи мочажин: в начале лета в испаромере температура воды более низкая, чем у поверхности мочажин, в конце лета — наоборот.

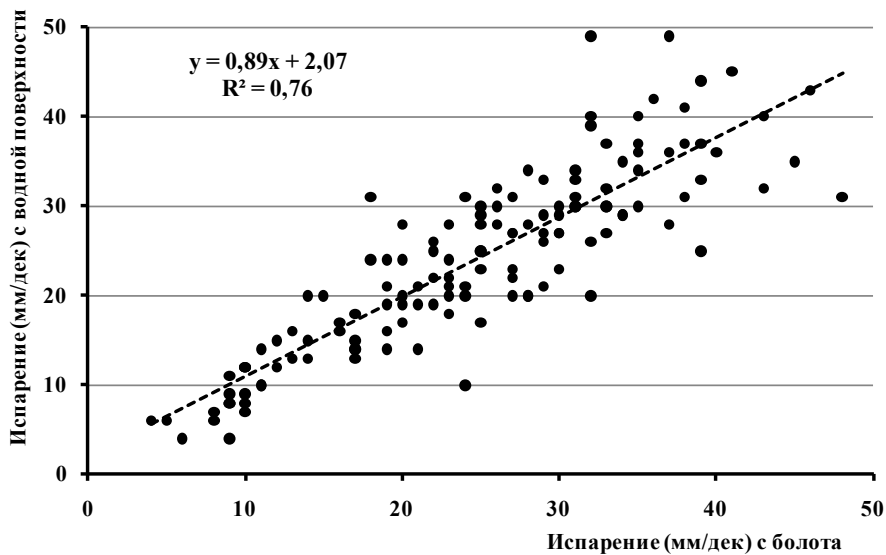


Рисунок 12.16. Связь декадных величин испарения с болота и с водной поверхности



Рисунок 12.17. Совмещенный график хода декадных величин испарения с болота и с водной поверхности за вегетационный период. Сухое лето, 1964 год, сумма осадков – 137 мм

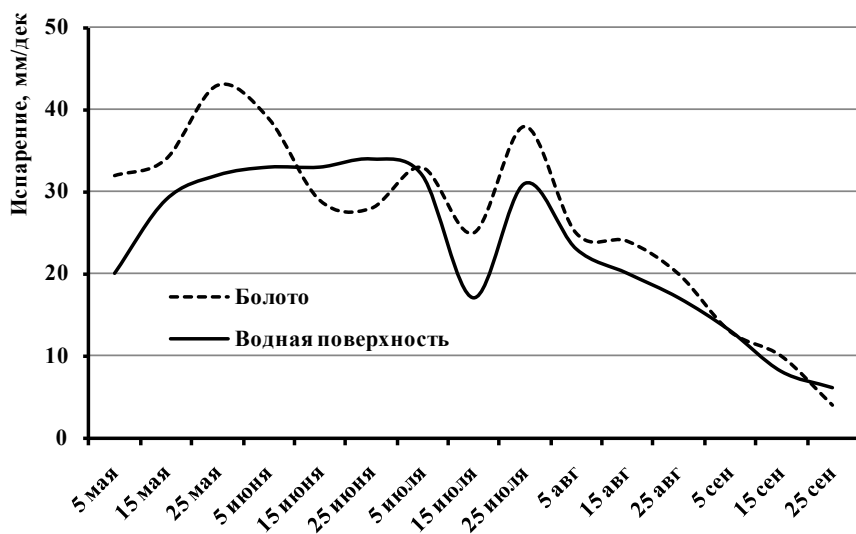


Рисунок 12.18. Совмещенный график хода декадных величин испарения с болота и с водной поверхности за вегетационный период. Среднее по увлажнению лето, 1970 год, сумма осадков – 196 мм



Рисунок 12.19. Совмещенный график хода декадных величин испарения с болота и с водной поверхности за вегетационный период. Влажное лето, 1974 год, сумма осадков – 407 мм.

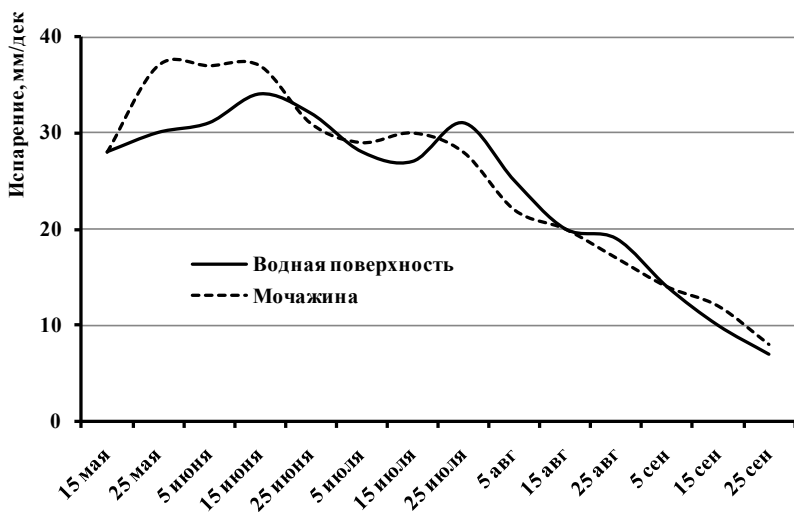


Рисунок 12.20. Средний за период параллельных наблюдений ход испарения с водной поверхности и с мочажин грядово-мочажинного комплекса в вегетационный сезон (1964–1976 гг.)

В периоды повышенного испарения с болота (рисунок 12.21) величины испарения с мочажин грядово-мочажинного комплекса превышают величины испарения с водной поверхности, в периоды же пониженного испарения они меньше. В периоды относительно большого испарения температура поверхности мочажин обычно выше температуры поверхности воды в испаромере, что и обуславливает разницу в испарении.

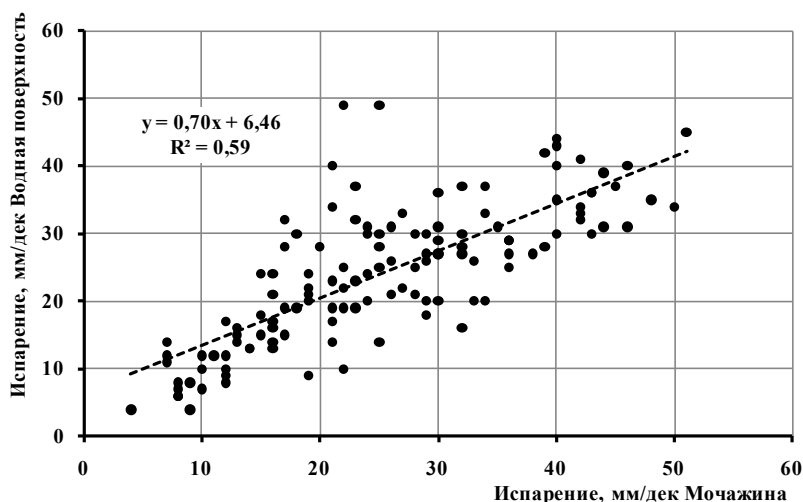


Рисунок 12.21. Связь декадных величин испарения с водной поверхности и с мочажин грядово-мочажинного комплекса

ГЛАВА 13

РЕЖИМ РУСЛОВОГО СТОКА С БОЛОТА

Сток воды с болотного массива Ламмин-Суо осуществляется фильтрационным путем по деятельному горизонту торфяной залежи. Общая направленность стока болотных вод — от наиболее высокой точки (купола) болотного массива к его окрайкам. На периферийных участках болота в полосе шириной 10–30 м (50–100 м для ручья Южный) формируются истоки всех водотоков, вытекающих из него. Здесь образуются ложбины концентрированного стока болотных вод (рисунок 5.17). Открытое русло водотоков проявляется только на выходе из болотного массива.

Русловой сток с болотного массива Ламмин-Суо осуществляется ручьями Южный, Западный-1, Западный-2, Северный и Восточный. Гидрографические характеристики водотоков приведены в главе 4 (таблицы 4.1 и 4.2). В том случае, когда характеристики стока с ручьев Западный-1 и Западный-2 рассматриваются суммарно, так как они дренируют один общий водосбор, употребляется топоним ручей Западный. Особенно явно гидравлическая связь между ними проявляется при высоких уровнях воды, когда сток перераспределяется между ними в зависимости от наиболее благоприятно складывающихся условий пропуска воды. Оценка общего стока с болотного массива, включая временные водотоки и инфильтрацию в суходолы, приведена в главе 16.

Здесь необходимо заметить, что определение границ водосборов (рисунок 4.7) на болотных массивах без построения сетки стекания весьма затруднительно и ориентировано, прежде всего, на периоды формирования максимального стока. Установленная площадь водосбора охватывает практически

весь диапазон изменения стока на водотоках. Исключение могут составлять как экстремально высокие максимумы, так и экстремально низкие минимумы, когда действующая площадь водосборов на болотных ручьях может заметно меняться.

Исходя из морфометрического строения прирусловых участков и профилей продольных уклонов водотоков, можно предположить, что основная разгрузка котловины палеоозера осуществлялась через ручей Северный. В настоящее время площадь водосбора ручья Северный постепенно сокращается. Водосбор ручья Западный, напротив, увеличивается в основном за счет водосбора ручья Северный и частично за счет ручья Южный. Наблюдается перетекание воды из озер Питьево и Торфяное в озеро Купальное. Это вызвано тем, что на фоне начавшегося повышения уровней воды на болотном массиве (рисунок 7.4) порог слива ручья Северный был искусственного завышен при прокладке коридора коммуникаций вдоль северо-восточной окрайки массива. В это же время (1960-е годы) произошло существенное понижение базиса разгрузки ручьев Западный-1 и Западный-2 вследствие прокладки дренажных канав гидромелиорации. Таким образом, в пределах исследуемого болотного массива происходит некоторое перераспределение стока из бассейна реки Сестры в бассейн реки Черная.

13.1. Годовой сток

Характеристика годового руслового стока рассматриваемого болотного массива дана по 64-летним рядам наблюдений за период 1950–2013 гг. (таблицы 1 и 2 раздела 6 Приложения «Многолетние характеристики»).

Как показал анализ материалов наблюдений, среднемноголетние модули годового стока дренирующих болото ручьев в юго-западном направлении за указанный период довольно близки: так, по ручьям Южный и Западный модули стока соответственно равны 12,8 и 11,9 л/с км². Ручей Западный имеет несколько меньший среднемноголетний сток из-за наличия озера на водосборе и его частичного контакта с суходолом.

Северо-восточная окрайка болотного массива подпирается камовой грядой, через которую фильтруется часть болотных вод. Кроме этого, на водосборе ручья Северный расположено озеро, и соответственно модуль стока его еще несколько меньше, чем на выше упомянутых ручьях, — 9,9 л/с км². Ручей Восточный имеет самый низкий среднемноголетний модуль годового стока, который равняется 4,4 л/с км². Это объясняется морфометрическими особенностями строения его водосбора и ошибками, допущенными при оборудовании гидроствора. Через него стекает менее половины годового

стока ручья. Большая же часть стока дренируется широким фронтом через довольно узкие суходольные выступы, примыкающие к гидрометрическому створу, непосредственно в урочище Копеечка (состоящее из заросшего озера Копеечка и озера № 3), которое по своим высотным отметкам заметно ниже самого болота (рисунок 3.2). Потенциальный максимальный объем призмы срабатывания урочища значительно больше объема годового стока ручья Восточный.

Среднегодовое русловое стока со всего болотного массива за рассматриваемый период составляет $11,7 \text{ л/с км}^2$. По карте среднегодового стока [25] норма стока для рассматриваемого района составляет $10,0 \text{ л/с км}^2$, т. е. три ручья из пяти вытекающих из болота ручьев показывают близкие к районным величины.

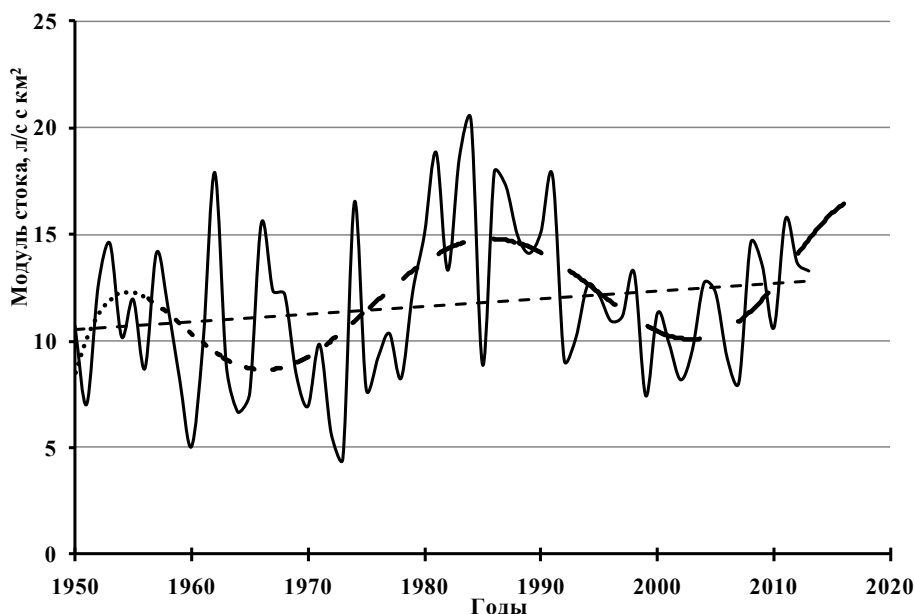


Рисунок 13.1. Изменение годового руслового стока с болотного массива Ламмин-Суо за период 1950–2013 гг.

Ход колебаний годового руслового стока с болотного массива в целом за время наблюдений характеризуется определенной цикличностью с периодом 34 года (рисунок 13.1). В настоящее время мы приближаемся к следующему пику водности, который ожидается в районе 2020 года. Наиболее экстремальное отклонение годового стока от осредненной кривой цикличности колебания скользящей нормы стока за короткие периоды (точечная линия) по максимальным значениям наблюдалось в 1962 году, а по минимальным значениям — в 1985 году. По абсолютным значениям годового стока за весь

период наблюдений максимум зафиксирован в 1984 году (20,3 л/с км²), минимум — в 1973 году (4,5 л/с км²). Согласно тенденции линейного тренда, за период наблюдений произошло увеличение годового руслового стока с болотного массива на 2,4 л/с км², что эквивалентно увеличению стока наиболее засушливого года на 53 %.

Таблица 13.1. Годовой русловой сток с болотного массива Ламмин-Суо (1950–2013 гг.) различной вероятности превышения

| Водосбор | Средний за период | Cv | Cs/ Cv | Вероятность превышения, % | | | | | | |
|-------------------------|-------------------|------|--------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | | | 1 | 5 | 25 | 50 | 75 | 95 | 99 |
| слой стока, мм | | | | | | | | | | |
| Болотный массив | 364 | 0,31 | 1,5 | 655 | 560 | 435 | 356 | 284 | 191 | 132 |
| руч. Южный | 398 | 0,31 | 2,0 | 730 | 617 | 474 | 387 | 310 | 219 | 164 |
| руч. Северный | 308 | 0,36 | 2,0 | 612 | 506 | 373 | 295 | 229 | 149 | 104 |
| руч. Западный | 372 | 0,31 | 0,5 | 650 | 566 | 449 | 370 | 293 | 184 | 110 |
| руч. Восточный | 139 | 0,45 | 2,0 | 322 | 255 | 176 | 130 | 92,7 | 52,1 | 30,5 |
| расход воды, л/с | | | | | | | | | | |
| Болотный массив | 23,0 | 0,31 | 1,5 | 41,4 | 35,4 | 27,5 | 22,5 | 17,9 | 12,1 | 8,35 |
| руч. Южный | 15,2 | 0,30 | 2,5 | 27,8 | 23,4 | 17,9 | 14,7 | 12,0 | 8,68 | 6,83 |
| руч. Северный | 3,65 | 0,36 | 2,0 | 7,25 | 5,99 | 4,42 | 3,50 | 2,72 | 1,77 | 1,24 |
| руч. Западный | 3,81 | 0,31 | 0,5 | 6,67 | 5,80 | 4,60 | 3,79 | 3,00 | 1,89 | 1,12 |
| руч. Восточный | 0,44 | 0,46 | 2,0 | 1,03 | 0,82 | 0,56 | 0,42 | 0,30 | 0,17 | 0,10 |

В таблице 13.1 приведены параметры кривых обеспеченности и значения годового стока различной вероятности превышения как для отдельных водосборов, так и для болотного массива в целом.

13.2. Внутригодовое распределение стока

Внутригодовое распределение стока водотоков, стекающих с исследуемого болотного массива, рассмотрено на материалах наблюдений по ручью Южный. Режим руслового стока на данном ручье, дренирующем большую часть болотного массива, наиболее полно отражает режим стока с болота в целом. На более малых по площади водосбора ручьях режим стока в большей степени зависит от специфических условий дренирования воды с болотного массива конкретного года, что влияет на сезонное перераспределение стока.

В таблице 13.2 представлено распределение руслового стока по месяцам за календарный год в относительных единицах. Из исходного ряда наблюдений в соответствии с рекомендациями [120, 121] выделено пять групп лет с характерной водностью. Для каждой группы лет с характерной водностью подчеркиванием выделены месяцы лимитирующего стока по его

абсолютным значениям в периоды зимней и летней межени. Жирным шрифтом выделены соответствующие месяцы для всего периода наблюдений. На рисунке 13.2 показано это распределение стока в абсолютных единицах.

Таблица 13.2. Распределение годового стока по месяцам (%) ручья Южный для групп лет с характерной водностью (1950–2013 гг.)

| Характеристика лет водности | месяцы | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Очень маловодные | 7,1 | 4,2 | 4,2 | 51,5 | 8,3 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 2,5 | 3,7 | 6,4 | 10,4 |
| Маловодные | 2,5 | 1,5 | 3,1 | 39,7 | 12,9 | 1,8 | 0,7 | 2,0 | 2,9 | 10,1 | 14,8 | 8,1 |
| Средние по водности | 4,9 | 3,1 | 4,4 | 30,8 | 13,0 | 2,1 | 2,7 | 3,6 | 5,1 | 12,3 | 12,4 | 5,8 |
| Многоводные | 3,6 | 7,7 | 6,7 | 33,2 | 6,3 | 2,2 | 2,1 | 4,6 | 7,4 | 11,2 | 9,3 | 5,9 |
| Очень многоводные | 3,5 | 1,2 | 1,2 | 33,5 | 7,8 | 2,2 | 3,2 | 6,2 | 12,9 | 12,0 | 10,0 | 6,2 |

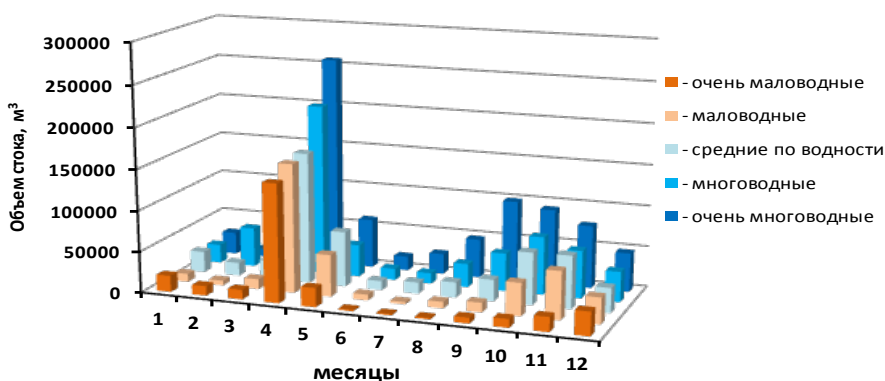


Рисунок 13.2. Распределение годового стока ручья Южный по месяцам для групп лет с характерной водностью (1950–2013 гг.)

Несмотря на то, что рассматриваемые ручьи вытекают из болотного массива, на них, как и на не заболоченных реках исследуемого региона, также прослеживается существенная неравномерность распределения стока внутри года. Снеговое питание играет значительную роль в формировании годового стока и составляет в среднем за исследуемый период 30–40 %, а для очень маловодных лет — более чем 50 %. Относительное регулирование весеннего стока с этого, сравнительно небольшого болотного массива прослеживается в маловодные и средние по водности годы. В последнее десятилетие такое регулирование уменьшается, поскольку зимний минимальный сток с болотного массива вновь начинает заметно снижаться (рисунок 13.11).

На рисунках 13.3 и 13.4 представлено распределение руслового стока с болотного массива за выдающиеся водохозяйственные годы. Экстремально

многоводным за время наблюдений был период 1981–1982 гг., а наиболее маловодным — 2002–2003 гг. Доля стока за наиболее многоводный месяц (апрель) в многоводный и маловодный водохозяйственные годы была практически одинакова, соответственно 61,9 % и 64,7 %. В то же время объем стока апреля 1981 года в 6,6 раза был выше, чем сток за апрель 2002 года. В целом объем стока за указанные экстремальные по водности водохозяйственные годы равнялся соответственно 1261 и 181 тыс. м³. То есть сток воды с болота за наиболее многоводный год был в 7 раз выше объема стока за наиболее сухой год.

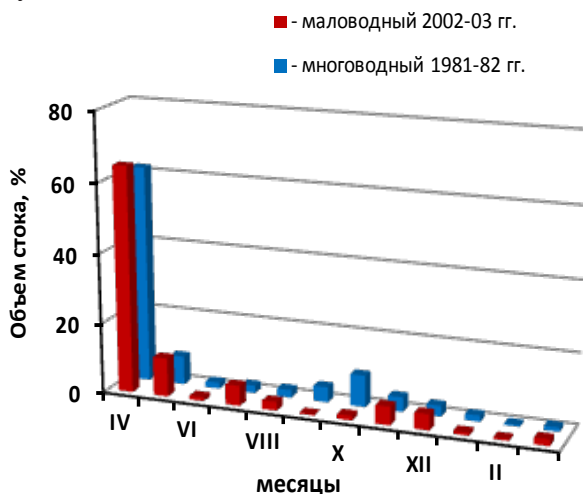


Рисунок 13.3. Распределение стока ручья Южный по месяцам для экстремального водохозяйственного года в относительных единицах

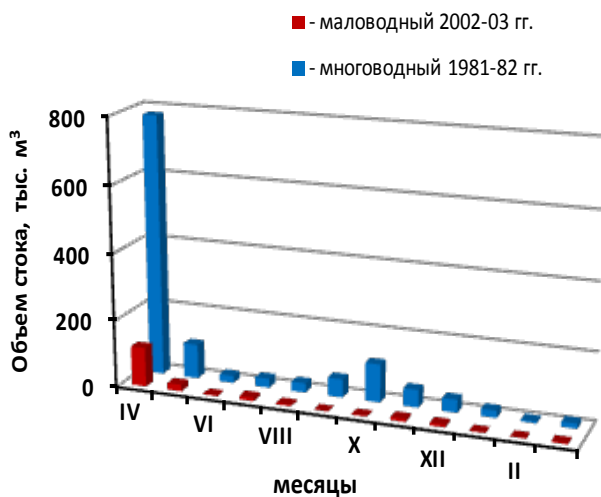


Рисунок 13.4. Распределение стока ручья Южный по месяцам для экстремального водохозяйственного года в абсолютных величинах

К настоящему времени внутригодовое распределение руслового стока с болотного массива смещается в сторону увеличения зимнего стока. Это вызвано тем, что суммы отрицательных температур воздуха имеют устойчивую тенденцию к уменьшению (рисунок 8.2). Сокращается продолжительность зимнего периода, наблюдается увеличение количества и продолжительности оттепелей, что приводит к уменьшению влагозапасов в снежном покрове (рисунок 8.13). Глубина промерзания торфяной залежи уменьшается. Последнее ведет к увеличению поступления в зону разгрузки (под мерзлый горизонт) талых вод. Следует отметить, что с конца 1970-х годов началось повышение температуры торфяной залежи, и к настоящему времени она увеличилась на 1,4 °С.

Подтверждением рассмотренной выше схемы формирования в последние годы повышенного зимнего стока с болота является зима 2010–2011 гг. Установившийся слой промерзания в начале зимнего периода имел защиту в виде высокого снежного покрова, который минимизировал влияние отрицательных температур воздуха и препятствовал дальнейшему его нарастанию. В это же время наблюдалось повсеместное очаговое протаивание слоя промерзания, особенно на элементах микрорельефа, приуроченных к участкам интенсивной разгрузки. Вследствие этого даже в зимний период с малым количеством оттепелей сток был относительно высок, а прогнозируемое высокое половодье с болотного массива было существенно зарегулировано. Значительная часть воды от весеннего снеготаяния ушла на пополнение влагозапасов деятельного горизонта.

13.3. Максимальный сток весеннего половодья

Весеннее половодье является основной фазой водного режима рассматриваемых водотоков, несмотря на то что доля этого стока по отношению к годовому стоку за период наблюдений заметно снижается (рисунок 13.5). До середины 1980-х годов на всех водотоках осредненные значения (пунктирные линии) объемов стока половодья составляли более половины от годового стока, т. е. были больше 0,5. К концу периода наблюдений доля весеннего половодья уже составляла менее 40 % от годового стока. Здесь надо иметь в виду, что такой тренд изменчивости коэффициентов стока весеннего половодья несколько сглаживается общей линейной тенденцией к увеличению годового стока на водотоках (рисунок 13.1). Причем внутригодовое перераспределение стока к концу периода наблюдений в большей степени происходит в юго-западном секторе (ручьи Южный и Западный) болотного массива,

который граничит с низким заболоченным суходолом и куда направлено основное воздействие по дальнейшему заболачиванию территории. Северо-восточный сектор болотного массива ограничен высоким суходолом, и здесь доля весеннего стока (ручей Северный) в настоящее время изменяется с меньшей интенсивностью, а при относительно высоком стоке половодья она заметно выше, чем на других водотоках. Так, в 1999 году доля стока весеннего половодья ручья Северный составила 0,94 и соответствовала его наивысшему значению за весь период наблюдений на водотоках.

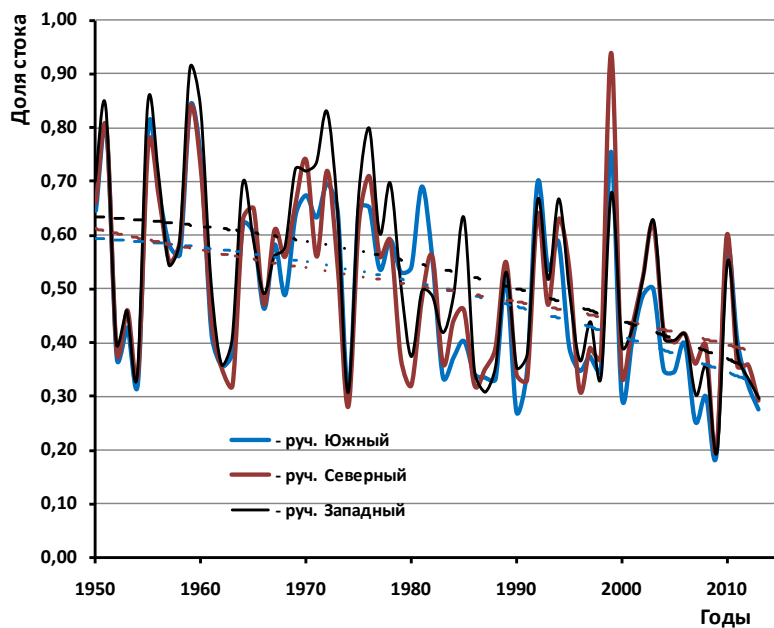


Рисунок 13.5. Изменение доли стока (от годового) весеннего половодья за период наблюдений

Календарные сроки и характер прохождения фазы половодья за рассматриваемый период наблюдений рассмотрим на примере ручья Южный, через который сбрасывается 65% от общего руслового стока с болотного массива. Весеннее половодье начинается обычно в конце марта — начале апреля, и средняя дата его наступления приходится на 30 марта. Наиболее ранняя дата начала половодья прилась на 26 февраля 1989 года, а наиболее поздняя — на 19 апреля 1956 года. Средней датой окончания периода половодья является 22 мая. Наиболее ранняя дата окончания половодья — 30 апреля 1990 года, а наиболее поздняя — 8 июня 1956 года.

Продолжительность половодья, как показывают наблюдения, определяется величиной влагозапасов в снежном покрове, дружностью весны и количеством осадков, выпавших в период половодья. Средняя продолжительность

половодья на рассматриваемом ручье составляет 53 дня, наибольшая — 90 дней в 1967 году, наименьшая — 28 дней в 2013 году. Средняя продолжительность половодья на остальных ручьях короче на 3–5 дней.

Форма гидрографа весеннего половодья в разные годы зависит от особенностей весны и различается в широких пределах как по календарным периодам, так и по режиму стока (рисунок 13.6). Средней датой прохождения пика половодья является 16 апреля. Наиболее ранняя дата формирования максимального расхода воды наблюдалась 22 марта 1990 года, а наиболее поздняя — 6 мая 1955 года.

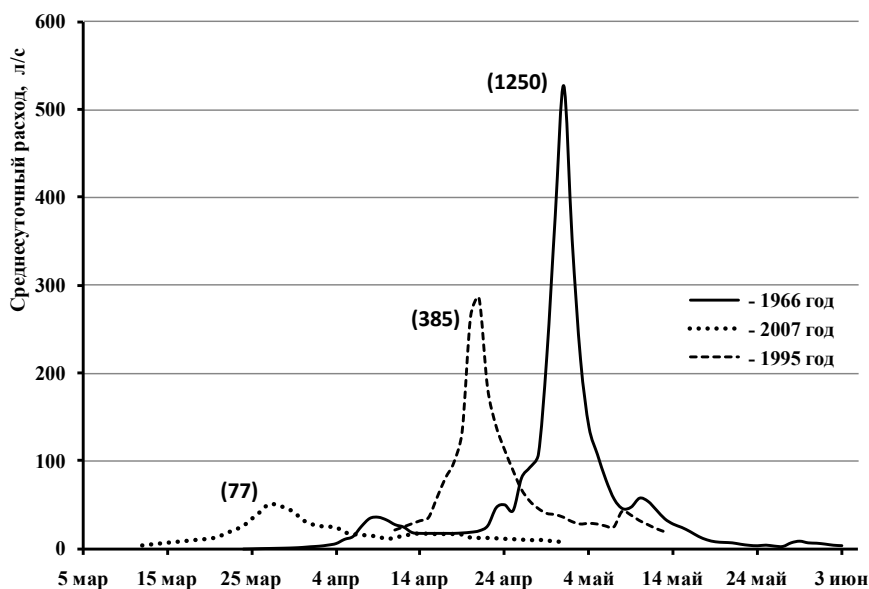


Рисунок 13.6. Гидрографы половодья ручья Южный реального года: 1966 – экстремально высокий максимум, 2007 – экстремально низкий максимум, 1995 – близкий к среднееголетнему максимуму

Максимальные расходы весеннего половодья, являющиеся в большинстве случаев и максимальными годовыми, как видно из таблицы (таблица 3 раздела 6 Приложения «Многолетние характеристики»), колеблются в широких пределах. Так, на ручье Южный они изменяются в диапазоне от 77 до 1250 л/с (рисунок 13.6), а на ручье Северный — от 14 до 226 л/с.

Следует отметить, что наиболее высокие значения максимальных весенних расходов на дренирующих болотный массив ручьях наблюдались в разные годы. Так, на ручье Южный наибольший за период наблюдений расход (1250 л/с) зафиксирован в 1966 году, на ручье Западный-1 (99,0 л/с) — в 1965 году, на ручье Западный-2 (20,6 л/с) — в 1995 году, на ручье Северный

(226 л/с) — в 1957 году. Однако, в общем, они соответствуют водности периода половодья для конкретного года.

Наиболее низкие максимальные расходы воды на ручьях Южный (77,0 л/с), Западный-2 (2,1 л/с) и Северный (14,0 л/с) наблюдались в 2007 году, а на ручье Западный-1 (12,5 л/с) — в 1974 году.

Динамика изменчивости максимальных расходов воды и слоев стока в период весеннего половодья по рассматриваемым водотокам представлена на рисунках 13.7 и 13.8.

Изменчивость максимальных расходов воды на примере ручья Южный (пунктирная линия, рисунок 13.7) имеет временную цикличность, установление которой явно не достаточно для 64-летнего периода наблюдений. Такая же ситуация наблюдается и на более мелких ручьях, но в менее выраженной форме, что вполне естественно. Стокоформирующего потенциала малой заболоченной площади водосбора, которая обладает относительно высоким коэффициентом естественной зарегулированности, совершенно недостаточно для заметного увеличения амплитуды изменения данной характеристики. Представляется, что основную роль в сглаживании более коротких периодов общей увлажненности (рисунок 13.1) применительно к формированию максимальных расходов воды играет фактор облесения массива сосной обыкновенной болотной экологической формы (*Pinus sylvestris* f. *Litvinowii*), влияющий на характер формирования весеннего половодья. Как известно, начальный период наблюдений пришелся на фазу слабо сформировавшегося древесного яруса на центральной части болотного массива (рисунок 3.9а и таблица 2 Приложения главе 5). Облесение болота, начавшееся в середине XX столетия и, вследствие этого, параллельно сопровождавшееся изменением водно-физических свойств деятельного горизонта, к настоящему времени (рисунок 3.9б) привело к практически полному сокращению открытых его участков, которые сохранились лишь на небольших площадях в грядово-мочажинном комплексе. По данным о расположении слоев концентрации корневых остатков деревьев (пнистость), полученным в результате многолетних работ по отбору монолитов торфа для изучения испарения, водно-физических свойств и спорово-пыльцевых диаграмм верхнего полутораметрового слоя торфяной залежи [222], средняя длительность полного цикла облесения этого болотного массива в верховой стадии составляет около 230 лет.

По динамике изменения водности в целом за половодье (рисунок 13.8), как и следовало ожидать, прослеживаются относительно короткие циклы колебаний общей увлажненности территории. При этом ручей Южный, дренирующий наиболее открытую часть поверхности болотного массива в периоды минимального облесения, показывает более высокие значения слоев стока за период половодья. В периоды максимального облесения болота

модули стока весеннего половодья на болотном массиве Ламмин-Суо уравниваются по всей его площади. Таким образом, можно предположить, что открытые и слабо облесенные олиготрофные болотные массивы или их части формируют как более высокие максимальные расходы воды, так и в целом слой стока за половодье, по сравнению с облесенными болотами. Как видно из графика, такое увеличение слоев стока для рассматриваемого диапазона площади водосбора может составлять 35–40 %. При больших значениях заболоченных водосборов следует учитывать еще и площадную редукцию стока.

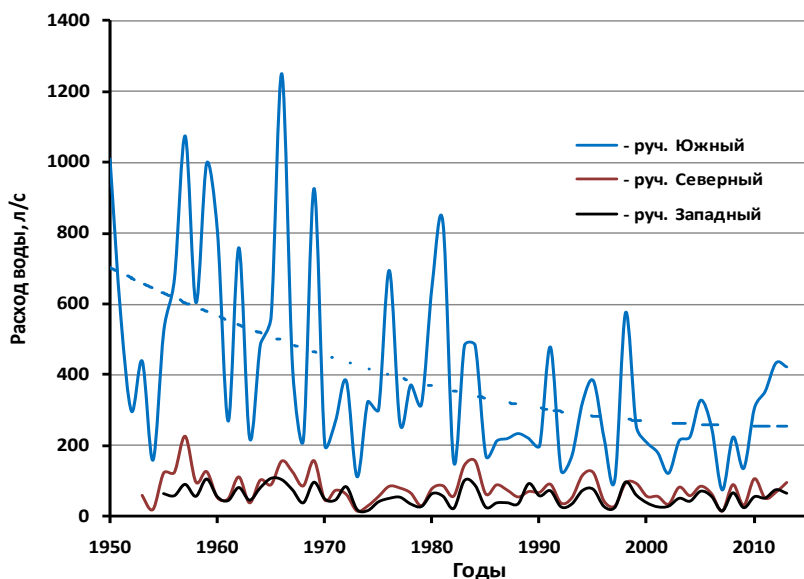


Рисунок 13.7. Изменение максимальных расходов воды за период наблюдений

Наиболее высокий слой стока за половодье наблюдался на ручье Южный в 1981 году и составил 458 мм. На более малых по площади водосбора ручьях максимальный слой стока за половодье составляет 260–270 мм. Наиболее низкий слой стока за половодье наблюдался на ручье Северный в 2007 году и составил 55 мм. Величина низких половодий в меньшей степени зависит от площади водосбора и на всех водотоках находится в пределах 60–120 мм слоя стока.

В таблице 13.3 приведены значения характеристик максимального стока заданной вероятности превышения для исследуемых водотоков и параметры кривых обеспеченности. Как и следовало ожидать, вариативность примерно одинаковых по продолжительности рядов имеет тенденцию к повышению с увеличением площади болотного водосбора. Обращает на себя внимание и достаточно заметное несоответствие максимальных расходов воды на ручье Южном между средним значением ряда наблюдений и нормой. Так, среднее значение за 64-летний период наблюдений равнялось 400 л/с, а максимальный

расход 50%-ой вероятности превышения составил 318 л/с, что свидетельствует о некоторой нерепрезентативности ряда наблюдений (рисунок 13.7), несмотря на его достаточную продолжительность, и о его высокой степени асимметрии. Вероятно, это вызвано наложением более продолжительных по времени циклов облесения, о чем упоминалось выше. И вполне естественно, что данный фактор в большей степени влияет на формирование максимального расхода воды, чем на слой стока всего половодья, который к тому же в периоды максимального облесения уравнивается во всей площади болотного массива (рисунок 13.8). В этом случае при определении обеспеченных значений стока следует использовать усеченные кривые распределения.

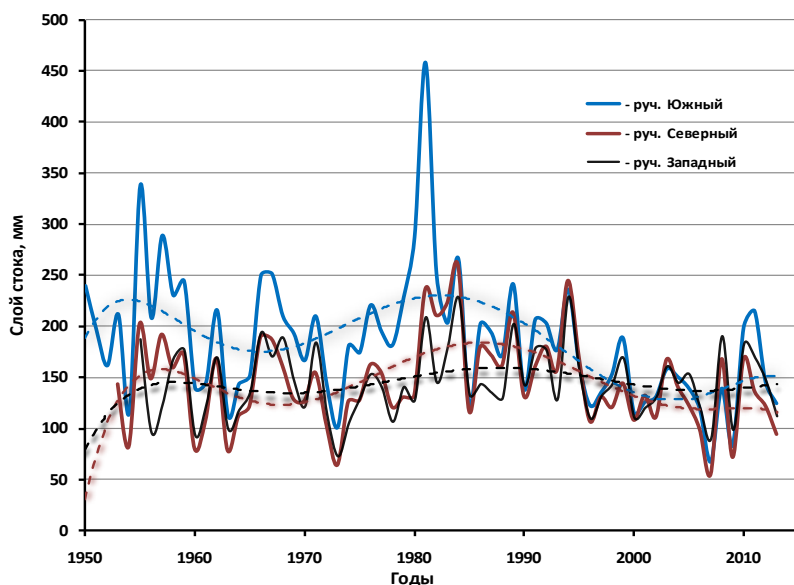


Рисунок 13.8. Изменение слоев стока за половодье

Таблица 13.3. Значения максимальных расходов воды и слоев стока весеннего половодья водотоков болотного массива Ламмин-Суо заданной вероятности превышения

| Водосбор | Период наблюдений | Среднее за период | Cv | Cs Cv | Вероятность превышения, % | | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------|------|-------|---------------------------|------|-----|------|------|------|
| | | | | | 1 | 3 | 5 | 10 | 25 | 50 |
| слой стока, мм | | | | | | | | | | |
| руч. Южный | 1950–2013 | 186 | 0,34 | 4,5 | 390 | 334 | 308 | 270 | 216 | 172 |
| руч. Северный | 1953–2013 | 146 | 0,30 | 3,0 | 269 | 239 | 225 | 204 | 171 | 140 |
| руч. Западный* | 1955–2013 | 145 | 0,24 | 2,5 | 237 | 216 | 206 | 191 | 167 | 143 |
| расход воды, л/с | | | | | | | | | | |
| руч. Южный | 1950–2013 | 400 | 0,66 | 3,5 | 1339 | 1050 | 935 | 738 | 507 | 318 |
| руч. Северный | 1953–2013 | 78,3 | 0,51 | 2,5 | 201 | 169 | 154 | 132 | 99,4 | 71,5 |
| руч. Западный* | 1955–2013 | 57,0 | 0,43 | 1,0 | 121 | 107 | 100 | 89,5 | 72,6 | 55,3 |

(*) суммарные значения по двум гидрометрическим створам.

В таблице 13.3 приведены значения характеристик максимального стока заданной вероятности превышения для исследуемых водотоков и параметры кривых обеспеченности. Как и следовало ожидать, вариативность примерно одинаковых по продолжительности рядов имеет тенденцию к повышению с увеличением площади болотного водосбора. Обращает на себя внимание и достаточно заметное несоответствие максимальных расходов воды на ручье Южном между средним значением ряда наблюдений и нормой. Так, среднее значение за 64-летний период наблюдений равнялось 400 л/с, а максимальный расход 50%-ой вероятности превышения составил 318 л/с, что свидетельствует о некоторой нерепрезентативности ряда наблюдений (рисунок 13.7), несмотря на его достаточную продолжительность, и о его высокой степени асимметрии. Вероятно, это вызвано наложением более продолжительных по времени циклов облесения, о чем упоминалось выше. И вполне естественно, что данный фактор в большей степени влияет на формирование максимального расхода воды, чем на слой стока всего половодья, который к тому же в периоды максимального облесения уравнивается во всей площади болотного массива (рисунок 13.8). В этом случае при определении обеспеченных значений стока следует использовать усеченные кривые распределения.

Средняя величина максимальных модулей стока половодья составляет: на ручье Южный — 339 л/с км², на ручье Северный — 206 л/с км², на ручье Западный — 178 л/с км².

13.4. Максимальный сток дождевых паводков

Дождевые паводки на ручьях, дренирующих болото Ламмин-Суо, наблюдаются практически ежегодно, и наибольшее их количество приходится на период август–сентябрь. Количество дождевых паводков колеблется от 2 до 5, а в отдельные годы достигает 6–7. Исключение составляют 1951, 1972 и 1975 годы, которые характеризуются наиболее низким летне-осенним стоком. В 1951 и 1972 годах русловой сток с болотного массива отсутствовал с середины июня и до второй декады ноября, а в 1975 году — с начала июля до начала ноября. В эти годы с известной долей допущения можно выделить лишь по одному незначительному паводку на границах бессточных периодов — в конце периода половодья (май месяц 1951 и 1975 годов) и в начале периода ледостава (середина ноября 1972 года).

Величина максимального расхода воды и объем стока за паводок зависят от слоя стокоформирующих осадков, интенсивности их выпадения и степени предпаводочной увлажненности деятельного слоя. Поскольку в пределах

исследуемых водосборов отсутствует первичная гидрографическая сеть, то процесс перемещения водной массы и формирования паводочной волны не зависит от склонового и руслового добегания воды, а целиком определяется состоянием деятельного слоя болотного массива. Основной гидрологической характеристикой деятельного слоя является значение уровней болотных вод. Чем выше уровень болотных вод, тем чувствительней реакция гидрографа как на количество, так и на интенсивность атмосферных осадков.

В засушливые периоды при максимальной суточной сумме атмосферных осадков 27, 37 и 42 мм (соответственно в 1951, 1972 и 1975 годы) поверхностный сток с болота в течение июля–октября полностью отсутствовал. В этот же период (в дни выпадения дождей) наблюдался кратковременный подъем уровней болотных вод в среднем по массиву на 16 см (1972 и 1975 годы) и 20 см (1951 год). Это объясняется тем, что в наиболее засушливые периоды даже этого количества воды недостаточно для полного насыщения органической массы деятельного слоя, при котором начинается сток с болота, и гравитационный уровень воды в течение двух суток возвращается в начальное положение. В такие периоды все выпавшие атмосферные осадки переходят в связанное состояние и расходуются на испарение.

На рисунке 13.9 представлено распределение случаев формирования наивысшего за год максимального дождевого срочного расхода воды по месяцам. Наибольшее число максимальных дождевых паводков за период наблюдений зафиксировано поздней осенью в октябре–ноябре, соответственно 19 и 24 случая. Наименее вероятным месяцем для прохождения максимального паводка является июнь. Два майских паводка, наблюдавшиеся на спаде весеннего половодья, пришлись на засушливые вегетационные сезоны (1951 и 1975 годы), когда, как отмечалось выше, атмосферные осадки летне-осеннего периода аккумулировались торфяной залежью и не вызывали заметного повышения стока с болотного массива.

Наибольший расход воды дождевого паводка за весь период наблюдений на ручье Южный был зафиксирован 9 августа 1974 года и равнялся 295 л/с (рисунок 13.10). Наименьший из максимальных расходов воды дождевых паводков (2,5 л/с) наблюдался в следующем засушливом 1975 году, когда с болотного массива в течение четырех месяцев летне-осеннего периода отсутствовал сток. Это год наименьшего годового стока за весь период наблюдений, и, как уже упоминалось, даже суточные осадки 42 мм слоя воды не вызвали начала стока на дренирующих болото ручьях. При расчетах или прогнозах параметров дождевых паводков на болотах следует учитывать не только уровни болотных вод перед выпадением атмосферных осадков, но и состояние увлажненности деятельного слоя. В целом же за период

наблюдений прослеживается синхронность циклов водности между годовым стоком и максимальными дождевыми паводками.

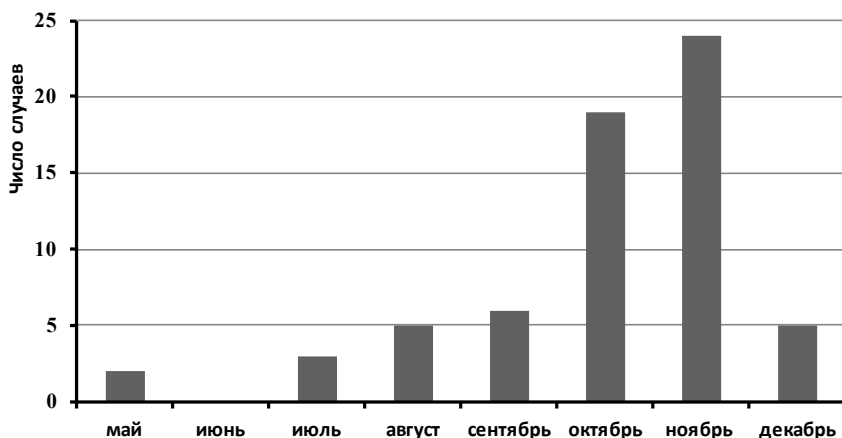


Рисунок 13.9. Распределение по месяцам числа случаев формирования наибольшего в году максимального дождевого расхода воды за период наблюдений 1950–2013 гг. (ручей Южный)

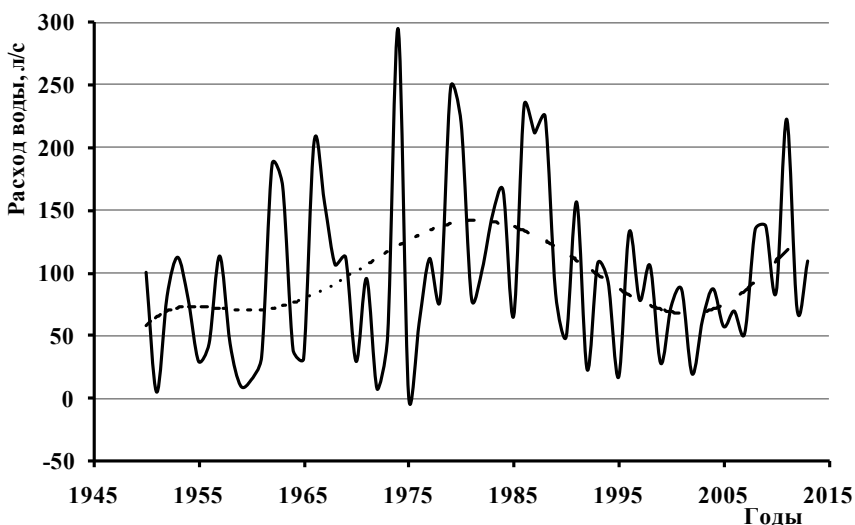


Рисунок 13.10. Изменение наибольшего годового максимального дождевого расхода воды за период 1950–2013 гг. (ручей Южный)

В таблице 13.4 приведены значения характеристик максимального стока наивысших годовых дождевых паводков заданной вероятности превышения для исследуемых водотоков и параметры кривых обеспеченности. Средние значения характеристик стока за период наблюдений во всех приведенных случаях выше расчетных величин 50%-ой обеспеченности. Обращают на

себя внимание и относительно близкие по своим значениям коэффициенты вариации расходов воды и слоев стока по сравнению с весенним половодьем (таблица 13.3). Однородность подстилающей поверхности и специфика разгрузки деятельного слоя обуславливают однотипные по форме пики паводков. Отсутствие большой неравномерности по времени добегания, когда практически сразу весь объем выпадающих осадков принимает участие в формировании пика паводка и тем самым уменьшает его продолжительность, устанавливает более тесную связь между максимальным расходом и слоем стока.

Таблица 13.4. Значения максимальных расходов воды и слоев стока наивысших годовых дождевых паводков на водотоках болотного массива Ламмин-Суо заданной вероятности превышения

| Водосбор | Период наблюдений | Среднее за период | Cv | Cs Cv | Вероятность превышения, % | | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------|------|----------|---------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | | | 1 | 3 | 5 | 10 | 25 | 50 |
| слой стока, мм | | | | | | | | | | |
| руч. Южный | 1950–2013 | 55,0 | 0,61 | 1,0 | 145 | 125 | 115 | 99,3 | 75,7 | 52,0 |
| руч. Северный | 1953–2013 | 47,3 | 0,69 | 0,5 | 129 | 112 | 103 | 89,8 | 68,2 | 45,8 |
| руч. Западный* | 1955–2013 | 46,2 | 0,68 | 1,5 | 139 | 116 | 105 | 88,1 | 63,6 | 41,7 |
| расход воды, л/с | | | | | | | | | | |
| руч. Южный | 1950–2013 | 98,0 | 0,69 | 1,5 | 297 | 248 | 224 | 188 | 136 | 88,4 |
| руч. Северный | 1953–2013 | 26,9 | 0,80 | 2,0 | 96,4 | 77,2 | 68,3 | 55,3 | 37,2 | 22,0 |
| руч. Западный* | 1955–2013 | 24,6 | 0,70 | 3,0 | 84,8 | 67,0 | 58,6 | 47,2 | 31,9 | 19,6 |

(*) суммарные значения по двум гидрометрическим створам.

Анализ материалов многолетних наблюдений (таблица 4 раздела 6 Приложения «Многолетние характеристики») показывает, что величины расходов воды и слоев стока дождевых паводков рассматриваемых водотоков практически во всех случаях меньше величин соответствующих характеристик стока весеннего половодья. На ручье Южный установлено два исключения из этой закономерности: в 1963 году слой стока половодья был ниже на 7,6 мм (7 %), чем слой паводка, а в 1986 году максимальный расход половодья был ниже на 19 л/с (9 %), чем максимальный расход паводка.

На ручье Северный наблюдалось 10 случаев превышения дождевых максимумов над максимумами весенних половодий и два случая превышения слоя стока, причем в 1963 году превышение произошло по обеим характеристикам. На ручье Западный это же самое явление наблюдалось соответственно в 8 и 2 случаях.

Средняя величина максимальных модулей дождевого стока составляет: на ручье Южный — 83 л/с км², на ручье Северный — 73 л/с км², на ручье Западный — 77 л/с км².

13.5. Минимальный сток

Основными факторами, определяющими минимальный сток с болотного массива и его изменчивость, являются климатические характеристики и текущее состояние увлажненности деятельного слоя торфяной залежи. Режим руслового стока дренирующих болотный массив Ламмин-Суо ручьев, как и других водотоков рассматриваемого региона, характеризуется двумя периодами низкого стока: летне-осенней и зимней меженью.

Обычно начало наступления летне-осенней межени на водотоках болота Ламмин-Суо приходится на третью декаду мая. Наиболее ранняя дата наступления межени зафиксирована в конце апреля, а наиболее поздняя — в конце первой декады июня. По мере снижения уровня болотных вод, особенно в засушливые периоды, сток с болотного массива, ввиду резкого уменьшения значений коэффициентов фильтрации деятельного слоя с глубиной, быстро понижается. При уровнях воды ниже 40–50 см от поверхности болота сток приближается к нулевым значениям. Дальнейшее снижение уровня болотных вод приводит к полному прекращению руслового стока. Обычно при относительно высоких уровнях болотных вод выпадающие атмосферные осадки заметно нарушают их плавный спад, обусловленный стоком и испарением. Однако следует заметить, что в экстремально засушливые годы даже суточный слой осадков до 40 мм может и не вызвать начала поверхностного стока на дренирующих болото водотоках, т. е. прекращения бессточного периода.

Начало зимней межени обычно приходится на середину ноября. Наиболее ранней датой начала межени является 11 октября, наиболее поздней — 31 декабря. В последнее десятилетие средняя дата наступления зимней межени сдвинулась на начало декабря и зимние оттепели все чаще нарушают плавный спад гидрографа стока.

Данные о минимальном стоке всех рассматриваемых водотоков приведены в таблице 5 раздела 6 Приложения «Многолетние характеристики».

Ниже приведены характерные календарные даты для минимального стока за исследуемый период по ручью Южный. Минимальные суточные расходы воды обычно по времени совпадают с минимальным 30-суточным расходом воды как зимой, так и в период летне-осенней межени. Минимальный среднесуточный сток на заболоченных водотоках может наблюдаться практически на любом этапе меженного периода. Так, средней датой наступления минимального зимнего суточного расхода воды является 18 марта, наиболее ранней — 1 ноября, а наиболее поздней — 8 апреля. Средней датой летне-осеннего минимального среднесуточного стока является 23 июля, наиболее ранней — 8 июня и наиболее поздней — 30 сентября. В 1991 году дата минимального

суточного расхода воды летне-осенней межени не попала, как обычно, в период минимального 30-суточного стока из-за прохождения часто сменяющихся дождевых паводков в течение всего периода низкого стока. В связи с этим минимальный 30-суточный сток наблюдался с 10 мая по 8 июня, а минимальный среднесуточный расход воды зафиксирован 10 июля.

На рисунках 13.11 и 13.12 представлен хронологический ход изменения 30-суточных минимальных расходов воды и соответствующих модулей стока за зимний период на вытекающих из болотного массива ручьях. В конце прошлого — начале нынешнего столетия (1980–2010 гг.) наблюдался относительно многоводный период минимального зимнего руслового стока с болотного массива при осредненных модулях стока 2–3 л/с км². При расчетах минимального стока для аналогичных болотных водотоков Северо-Запада ЕТР следует ориентироваться на характеристики стока ручья Южный, который может служить аналогом. Сток ручья Западный несколько завышен по отношению к ручью Южный. Это объясняется тем, что в период минимального стока в ручей Западный продолжают поступать воды из озер Купальное и Бездонное, а также из образовавшегося вследствие этого обширного лагга перед истоком ручья. Сток ручья Северный несколько занижен по отношению к ручью Южный вследствие искусственного повышения порога слива руслового стока с болотного массива из-за прокладки в 1060-х годах коридора коммуникаций вдоль северо-восточной окрайки массива.

На всех ручьях, дренирующих болотный массив, наблюдались случаи полного прекращения зимнего стока за 30-суточный интервал времени. В период с 1950 по 1973 годы на ручье Южный зафиксировано 8 случаев прекращения стока 30-суточного зимнего стока и два случая — среднесуточного стока, а после 1973 года всего лишь один — в 1996 году и два случая — среднесуточного стока. На ручье Северный наблюдалась наибольшая вероятность прекращения зимнего стока (30 случаев), а на ручье Западный — наименьшая (4 случая — 1954, 1960, 1996 и 2003 годы).

На рисунках 13.13 и 13.14 представлен хронологический ход изменения 30-суточных минимальных расходов воды и соответствующих модулей стока за летне-осенний период. Как показывает сравнительный анализ, летне-осенний минимальный сток значительно ниже, чем соответствующий сток зимней межени и характеризуется большей вариацией — чередование относительно высоких максимумов с более продолжительными бессточными периодами. При данном режиме стока представляется затруднительным выделение циклов водности для летне-осеннего периода. Циклы водности можно выделить лишь на ручье Западный, который отличается более равномерным минимальным стоком. При этом продолжительность (33–35 лет)

летне-осеннего цикла водности минимального стока с болота в два раза короче, чем зимнего (65–67 лет). Для оценки летне-осеннего минимального стока с сильно заболоченных водотоков так же следует ориентироваться на параметры стока ручья Южный. В настоящее время среднемноголетний минимальный летне-осенний 30-суточный сток с болота составляет около $0,8 \text{ л/с км}^2$ с некоторой тенденцией к понижению.

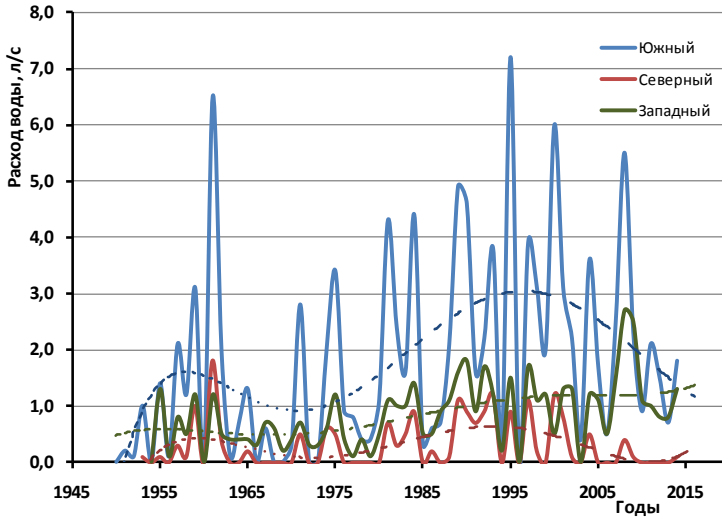


Рисунок 13.11. Хронологический график зимних минимальных 30-суточных расходов воды за период 1950–2014 гг.

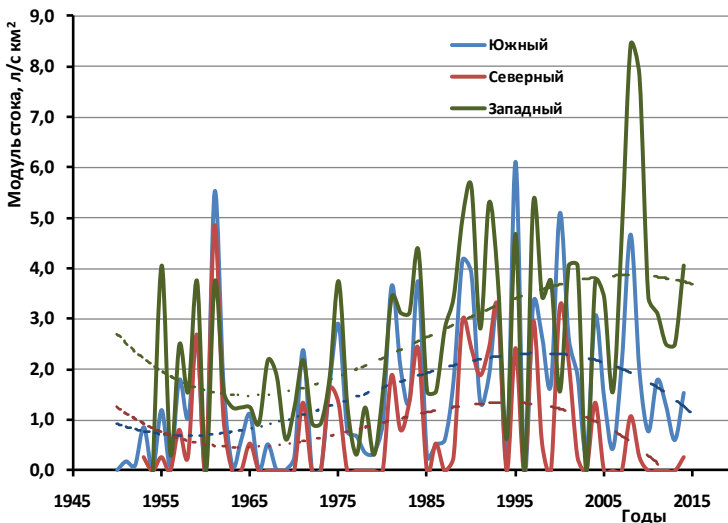


Рисунок 13.12. Хронологический график зимних минимальных 30-суточных модулей стока за период 1950–2014 гг.

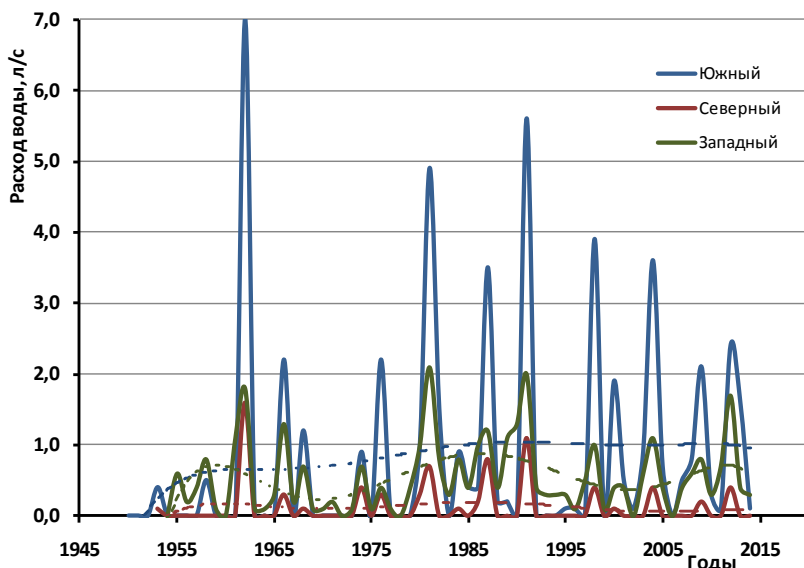


Рисунок 13.13. Хронологический график летне-осенних минимальных 30-суточных расходов воды за период 1950–2014 гг.

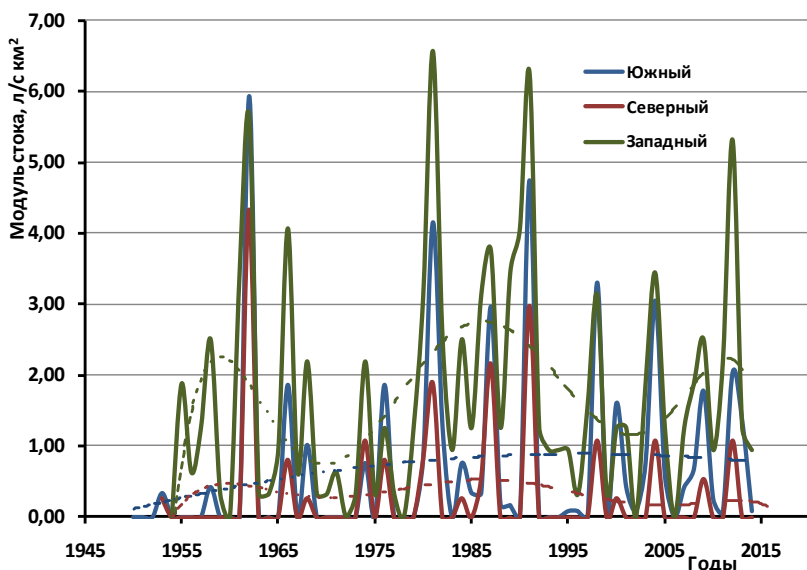


Рисунок 13.14. Хронологический график летне-осенних минимальных 30-суточных модулей стока за период 1950–2014 гг.

На всех ручьях, дренирующих болотный массив, наблюдались случаи прекращения летне-осеннего стока за 30-суточный интервал времени. В период до 1973 года на ручье Южный зафиксировано 12 случаев прекращения стока, а после 1973 года всего 3 случая. Наиболее часто прекращение стока

наблюдалось на ручье Северный. Ручей Западный характеризуется наиболее устойчивым меженным стоком. На этом ручье прекращение летне-осеннего стока за весь период наблюдений отмечено в 6 случаях. Следует иметь в виду, что определение границ водосборов на болотных массивах ориентировано, прежде всего, для периодов формирования максимального стока. В периоды же минимального стока при экстремально низких уровнях болотных вод границы водосборов могут заметно видоизменяться. Так, в засушливые периоды интенсивность разгрузки озера Купальное выше, чем озера Питьево, и часть воды из него начинает поступать в озеро Купальное. Тем самым действующая площадь водосбора в период минимального стока ручья Западный увеличивается, а ручья Северный — уменьшается. В наибольшей степени это обстоятельство проявляется в период минимального стока высокой обеспеченности летне-осенней межени.

Таблица 13.5. Значения минимальных 30-суточных расходов воды (л/с) требуемой вероятности превышения (P, %) и средних за период наблюдений модулей стока (л/с км²) для водотоков болотного массива Ламмин-Суо

| Водосбор | Период наблюдений | Среднее за период | | C _v | C _s C _v | Q _{30сут} (P, %) | | | | |
|----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------|-------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|
| | | M _{30сут} | Q _{30сут} | | | 50 | 75 | 80 | 90 | 95 |
| зимняя межень | | | | | | | | | | |
| руч. Южный | 1950–2014 | 1,53 | 1,80 | 0,97 | 2,0 | 1,35 | 0,51 | 0,38 | 0,13 | 0,00 |
| руч. Северный | 1953–2014 | 0,80 | 0,30 | 1,41 | 2,0 | 0,14 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| руч. Западный* | 1955–2014 | 2,64 | 0,85 | 0,69 | 1,5 | 0,76 | 0,43 | 0,35 | 0,17 | 0,06 |
| летне-осенняя межень | | | | | | | | | | |
| руч. Южный | 1950–2014 | 0,69 | 0,81 | 1,80 | 2,0 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| руч. Северный | 1953–2014 | 0,33 | 0,12 | 2,35 | 2,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| руч. Западный* | 1955–2014 | 1,71 | 0,55 | 0,93 | 2,0 | 0,41 | 0,18 | 0,13 | 0,06 | 0,00 |

(*) суммарные значения по двум гидрометрическим створам.

В таблице 13.5 приведены принятые параметры кривых обеспеченности минимального 30-суточного стока для летне-осеннего и зимнего меженных периодов. Следует обратить внимание на сравнение значений 50%-ой вероятности превышения и средних за исследуемый период. При наличии нулевых значений эмпирическая кривая стремится к выполаживанию, в то время как теоретическая кривая тяготеет к нулю. Вследствие этого в области больших обеспеченностей получаются несколько заниженные расчетные значения.

Продолжительность как зимнего, так и летне-осеннего бессточного периодов на исследуемых водотоках изменяется в широких пределах (от 3–10 дней до трех месяцев).

ГЛАВА 14

Гидрохимические особенности верховых болот

14.1. Литературный обзор гидрохимических исследований болот

Начальные представления о гидрохимии болот были заложены советскими учеными С. Н. Тюремновым [210], П. П. Воронковым [33–36], И. Ф. Ларгиным [103–105] и И. И. Лиштваном [108]. Первые сведения о химическом составе вод торфяных болот в зависимости от условий их залегания приводятся в ранних работах А. В. Пичугина [155], П. П. Воронкова [33] и И. Ф. Ларгина [103], в которых выявлены четкие различия гидрохимии болот верхового и низинного типов. Согласно работе [103], воды верховых сфагновых болот атмосферного питания имеют низкую минерализацию ($\Sigma = 5-40$ мг/л), кислую реакцию ($\text{pH} = 3,3-5,2$), характеризуются отсутствием гидрокарбонатных ионов и относительно высоким содержанием ионов аммония. Воды низинных болот, основными источниками питания которых, помимо атмосферных осадков, являются воды поверхностного стока, подземные (безнапорные и напорные), имеют слабокислую, нейтральную или слабощелочную реакцию ($\text{pH} = 6,2-7,8$), более высокую минерализацию (от 100 до 350 мг/л), характеризуются относительно высоким (до 250 мг/л) содержанием гидрокарбонатных ионов и общего железа (до 40 мг/л). При этом И. Ф. Ларгин

отмечает, что химический состав болотных вод изменяется в зависимости от типа болотной растительности: наиболее минерализованы воды ольховых (350 мг/л) и тростниковых (450 мг/л) торфяников; воды торфяников контактных зон между верховыми и низинными болотами содержат от 70 до 180 мг/л минеральных веществ. По данным А. В. Пичугина [155], наибольшее содержание Ca^{2+} (до 70 мг/л) и HCO_3^- (до 240 мг/л) наблюдается в воде болот притеррасного залегания и болот на первых надпойменных террасах.

Большой вклад в изучение гидрохимии верховых болот внес П. П. Воронков [33, 34], в работах которого на основе сезонных наблюдений за химическим составом вод характерных болотных микроландшафтов и болотных ручьев верхового болотного массива Ламмин-Суо отмечается, что воды сфагновых болот Карельского перешейка содержат малое количество неорганических соединений, составляющих сумму главных ионов, которая колеблется на уровне 10 мг/л, тогда как концентрация соединений железа и кремния, мигрирующих чаще всего в виде коллоидов, может значительно превышать сумму ионов.

Опираясь на собственные данные сезонной динамики химического состава болотных вод и атмосферных осадков, П. П. Воронков также делает очень важный вывод о том, что «основным резервуаром химических соединений болотных вод являются как неорганические соединения атмосферных вод, так и соединения, образующиеся при разложении растительных остатков торфа». Увеличение концентрации ионов кальция и сульфатных ионов в меженные периоды автор объясняет отсутствием их разбавления менее минерализованными атмосферными водами. Особенно интересными для нас являются приведенные в работе [36] данные о соотношении главных элементов минеральной части неразложившегося сфагнового торфа верхних слоев залежи и болотной воды верхних горизонтов, представленные следующими рядами:

S: Si: Fe: Ca = 1,0: 2,4: 1,1: 1,1 (сфагновый торф);

S: Si: Fe: Ca = 1,0: 2,8: 1,3: 0,8 (болотная вода).

Близость элементарного состава торфов и болотных вод выявляет генетическую связь ионного состава болотных вод с химическим составом верхней толщи торфа, что в свою очередь указывает на возможность влияния вида болотной растительности на химический состав поверхностных болотных вод вследствие различий в элементарной части разнотипных торфов (сосновый верховой, пушицево-сфагновый и др.).

В работе [36] опубликованы и первые количественные данные о содержании в болотных водах органического вещества, варьирующего на уровне 10–70 мг/л. По мнению автора, основную массу растворенного в болотной

воде органического вещества составляет группа гумусовых веществ, относящихся к фульвокислотам, которые и обуславливают высокую концентрацию водородных ионов ($\text{pH} = 4,0-4,3$) болотных вод. При этом, основываясь на косвенных методах определения группового содержания органического вещества по величине бихроматной окисляемости, автор сделал вывод о том, что в болотных водах содержание группы фульвокислот составляет 50–70 %. Интересно отметить, что впоследствии прецизионные исследования группового состава органических веществ, выполненные Ф. Я. Сапрыкиным, полностью подтвердили первоначальные выводы П. П. Воронкова. Так, по данным работы [200], количество водно-растворимого органического вещества торфяных вод для верховых болот составляет 20–50 мг/л, для низинных — 12–23 мг/л; в групповом составе органического вещества преобладают фульвокислоты: их процентное содержание в групповом составе органического вещества в водах верховых болот варьирует в интервале от 46 % до 56 %, в водах низинных болот — от 31 % до 51 %.

Большое значение изучению химического состава поверхностных вод, в том числе и болотных, придавала Гидрометслужба. В «Наставления гидрометеорологическим станциям» (выпуски 6–8) были включены работы по изучению химического состава и режима соответственно речных, озерных и болотных вод. Работы по отбору и химическому анализу болотных вод были включены в первое «Наставление», выпуск 8, вышедшее в свет в 1946 году [99], и все последующие [127, 128]. На болоте Ламмин-Суо эти работы проводились в 1965 и 1970 годах на водотоках, вытекающих из болота, а в 1967–68 годах на болотных микроландшафтах. Государственный гидрологический институт осуществлял научно-методическое руководство всеми наблюдениями и работами, проводимыми на болотных станциях. Несколько позднее гидрохимические работы на болотах ГГИ проводил в период работы Западно-Сибирской экспедиции. В 1970-х годах материалы по гидрохимии болота Ламмин-Суо и ряда других болотных массивов, изучаемых Гидрометслужбой, были обобщены И. Л. Калюжным и Л. Я. Левандовской [75, 80, 82].

Проведенные авторами ежемесячные определения химического состава проб болотных вод и атмосферных осадков болотного массива Ламмин-Суо подтвердили мнение о том, что минерализация болотных вод и атмосферных осадков Ламмин-Суо изменяются в близких пределах: в атмосферных осадках от 5 до 15 мг/л; в болотных водах от 6 до 18 мг/л [80]. Авторами на основе проведенного статистического анализа общей минерализации и содержания главных ионов сделан вывод о пространственной неоднородности распределения гидрохимических показателей по площади различных верховых болотных массивов. По мере продвижения от центра к периферии

массива регистрируется увеличение коэффициентов вариации общей минерализации и ее составляющих. Сопоставление коэффициентов вариации общей минерализации в болотных водах и атмосферных осадках показало, что «колебание общей минерализации болотных значительно выше, чем в атмосферных осадках», что авторы правомерно объясняют тем, что содержание минерализации определяется не только атмосферными осадками, но и гидрометеорологическими (уровень болотных вод, нормы осадков и испарения) и биологическими (поглощение элементов болотной растительностью, степень разложения торфа) процессами. Выполненное в этой же статье сопоставление химического состава вод различных болотных микроландшафтов и вод внутриболотных водотоков выявило повышенный уровень содержания минеральных компонентов в водах сфагново-осокового микроландшафта (21 мг/л) и болотных ручьях (15–28 мг/л), осуществляющих сток с болотного массива. Большое значение имеют и впервые представленные в литературе [80] данные о содержании биогенных элементов в водах болотного массива Ламмин-Суо. Средние содержания за 1968 год нитритного азота и минерального фосфора колебались на уровне следовых содержаний (0,001 мг/л); общего железа — 0,40 мг/л, аммонийного азота — 1 мг/л. В результате проведенных гидрохимических исследований на различных олиготрофных болотных массивах авторами сделан важный вывод о том, что в водах однотипных микроландшафтов олиготрофных болот, территориально удаленных друг от друга, изменение содержания главных ионов находится в близких пределах, воды имеют выраженный сульфатно-кальциевый состав, а средние величины общей минерализации вод исследованных болот варьируют в интервале от 7 до 30 мг/л.

В этот же период И. Ф. Ларгин и его последователи [105, 108] изучали распределение макро- и микрокомпонентов по площади и глубине разнотипных торфяных залежей в зависимости от геологических и геоморфологических условий залегания торфяных месторождений.

В более поздних работах [123] также было установлено повышенное содержание химических элементов в окраинной зоне верховых болот и объяснялось автором привнесением их поверхностно-сточными водами с окружающих суходолов, зависящим от характера пород и почв окружения. На основе комплексных гидрометеорологических, гидрофизических и гидрохимических наблюдений на верховых болотных массивах автором выявлена неоднородность распределения минерализации воды по площади массива: уменьшение минерализации от центра к периферии и повышение на крайковых участках болота, что в дальнейшем подтвердилось исследованиями на других болотных массивах [165]. В конце 1980-х годов под редакцией А. М. Черняева вышла в свет монография по гидрохимии болот Урала

[215], в которой представлена подробная региональная гидрохимическая характеристика болот различных генетических типов.

В дальнейшем в работах Т. М. Потаповой и С. М. Новикова были установлены фоновые характеристики химического состава болотных вод, которые рассчитывались по данным многолетних гидрохимических наблюдений болотных станций, расположенных на территории Северо-Запада России [157, 159, 160, 161, 164, 165]. Установленные авторами фоновые гидрохимические характеристики исследованных болот могут быть использованы в дальнейшем для прогностических оценок состояния среды как на региональном, так и глобальном уровнях. В работе Т. М. Потаповой [158] показано, что формирование химического состава болотных вод определяется конкурентным взаимодействием целого ряда противоположно направленных процессов, к которым относятся выщелачивание химических веществ из торфов, разбавление атмосферными осадками, а также поглощение биогенных элементов болотными фитоценозами в вегетационный период.

14.2. Гидрохимическая характеристика болотного массива Ламмин-Суо

Гидрохимическая характеристика болотных микроландшафтов получена на основе интерпретации данных полевых наблюдений и проведения лабораторных анализов проб в химической лаборатории факультета географии и геоэкологии СПбГУ и результатов гидрохимических исследований, проведенных ГГИ в 1960–1970-х годах. Отбор проб воды на химический анализ проводился в летне-осенний период в 2004–2014 годах из болотных скважин основных болотных микроландшафтов и из внутриболотных водоемов и дренирующих болото ручьев. Измерения содержания растворенного кислорода и углекислого газа проводили непосредственно на месте отбора проб с помощью термооксиметра и методом объемной титриметрии. Определения pH, цветности, аммонийного и нитритного азота и минерального фосфора — полевой лабораторией Зеленогорской болотной станции; общая минерализация, главные ионы, тяжелые металлы, перманганатная окисляемость определялись в городской лаборатории СПбГУ. Все анализы проводились по методикам, изложенным в [199]. Полученные данные представлены в таблице 14.1 и в таблице П.14.1 Приложения к главе.

На основе анализа данных таблицы 14.1 и таблицы П.14.1 Приложения к главе болотные воды Ламмин-Суо в летне-осенний период характеризуются кислой реакцией среды с $\text{pH} = 4,2-5,7$ и высоким содержанием органических

веществ: их цветность достигает значений 300–600 градусов Pt-Co шкалы и перманганатная окисляемость — от 90 до 170 мгО/л. К наименее кислым (слабокислым $pH > 5$) относятся воды сфагново-осокового, облесенного березой и сосной микроландшафта (скважины 210, 313). Воды других микроландшафтов относятся к категории кислых вод ($pH < 5$). Дифференциация содержания органического вещества определяется наименьшими значениями в сфагново-осоковом, облесенном березой и сосной (скважины 210, 313), наибольшими — в сфагново-кустарничково-пушицево-сосновом (скважина 316) и сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной (скважина 104) микроландшафтах. Болотные воды относятся к ультрапресным с очень малой общей минерализацией (9–24 мг/л), приближающейся к минерализации атмосферных осадков, что подтверждает атмосферный характер водного питания верховых болот. Дифференциация величины общей минерализации относительно слабо выражена. Можно лишь отметить некоторое (до 20–30 %) увеличение общей минерализации в центральной (скважина 104) и окраинной (скважина 101) частях массива, что, возможно, объясняется меньшей проточностью в первом случае и влиянием суходола во втором.

По ионному составу болотные воды относятся к сульфатно-кальциевым либо к хлоридно-кальциевым (натриевым). Однако такая классификация носит условный характер в связи с невозможностью учета из-за отсутствия данных содержаний силикатных ионов и ионов органических кислот, которые могут вносить существенный вклад в общую минерализацию болотных вод на фоне малых концентраций главных ионов.

Для газового состава исследованных вод характерны выраженный дефицит кислорода: среднее содержание в большинстве микроландшафтов колеблется на уровне 10–30 % насыщения. Наиболее высокая аэрация (до 80 % насыщения) характерна для грядово-мочажинного комплекса, что, очевидно, обусловлено более высокой проточностью мочажин и близким расположением к дневной поверхности болотных вод. Наименьшая аэрация (10–15 % насыщения) установлена на малопроточных крайковых участках (скважины 313, 316) массива. Для болотных микроландшафтов исследуемого массива характерен высокий уровень содержания растворенного углекислого газа, который составляет 60–170 мг/л, что объясняется интенсивным газовыделением в процессе разложения растительных остатков в ходе торфообразовательного процесса.

Для биогенного состава болотных вод характерен высокий уровень содержания восстановленных форм биогенных элементов (таблицы П.14.2 и П.14.3 Приложения к главе): аммонийного азота от > 2 мг/л до 10 ПДК [153, 167] на фоне следовых содержаний окисленных форм элементов (нитритный азот, фосфор фосфатов).

Таблица 14.1. Общие гидрохимические показатели болотных микроландшафтов по данным летне-осенних съемок 2005–2013 годов

| Пункт отбора проб | Микроландшафт | pH | M, мг/л | CO ₂ , м/л | O ₂ | | Цветность, градусы Pt-Co шкалы | ПО, мгО/л |
|-------------------|---|-----------|---------|-----------------------|----------------|----------|--------------------------------|-----------|
| | | | | | мг/л | % насыщ. | | |
| Скважина 101 | сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый | 5,00–5,65 | 16 | | 4,3 | 42 | — | — |
| Скважина 102а | сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 5,00–5,55 | 9 | 110 | 1,4–1,9 | 15-19 | 500 | 107 |
| Скважина 104 | сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной, центр массива | 4,60–5,47 | 17 | 66,5 | 1,6–3,1 | 15-32 | 500 | 138 |
| Скважина 106 | сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 4,70–4,82 | 24 | 39,6 | 4,1 | 40 | 500 | 128 |
| Скважина 107б | грядово-мочажинный комплекс (гряда) | 4,40–5,23 | 12 | 176 | 5,9–6,5 | 61-80 | 490 | 112 |
| Скважина 210 | сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 4,20–4,67 | 21 | 66,5 | 4,7–5,3 | 48-56 | 330 | 102 |
| Скважина 313 | сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 4,79–5,05 | 16 | – | 2,2–5,3 | 21-56 | 310 | 93 |
| Скважина 316 | сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 4,53–5,00 | 15 | 52,8 | 1–2 | 10-18 | 660 | 163 |

Примечание: M — общая минерализация в мг/л; ПО — перманганатная окисляемость в мгО/л

Наиболее часто всплески концентраций фосфатов регистрируются в микроландшафтах с примесью евтрофной растительности (скважины 313, 210).

Статистическая оценка гидрохимических показателей проведена на основе расчета коэффициентов вариации средних значений и установления диапазона фоновых значений концентраций основных показателей химического состава болотных вод. Анализ данных таблицы 14.2 показывает, что наименьшая изменчивость характерна для таких гидрохимических показателей, как pH и растворенный кислород ($C_v = 0,16–0,25$), наиболее высокая

вариабельность установлена для биогенных элементов (аммонийный и нитритный азоты, фосфор фосфатный — $C_v > 1$).

Гидрохимическая характеристика вод внутриболотных водоемов и дренирующих массив водотоков представлена на основе интерпретации данных, приведенных в таблицах 14.3–14.5 и таблицах П.14.3, П.14.4 Приложения к главе.

Таблица 14.3. Общие гидрохимические показатели внутриболотных водоемов и дренирующих массив водотоков по данным летне-осенних съемок 2005–2014 годов

| Водный объект | pH | Общая минерализация, мг/л | CO ₂ , мг/л | O ₂ , % насыщ. | Цветность, градусы | ПО, мгО/л |
|----------------------------|-------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------|-----------|
| озера Купальное и Питьевое | 4,6/3,5–6 | 17/9–24 | 20/13-28 | 90/89–95 | 60/40–75 | 28 |
| руч. Северный | 3,8/3,3–4,3 | –/26–27 | 58,5/55–61 | 72/66,5–77 | 100 | – |
| руч. Южный | 3,9/3,1–4,6 | 25/15–47 | 34/30-36 | 80/60–92 | 120/96–750 | 66 |
| руч. Западный 1 | 4,3/3,2–5,5 | 11,4/8–16 | 30/6-43 | 58/52–64 | 250/25–375 | 62 |

Примечание: Числитель дроби — среднее значение показателя, знаменатель — минимальное и максимальное значения измеренных концентраций

Таблица 14.4. Общая минерализация и ионный состав вод внутриболотных водоемов и дренирующих массив водотоков по данным летне-осенних съемок 2010–2014 годов

| Пункт отбора пробы | Общая минерализация, мг/л | Кальций + магний, ионы, мг/л | Хлорид – ион, мг/л | Сульфат-ион, мг/л | Гидрохимическая формула |
|--------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|
| озеро Питьевое | 9–24 | 1–3 | 3,6–5 | <2 | Cl-Ca |
| озеро Купальное | 12–20 | 1–4 | 2–5,5 | <2 | Cl-Na |
| руч. Южный | 8–25 | 1,0–8,2 | 4,7–10,5 | <2 | Cl-Ca |
| руч. Западный | 8–12 | 1,0–3,2 | 3,6–4,5 | 4 | SO ₄ -Na |
| руч. Северный | 15–26 | 5–10 | 3,9 | <2 | Cl-Ca |

Таблица 14.5. Содержание биогенных элементов в водах внутриболотных водоемов и дренирующих массив водотоков по данным летне-осенних съемок 2005–2014 годов

| Водный объект | Азот* аммонийный, мг/л | Азот** нитритный, мг/л | Фосфор** минеральный, мг/л |
|----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| озера Питьевое и Купальное | 1,25/0,13–3,75 | <0,005–0,01 | <0,01–0,025 |
| руч. Северный | 0,50/0,05–3,75 | <0,005–0,025 | <0,01–0,01 |
| руч. Южный | 0,60/0,05–6,25 | <0,005–0,025 | <0,01–0,025 |
| руч. Западный 1 | 0,25/0,02–1,25 | <0,005–0,025 | <0,01–0,01 |

Примечание: (*) числитель дроби — среднее значение показателя, знаменатель — минимальное и максимальное значение концентрации. (**) — минимальное и максимальное содержание за период наблюдений

Как следует из приведенных выше данных, болотные ручьи характеризуются гидрохимическими показателями, близкими к болотным водам. Так, в ручьях и внутриболотных озерах диапазон общей минерализации (8–26 мг/л) и рН (3,1–6,0 ед. рН) совпадает с болотными водами. Отличительными особенностями вод внутриболотных водотоков в сравнении с водами болотных микроландшафтов являются меньшее содержание органического вещества, углекислого газа и более высокое содержание растворенного кислорода (до 70–80 % насыщения), что связано с усилением аэрации вод с открытой водной поверхности ручьев. Содержание углекислого газа (20–58 мг/л) остается высоким, но несколько ниже, чем в болотных водах. Для вод болотных озерков содержание растворенного кислорода также увеличивается — до 7,5 мг/л (90 % насыщения), а углекислого газа, соответственно, снижается — до 20 мг/л. Изменение газового режима приводит к изменениям биогенного состава вод болотных ручьев: содержание аммонийного азота снижается, а для окисленных форм элементов эпизодически регистрируются повышенные концентрации нитритного азота — до 0,02 мг/л и фосфора фосфатов — до 0,25 мг/л (ручей Южный).

Микроэлементный состав болотных вод, вод внутриболотных водоемов и дренирующих массив водотоков определяли атомно-абсорбционным методом с предварительным обогащением проб [199]. Полученные данные представлены в таблице 14.6 и таблице 14.4 Приложения к главе.

Таблица 14.6. Диапазон содержаний микроэлементов в водах различных болотных микроландшафтов и вытекающем из болота ручье за 2013–2014 годы

| Микроэлемент | скв.102а | скв.104 | скв.107б | скв.210 | скв.316 | руч. Южный |
|--------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Fe, мг/л | 2,2–2,4* | 1,1–2,3 | 0,14–1,5 | 2,4–2,6 | 0,03–0,26 | 0,25–0,88 |
| Ni, мкг/л | 4,3–9,1 | 1,4–3,3 | 5,4–9,9 | 4,2–34 | 2,0–8,9 | 1,0–6,6 |
| Cr, мкг/л | 1,8–13,8 | 11,5–11,9 | 3,7–12,5 | 2,0–19,5 | 4,2–21,1 | н/о**–1,3 |
| Mn, мкг/л | 22,6–36,3 | 15,0–37,6 | 2,3–37,5 | 20–20,4 | 1,0–10,5 | 12,9–15,6 |
| Zn, мкг/л | 12,5–46,7 | 23,8–81,2 | 128–163 | 18,5–24,9 | 0,1–2,6 | 1,7–10,3 |
| Cu, мкг/л | 6,9–15,5 | 1,9–10,1 | 3,2–5,0 | 2,5–5,2 | 2,0–5,1 | 1,0–4,3 |
| Pb, мкг/л | 1,0–8,8 | н/о – 8,9 | н/о –10,2 | н/о –4,5 | 3,9–6,9 | 7,4–8,2 |
| Cd, мкг/л | 0,18–1,1 | н/о – 0,13 | н/о –0,23 | н/о –0,03 | н/о –0,28 | н/о –0,02 |
| Co, мкг/л | 0,10–0,75 | 0,10–1,2 | н/о –1,3 | н/о –1,2 | н/о –0,90 | н/о –3,1 |

Примечание: (*) — минимальное и максимальное содержание за период наблюдений; (**) — н/о — не обнаружено

Как видно из таблицы 14.6, воды болотных микроландшафтов наиболее обогащены железом (до 20 ПДК), марганцем и цинком (до 2–4 ПДК), а также медью (до 3 ПДК). Сопоставительный анализ содержаний микроэлементов в различных болотных микроландшафтах позволяет выявить следующие

различия в пространственном распределении микроэлементов по болотному массиву: наибольшие концентрации марганца, цинка и меди характерны для центральной его части — в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенным сосной микроландшафте (скважина 104) и в грядово-мочажинном комплексе (скважина 107б, гряда). Железа, никеля и хрома — в сфагново-осоковом, облесенным березой и сосной микроландшафте (скважина 210), расположенном в западной окраинной части массива, наименьшие концентрации железа, марганца и цинка зарегистрированы в сфагново-пушицево-кустарничково-сосновом микроландшафте (скважина 316), находящемся на окрайке в восточной части массива. В болотном ручье Южный, в сравнении с болотными микроландшафтами, наблюдается снижение в 1,5–2 раза содержание железа, хрома, марганца, цинка, кадмия, что, очевидно, обусловлено интенсификацией окислительно-восстановительных процессов из-за усиления аэрации в условиях открытой водной поверхности ручьев.

Статистическая оценка данных микроэлементного состава исследованных вод выполнена на основе расчета средних значений концентраций и коэффициентов вариации средних по всем исследованным болотным микроландшафтам (таблица 14.7) и болотным ручьям (таблица 14.4 Приложения к главе).

Таблица 14.7. Среднестатистические содержания микроэлементов в водах различных типов болотных микроландшафтов за 2013–2014 годы

| Микроэлемент | Среднее | Мин.–макс. | N | C _v |
|--------------|---------|------------|----|----------------|
| Fe, мг/л | 1,5 | 0,02–4,24 | 16 | 0,07 |
| Ni, мкг/л | 6,6 | 0,1–34 | 16 | 0,51 |
| Cr, мкг/л | 9,7 | 1,82–21 | 12 | 0,54 |
| Mn, мкг/л | 15,7 | 1,02–37,6 | 15 | 0,81 |
| Co, мкг/л | 1,2 | 0,64–2,2 | 8 | 0,06 |
| Pb, мкг/л | 6,5 | 2,75–10,1 | 9 | 0,28 |
| Cd, мкг/л | 0,32 | 0,02–1,1 | 11 | 0,03 |
| Cu, мкг/л | 5,9 | 0,55–15,5 | 16 | 0,29 |
| Zn, мкг/л | 22,1 | 2,63–163 | 13 | 3,80 |

Примечание: Средние, минимальные и максимальные содержания определены по результатам обобщения гидрохимических данных по скважинам 101, 102а, 104, 106, 107б, 210, 313; N — число членов в выборке, C_v — коэффициент вариации среднего

Анализ данных, приведенных в таблице 14.7 и таблице П.14.4 Приложения к главе, позволяет выявить следующие закономерности в распределении содержаний микроэлементов в исследуемых болотных водах. Последовательность изменения содержаний микроэлементов в водах болотных микроландшафтов и болотных ручьев можно представить в виде рядов:

Fe>Zn>Mn>Cr>Ni = Pb = Cu>Co>Cd — болотные микроландшафты.
Fe>Mn>Zn = Cr = Pb>Cu = Ni>Co>Cd — болотные ручьи.

Содержание общего железа варьирует на уровне значений единиц миллиграммов в литре, марганца и хрома — до десятков микрограмм, цинка, меди, свинца — единиц микрограмм, кадмия и кобальта — сотых и десятых микрограмм в литре. При этом наибольшая вариабельность содержаний микроэлементов в водах болотных микроландшафтов по величине коэффициента вариации установлена для цинка $C_v = 3,8$, наименьшая — для железа $C_v = 0,07$ (таблица 14.9). Повышенное содержание железа, марганца и хрома, по мнению известных болотоведов [111, 113], обусловлено биохимическими процессами аккумуляции этих элементов сфагновыми мхами и их последующим выщелачиванием кислыми болотными водами. Повышенное содержание цинка, свинца и никеля в болотных водах, по сравнению с речными водами, в основном связано с поступлением этих элементов с пылью, поступающей из атмосферы [123, 206].

Необходимо отметить, что представленные данные о микроэлементном составе болотных вод исследуемого массива согласуются с имеющимися в литературе единичными определениями содержаний отдельных тяжелых металлов в водах верховых болот таежной зоны [2, 72]. Тем не менее, данные о содержаниях широкого спектра тяжелых металлов, определенные в разные гидрологические фазы водности в различных микроландшафтах болотного массива Ламмин-Суо, приводятся в литературе впервые и представляют значительный интерес в связи с тем, что могут быть использованы как фоновые характеристики микроэлементного состава болот различных регионов Северо-Запада России.

Внутригодовая изменчивость химического состава болотных вод. Вопросы сезонной изменчивости химического состава болотных вод относятся к наименее изученным. При этом мнения различных авторов о закономерностях внутригодовых изменений гидрохимических показателей болот являются весьма противоречивыми. Так, по данным И. Л. Калюжного [80], изучавшего сезонные изменения ионного состава вод различных болотных микроландшафтов болотного массива Ламмин-Суо в течение 1968 года, сделан вывод об увеличении общей минерализации на фоне возрастания главных ионов в конце зимней межени перед паводком и значительном ее уменьшении в период весеннего половодья. По мнению автора, увеличение концентрации ионов в зимнюю межень происходит за счет вытеснения ионов из замерзающего раствора, а снижение концентраций ионов в весенний период обусловлено разбавлением болотных вод маломинерализованными талыми снеговыми водами. По данным И. В. Мокроусовой, изучавшей

сезонные изменения химического состава вод верховых болот Калининской области, максимальные значения общей минерализации наблюдались в осенний период, что автор связывает с растворением минеральных частиц, принесенных атмосферными осадками в условиях отсутствия потребления растительностью [123].

Проведенное авторами настоящей монографии обобщение данных болотных станций Гидрометслужбы за многолетний период для Иласского и Ширинского болотных массивов показало, что внутригодовая динамика основных минеральных и биогенных компонентов болотных вод носит переменный характер и зависит от конкретных гидрометеорологических условий года. При этом сезонная изменчивость гидрохимических показателей может меняться как во времени, так и в пространстве. Статистический анализ среднемноголетних сезонных характеристик выявил статистически значимое увеличение общей минерализации в осенне-предзимний период для Ширинского болотного массива, сезонные колебания величины общей минерализации для Иласского массива не выходят за пределы метрологической дисперсии. Для сезонных изменений водородного показателя рН для Ширинского и Иласского болотных массивов характерно некоторое (до 10–15 %) повышение в период весеннего половодья и снижение в летнюю межень. Очевидно, снижение кислотности (повышение рН) в половодье обусловлено процессами разбавления кислых органических болотных вод талыми снеговыми водами, и, наоборот, увеличение кислотности (снижение рН) в период летней межени можно объяснить повышенным испарением с поверхности болота и обогащением вод гуминовыми кислотами в этот период. Для сезонной динамики содержания органического вещества характерно статистически значимое уменьшение в весеннее половодье и увеличение в летне-осенний период, что также связано с процессами разбавления и концентрирования гуминовых кислот болотных вод. Для биогенных элементов установлен выраженный максимум аммонийного и нитритного азотов в зимний период на фоне некоторого всплеска концентраций минерального фосфора в начале весеннего паводка [157].

В связи с отсутствием данных сезонных наблюдений химического состава вод болотного массива Ламмин-Суо за многолетний период здесь приводятся данные о внутригодовой изменчивости главных ионов и микроэлементов за 2013–2014 годы (таблицы П.14.5 и П.14.6 Приложения к главе).

Сезонная изменчивость общей минерализации неодинакова для разных болотных микроландшафтов. Так, для сфагново-кустарничково-пушицевого, облесенного сосной микроландшафта в центральной части массива и в грядах грядово-мочажинном комплексе установлено увеличение (на 20 %)

общей минерализации в осенний (предзимний) период. Для сфагново-осокового, облесенного березой и сосной микроландшафта на окрайке болота зарегистрировано увеличение (на 40 %) общей минерализации в период летней межени и некоторое снижение (на 20 %) в осенний период. В водах исследованных болотных микроландшафтов для летнего и весеннего периодов в ионном составе устойчиво преобладают ионы хлора и кальция; в осенний и зимний периоды — по преимуществу ионы кальция и сульфатов. Наблюдающаяся тенденция увеличения общей минерализации воды в конце зимней межени и предзимний период, выявленная на верховых болотах Ленинградской области (Ширинское, Ламмин-Суо), подтверждает предположение о том, что это связано с изменением агрегатного состояния воды. В соответствии с теорией физико-химических равновесий эти переходы сопровождаются наибольшими изменениями концентраций химических веществ за счет усиливающихся процессов выщелачивания ионов из торфяной залежи [158].

Анализ данных о содержании микроэлементов в основных болотных микроландшафтах и ручье Южный позволяет выявить ряд интересных особенностей сезонной изменчивости микроэлементного состава исследованных болотных вод. Так, максимальное содержание общего железа и марганца наблюдается в летний период, что, очевидно, связано с усилением интенсивности биохимических процессов в вегетационный период; максимальное содержание свинца, никеля и меди наблюдается в период зимней межени, а цинка — на спаде весеннего половодья, для кобальта и кадмия четко выраженной сезонной изменчивости не прослеживается.

Обобщая вышеизложенное, можно сделать заключение о сложном характере формирования химического состава болотных вод, который определяется целым рядом конкурентных процессов: фазовыми превращениями воды при смене сезонов, биологическими и биохимическими процессами, а также процессами разбавления болотных вод дождевыми и талыми водами.

Гидрохимическая характеристика атмосферных осадков, выпадающих на болото. Изучение связи химического состава болотных вод и атмосферных осадков чрезвычайно важно для понимания гидрохимических процессов, лежащих в основе формирования вод олиготрофных болот. Эти вопросы наиболее подробно рассматривались в работах [80, 123]. Ультрамалые фоновые содержания (на уровне единиц миллиграммов) главных ионов в болотных водах исследуемых массивов варьируют в пределах, близких к фоновым концентрациям этих компонентов в снеговых и дождевых осадках, что подтверждает атмосферный характер их питания (таблица 14.8) [80, 157].

По данным работы [80], среднегодовая общая минерализация болотных вод (9,9 мг/л) и атмосферных осадков (9,6 мг/л) практически совпадают,

при этом содержание сульфатов в атмосферных осадках значительно выше, а хлоридов, наоборот, ниже, чем в болотных водах. Содержание ионов кальция и магния в атмосферных осадках и болотных водах варьируют в близких пределах (таблица 14.8).

Несмотря на близость ионного состава болотных вод и атмосферных осадков их химический состав имеет целый ряд принципиальных различий, что подробно рассмотрено в работах [157, 165]. Сопоставление общих гидрохимических показателей, включая рН, содержание биогенных элементов и органических веществ, приведенных в таблице 14.7, позволяет на примере Ширинского верхового болотного массива Ленинградской области выявить следующие различия химического состава исследованных вод (таблица П.14.7 Приложения к главе). Болотные воды, содержащие органические кислоты природного происхождения, в отличие от атмосферных осадков имеют более высокую цветность и окисляемость (ХПК), а также значительно более кислую реакцию среды рН (от 4,0 до 5,3 ед. рН), что определяет отсутствие в них гидрокарбонатных ионов. В атмосферных осадках рН значительно выше, приближаясь для максимальных значений к границе нейтральных вод, что, соответственно, определяет наличие в них гидрокарбонатных ионов на уровне единиц миллиграммов в литре. По преобладающим ионам в гидрохимической формуле исследованных вод также имеются существенные различия: болотные воды относятся к сульфатно-кальциевым, воды атмосферных осадков — к сульфатно- (гидрокарбонатно-) натриевым. При этом общая минерализация болотных вод значительно (в 2 раза) превышает минерализацию вод атмосферных осадков. По данным И. Л. Калюжного, общая минерализация болотных вод и атмосферных осадков варьируют в близких пределах: 9,4–9,6 мг/л. Среди отличительных признаков биогенного состава болотных вод можно отметить значительно (в 10 раз) более высокие содержания общего железа и аммонийного азота в болотных водах по сравнению с атмосферными осадками. Содержания окисленных форм азота (нитритов) и фосфора (фосфатов), наоборот, на порядок выше в дождевых и снеговых осадках, что обусловлено окислительными условиями, создающимися в хорошо аэрированных атмосферных выпадениях. Интересно отметить, что сопоставление содержания биогенных элементов в атмосферных осадках и болотных водах различных микроландшафтов ряда исследованных верховых болот показывает, что диапазоны содержания окисленных форм азота (нитритный азот) и фосфора (фосфор фосфатный), регистрируемые в болотных водах грядово-мочажинных (топи выклинивания) и грядово-озерковых комплексах, наиболее близки к диапазонам изменения концентраций этих элементов в атмосферных осадках [157]. По нашему мнению, это обусловлено

более активным течением биохимических процессов вследствие лучшей аэрации и создания окислительных условий на участках верховых болот с открытой водной поверхностью, что указывает на повышенную индикационную способность вод грядово-мочажинных комплексов и внутриболотных озёр в отношении загрязнения поверхности суши со стороны атмосферы, которая может быть использована при региональной оценке степени аэротехногенных изменений среды [157].

В течение 2013–2014 годов нами проводились экспериментальные исследования по изучению химического состава атмосферных осадков, выпадающих на территории болотного массива Ламмин-Суо. В еженедельных пробах, отобранных из осадкомера в центральной части массива, определены с помощью портативных рН-метра и кондуктометра значения рН и общей минерализации (в единицах ppm, соответствующих мг/л снеговых и дождевых осадков). На основе обобщения данных рН и общей минерализации атмосферных осадков и вод характерных болотных микроландшафтов за 2013 год проведен сопоставительный анализ гидрохимических показателей (таблица 14.9).

Таблица 14.9. Сопоставительная оценка гидрохимических показателей в болотных водах и атмосферных осадках болотного массива Ламмин-Суо за 2013 год

| Компонент | Атмосферные осадки | | Болотные воды | |
|---------------------------|--------------------|------------------------|------------------|------------------------|
| | среднее значение | число членов в выборке | среднее значение | число членов в выборке |
| рН | 6,9 | 31 | 4,55 | 12 |
| Общая минерализация, мг/л | 7,5 | 31 | 15,6 | 12 |

Анализ полученных данных позволил выявить ряд особенностей химического состава атмосферных осадков в районе исследуемого массива по сравнению с предшествующими периодами [80]. Обращает на себя внимание большой разброс величины рН (от 4,6 до 9,3 ед. рН) в атмосферных осадках, выпавших на болото в течение 2013 года. При этом, если в зимний период воды атмосферных осадков по преимуществу относятся к слабокислым (рН = 5,6), то в летний период рН резко возрастает до значений слабощелочных и щелочных вод (7,5–8,7); среднегодовое значение рН соответствует нейтральным водам. Нейтральная реакция атмосферных осадков является их принципиальным отличием от болотных вод с резко выраженной кислотной реакцией (рН = 4,55). Другой важной особенностью болотных вод является двукратное увеличение общей минерализации (в ppm) по сравнению с соответствующей величиной в атмосферных осадках, что согласуется с данными, полученными для Ширинского болотного массива (таблица П.14.7 Приложения к главе).

Таким образом, приведенные данные позволяют сделать вывод, что в основе процесса формирования химического состава болотных вод лежит трансформация химических веществ атмосферных осадков под влиянием кислотной реакции и восстановительных условий торфяно-болотной среды.

14.3. Сток растворенных веществ с болотного массива

Влияние болот на качество вод водоприемников, в наибольшей степени проявляющееся в паводковые периоды, обуславливает необходимость количественной оценки стока химических веществ с болотными водами. Количественная оценка этого стока является одной из основных характеристик, используемых при разработке водоохраных мероприятий. Наибольшее внимание в литературе уделяется расчетам стока химических веществ с осушенных и используемых под сельскохозяйственные угодья болот [21, 165]. При этом вопросы выноса химических веществ с естественных болот остаются слабо изученными [78, 160]. Предшествующими исследованиями показано, что для решения этой задачи наиболее перспективным является водобалансовый подход, который позволяет оценить не только общий вынос того или иного вещества с болотного массива, но и его русловую составляющую, т. е. вынос в речную сеть. В литературе первые работы по оценке стока химических веществ с олиготрофных болот таким методом представлены в работах И. Л. Калужного [78, 79]. В статье [78] впервые были приведены данные о стоке органического вещества и его балансовых составляющих для болотного массива Ламмин-Суо за 1968 год. На основе данных ежемесячных гидрохимических наблюдений на болотных ручьях (Южный, Северный и Западный) и болотных микроландшафтах автором было установлено, что вынос органического вещества за 1968 год составил 21,7 кг/км², русловым стоком было вынесено 14,1 кг/км², а инфильтрацией в грунтовые воды — 7,6 кг/км². Большой интерес представляют приведенные в статье данные о сезонной изменчивости стока органического вещества. В годовом ходе выноса растворенного органического вещества с олиготрофного болотного массива наблюдается два максимума, весенний и осенний, и два минимума — зимний и летний. Осенний максимум выноса органики может превышать весенний, а зимний минимум равен нулю, что является следствием периодического прекращения стока воды. В весенний период (март–май) вынос органического вещества, осуществляемый водами половодья, составляет 31,2 % от годовой величины. В летний период при относительно небольшом стоке с болот вынос органического вещества составляет около 10 % от годовой величины. Наибольший вынос органического вещества

наблюдается в осенний период (56,4 % годового). Этому способствуют большое накопление разложившегося органического вещества за весенне-летний период, высокие уровни болотных вод и интенсивный сток с болотного массива [78]. Исследования по оценке выноса химических веществ с верховых болотных массивов на основе обобщения данных многолетних наблюдений за гидрологическим и гидрохимическим режимом на сети болотных станций Росгидромета были продолжены в работах Т. М. Потаповой [159, 165]. В работе [165] представлены характеристики среднееголетних значений стока различных химических веществ с Иласского болотного массива (болотная станция Брусовица). Согласно проведенным исследованиям, максимальные и минимальные годовые величины ионного стока (Ри) и стока органических веществ (Рс) пришлось соответственно на многоводный (1983) и маловодный (1982) годы.

Результаты наших исследований показывают, что минимальная минерализация и содержание органических веществ в водах рек, принимающих сток с болот, наблюдается в период весеннего половодья, максимальные концентрации минеральных соединений — в период летней межени, а органических веществ — во время осеннего предзимья, в начале ледостава. Сезонное распределение ионного стока и стока органических веществ определяется внутригодовым распределением стока воды: наибольшая его часть (до 70 %) приходится на периоды весеннего половодья и осенних паводков.

Оценка годового стока растворенных веществ по болотным ручьям, дренирующим массив. В 2013 году в течение всего года отбирались пробы воды на химический анализ из водотоков, вытекающих с болота Ламмин-Суо. По результатам их анализа рассчитан сток различных химических веществ с исследуемого массива за этот год. Расчет проводился по формуле:

$$Y = Q \cdot C \cdot n \cdot 10^{-9}, \quad (14.1)$$

где Y — сток химического вещества, тонн/год; Q — средний годовой расход воды, л/сек; C — среднегодовое содержание вещества, мг/л; n — число секунд в году; 10^{-9} — коэффициент пересчета из мг в тонны.

При расчете ионного стока величина C соответствует среднегодовой общей минерализации воды в ручье, а стока органического вещества — среднегодовой концентрации органического углерода, рассчитанного по перманганатной окисляемости воды в мгО/л [114], стока аммонийного азота и микроэлементов — среднегодовой концентрации этих компонентов в мкг/л. Результаты этих расчетов представлены в таблицах 14.10–14.11 и таблице П.14.8 Приложения к главе.

Таблица 14.10. Русловой ионный сток с болотного массива Ламмин-Суо (2013 год)

| Ручей | Средний годовой расход воды, л/сек | Площадь водосбора, км ² | Общая минерализация, мг/л | Ионный сток, тонн/год | Модуль ионного стока, т/год км ² |
|------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------|---|
| Южный | 17,2 | 1,18 | 19 | 10,7 | 9,0 |
| Северный | 3,8 | 0,37 | 22 | 2,6 | 7,0 |
| Западный 1 | 3,9 | 0,32 | 19 | 2,5 | 7,8 |

Таблица 14.11. Русловой сток органического вещества с болота Ламмин-Суо (2013 год)

| Ручей | Средний годовой расход воды, л/сек | Площадь водосбора, км ² | Концентрация орг. вещества, мг/л | Сток орг. вещества, т/год | Модуль стока орг. вещества, т/год км ² |
|------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---|
| Южный | 17,2 | 1,18 | 55 | 29,6 | 25,1 |
| Северный | 3,8 | 0,37 | 59 | 7,0 | 21,6 |
| Западный 1 | 3,9 | 0,32 | 42 | 4,1 | 13,0 |

Анализ данных таблиц 14.10 и 14.11, а также таблицы П.14.8 Приложения к главе позволяет оценить величины годового руслового стока различных химических веществ с исследуемого болотного массива, которые составляют следующие ряды: сток органического вещества > ионный сток > сток аммония > сток общего железа > сток марганца > сток цинка > сток свинца > сток меди > сток кобальта.

Следует отметить, что полученное значение модуля руслового стока органического вещества с болота Ламмин-Суо за 2013 год (ручей Южный) оказалось близким к значению, приведенному в работе [78].

Приближенная оценка среднемноголетнего стока растворенных веществ с болотного массива. Оценка болотного стока растворенных веществ с болота Ламмин-Суо проведена на основе водно-балансового метода по данным многолетних гидрометеорологических и гидрохимических наблюдений. За основу приняты расчеты водного баланса за период с 1950 по 2013 год (глава 16). Концентрационная составляющая стока растворенных веществ во всех исследованных ручьях и болотных микроландшафтах, привлеченных материалах по гидрохимии болотных вод других массивов Северо-Запада определялась на основе среднемноголетних содержаний общей минерализации, органических веществ по перманганатной окисляемости и аммонийного азота. Среднемноголетние (фоновые) содержания химических веществ приведены в таблице П.14.9 Приложения к главе. Фоновые содержания рассчитаны с учетом преобладающей доли сфагново-пушицево-кустарничкового,

редко облесенного сосной с сухостоем микроландшафта по площади массива и с учетом процента вклада различных ручьев в величину суммарного стока с болота. Данные о фоновом содержании органических, минеральных и биогенных веществ по итогам летних гидрохимических съежек за период 2004–2013 годов были использованы для расчета стока химических веществ за весь исследуемый период гидрометрических наблюдений с 1950 по 2013 год. Следует отметить, что полученные фоновые концентрации химических веществ использованы в расчетах на допущении о сравнительно малой внутригодовой и многолетней изменчивости их значений в водах олиготрофных болот [123, 157, 160].

Расчет стока химических веществ с исследуемого болота определялся по формулам [165]:

$$G = L \cdot C_{\text{бол.}} \cdot K, \quad (14.2)$$

где G — модуль климатического (полного) стока химического вещества с болота, т/год км²; L — климатический сток с болота (мм/год), который равен разности между атмосферными осадками и испарением; $C_{\text{бол.}}$ — средняя концентрация компонента в болотных водах, мг/л; $K = 10^{-3}$ — коэффициент пересчета размерностей дм³ в км³ и мг в тонны.

$$P = R \cdot C_{\text{реч.}} \cdot K, \quad (14.3)$$

где P — модуль руслового стока химического вещества, т/год км²; R — русловой сток, мм/год; $C_{\text{реч.}}$ — средняя концентрация химического вещества в болотных водотоках, осуществляющих вынос вещества с болотного массива, мг/дм³.

Полученные значения модулей климатического и руслового стока приведены в таблице 14.12.

Таблица 14.12. Климатический и русловой сток минеральных и органических веществ с болотного массива Ламмин-Суо за многолетний период наблюдений (1950–2013 гг.)

| Сток | Слой стока, мм | Модуль стока органического вещества, т/год км ² | Модуль ионного стока, т/год км ² | Модуль стока аммонийного азота, т/год км ² |
|---------------|----------------|--|---|---|
| Климатический | 436 | 45,8 | 7,0 | 1,09 |
| Русловой | 362 | 23,9 | 6,5 | 0,18 |

Как видно из таблицы, сток с болотного массива органического вещества в 6 раз превышает ионный сток, при этом доля руслового стока от

климатического для органического вещества составляет 52 %, а для минеральных веществ — 93%. Невязка баланса стока химических веществ, рассчитанная как разность между модулем полного стока вещества и модулем руслового стока, формально соответствует вертикальному водообмену (инфильтрационному стоку) [159], который сопровождается процессами аккумуляции веществ торфяной залежью. Косвенным подтверждением этих представлений являются данные о составляющих баланса растворенных веществ, полученные для болотного массива Ламмин-Суо, приведенные в таблице 14.12. Как видно из таблицы, около половины органического вещества выносятся в речную сеть, а вторая половина относится к инфильтрационному стоку, т. е. аккумулируется торфяной залежью. Аналогично распределение составляющих баланса и для аммонийного азота: русловым стоком выносятся не более 20 % от полного стока — 80% аккумулируется торфяной залежью, что и подтверждается высокими содержаниями аммонийного азота в болотных водах. Обратная картина наблюдается для составляющих баланса стока минеральных веществ. Согласно полученным данным, соли с рассматриваемого болота по большей части (до 80 %) выносятся русловым стоком. Следует отметить, что наши выводы согласуются с данными предшествующих исследований [78].

В заключение отметим, что установленные характеристики стока растворенных веществ носят ориентировочный характер и нуждаются в подтверждении на основе мониторинговых гидрохимических исследований, включающих отбор проб в различные фазы водности, что позволит оценить сезонный характер распределения болотного стока химических веществ. Это даст возможность прогнозировать негативное изменение качества вод внешних водоприемников болотных систем.

14.4. Геохимические особенности верхних горизонтов торфяной залежи

Оценка фоновых содержаний микроэлементов торфяной залежи. В условиях атмосферного питания и весьма малого притока с прилегающих территорий верховые болота в настоящее время относятся к наиболее чистым природным водным объектам, антропогенное загрязнение которых практически полностью определяется загрязнением атмосферы. В связи с этим приоритетным направлением в области экологии болот в настоящее время становятся исследования геохимического состава торфа в ретроспективном плане. Основа этого направления была заложена в работах [4, 96, 218]. В последние годы вопросы геохимии торфов освещались в работах [55, 72, 162].

Большой вклад в область изучения индикационной способности верховых болот в отношении атмосферных загрязнений внесли работы белорусских исследователей [21, 56, 101]. Многолетние гидрогеохимические исследования верховых болот, выполненными белорусскими учеными, показали, что торфяные отложения верховых болот в силу специфики своего формирования (атмосферное питание, высокая сорбционная активность торфов) потенциально пригодны для индикации аэротехногенных изменений среды. Статистическая обработка данных микроэлементного состава торфяных отложений 45 верховых болот Белоруссии позволила выявить достоверные различия между концентрациями микроэлементов в поверхностных и глубинных горизонтах торфяной залежи и установить наличие прогрессирующего роста загрязнения атмосферы.

Как показали наши исследования, проводившиеся на ряде верховых болот Ленинградской и Архангельской областей (Ширинский мох, Ламмин-Суо, Иласское), некоторые компоненты минерального состава болотных вод (сульфаты, общая минерализация) могут служить достаточно надежными индикаторами хронического загрязнения воздуха в виду того, что основным источником поступления минеральных веществ на верховые болота являются атмосферные осадки и пыль [157, 164].

В НИИ Географии СПбГУ была разработана и апробирована на верховых болотах Северо-Запада методика оценки аэротехногенных изменений среды на основе изучения вертикально-зонального распределения подвижных форм ряда загрязняющих веществ (соединения серы, тяжелые металлы) по глубине торфяной залежи при параллельном послойном определении возраста торфяных отложений [4]. Разработанная методика предусматривает отбор и анализ проб торфа на содержание подвижных форм микроэлементов в современном — верхнем (до глубины 20–30 см через 5–10 см) и фоновом — нижнем (на глубине 40–50 см) слоях торфяной залежи. Важно отметить, что проведенные авторами детальные изотопно-геохронологические исследования на основе применения «бомбового эффекта» позволяют считать, что независимо от территориального положения болота горизонт торфяной залежи на глубине свыше 40 см можно отнести к периоду до 1950 года, когда промышленное воздействие на природную среду еще не приобрело столь масштабный характер, как в последующие годы, что позволяет его принять за условно фоновый временной период. Интенсивность накопления загрязняющих веществ болотными отложениями оценивалась по величине коэффициентов накопления (K_c) поллютантов, которые определялись как отношение концентраций поллютантов в верхнем седиментационном слое к их фоновому содержанию по формуле:

$$K_c = C_v - C_{\phi} / C_{\phi}, \quad (14.4)$$

где C_v — концентрация компонента в верхнем седиментационном слое календарного возраста 1970–2005 гг.; C_{ϕ} — фоновая концентрация компонента, соответствующая нижним слоям залежи до 1950 года.

Комплексные мониторинговые исследования по геохимической стратификации болотных отложений проводились в течение ряда лет (1991–2005) и охватывали широкий круг болот, расположенных на территории Северо-Западного региона. Апробация методики экспресс-оценки загрязнения торфяно-болотных отложений выполнена для трех верховых болот Ленинградской области (Ламмин-Суо, Ширинский мох и Соколий мох), принятых за эталонные. Данные геохимической стратификации болотных разрезов приведены в работах [4, 164]. Результаты мониторинга по оценке фоновых содержаний ряда химических элементов и интенсивности накопления поллютантов торфяными отложениями ряда верховых болот Северо-Запада ЕТР приведены в таблицах П.14.10 и П.14.11 Приложения к главе. Анализ данных таблиц показал, что в абсолютных значениях наибольшие концентрации таких поллютантов, как цинк, свинец и сера, накапливаются в верхнем слое залежи Ширинского болотного массива, находящегося в зоне загрязняющего влияния Киришского нефтеперерабатывающего комбината из-за преобладания ветров с его стороны. Сопоставительный анализ геохимического состава торфов ряда исследованных верховых болотных массивов Северо-Западного региона выявил достаточно четко выраженную пространственную дифференциацию степени (коэффициентов) накопления поллютантов торфяными отложениями болот, находящихся в фоновых и нарушенных условиях (таблица 14.13).

Таблица 14.13. Коэффициенты накопления поллютантов в торфяной залежи верховых болот на территории Северо-Запада

| Болото | Год отбора проб | Коэффициент накопления (K_c) | | | | | |
|----------------------|-----------------|----------------------------------|--------|------|----------|--------|----------------|
| | | цинк | свинец | медь | марганец | железо | сера сульфатов |
| Ламмин-Суо | 1993 | 9,5 | >10 | <1 | 9 | 1 | 6,5 |
| Никольско-Лютинское | 1994 | 1,6 | <1 | <1 | 10 | 1 | - |
| Ширинское | 1995 | 4,5 | 4,0 | 5,0 | 9 | 1 | 12 |
| Суо (пос. Кузнечное) | 1996 | 6,0 | 4,5 | 7 | 9 | 1 | - |

Согласно данным таблицы 14.13, наиболее высокие коэффициенты накопления поллютантов (свинца и цинка) и, следовательно, наиболее высокий уровень загрязнения атмосферы характерен для района расположения болота Ламмин-Суо и окрестностей, находящегося в зоне влияния города Санкт-Петербурга; к наиболее чистым, фоновым участкам можно отнести район местонахождения Никольско-Лютинского болотного массива в Новгородской области.

Таблица 14.14. Фоновые и пороговые концентрации подвижных форм серы и микроэлементов в торфяных отложениях верховых болот Северо-Запада

| Глубина отбора, см | Вид | Микроэлементы, мг/кг сухого вещества | | | | | |
|--------------------|-----------|--------------------------------------|--------|---------|--------|---------|----------------|
| | | марганец | цинк | свинец | медь | кадмий | сера сульфатов |
| >45–50 | фоновые | 5–12 | 3–20 | 1,5–8,3 | 0,4–6 | <0,1 | 3–20 |
| 0–20 | пороговые | 30–110 | 30–120 | 4–12 | 1,0–12 | 0,3–0,5 | 25–80 |

Примечание: приведены обобщенные данные для верховых болотных массивов Ширинское, Ламмин-Суо, Никольско-Лютинское.

Установленные фоновые и пороговые концентрации в торфяных залежах верховых болот Северо-Запада (таблица 14.14) могут быть использованы для оценки загрязнения суши со стороны атмосферы в других регионах России, где имеются верховые болота. Сопоставление данных микроэлементного состава верхнего слоя торфяной залежи верхового болота с установленными фоновыми содержаниями позволяет оценить степень аэротехногенных изменений окружающей среды на территории других регионов.

Вертикально-зональное распределение микроэлементов и соединений серы по глубине торфяной залежи болотного массива Ламмин-Суо. Геохимическая стратификация болотного массива Ламмин-Суо проводилась летом 1993 года на основе изотопно-геохронологических и геохимических исследований торфяного разреза в центральной части массива в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте. Пробы торфа отбирались от поверхности до глубины 80 см послойно через 5 см. В каждом слое определяли абсолютный и календарный возраст отложений; в пробах торфа определяли их влажность и содержание подвижных форм серы ряда микроэлементов путем приготовления азотнокислых вытяжек с последующим атомно-абсорбционным определением элементов на приборе ААС-1. Полученные результаты представлены в таблице 14.15.

Таблица 14.15. Распределение подвижных форм тяжелых металлов по глубине торфяной залежи болотного массива Ламмин-Суо в зависимости от календарного возраста торфяных отложений

| Лабораторный номер | Глубина, см | Календарный возраст, годы | Вид торфа | Микроэлементы, мг/кг на абсолютно сухое вещество | | | | | | |
|--------------------|-------------|---------------------------|-----------|--|-----|------|------|-----|-----|-----|
| | | | | S-SO ₄ | Fe | Pb | Zn | Cu | Mn | |
| LU-3980 | 0–5 | 1978–1993 | очес | 65 | 95 | 5,0 | 48 | 6,0 | 40 | |
| | 5–10 | | | 69 | 100 | 5,0 | 57 | 2,0 | 30 | |
| LU-3981 | 10–15 | 1967–1978 | фускум | | 100 | 5,0 | 30 | 3,0 | 28 | |
| LU-3982 | 15–20 | 1956–1967 | | | 110 | 0,01 | 21 | 5,0 | 3,0 | |
| LU-3983 | 21–25 | 1945–1956 | | | | | 16 | 6,0 | 2,5 | |
| LU-3984 | 26–30 | 1750–1956 | | | 120 | 0,01 | 10 | 7,0 | 5,5 | |
| LU-3985 | 31–35 | 1750–1956 | | | 90 | 0,01 | 4,5 | 6,0 | 4,5 | |
| LU-3987 | 40–45 | 1750–1956 | фускум | | 100 | | 4,0 | 8,0 | 3,5 | |
| LU-3988 | 45–50 | 1750–1956 | | | 12 | 120 | 0,01 | 4,0 | 7,0 | 2,0 |
| LU-3064 | 70–80 | 1402–1469 | | | | 100 | 0,01 | 4,5 | 5,0 | 2,0 |

Анализ данных таблицы 14.15 показывает, что для большинства изученных химических элементов (за исключением железа и меди) характерны их повышенные содержания в верхних горизонтах на фоне отчетливо выраженного снижения концентраций по глубине. По уровню содержаний в верхнем 10–15-сантиметровом слое торфа элементы располагаются в убывающем ряду от железа к свинцу: $Fe > Mn > Zn > Cu > Pb$. Повышенные содержания марганца в верхнем 5-сантиметровом слое мохового очеса, очевидно, связаны с особенностями жизнедеятельности растущих сфагновых мхов, что отмечалось ранее в работах отечественных исследователей. В статье [113] отмечается, что накопление отдельных биогенных элементов в живой части мхов определяется процессами миграции биогенных элементов из нижних горизонтов к растущей головке сфагнома. Установленные различия в содержаниях химических элементов (цинк, свинец, сера сульфатов) в поверхностных слоях и глубине торфяной залежи (ниже 50 см) обусловлены процессами поглощения и связывания различных поллютантов, поступающих из атмосферы и накапливающихся в верхнем слое торфяной залежи. Максимальные содержания цинка и свинца установлены для горизонтов 0–5 и 5–10 см, т. е. исходя из радиоуглеродных датировок для периодов 1990–1993 и 1974–1990 годов соответственно. В свою очередь, содержания подвижных форм тяжелых металлов в нижних слоях торфяной залежи (на глубине свыше 50 см) могут быть приняты как фоновые значения, отражающие процессы естественной седиментации микроэлементов в олиготрофных болотных отложениях в период до техногенных воздействий и датируемых ранее 1956 года.

Рассчитанные на основе фоновых и пороговых концентраций коэффициенты накапливания различных поллютантов для болотного массива Ламмин-Суо можно расположить в следующий ряд (таблица 14.15): $K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Mn} > K_{S-SO_4} > K_{Cu}$.

Таким образом, данные проведенной геохимической стратификации исследуемого болотного массива выявили значительное накапливание в верхних слоях торфяной залежи соединений серы, свинца и цинка, что обусловлено поступлением этих элементов с атмосферными осадками.

Оценка адсорбционной способности торфяных отложений в отношении нефтепродуктов. Экспериментальные исследования адсорбционной способности верховых болот в отношении углеводов проводились на основе модельных опытов с торфяным монолитом ненарушенной структуры, отобранным в центральной части болота Ламмин-Суо. Опыты проводились на фильтрационном лотке, их результаты подробно изложены в работе [162].

В основу опыта было положено определение средних коэффициентов фильтрации торфяного монолита (K_f) как в естественных условиях (при

отсутствии нефтезагрязнения), так и при различных концентрациях углеводов, вводимых в воду верхнего бьефа фильтрационного лотка. Концентрация углеводов определялась экстракционно-спектральным методом на инфракрасном анализаторе АН-2, установленном в лаборатории Зеленогорской болотной станции. Результаты определения естественного фона углеводов приведены в таблице П.14.12 Приложения к главе.

В результате проведенных опытов было установлено, что, несмотря на присутствие в болотной воде высокомолекулярных органических веществ гумусового происхождения, естественный фон неполярных углеводов относительно невысок и составляет 0,01–0,03 мг/л, т. е. находится на пороге обнаружения применяемого метода.

Наиболее важной частью опытов по моделированию распространения нефтяных загрязнений по глубине торфяной залежи явилось изучение зависимости выноса нефтепродуктов от уровня воды в торфяном монолите при заданной исходной концентрации нефти в верхнем бьефе. Данные, характеризующие изменения концентраций нефти в пропущенной через монолит нефтезагрязненной воды, представлены в таблице П.14.13 Приложения к главе.

Из анализа данных этой таблицы следует, что наиболее высокое загрязнение с появлением нефтяной пленки регистрируется при уровнях воды выше -10 см, достигая своего максимума на уровне -4 см и коэффициенте фильтрации $K_{\phi} = 1,8$ см/сек, т. е. при полуповерхностном стоке воды.

На завершающей стадии эксперимента было исследовано пространственное распределение углеводов по горизонтали и вертикали торфяного монолита. Анализ проб различных слоев торфа на содержание битумоидов показал, что наиболее нефтезагрязненным оказался слой торфа, непосредственно примыкающий к верхнему бьефу лотка. Количество нефти в этом слое составляет 4,5–14,8 г/100г абсолютно сухого вещества (АСВ), а на расстоянии 20 см от границы верхнего бьефа приближается к фоновым значениям: 0,38–0,64 мг/100г АСВ. Можно предположить, что при длительной фильтрации нефтенасыщенных растворов через монолит граница слоя сильно загрязненного торфа будет постепенно перемещаться вниз по уклону.

На основе результатов проведенного модельного эксперимента по определению адсорбционной способности верховых торфов нами были сделаны следующие выводы:

а) степень деградаци и аккумуляции нефтезагрязнений зависит от генетического типа болот, а также от структуры и толщины деятельного горизонта;

б) фильтрация нефтенасыщенных растворов через деятельный слой торфяной залежи верховых болот при низких уровнях болотных вод (ниже -15 см) приводит к их очищению до концентраций, не превышающих 0,1-0,2 мг/л. При более высоких уровнях болотных вод (выше -10 см) аккумуляция нефти резко снижается, и она быстро распространяется в поверхностном слое торфяной залежи, создавая угрозу загрязнения вод внешних водоприемников болотной системы;

в) по приближенной оценке адсорбционная способность торфяной залежи в отношении нефтепродуктов при низких уровнях болотных вод (ниже -20 см) очень высока и составляет 90–95 %.

ГЛАВА 15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗОТОПНЫХ ТРАССЕРОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА БОЛОТНОГО МАССИВА

15.1. Метод применения изотопных трассеров

Тяжелые стабильные изотопы водорода (дейтерий — ^2H , в старой нотации D) и кислорода (кислород-18 — ^{18}O) входят в состав водных молекул H_2O . Поскольку эти изотопы стабильны, их общее количество на Земле остается примерно постоянным. Мировой океан — самый большой и хорошо перемешанный водный резервуар на поверхности Земли. Испарение с поверхности океана и перенос влаги внутрь континентов обеспечивает глобальный водообмен.

В процессе фазовых переходов воды в системах жидкость \rightarrow твердая фаза и жидкость \leftrightarrow пар происходит разделение (фракционирование) изотопов водорода и кислорода вследствие разницы в скоростях диффузии легких и тяжелых молекул воды, которое подчиняется простому правилу: тяжелые изотопы накапливаются в более конденсированной фазе. То есть при замерзании дейтерий и кислород-18 накапливаются во льду, при испарении

— в остаточной воде, а при конденсации — во вновь образующихся каплях воды. Степень разделения изотопных разновидностей молекул воды зависит от полноты протекания процессов фазового перехода и коэффициентов фракционирования. Последние, в свою очередь, являются функцией температуры по принципу: чем выше температура, тем меньше коэффициент фракционирования.

Поэтому разделение наиболее значительно на первых этапах фазового перехода, а также существенно сильнее проявляется при замерзании, чем при испарении / конденсации.

В среднем в природной воде на Земле на 10^6 молекул $^1\text{H}_2\text{}^{16}\text{O}$ приходится 310 молекул $^1\text{H}^2\text{H}\text{O}$, 420 молекул $^1\text{H}_2\text{}^{17}\text{O}$ и 2000 молекул $^1\text{H}_2\text{}^{18}\text{O}$. Вследствие малой распространенности концентрации дейтерия и кислорода-18 выражают в относительных единицах (промилле — частях на тысячу). Расчет содержаний дейтерия и кислорода-18 в образце выполняют по соотношениям:

$$\delta^2\text{H} = \left(\frac{\left(\frac{^2\text{H}}{^1\text{H}} \right)_{\text{ПРОБА}}}{\left(\frac{^2\text{H}}{^1\text{H}} \right)_{\text{СТАНДАРТ}}} - 1 \right) \times 1000 \text{‰} \quad (15.1)$$

$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{ПРОБА}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{СТАНДАРТ}}} - 1 \right) \times 1000 \text{‰} \quad (15.2)$$

В качестве стандарта (эталоны сравнения) выбрана вода Мирового океана, для которого экспериментально доказано высокое постоянство изотопного состава воды. Первоначально стандарт средней океанической воды V-SMOW (Vienna Standard of Mean Ocean Water) был создан в МАГАТЭ. В настоящее время изготовлен еще ряд стандартов с различными содержаниями дейтерия и кислорода-18, которые на коммерческой основе поставляет МАГАТЭ и Геологическая служба США.

Исходя из вышеприведенных формул, изотопный состав Мирового океана равен $\delta^2\text{H} = 0\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = 0\text{‰}$. Исключение составляют прибрежные зоны и внутренние моря, где велика составляющая речного стока. Величина « δ » указывает, на сколько промилле вода исследуемой пробы обеднена ($\delta \leq 0$) или обогащена ($\delta \geq 0$) тяжелыми изотопами водорода или кислорода относительно стандарта V-SMOW. Рост величины δ (появление менее отрицательных чисел) в рассматриваемой совокупности данных означает «утяжеление»

изотопного состава (накопление дейтерия и кислорода-18). Уменьшение величины δ (появление более отрицательных чисел) означает «облегчение» изотопного состава (потери дейтерия и кислорода-18).

Генетическую интерпретацию данных об изотопном составе воды и льдов (содержаниях дейтерия и кислорода-18) выполняют, как правило, с помощью классической диаграммы $\delta^2\text{H} \div \delta^{18}\text{O}$. Между содержанием дейтерия и кислорода-18 в атмосферных осадках земного шара существует тесная корреляционная связь, описываемая уравнением:

$$\delta^2\text{H} \approx 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10\text{‰}, \quad (15.3)$$

которое называют «глобальной линией метеорных вод» (ГЛМВ, рисунок 15.1).

Угловым коэффициентом уравнения 15.3 обусловлен равновесным изотопным фракционированием при испарении / конденсации, то есть таким разделением по массам, при котором между паром и водой успевает устанавливаться равновесие.

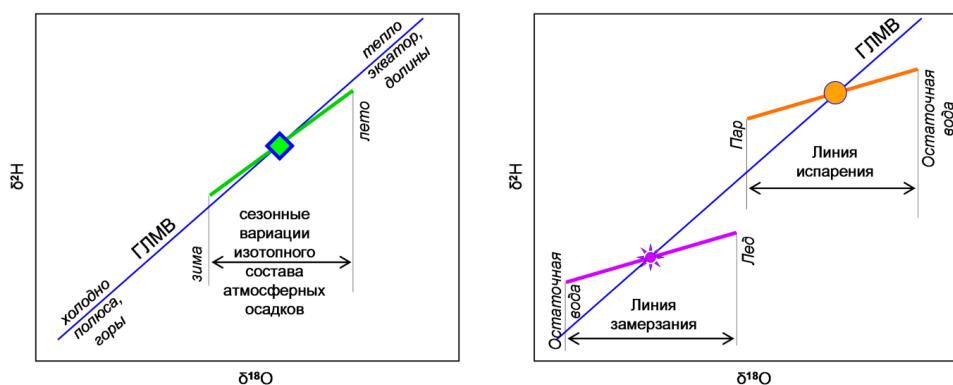


Рисунок 15.1. Изотопная диаграмма и основные тренды в систематике «дейтерий-кислород-18» (ГЛМВ - $\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$ [221])

Левый рисунок: ромб — среднегодовой состав осадков некоторой местности; зеленая линия — вариации изотопного состава осадков, обусловленные летне-зимним разбросом температур. Правый рисунок: окружность — начальный состав воды перед испарением; оранжевая линия — тренд, возникающий за счет изотопного фракционирования при испарении; звездочка — начальный состав воды перед замерзанием; фиолетовая линия — тренд, возникающий за счет изотопного фракционирования при замерзании.

Воды на континентах всегда обеднены дейтерием и кислородом-18 относительно Мирового океана ($\delta \leq 0$). Отметим, что в отдельных районах Земли, вследствие местных особенностей циркуляции воздушных масс, уравнение, описывающее изотопный состав атмосферных осадков, может несколько отличаться от ГЛМВ и образует так называемую «локальную линию метеорных вод» (ЛЛМВ). Поэтому при анализе материалов для конкретных районов правильнее ориентироваться именно на ЛЛМВ, которую определяют экспериментально по наблюдениям за атмосферными осадками.

Как уже отмечалось, главным процессом формирования изотопного состава атмосферных осадков являются фазовые переходы воды, а коэффициенты фракционирования являются функциями температуры. Соответственно, изотопный состав осадков обусловлен распределением температур в пространстве и времени. В связи с этим концентрации дейтерия и кислорода-18 в метеорных водах (осадках) уменьшаются с увеличением широты и абсолютных отметок местности, а также в холодные сезоны года и холодные климатические эпохи.

Температурные градиенты величин $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ составляют, в среднем: сезонные вариации (усреднение на среднемесячной основе):

-2,8 ‰ / 1 °C понижения температуры для $\delta^2\text{H}$,

-0,4 ‰ / 1 °C для $\delta^{18}\text{O}$;

широтные вариации (усреднение на среднегодовой основе):

-5,6 ‰ / 1 °C понижения температуры для $\delta^2\text{H}$,

-0,7 ‰ / 1 °C для $\delta^{18}\text{O}$;

эффект долгопериодных климатических изменений:

-5,0 ‰ / 1 °C понижения температуры для $\delta^2\text{H}$,

-0,6 ‰ / 1 °C для $\delta^{18}\text{O}$;

высотный эффект:

-3,0 ‰ / 100 м подъема для $\delta^2\text{H}$,

-0,3 ‰ / 100 м для $\delta^{18}\text{O}$.

Указанные закономерности приводят к тому, что легкие по изотопному составу атмосферные осадки выпадают в холодные сезоны года и климатические эпохи, а также в северных или высокогорных районах Земли.

После выпадения на земную поверхность вода может испытать фазовый переход, который, как правило, происходит в неравновесных условиях. В результате утяжеления остаточной воды и облегчения изотопного состава уходящего пара на графике в координатах $\delta^2\text{H} \div \delta^{18}\text{O}$ формируется линия испарения (рисунок 15.1). Для открытой воды, в [220], согласно модели дистилляции Рэлея, для температуры 20 °C и абсолютно сухого воздуха угловой коэффициент линии испарения оценен величиной 5. Для натуральных расчетов угловой коэффициент предпочтительнее определять экспериментально.

При замерзании также может происходить процесс неравновесного изотопного фракционирования («линия замерзания» на рисунке 15.1), однако на современном этапе теоретически оценить угловой коэффициент этой линии не представляется возможным. К сожалению, и экспериментальные работы пока не могут дать определенного результата [93].

На основе наблюдений за содержаниями дейтерия и кислорода-18 (изотопным составом воды) можно производить «привязку» места и времени (сезона или климатической эпохи) питания изучаемых водных объектов, оценивать роль испарения в водном балансе и устанавливать связь поверхностных и подземных вод.

15.2. Исследование изотопного состава атмосферных осадков, болотных и грунтовых вод на болотном массиве Ламмин-Суо

Режимные наблюдения за изотопным составом атмосферных осадков на болотном массиве Ламмин-Суо (с 2012 года по настоящее время) выполняются на основе подекадного их осреднения. Периодически производятся изотопные гидрологические съемки, приуроченные к определенным фазам гидрологического режима болотного массива и сопряженной территории, включающие в себя речные, озерные, грунтовые и болотные (в т. ч. вода инертного горизонта) воды. В данной работе представлены результаты обработки материалов наблюдений за начальный трехлетний период.

Большая часть измерений изотопного состава воды выполнялось на инфракрасном лазерном спектрометре Picarro L2120-i в Ресурсном центре «Гео-модель» (Научный парк СПбГУ). В качестве эталонов использовались лабораторные образцы сравнения, калибровка которых выполнялась по стандартам V-SMOW2, GISP, SLAP (поставляются МАГАТЭ), а также USGS-45, USGS-46 (поставляются Геологической службой США). Точность измерения составляла $\pm 0,1 \text{ ‰}$ по $\delta^{18}\text{O}$ и $\pm 1 \text{ ‰}$ по $\delta^2\text{H}$. Часть проб 2014 года была проанализирована на масс-спектрометре Delta-V во ВСЕГЕИ.

Локальная линия метеорных вод (рисунок 15.2) имеет параметры:

$$\delta^2\text{H} = 7,2 \times \delta^{18}\text{O} + 0,2, \quad (15.4)$$

что несколько отличается от ГЛМВ и обусловлено особенностями циркуляции атмосферы в северо-западном регионе Евразии [225–227].

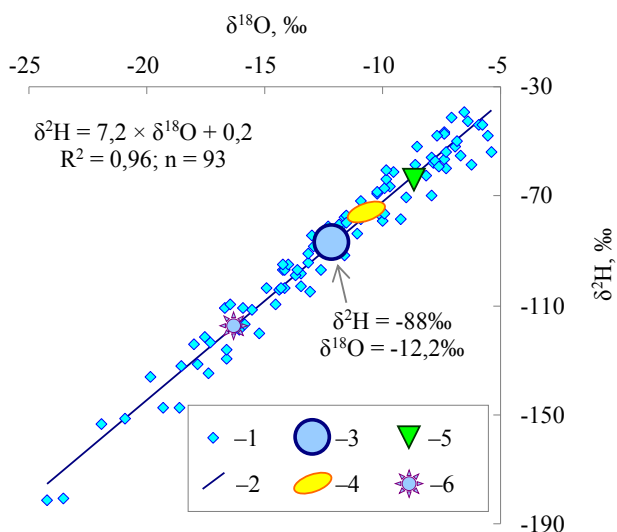


Рисунок 15.2. Изотопный состав атмосферных осадков на болотном массиве Ламмин-Суо в 2012–2015 гг.: 1 – индивидуальные измерения изотопного состава атмосферных осадков; 2 – локальная линия метеорных вод (приведено уравнение аппроксимации, точность аппроксимации данных линейной регрессией – R^2 и количество измерений – n). Средние составы атмосферных осадков: 3 – за период наблюдений; 4 – весна и осень; 5 – лето; 6 – зима

Средние и экстремальные значения содержаний изотопов водорода (дейтерия) и тяжелого изотопа кислорода ^{18}O в различные сезоны за исследуемый период наблюдений (2012–2015 гг.) приведены в таблице 15.1. Как видим, сезонные различия в содержании изотопов в атмосферных осадках выражены весьма значительно. Летние, изотопически тяжелые осадки, достигают величин $\delta^{18}\text{O} = -5,4$ ‰ и $\delta^2\text{H} = -41$ ‰, а изотопически легкие зимние — $\delta^{18}\text{O} = -24,2$ ‰ и $\delta^2\text{H} = -181$ ‰ при средневзвешенных годовых значениях за период наблюдений $\delta^{18}\text{O} = -12,2$ ‰ и $\delta^2\text{H} = -88$ ‰.

Таблица 15.1. Статистические характеристики изотопного состава атмосферных осадков (‰) на болотной станции Ламмин-Суо по сезонам*

| | Зима (31)** | | Весна (19) | | Лето (22) | | Осень (21) | | Год (93) | |
|----------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^2\text{H}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^2\text{H}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^2\text{H}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^2\text{H}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^2\text{H}$ |
| Среднее | -16,2 | -118 | -10,1 | -77 | -8,7 | -62 | -11,8 | -80 | -12,2 | -88 |
| Минимум | -24,2 | -181 | -20,9 | -152 | -13,2 | -95 | -18,5 | -133 | – | – |
| Максимум | -9,9 | -64 | -5,5 | -48 | -5,4 | -41 | -6,5 | -39 | – | – |

* — сезоны (по декадам): зима — 2.XII–2.III; весна — 3.III–3.V; лето — 1.VI–3.VIII; осень — 1.IX–1.XII.

** — количество измерений (в сухие периоды отдельные декады без осадков).

Хронологический график за период 2012–2015 гг. демонстрирует определенную цикличность изменения изотопного состава атмосферных осадков

(рисунок 15.3), причем обнаруживается некоторый тренд к утяжелению их состава.

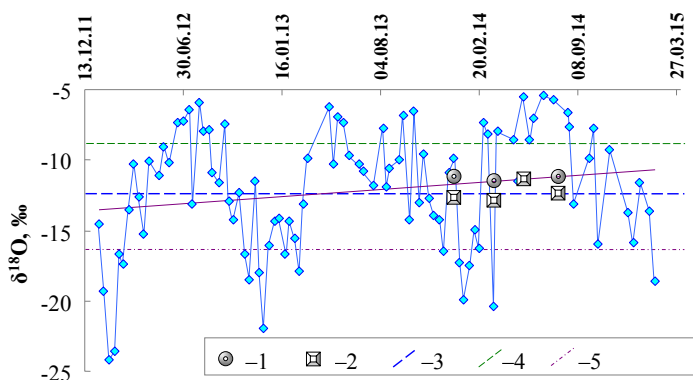


Рисунок 15.3. Хронологический график хода изотопного состава атмосферных осадков на болоте Ламмин-Суо 2012–2015 гг. в сравнении с составом болотных и грунтовых вод (таблица 15.2). 1, 2 – среднее для болотных и грунтовых вод, соответственно, на моменты производства изотопных съёмок; атмосферные осадки: 3 – среднее за год; 4 – лето; 5 – зима

Наблюдения за изотопным составом болотных и грунтовых вод выполнялись в ходе нескольких кампаний опробования — в декабре 2013 года, марте, июле и августе 2014 года (рисунок 15.4, таблица 15.2). Наиболее полной по объему отбора проб за рассматриваемый период наблюдений была изотопная гидрологическая съёмка в августе 2014 года, когда одновременно были обследованы практически все имеющиеся болотные и гидрогеологические скважины.

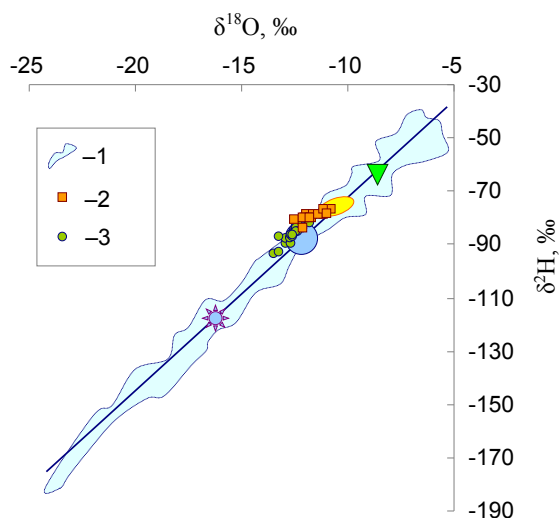


Рисунок 15.4. Изотопный состав элементов водного баланса болотного массива Ламмин-Суо: 1 – область разброса атмосферных осадков; 2 – болотные воды; 3 – грунтовые воды (обозначения на рисунке 15.2)

Таблица 15.2. Статистические характеристики изотопного состава болотных и грунтовых вод на болотном массиве Ламмин-Суо

| Дата | Горизонт | | | | Параметр |
|-----------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|----------|
| | болотный | | грунтовый | | |
| | $\delta^{18}\text{O}$, ‰ | $\delta^2\text{H}$, ‰ | $\delta^{18}\text{O}$, ‰ | $\delta^2\text{H}$, ‰ | |
| декабрь 2013 г. | -11,7* | -80* | -12,6 | -85 | среднее |
| | – | – | -13,5 | -92 | минимум |
| | – | – | -11,9 | -81 | максимум |
| март 2014 г. | – | – | -12,8* | -86* | |
| июль 2014 г. | – | – | -11,8 | -83 | среднее |
| | – | – | -13,1 | -90 | минимум |
| | – | – | -10,1 | -74 | максимум |
| август 2014 г. | -11,8 | -78 | -12,5 | -84 | среднее |
| | -12,5 | -82 | -13,2 | -91 | минимум |
| | -11,1 | -77 | -12 | -78 | максимум |

* — опробована одна скважина

Вариации изотопного состава болотных и грунтовых вод во времени невелики, особенно в сравнении с вариациями изотопного состава осадков (рисунки 15.2 и 15.4). Для грунтовых вод разброс относительно среднего составляет $\pm 1,7$ ‰ по кислороду-18 и ± 9 ‰ по дейтерию. Объем опробования болотных вод значительно меньше, и статистические оценки оказываются менее достоверными, однако относительно низкая вариация изотопного состава этих вод, согласно первичным данным изотопных съемок, не вызывает сомнений. Изотопный состав воды в болотной скважине № 103 (рисунок 15.5), согласно с теми же данными, значительно отличается от остальных болотных скважин и ближе к изотопному составу грунтовых вод из гидрогеологических скважин, расположенных на болоте, что представляется крайне маловероятным. Причиной этого отклонения, скорее всего, могут быть случайные технические ошибки при малых объемах опробования, на которые необходимо акцентировать внимание при дальнейших исследованиях.

Стабильность изотопного состава грунтовых вод объясняется, по-видимому, тем, что он имеет относительно удаленную область питания, в результате чего их состав успевает гомогенизироваться за время фильтрации под действием дисперсионных механизмов и трехмерной сетки направления движения. Стабильность же изотопного состава болотных вод связана, прежде всего, с относительно малыми коэффициентами фильтрации, в результате чего удельное инфильтрационное питание $\epsilon' = \epsilon/mn$ оказывается невелико (где ϵ — слой инфильтрации в абсолютном выражении, м; m — мощность слоя фильтрации, м; n — пористость торфяных отложений).

Имеет место некоторое различие средних изотопных составов грунтовых и болотных вод. Состав грунтовых вод $\delta^{18}\text{O} = -12,4$ ‰ и $\delta^2\text{H} = -87$ ‰ близок

к средним годовым значениям атмосферных осадков, а болотные воды — заметно тяжелее $\delta^{18}\text{O} = -11,8 \text{ ‰}$ и $\delta^2\text{H} = -80 \text{ ‰}$ и близки к составу осадков весны и осени (рисунок 15.4). Из вышеприведенных изотопных данных следует, что в питании грунтовых вод примерно в равной степени задействованы осадки всех сезонов с некоторым смещением к зимним осадкам, а в питании болотного горизонта заметно преобладание атмосферных осадков теплого периода года.

Используя данные наблюдений за изотопным составом как парных скважин, установленных на болотном массиве, так и гидрогеологических скважин, расположенных за пределами болота, и используя уравнение смешения, определяем долю болотных вод в составе грунтового горизонта под площадью болотного массива, которая в данном случае составляет около 70 %. Однако, учитывая крайне малые вертикальные коэффициенты фильтрации инертного горизонта торфяной залежи и кольматированного слоя (глава 16), можно утверждать, что доля вертикального питания болотными водами грунтового горизонта непосредственно под болото невелика. Следовательно, болотные воды пополняют грунтовый горизонт через крайки болота. Необходимо также отметить, что разгрузка верхних горизонтов подземных вод осуществляется в юго-восточном направлении в сторону реки Сестра (рисунки 4.1 и 4.2), что подтверждается данными об изотопном составе грунтовых вод в скважине № 360 (рисунок 15.5), находящейся вне зоны влияния болотного стока. Основная часть болотных вод, питающих грунтовый горизонт под болотным массивом, поступает из полосы лагга, приуроченного к северо-западному и северо-восточному контуру болота. Это та часть болотных вод, которая не дренируется ручьями Западный, Северный и Восточный (руслевой сток), а непосредственно инфильтруется в минеральные грунты у границ болотного массива и дренируется долиной реки Сестра.

Исследование изотопного состава воды озер Питьевое и Купальное, расположенных в северной части болотного массива, показало смещение фигуративных точек относительно ЛЛМВ, характерное для вторичного изотопного фракционирования воды, возникающего при неравновесном испарении (рисунок 15.5). Линия, аппроксимирующая изменение состава озерной воды в теплый период года, соответствует уравнению:

$$\delta^2\text{H} = 3,6 \times \delta^{18}\text{O} - 40. \quad (15.5)$$

Для оценки влияния испарения на изотопный состав воды нами были проведены экспериментальные работы на суходольной метеоплощадке, по результатам которых был получен средний угловой коэффициент 4,2. Более высокое значение полученного углового коэффициента относительно

уравнения 15.5 объясняется как степень адаптации самого прибора, так и тем, что испарометры, с помощью которых были выполнены наблюдения, находились в иных метеорологических условиях, и прежде всего по тепло-лагопереносу. При этом наименьшие угловые коэффициенты на уровне 3,7 были зафиксированы в начале теплого периода (май), а наибольшие коэффициенты наблюдались в августе, соответственно на уровне 4,9. Здесь следует напомнить, что теоретическая оценка влияния изотопного фракционирования [220] дает угловой коэффициент 5 для абсолютно сухого воздуха при температуре 20 °С.

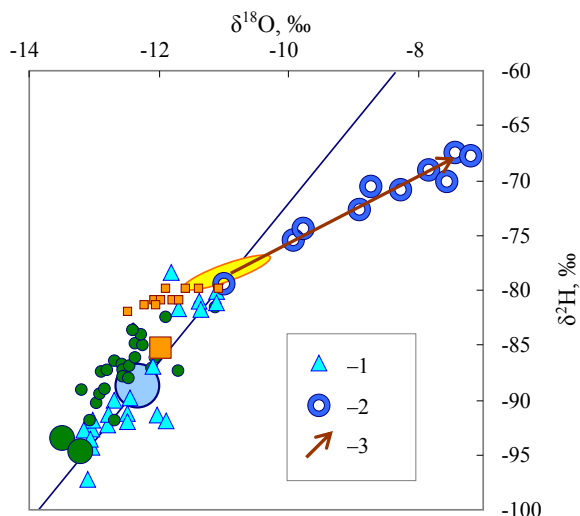


Рисунок 15.5. Сравнение изотопного состава грунтовых и поверхностных вод: 1 — ручьи, стекающие с болота; 2 — озера в северо-западной части болота; 3 — линия испарения (уравнение аппроксимации 15.5, стрелкой показано утяжеление состава в летний период); крупными значками показан изотопный состав воды в гидрогеологической скважине № 360 и в болотной скважине № 103. Другие обозначения приведены на рисунках 15.2 и 15.4

Смещение точек изотопного состава озерных вод относительно ЛЛМВ увеличивается к концу теплого сезона и исчезает в весенний период, что естественно для небольших малопроточных водоемов, из которых в течение лета часть воды испаряется, а после весеннего половодья она в значительной степени обновляется. Исходя из опытов по испарению, доля испарившейся воды в среднем составляет около 12–15 % и достигает 28–30 % для точек, наиболее отклоняющихся от ЛЛМВ, что близко к ранее полученным оценкам [84].

Начальный изотопный состав воды в озерах устанавливается как точка пересечения линии аппроксимации и ЛЛМВ и лежит в области, близкой к

изотопному составу весенних и осенних осадков. Таким образом, питание озер осуществляется преимущественно атмосферными осадками этих периодов, выпадающими на их акваторию, а доля питания снегового весной и осадков летней межени невелики. Прежде всего, это связано с тем, что озера расположены на водоразделе ручьев (Северный и Западный) и собственные их водосборы весьма малы.

Помимо этого, малая доля снегового питания связана еще и с проявлением факторов, максимальное влияние которых пришлось на годы производства наблюдений. Это резкое уменьшение максимальных влагозапасов в снежном покрове за счет глубоких зимних оттепелей [86] и повышенная абляция с поверхности снега, залегающего относительно тонким слоем на промерзшем слое торфа.

Отметим, что состав болотных вод несколько отклоняется влево от ЛЛМВ и лежит на продолжении линии, аппроксимирующей состав озерных вод, подвергшихся испарению. Такое расположение точек возможно в том случае, когда в их составе имеется некоторая доля конденсата, образовавшегося из влаги, испарившейся с поверхности озер. Долю конденсата озерного происхождения пока определить затруднительно, так как для этого требуется постановка экспериментов по улавливанию воздушной влаги.

Вода в ручьях, стекающих с болотного массива, характеризуется заметно изменяющимся во времени изотопным составом. Это объясняется изменением соотношения вод различного генезиса, осуществляющих питание водотоков в характерные фазы гидрологического режима. Изотопные показатели варьируют от значений, свойственных болотным водам, и до значений, соответствующих грунтовым водам (рисунок 15.5). Сток весеннего сезона в значительной степени сформирован осадками холодного периода года, что характерно для рек рассматриваемого региона. В меженные же периоды основное участие в формировании стока принимают болотные воды, и лишь для отдельных отрезков относительно низкого стока характерно заметное разбавление грунтовыми водами.

Таким образом, рассмотренный нами вид исследований в данной области знания, прежде всего, может быть использован для оценки составляющих водного баланса для различных промежутков времени. В поверхностных водах происходит осреднение изотопного состава атмосферных осадков за короткие периоды времени — сутки, недели, месяцы, сезоны. В инертном горизонте торфяной залежи верховых болот усредняется изотопный состав воды за большие промежутки времени, от десятков до сотен лет.

С помощью фиксации преобразования изотопного состава воды за короткие промежутки времени можно как изучать, так и устанавливать

количественные параметры процессов испарения (и в частности, транспирации), конденсации, замерзания влаги в различных средах, интенсивности снеготаяния и влагоотдачи. Возможность идентификации вод различного происхождения в смесях (например, в водотоках) по их изотопному составу позволяют устанавливать источники питания и производить расчленение гидрографа методами изотопного и ионного балансов.

Различные морфометрические участки и слои торфяной залежи на болотном массиве, такие как замкнутые глубокие внутриболотные первичные озера, погребенные озера, глубокие слои торфяной залежи, включая закальцированный слой минеральных грунтов, представляют собой среду замедленного водообмена. Такие зоны не испытывают на себе дополнительного изотопного фракционирования и поэтому могут достаточно сильно отличаться от изотопного состава вод верхних горизонтов болота, изотопный состав которых в большой степени зависит от местных атмосферных осадков. Данное обстоятельство позволяет устанавливать как период водообмена, который может составлять несколько сотен лет, так и давать количественную оценку внешнего водообмена болотного массива с окружающей средой [202]. Эта оценка актуальна, прежде всего, для определения вертикальной составляющей водообмена, что позволяет свести водный баланс болотного массива в целом (глава 16).

ГЛАВА 16

ВОДНЫЙ БАЛАНС БОЛОТА ЛАММИН-СУО

Основу метода водного баланса составляет закон сохранения вещества, заключающийся в учете всех приходных, расходных и аккумуляционных его составляющих. Различают полные и частные водные балансы. Полным называют баланс, включающий в себя все статьи прихода (осадки, конденсацию влаги, приток речных, поверхностных и подземных вод), расхода (испарение, поверхностный, русловой и подземный отток воды) и изменения запаса воды на поверхности и в стратиграфии изучаемого природного объекта. Частным называют баланс, в котором какой-то элемент (или несколько элементов) баланса не может быть измерен инструментально (либо рассчитан с приемлемой точностью) и определяется как суммарный остаточный член уравнения водного баланса. Ошибки определения элементов водного баланса и, следовательно, полученной невязки уравнения, в данной работе не приводятся. По данному вопросу публикуются многочисленные работы, особенно в связи с переходом на современные способы регистрации различных воднобалансовых характеристик, и исследователи могут самостоятельно оценивать полученные результаты в зависимости от применяемых методик и качества исходной информации. В этой главе авторы излагают лишь общий подход к составлению водного баланса верхового болотного массива или его части.

Для болот, включая и рассматриваемое болото Ламмин-Суо, трудно измеряемой составляющей баланса является водообмен болотного массива с сопредельными территориями и подстилающими минеральными грунтами. Эту суммарную составляющую (невязку) обычно и определяют как

остаточный член уравнения водного баланса. Поэтому в данном случае водный баланс является частным. Однако авторы предприняли попытку установления одной из составляющих суммарной невязки, а именно, водообмен с подстилающими минеральными грунтами или вертикальный водообмен.

Важное научное и практическое значение метода водного баланса заключается в его широком использовании при решении целого ряда задач, таких как:

- определение трудно измеряемых элементов водного баланса;
- определение соотношений элементов водного баланса для различных типов болот;
- выявление роли болот в питании рек, озер и их влияние на характеристики речного стока;
- обоснование наиболее эффективных способов гидромелиорации болотных массивов;
- оценка влияния осушения и освоения болот на сток и испарение с них;
- определение соотношений составляющих водного баланса болот и речных водосборов, в пределах которых они расположены.

Как показывает знакомство с литературой по гидрологии болот, целый ряд исследователей проявляли интерес к вопросу расчета водного баланса болотных ландшафтов [6, 146, 148, 184, 218].

Что касается болота Ламмин-Суо, то его водный баланс составлялся дважды: В. Г. Рождественской в 1972 году [172] на основе 20-летнего ряда наблюдений и С. М. Новиковым в 2001 году [146] на основе 50-летнего ряда наблюдений. К настоящему времени период наблюдений за элементами водного баланса болота Ламмин-Суо увеличился и составляет уже 67 лет. В этой главе приведены данные о составляющих водного баланса за 63-летний период с 1951 по 2013 годы. В связи с относительным потеплением климата в последние десятилетия определенный интерес представляет выявление характера произошедших изменений в структуре водного баланса болотного массива.

Существуют два понятия водообмена болот — вертикальный и горизонтальный. Вертикальный (инфильтрационный сток болотных вод) — это водообмен болота с подстилающими его минеральными водовмещающими грунтами. Горизонтальный (диффузный сток) — это водообмен с прилегающими к болоту суходолами. Понятие «диффузный» рассредоточенный сток К. Е. Иванов [43] ввел при исследовании изменения водного питания территорий, окружающих болотные системы, при осушительных мелиорациях. «Диффузный сток» — это фильтрационный сток болотных вод непосредственно в окружающие болото суходолы, минуя речную сеть. Согласно

результатам этого исследования (расчеты выполнены для 27 болот), величина «диффузного стока» оказалась весьма значительной. В зависимости от характера геоморфологического залегания болотного массива она может составлять до 80 % от полного стока. То есть на долю руслового стока с некоторых водораздельных болотных систем приходится всего 20 % [43].

В то же время на малых и очень малых локальных болотных массивах доля руслового стока колеблется от нуля до близкой к 100 %. Отсутствием руслового стока характеризуются болота камовых возвышенностей (например, Колтушской), которые расположены в многочисленных межкамовых депрессиях и термокарстовых образованиях. Объемы воды, аккумулированные малым водосбором в замкнутых и полузамкнутых понижениях, помимо питания и испарения с самого болота, полностью дренируются его окрайками (лаггами) в минеральные грунты. Даже в отдельные многоводные весенние периоды водного потенциала оказывается недостаточно для поддержания руслообразовательного процесса по преодолению порога слива.

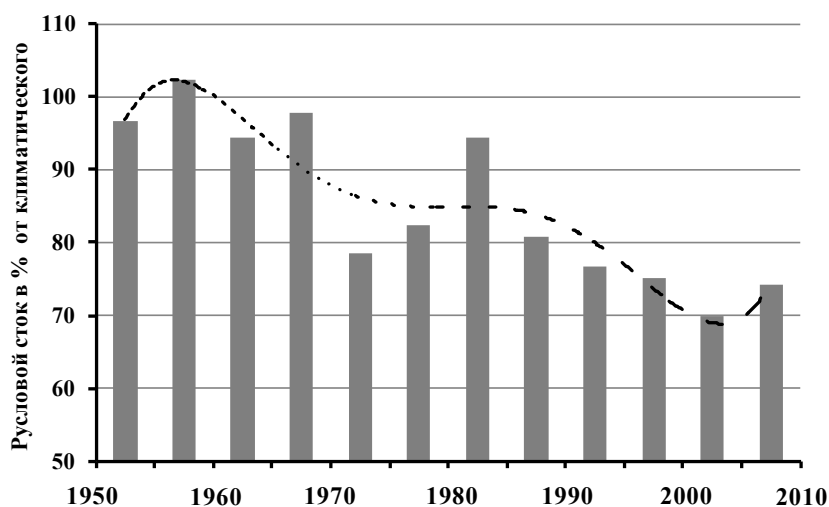


Рисунок 16.1. График изменения величины руслового стока в долях от климатического стока по их пятилетним значениям на болотном массиве Ламмин-Суо за период наблюдений с 1950 по 2010 год

Примером наличия значительной доли руслового стока в водном балансе является исследуемое нами болото Ламмин-Суо. На рисунке 16.1 представлен график изменения величины руслового стока в долях от климатического стока по пятилетним значениям за период наблюдений с 1950 по 2010 годы. Как видим, доля руслового стока от климатического стока колеблется в пределах от 70 % до 102 %. Последняя цифра, по-видимому, связана с дополнительным сбросом ранее накопленной воды на болоте в результате расчистки

подводящих каналов при открытии в 1953–1955 годах гидрометрических створов на ручьях Северный, Западный-1 и Западный-2. Данное обстоятельство, наряду с другими причинами, также способствовало облесению северо-западной и центральной частей болотного массива. Из графика также видно, что величина пропускной способности русел водотоков и степень диффузионной дренированности конкретного болотного массива не постоянны и изменяются в процессе эволюции болота. Если в начальный период наблюдений диффузионный сток с болота практически отсутствовал, то к концу периода он мог составлять порядка 25–30 % от климатического стока.

Составление уравнения водного баланса для изучаемого олиготрофного болотного массива исходит из следующих положений. Сток или часть стока с болотного массива, используя основные составляющие водного баланса, можно получить тремя доступными способами: косвенным (воднобалансовым) — как климатический (полный) сток, расчетным — как фильтрационный сток (горизонтальный сток по болотному массиву) и измеренным — как русловой сток. В виде уравнений эти положения записываются в следующем виде:

$$C_{\text{клим}} = O - E ; \quad (16.1)$$

$$C_{\text{ф}} = C_{\text{бол}} \pm B ; \quad (16.2)$$

$$C_{\text{рус}} = C_{\text{ф}} \pm \Gamma , \quad (16.3)$$

где O — слой атмосферных осадков, мм; E — слой испарения, мм; $C_{\text{клим}}$ — климатический сток, мм; $C_{\text{бол}}$ — сток с болотного массива, мм; $C_{\text{рус}}$ — русловой сток, мм; $C_{\text{ф}}$ — фильтрационный (горизонтальный сток в границах болота) сток с болотного массива, мм; B — вертикальный водообмен с подстилающими болото минеральными породами, мм; Γ — горизонтальный (диффузный) водообмен болотного массива с окружающими территориями, мм.

Климатический сток представляет собой упрощенное решение уравнения водного баланса, которое соответствует суммарному (потенциально возможному) стоку с замкнутой территории без разграничения его на способы стекания и водоприемники. Этот суммарный сток состоит из горизонтального фильтрационного стока, подходящего к контуру болотного массива, и вертикального водообмена с минеральными грунтами под дном болота. Поскольку климатический и расчетный (фильтрационный) сток относятся к внутреннему замкнутому контуру в границах болотного массива, то по своим значениям они отличаются лишь на величину вертикального водообмена.

Сток воды, измеренный в русловой сети у границ болотного массива, теоретически должен быть равен суммарному фильтрационному притоку с

болотного массива, но лишь в том случае, когда отсутствует внешний водообмен с окружающими суходолами. На практике же измеренный русловой сток включает в себя как дополнительный приток с водосборной площади болотного массива, так и недоучет стока с болота вследствие его прямой инфильтрации (диффузный сток) в минеральные грунты за границы болотного массива. Расчет фильтрационного притока с болотного массива к его границам по всему контуру представляется достаточно трудоемким [122], в отличие от непосредственного измерения руслового стока на водотоках, поэтому такие расчеты проводятся лишь в случае особой необходимости.

Приравнивая уравнения (16.1) и (16.2), а также заменяя фильтрационный сток его выражением из уравнения (16.3), получаем уравнение водного баланса для олиготрофного болотного массива за гидрологический год (1 ноября – 31 октября) в общем виде:

$$O - E - C_{\text{рус}} \pm B \pm \Gamma \pm \Delta W = 0, \quad (16.4)$$

где ΔW — изменение влагозапасов в деятельном слое торфяной залежи за расчетный период (мм), которое определяется с помощью послойных коэффициентов водоотдачи [122] для различных микроландшафтов в зависимости от начального и конечного значения уровня болотных вод.

Ниже приводится краткое описание основных составляющих водного баланса (рисунок 16.2), входящих в уравнение (16.4), и способы их определения.

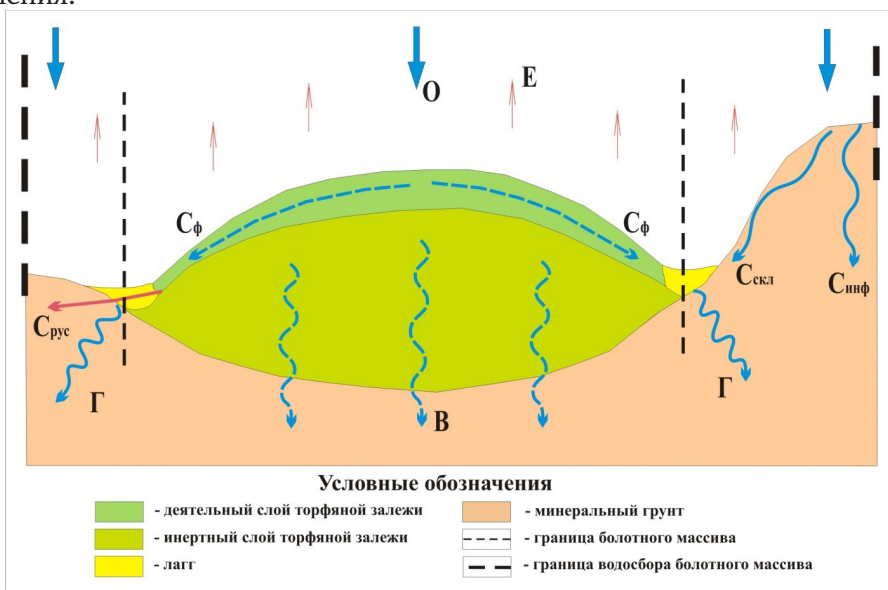


Рисунок 16.2. Общая схема взаимодействия составляющих водного баланса верхового болотного массива (буквенные обозначения соответствуют тексту главы)

Атмосферные осадки (О) являются основной приходной частью водного баланса олиготрофного болотного массива. Производство наблюдения за осадками [128] на болоте Ламмин-Суо рассмотрены в разделе 3.2. Здесь отметим лишь, что круглогодично наблюдения за осадками проводились и проводятся только на двух осадкомерных пунктах, оборудованных на болотной метеорологической площадке и у здания станции (на суходоле). Остальные осадкомерные пункты работают лишь в теплый период года.

В суточные суммы измеренных осадков введены поправки на смачивание. Поправки в осадки на ветровой недоучет не вводились, поскольку, как показали ранее выполненные исследования на болоте [172], месячные суммы осадков по осадкомеру Третьякова и наземному дождемеру практически одинаковы. Последнее объясняется, вероятнее всего, тем, что приемная часть осадкомера находится примерно на уровне поверхности верхнего окончания крон угнетенной болотной сосны.

Анализ месячных сумм осадков за теплый период по осадкомерным пунктам, расположенным на болоте, показал на наличие совпадения (расхождение составляет 1,5–3,0 %) их величин с осадкомером, установленным на метеорологической площадке, со средними значениями по остальным осадкомерам. Учитывая это, при расчете водного баланса осадки за теплый и холодный периоды года приняты по осадкомеру болотной метеорологической площадки.

Испарение (Е). Методы измерения и результаты исследования испарения с рассматриваемого болота изложены в главе 12. При расчете водного баланса использованы данные по испарению, полученные по испарителям ГГИ-Б-1000 (метод водного баланса для изолированных монолитов). Испарители, которые боятся заморозков, «работают» обычно в период май–сентябрь. Испарение за месяцы переходного периода (октябрь и апрель) рассчитывалось по номограммам Л. И. Зубенок [211] на основе данных по дефициту влажности воздуха метеостанции Рошино. Испарение за период ноябрь–март определялось как испарение со снега и вычислялось по формуле [171]:

$$E = 0,37nd, \quad (16.5)$$

где n — число суток в расчетном периоде, d — дефицит влажности воздуха по метеостанции Рошино.

Контроль над режимными данными по испарителям осуществлялся методом теплового баланса совместно с методом турбулентной диффузии [195, 197, 198], который позволяет определять испарение за любой промежуток времени и не связан с существенными нарушениями естественного покрова

подстилающей поверхности. Наблюдения проводились на четырех основных микроландшафтах, что позволило оценить величины испарения с болотного массива в целом.

Как показал анализ данных наблюдений за испарением (глава 12), соотношения величин испарения с различных болотных микроландшафтов оказались близкими к единице, поэтому при расчете испарения с болотного массива «вес» площади микроландшафтов не учитывался. В качестве основных данных при определении годовых величин испарения приняты материалы наблюдений за испарением в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте (установка № 1).

Русловой сток (С). Непосредственно на болотном массиве открытых водотоков нет. Как уже отмечалось в главе 13, сток с самого болота к окрайкам (лаггам) осуществляется фильтрационным путем и далее дренируется образующимися на границах массива ручьями.

Лагги (рисунок 16.2) олиготрофных болот являются буферной, относительно более обводненной зоной между болотом и суходолом. Здесь аккумулируется как фильтрационный сток (C_{ϕ}) с болота, так и склоновый (верховодка) сток ($C_{скл}$) с суходола. В зависимости от местных геоморфологических условий и циклов водности лагги могут получать питание и из грунтового горизонта ($C_{инф}$). Лагги тянутся узкой полосой вдоль границы болота при наличии суходольного склона (берега) и плавно расширяются при отсутствии суходольного склона, постепенно переходя в заболоченные земли.

Сток из полосы лагга осуществляется тремя способами при различных их сочетаниях и пропорциях в зависимости от геоморфологических условий и гидрологического режима. Это поверхностное дренирование водотоками, перелив через зону кольматации у подножья суходолов и инфильтрация в почвогрунты на заболоченных землях.

Таким образом, русловой сток включает в себя сток как с самого болота, так и с его водосборной площади. Для оценки стока воды с болотного массива использовались данные наблюдений по пяти гидрометрическим створам. Способы измерения и методы расчетов стока на ручьях изложены в разделах 3.2 и 4.3.1. Внешний русловой приток воды на болотный массив или его водосборную площадь отсутствует.

Суммарное изменение влагозапасов (W) за расчетный период представляет собой суммарную невязку (разность) между климатическим стоком [122] и русловым стоком. Эта невязка складывается из изменения влагозапасов на болотном массиве за расчетный период, вертикального водообмена с подстилающими болото минеральными породами, диффузного водообмена болотного массива с окружающими территориями и суммарной

ошибки определения составляющих водного баланса. Ошибки определения количества атмосферных осадков и величины испарения находятся в пределах точности вычисления водного баланса в целом и, как уже отмечалось в данном случае, в расчет не принимаются. Уравнение для изменения суммарных влагозапасов запишется в следующем виде (невязка уравнения 16.4):

$$W = \pm \Delta W \pm B \pm \Gamma \quad (16.6)$$

Изменение влагозапасов на болотном массиве за расчетный период времени (ΔW) определяется по зависимости:

$$\Delta W = \Delta z \cdot \xi, \quad (16.7)$$

где Δz — изменение уровня болотных вод за расчетный (гидрологический год) период времени; ξ — коэффициент водоотдачи торфяной залежи в слое изменения уровня болотных вод.

Величину вертикального водообмена болотного массива можно оценить в том случае, если установить на болоте сеть парных болотных и гидрогеологических скважин и проводить наблюдения за уровнями болотных и грунтовых вод. Располагая данными об уровнях и коэффициентах фильтрации разделяющего (кольматированного) слоя (слой между торфяной залежью и минеральным грунтом), можно рассчитать величину и знак водообмена. Успешное применение этого метода было осуществлено на низинном болоте, расположенном в этом же районе (Карельский перешеек). Получены весьма интересные результаты по вертикальному водообмену низинных болот и, в частности, по характеру и величине его изменения во времени и по территории [26]. Однако это дорогостоящее и трудновыполнимое мероприятие. Поэтому этот вид водообмена обычно является составной частью невязки при решении уравнения водного баланса. В случае отсутствия возможности расчета и фильтрационного притока, за остаточный член уравнения принимается суммарное значение вертикального и горизонтального водообмена ($B + \Gamma$). При этом в горизонтальный водообмен входит и составляющая часть руслового стока, дренируемая водотоками с суходольной части водосборной площади болотного массива.

Непосредственно измерить горизонтальный водообмен болото–суходол невозможно. Поэтому горизонтальный (диффузный) водообмен с окружающими территориями определяется как разница между расчетным фильтрационным притоком к контурам болота, соответствующим границе болотного массива, и измеренным русловым стоком. Положительная разность свидетельствует о том, что наблюдается диффузия болотных вод в окружающие суходолы. Отрицательная разность свидетельствует о дополнительном притоке воды на болотный массив.

Фильтрационный сток с болот в отличие от руслового стока непосредственно не измеряется, а рассчитывается. При его расчете используется метод фильтрационных характеристик, предложенный в свое время К. Е. Ивановым [62], который позволяет определить сток как со всего массива, так и с любой его части. Помимо этого он дает возможность определить приток к любой трассе, пересекающей болото, и построить эпюру приточности болотных вод. При использовании этого метода необходимо располагать плановым изображением болотного массива необходимого разрешения для составления типологической карты болота и сетки линий стекания болотных вод и данными о коэффициентах фильтрации деятельного слоя торфяной залежи (или единичных расходах) различных болотных микроландшафтов [122]. Методы исследования фильтрационных свойств деятельного слоя болот с целью определения коэффициентов фильтрации и расчетных значений единичных расходов воды в различных болотных микроландшафтах рассмотрены в главе 6, а способы расчета фильтрационного стока — в работах [62, 122].

В таблице 16.1 приведены значения составляющих водного баланса болотного массива Ламмин-Суо для гидрологического года за период с 1951 по 2013 годы. Основные воднобалансовые показатели данной таблицы показаны на рисунке 16.3 в виде графиков изменения климатического стока и суммарного внешнего вертикального и горизонтального водообмена. Как видно из графика, в 1950–1960-е годы наблюдался относительный дефицит климатического стока. В это же время внешний водообмен болотного массива носил разнонаправленный характер, наблюдался как отток воды с болота, так и ее приток с сопряженных территорий.

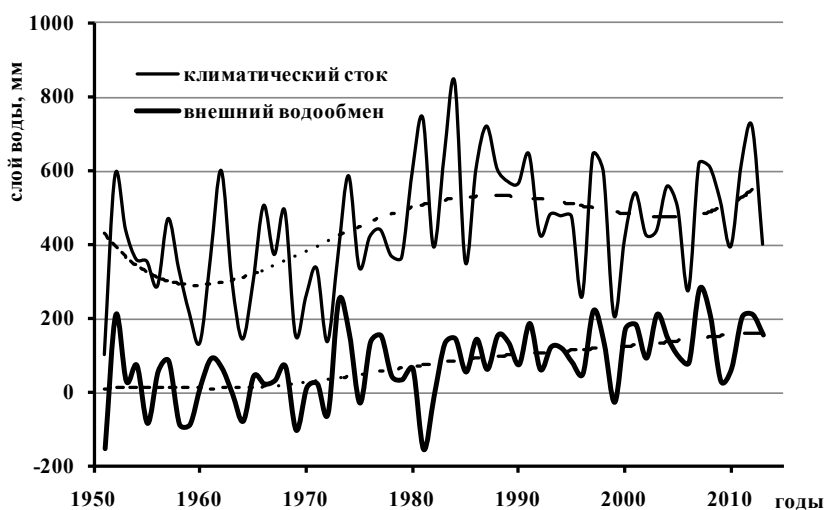


Рисунок 16.3. Изменение климатического стока и внешнего водообмена болотного массива Ламмин-Суо за период 1951–2013 гг.

Таблица 16.1. Водный баланс (мм) болотного массива Ламмин-Суо для гидрологического года

| Год | Атмосферные осадки (O) | Испарение с болота (E) | Климатический сток (С _{клим.}) | Русловой сток (С _{рус.}) | Суммарное изменение влагозапасов (W) | Изменение влагозапасов в децетальном слое (ΔW) | Суммарный внешний водообмен (B+Γ) |
|------|------------------------|------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------------------|
| 1951 | 635 | 534 | 101 | 264 | -163 | -5 | -167 |
| 1952 | 1051 | 464 | 587 | 382 | 205 | -3 | 202 |
| 1953 | 883 | 443 | 440 | 413 | 26 | -2 | 25 |
| 1954 | 813 | 453 | 360 | 295 | 64 | -5 | 59 |
| 1955 | 813 | 459 | 354 | 424 | -70 | 11 | -59 |
| 1956 | 713 | 426 | 287 | 249 | 38 | -13 | 25 |
| 1957 | 916 | 446 | 470 | 398 | 72 | -9 | 63 |
| 1958 | 835 | 501 | 334 | 397 | -62 | 20 | -42 |
| 1959 | 684 | 469 | 215 | 293 | -78 | 6 | -72 |
| 1960 | 599 | 465 | 134 | 137 | -3 | -14 | -17 |
| 1961 | 866 | 501 | 365 | 302 | 62 | -23 | 39 |
| 1962 | 1043 | 442 | 601 | 514 | 87 | 18 | 104 |
| 1963 | 774 | 468 | 306 | 298 | 8 | 10 | 18 |
| 1964 | 599 | 456 | 143 | 233 | -89 | -6 | -96 |
| 1965 | 745 | 449 | 296 | 267 | 29 | -12 | 17 |
| 1966 | 1015 | 509 | 506 | 478 | 28 | 6 | 33 |
| 1967 | 839 | 466 | 373 | 354 | 19 | -10 | 9 |
| 1968 | 938 | 447 | 491 | 405 | 86 | 13 | 99 |
| 1969 | 659 | 505 | 154 | 253 | -99 | 4 | -95 |
| 1970 | 726 | 466 | 260 | 253 | 7 | -3 | 4 |
| 1971 | 791 | 456 | 335 | 297 | 39 | 13 | 52 |
| 1972 | 627 | 491 | 136 | 192 | -56 | 2 | -54 |
| 1973 | 796 | 427 | 369 | 157 | 212 | -28 | 184 |
| 1974 | 995 | 409 | 586 | 416 | 170 | 7 | 177 |
| 1975 | 793 | 455 | 338 | 365 | -27 | 2 | -25 |
| 1976 | 787 | 366 | 421 | 288 | 134 | -2 | 132 |
| 1977 | 823 | 383 | 440 | 284 | 156 | 3 | 159 |
| 1978 | 759 | 390 | 369 | 337 | 32 | -9 | 24 |
| 1979 | 764 | 400 | 364 | 343 | 21 | -11 | 11 |
| 1980 | 993 | 396 | 597 | 554 | 43 | -17 | 26 |
| 1981 | 1128 | 386 | 742 | 891 | -148 | 7 | -142 |
| 1982 | 812 | 418 | 394 | 388 | 6 | 7 | 12 |
| 1983 | 1050 | 412 | 638 | 522 | 116 | -17 | 99 |
| 1984 | 1245 | 404 | 841 | 696 | 145 | 1 | 145 |
| 1985 | 713 | 361 | 352 | 303 | 48 | -6 | 43 |
| 1986 | 1010 | 406 | 604 | 475 | 129 | -15 | 114 |
| 1987 | 1071 | 350 | 721 | 637 | 84 | 23 | 107 |
| 1988 | 976 | 371 | 605 | 451 | 153 | -4 | 149 |
| 1989 | 928 | 357 | 571 | 433 | 138 | 9 | 146 |
| 1990 | 924 | 358 | 566 | 478 | 88 | 10 | 98 |
| 1991 | 1001 | 356 | 645 | 443 | 202 | 20 | 222 |
| 1992 | 823 | 395 | 428 | 379 | 49 | -12 | 37 |
| 1993 | 867 | 385 | 482 | 358 | 123 | -7 | 117 |

| Год | Атмосферные осадки (О) | Испарение с болота (Е) | Климатический сток ($C_{\text{клим}}$) | Русловой сток ($C_{\text{рус}}$) | Суммарное изменение влагозапасов (W) | Изменение влагозапасов в деятельном слое (ΔW) | Суммарный внешний водообмен (В+Г) |
|------|------------------------|------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1994 | 845 | 368 | 477 | 359 | 118 | 8 | 126 |
| 1995 | 874 | 398 | 476 | 385 | 91 | 11 | 102 |
| 1996 | 611 | 352 | 259 | 229 | 30 | -19 | 11 |
| 1997 | 977 | 334 | 643 | 424 | 219 | -2 | 217 |
| 1998 | 960 | 364 | 596 | 432 | 164 | 32 | 196 |
| 1999 | 554 | 348 | 206 | 251 | -44 | -16 | -61 |
| 2000 | 834 | 419 | 415 | 252 | 163 | -7 | 156 |
| 2001 | 868 | 328 | 540 | 353 | 188 | 6 | 193 |
| 2002 | 795 | 369 | 426 | 330 | 96 | 4 | 100 |
| 2003 | 747 | 310 | 437 | 250 | 187 | -23 | 163 |
| 2004 | 947 | 389 | 558 | 409 | 149 | 3 | 152 |
| 2005 | 887 | 388 | 499 | 377 | 122 | 26 | 148 |
| 2006 | 700 | 425 | 275 | 225 | 50 | -30 | 20 |
| 2007 | 949 | 330 | 619 | 346 | 274 | -6 | 267 |
| 2008 | 987 | 376 | 611 | 403 | 209 | 1 | 210 |
| 2009 | 975 | 455 | 520 | 470 | 49 | 20 | 69 |
| 2010 | 798 | 404 | 394 | 351 | 43 | -20 | 24 |
| 2011 | 984 | 365 | 619 | 439 | 179 | -23 | 156 |
| 2012 | 1109 | 388 | 721 | 487 | 234 | 24 | 258 |
| 2013 | 828 | 427 | 401 | 321 | 80 | 8 | 88 |

Далее началось увеличение климатического стока, пик которого пришелся на 1980-е годы и, как следствие этого, начиная с 1982 года приток воды на болотный массив наблюдался лишь один раз — в 1999 году. Цикличность колебания водности по значениям климатического стока показывает, что следующий пик можно ожидать в период 2019–2021 гг.

Иллюстрацией изменения внешнего водообмена болотного массива являются данные таблицы 16.2. Если в начальный период наблюдался средний годовой отток с болотного массива на уровне слоя воды 22 мм, то для следующего периода он увеличился в 5,5 раза. Климатический сток для второго периода увеличился на 40 %, а русловой сток только на 14 %. Это означает, что к настоящему (последнее десятилетие) времени 22–27 % стока воды с болотного массива осуществляется помимо русловой сети.

Таблица 16.2. Средние значения составляющих водного баланса (мм) болотного массива Ламмин-Суо для гидрологического года за различные периоды

| Период | О | Е | $C_{\text{клим}}$ | $C_{\text{рус}}$ | W | ΔW | В+Г |
|-----------|-----|-----|-------------------|------------------|-----|------------|-----|
| 1951–1981 | 819 | 449 | 370 | 346 | 24 | -2 | 22 |
| 1982–2013 | 895 | 378 | 517 | 396 | 121 | 0 | 121 |
| 1951–2013 | 858 | 413 | 445 | 371 | 73 | -1 | 72 |

Последнее обстоятельство подтверждают и графики, представленные на рисунках 16.4–16.6. Если русловой сток и суммарный водообмен имеют определенную связь с климатическим стоком, то связь между русловым стоком и суммарным водообменом отсутствует (рисунок 16.6). Режим внешнего водообмена в большей степени зависит не только от сложившихся гидрометеорологических условий и хода гидрофизических процессов для конкретного года как на самом массиве, так и на сопряженной подстилающей поверхности, но и для ряда смежных лет. При этом необходимо отметить, что в соответствии с полученной зависимостью (рисунок 16.4) при значениях климатического стока менее 260 мм наблюдается внешний приток воды к болотному массиву с наибольшей вероятностью. Это подтверждается и зависимостью, представленной на рисунке 16.5. В то же время превышение руслового стока конкретного года над климатическим стоком на всем диапазоне их наблюдения установлено в 10 случаях.

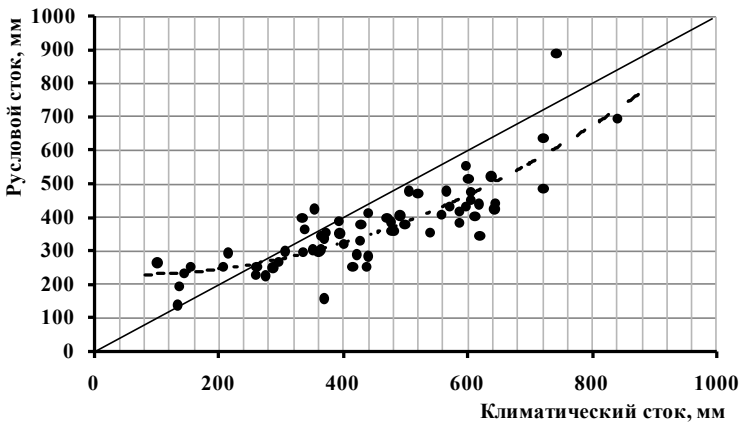


Рисунок 16.4. Связь климатического и руслового стока с болотного массива Ламмин-Суо

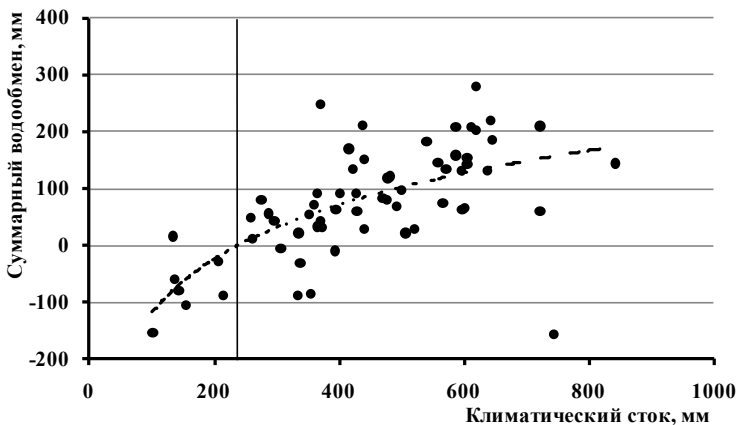


Рисунок 16.5. Связь климатического стока и внешнего водообмена на болотном массиве Ламмин-Суо

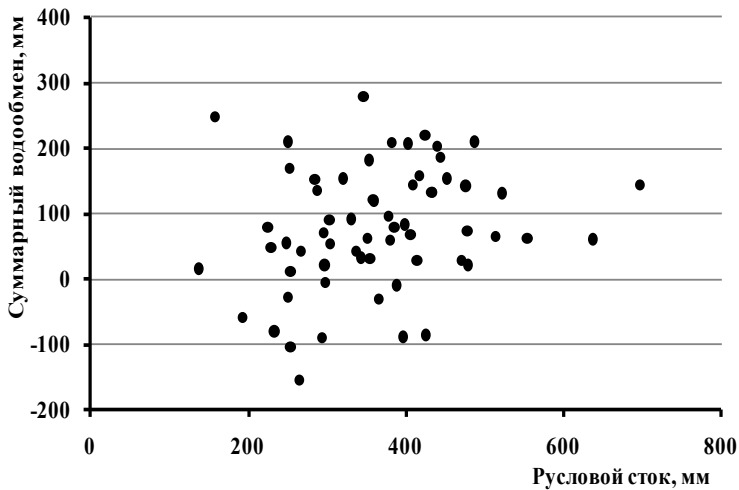


Рисунок 16.6. Связь руслового стока и внешнего водообмена на болотном массиве Ламмин-Суо

В таблице 16.3 приведены параметры кривых обеспеченности и значения климатического стока и суммарного внешнего водообмена различной вероятности превышения для болотного массива Ламмин-Суо. Отрицательные значения внешнего водообмена указывают на приток грунтовых вод на болото, предположительно в основном у северо-западной и северо-восточной окраин болотного массива. Обеспеченные значения других составляющих водного баланса (таблица 16.2) различной вероятности превышения приведены в соответствующих разделах монографии.

Таблица 16.3. Климатический сток и суммарный внешний водообмен болотного массива Ламмин-Суо (1951–2013 гг.) различной вероятности превышения

| Характеристика | Среднее за период | C_v | C_s / C_v | Вероятность превышения, % | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|-------|-------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | | | | 1 | 5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 90 | 95 | 99 |
| Климатический сток, мм | 445 | 0,37 | -0,5 | 807 | 706 | 653 | 558 | 440 | 337 | 215 | 135 | 38 |
| Суммарный внешний водообмен, мм | 72 | 1,31 | -0,5 | 254 | 229 | 214 | 145 | 80 | 16 | -83 | -102 | -197 |

Каково же соотношение количественной оценки вертикального и горизонтального стока (притока) в суммарном значении внешнего водообмена? Из этих двух составляющих водного баланса наиболее объективно можно выделить и оценить вертикальный водообмен. Но даже в этом случае необходимо заметить, что до сих пор не выявлен как механизм процесса

водообмена верховых болот с подстилающим минеральным грунтом при наличии кольматированного придонного слоя, так и его расчетные параметры. Уровень грунтовых вод под болотом Ламмин-Суо периодически находится ниже его дна (раздел 7.1.2), что и обуславливает потенциальную возможность вертикальной фильтрации болотных вод в подстилающие минеральные грунты. Следует провести экспериментальные работы по определению толщины и коэффициента фильтрации этого слоя на верховых болотах, различающихся по геоморфологическим условиям залегания. Это бы послужило хорошей основой проведения исследований водообмена также для низинных болот и заболоченных озер.

Попытка установления величины вертикального водообмена болота Ламмин-Суо была предпринята в работе [146], где она определялась как остаточный член уравнения водного баланса для центральной части массива:

$$O - E - C_{\phi} \pm \Delta W = B \quad (16.8)$$

Следует обратить внимание, что сток в данном случае рассчитан методом фильтрационных характеристик. Именно это обстоятельство и послужило ступенью для понимания количественной оценки вертикального водообмена болота. Ниже (таблица 16.4) приведены результаты расчета водного баланса центральной части болота.

Таблица 16.4. Водный баланс (мм) центральной части ($A = 0,45 \text{ км}^2$) болотного массива Ламмин-Суо за различные по водности годы [146]

| Год | O | E | ΔW | C_{ϕ} | B |
|---------|------|-----|------------|------------|----|
| 1969 | 659 | 505 | 49 | 135 | 68 |
| 1972 | 627 | 491 | 42 | 158 | 20 |
| 1977 | 823 | 383 | -30 | 334 | 76 |
| 1979 | 764 | 400 | 9 | 317 | 56 |
| 1981 | 1129 | 386 | -16 | 730 | -3 |
| 1984 | 1245 | 404 | -9 | 804 | 28 |
| Среднее | 874 | 428 | 8 | 413 | 41 |

Для расчетов были произвольно выбраны шесть лет за период (1965–1985 гг.) начала повышения общего внешнего водообмена болотного массива с окружающей средой (рисунок 16.3). Как видно из таблицы, величина водообмена колеблется от -3 мм (1981) до 76 мм (1977), причем в пяти случаях имеет место положительный знак, что указывает на отток воды через дно болота. Наличие вертикального притока на болото в 1981 году крайне сомнительно, учитывая уровень залегания грунтовых вод под болотом.

По-видимому, это укладывается в суммарную ошибку определения составляющих водного баланса.

Однако наибольшее сомнение вызывает сама амплитуда изменения вертикального водообмена, которая, как видно из таблицы, равняется 79 мм. Получается, что трех–четырёхметровый инертный горизонт год от года, в зависимости от сложившихся условий, может изменять значения своих вертикальных коэффициентов фильтрации на порядки, что в принципе маловероятно. Это не объясняется ни амплитудой (30–40 см) изменения уровней болотных вод в деятельном слое, ни режимом промерзания, ни «прокачкой» со стороны атмосферы.

На взгляд авторов, для уравнения водного баланса центральной части болотного массива здесь изначально была принята упрощенная «закрытая» теоретическая схема распределения его составляющих (рисунок 16.7а). Данная схема исходит из того, что весь горизонтальный сток с купола массива реализуется в деятельном слое, а оставшаяся часть стока (невязка) приравнивается в вертикальному водообмену через инертный горизонт. Принимая во внимание то, что коэффициенты фильтрации инертного горизонта и слоя кольматации постоянны или мало меняются за продолжительное время, следует сделать вывод, что и вертикальный водообмен должен быть относительно постоянен.

Следовательно, для центральной части болота, как и для всего болотного массива, в природе наблюдается «открытая» схема распределения стока (рисунок 16.7б). Вода деятельного горизонта реализует свой гравитационный потенциал как по уклону поверхности болота, так и послойно вытесняя связанную воду нижележащих слоев инертного горизонта. Как известно, торф сложен растительными остатками и волокнами, которые вследствие процесса торфонакопления определенным образом ориентированы в пространстве. Анизотропия среды особенно характерна для верхового торфа, имеющего хорошо выраженную горизонтальную слоистость. Данная закономерность соблюдается и для торфяной залежи грядово-мочажинного комплекса болота Ламмин-Суо, несмотря на ее определенную вертикальную структурированность [97].

В работе [132] приводятся результаты исследований фильтрационной анизотропии верхового торфа. Там же представлено обобщение по водопроницаемости торфов, которым занимались многочисленные исследователи в разное время. В данном случае нас интересует не столько величина коэффициентов фильтрации, сколько их различие в вертикальном и горизонтальном направлениях. Получены значения коэффициентов фильтрации торфа в вертикальном направлении от 1,3 до 6,5 м/сут, при их среднем значении

4,6 м/сут. Коэффициенты фильтрации в горизонтальном направлении находятся в диапазоне 12,5–27,6 м/сут и составляют в среднем 21,6 м/сут. Отсюда следует, что степень фильтрационной анизотропии торфа в среднем составляет около 4,7.

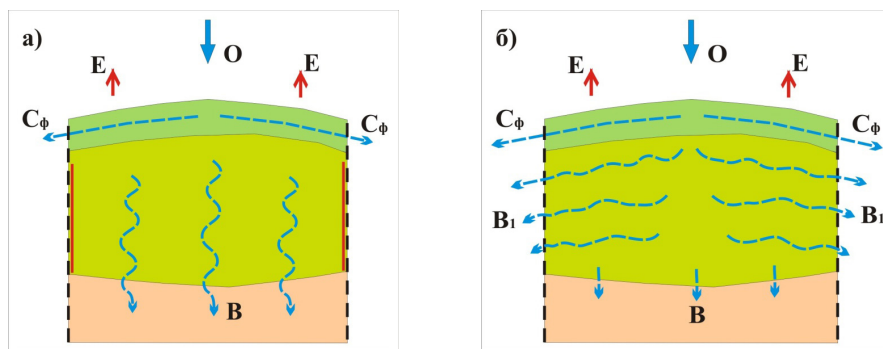


Рисунок 16.7. Схема распределения составляющих водного баланса центральной части (купола) верхового болотного массива (условные обозначения на рисунке 16.1): а) замкнутая, б) открытая

Таким образом, если использовать среднее значение вертикального водообмена из таблицы 16.4, рассчитанного для замкнутой схемы (рисунок 16.7а), то получим собственно вертикальный водообмен (В) при открытой схеме центральной части болота (рисунок 16.7б), который будет составлять 7,2 мм (17,5 %). Следовательно, горизонтальный водообмен (В1) в инертном слое торфяной залежи при открытой схеме распределения стока купола болота будет равен 33,8 мм, или 82,5 % от «вертикального» водообмена, полученного по уравнению 16.8.

Необходимо отметить, что полученный вертикальный водообмен (7,2 мм) — это лишь то количество воды, которое поступает к границе с минеральным ложем болота, где значения коэффициентов фильтрации заметно уменьшаются. Если классифицировать минеральные грунты как слабопроницаемые, то коэффициенты фильтрации будут составлять 0,005–0,30 м/сут [47]. Однако особенностью начала заболачивания является образование и наличие на границе перехода от торфа к минеральным грунтам слоя кольматации (закупоривание пор мелкодисперсной органикой с ярко выраженным оглеением), где коэффициенты фильтрации еще ниже и находятся в пределах 0,0001–0,095 м/сут [92]. Следовательно, большая часть объемов воды рассматриваемого нами вертикального водообмена через инертный горизонт торфяной залежи вынуждена перемещаться по верхней границе слоя кольматации по естественному уклону

или до уровней компенсации градиентов напора и выклиниваться ближе к крайкам болотного массива, как и слой воды V_1 .

Как уже отмечалось, этот вывод подтверждается данными о режиме уровней грунтовых вод под болотом, которые периодически расположены ниже его дна. Однако данное обстоятельство не столько вызывает дополнительную потенциальную возможность вертикальной фильтрации болотных вод в подстилающие минеральные грунты, как считалось ранее, сколько является следствием ее практически полного отсутствия. О каких-либо заметных величинах вертикальной фильтрации при составлении уравнения водного баланса можно говорить лишь применительно к отдельным периферийным участкам болота, либо для болотного массива в целом. Необходимо заметить, что даже для однотипных болот вертикальная составляющая стока может заметно различаться, то есть она привязана к конкретным морфометрическим параметрам и условиям залегания торфяного горизонта. Определение ее, при необходимости, возможно лишь при проведении дополнительных изысканий и исследований. В большинстве случаев для решения задачи можно ограничиться суммарным внешним водообменом, который является разностью между климатическим и русловым стоком.

На основании данных за 20-летний период (1951–1970 гг.) для болотного массива Ламмин-Суо К. Е. Иванов приводит значение суммарного внешнего водообмена, которое равняется 120 мм в год [67]. В этой же работе на основе результатов расчета составляющих водного баланса для заболоченного речного водосбора приводится значение вертикального водообмена для заболоченной его части, которое составляет 27 мм в год. Таким образом, в первом приближении для верховых болотных массивов можно утверждать, что вертикальная составляющая от суммарного внешнего водообмена может составлять 22–23 %.

Достоверность этой величины подтверждается также результатами косвенного подхода к оценке водообмена болот с помощью методов изотопного анализа, которые приведены в работе [202]. Согласно этой работе, возраст болотных вод придонных горизонтов верховых массивов составляет 100–150 лет. Если принять среднюю величину возраста этих вод равной 125 годам, а мощность залежи центральной части исследуемого массива 3,5 м (рисунок 5.22), то величина вертикального оттока болотных вод составит 28 мм в год. На основании этих же исходных параметров средняя скорость фильтрации будет составлять $9 \cdot 10^{-8}$ см/с.

Полученная нами скорость фильтрации для инертного горизонта торфяной залежи значительно ниже диапазона значений, приведенных в работе [67] для сильно разложившегося верхового торфа, который составляет

$8 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-6}$ см/с. Однако здесь следует заметить, что данный диапазон отражает результаты обобщения исследований коэффициентов горизонтальной фильтрации торфа в естественном состоянии торфяной залежи при максимальной степени разложения 60–65 % [112, 115].

Результаты полевых изысканий показывают, что торфяные отложения при естественном залегании обладают различной водопроницаемостью в горизонтальном и вертикальном направлениях. При этом коэффициенты фильтрации также зависят и от степени уплотнения (разложения) торфа, когда они по абсолютной величине снижаются на порядки. Степень разложения торфа в придонных слоях торфяной залежи болотного массива Ламмин-Суо составляет 55–80 %, местами достигая 90 % (раздел 5.4) [217]. Согласно приведенным в работе [17] данным, коэффициенты вертикальной фильтрации верховой торфяной залежи мощностью 2,5 м и градиенте напора > 1 устанавливаются на уровне $6 \cdot 10^{-8}$ см/с, что близко к полученному ранее значению.

Принимая во внимание вышеизложенное, следует интерпретировать данные таблицы 16.2 следующим образом. Значение внешнего водообмена болотного массива в целом для первого периода 22 мм примерно соответствует вертикальному оттоку воды под торфяную залежь. Если предположить, что данная величина мало меняется по времени, то к концу рассматриваемого периода наблюдений около 130 мм слоя воды за гидрологический год стекает с болотного массива помимо русловой сети. В среднем для второго периода эта величина составляет 95 мм. Если разграничение периодов производить не по фактическому ряду наблюдений — по году последнего наибольшего притока воды на болото (1981), а по аппроксимирующей кривой (рисунок 16.3) для начального периода наблюдений, то мы получим базисный вертикальный отток воды с болота Ламмин-Суо при наименьшем градиенте напора, который равен 9–10 мм в год.

Эти значения близки к полученной выше величине вертикального стока с центральной части болотного массива, которая составила 7,2 мм. Линия аппроксимации значений внешнего водообмена с 1950 по 1970 год представляет собой боковой тренд (флэд), ордината которого соответствует базисному вертикальному водообмену какого-либо болотного массива, в данном случае Ламмин-Суо, в целом. Так как «работают» преимущественно периферийные части болотного массива, то полученный базисный вертикальный сток по своей величине должен быть близок к значению стока для центральной части болота. Степень вариации искомой величины определяют окрайки болота, где при разнонаправленности значений водообмена при боковом тренде происходит их взаимокompенсация. После 1970 года во

внешнем водообмене наблюдается преобладание оттока воды с болота. При этом увеличение внешнего водообмена болотного массива происходит опять же за счет его периферийных областей, а вертикальный водообмен для центральной части остается относительно постоянным.

Рассмотренные выше результаты воднобалансовых исследований дают достаточно четкое представление о величинах и соотношении составляющих водного баланса верховых болот северо-запада России. Для решения научных и практических задач, связанных с изучением и освоением болот рассматриваемого региона, полученные воднобалансовые данные, при учете климатических условий Карельского перешейка, можно распространять на неизученные однотипные болотные массивы.

ГЛАВА 17

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВНУТРИБОЛОТНЫХ ОЗЕР

17.1. Уровенный режим внутриболотных озер

Наблюдения за гидрологическим режимом внутриболотных озер болотного массива Ламмин-Суо проводятся на озере Купальное, расположенном у северо-западной границы болота (рисунки 4.7 и 4.14). Это наибольшее по площади зеркала воды (18 тыс. м²) озеро на болотном массиве, с максимальной глубиной более 10 м и объемом воды 67 тыс. м³. Оно принадлежит к генетически связанной цепи озер, разделенных торфяно-минеральными перемычками (рисунок 4.24), состоящей из двух открытых первичных озер (Две Сестры) и трех заросших озер. Гидрографическое описание озера и его морфометрические параметры приведены в главе 4. На рисунках 4.19 и 4.22 представлены батиметрическая карта и мощность торфяных отложений на минеральном дне озерной котловины.

Водомерный пост расположен на северном берегу озера, который представляет собой торфяно-минеральную перемычку, отделяющую его от озера Питьево. В методическом плане озерный пост принадлежит к совокупности пунктов наблюдения за уровнями воды болота, составляющих водомерный створ № 1.

Водное питание озера Купальное осуществляется за счет фильтрационного притока вод с части болотного массива и атмосферных осадков, выпадающих на зеркало водоема. Основной сток воды из озера проходит по малопроточной топи, примыкающей к южной оконечности акватории, через заросшее озеро Бездонное в ручей Западный. Другая часть стока осуществляется через полосу лагга, примыкающего к западной границе болотного массива, также в ручей Западный. В последние годы, совпадающие с очередным периодом высокой водности и относительно теплыми зимними сезонами, наблюдается перелив воды из озера Питьево в озеро Купальное через торфяно-минеральный перешеек (рисунок 17.1).



Рисунок 17.1. Перетекание воды из озера Питьево в озеро Купальное через торфяно-минеральный перешеек (11 марта 2016 года)

Обобщенные данные наблюдений (1964–2013 гг.) за уровнем воды на рассматриваемом озере приведены в таблицах 1 и 2 раздела 7 Приложения «Многолетние характеристики».

На рисунке 17.2 представлен ход средних месячных значений уровня воды в озере Купальное в характерные по водности годы и средний за рассматриваемый период наблюдений. Средний объем весеннего притока воды в озеро по средним суточным данным соответствуют повышению уровня воды на 10–12 см. Ход уровня воды в период весеннего половодья для ряда

лет (1980, 1989–1990, 1995, 2001 гг.) имеет не характерный вид для периода наблюдений в целом и требует отдельного рассмотрения. Для многоводных лет изначально характерны относительно высокие уровни воды, которые, помимо весны, поддерживаются обильными летне-осенними дождевыми осадками. Маловодные годы, как правило, начинаются с относительно низких уровней воды, а отсутствие летне-осенних осадков приводит к длительному периоду истощения озера, после чего начинается приток грунтовых вод с суходола.

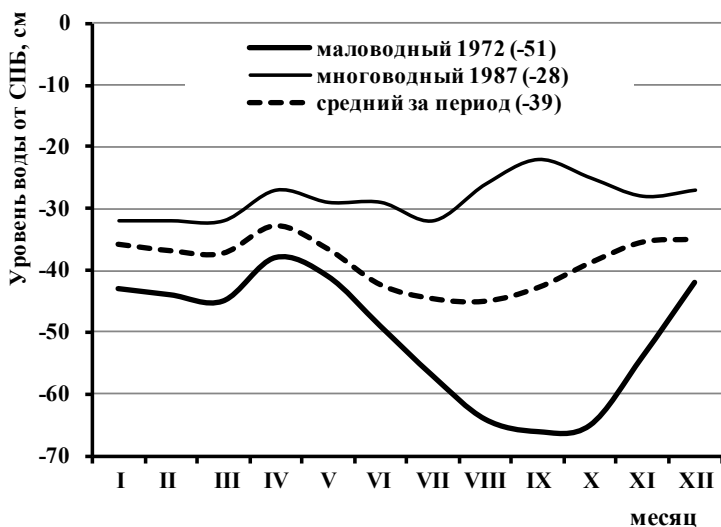


Рисунок 17.2. Ход средних месячных значений уровня воды озера Купальное в разные по водности годы и средний за рассматриваемый период наблюдений (в скобках приведено среднее годовое значение)

В годовом колебании уровня воды озера прослеживаются два максимума (весенний и осенний) и два минимума (летний и зимний).

Весенний подъем уровня воды на озере начинается обычно в конце марта – начале апреля. Максимальный весенний уровень, который в большинстве случаев является и максимальным годовым, наблюдается в апреле–мае. Продолжительность подъема уровня в весенний период различна и зависит от целого ряда факторов, таких как величина влагозапасов в снежном покрове, интенсивность снеготаяния и количество выпадающих в этот период атмосферных осадков. Продолжительность подъема колеблется в широких пределах и составляет от одного до двух месяцев. Пик половодья достаточно четко выражен, хотя в отдельные годы период высокого стояния уровня растягивается на несколько дней. Интенсивность спада уровня воды различна и определяется в основном метеорологической ситуацией этого периода.

Снижение уровня, прерываемое отдельными небольшими подъемами, вызванными осадками, продолжается до июля–сентября.

Летний минимальный уровень в большинстве случаев наблюдается в июле, хотя в ряде лет наступает в августе–сентябре. В осенний период происходит повышение уровня, обусловленное снижением испарения, как с водной поверхности, так и водосборной площади озера, и увеличением количества выпадающих атмосферных осадков. Осенний максимум уровня воды соизмерим с весенним пиком, хотя обычно ниже весеннего, а в отдельные годы (особенно многоводные) он заметно превышает весенние значения.

В течение зимнего периода уровень воды в озере плавно понижается. Отдельные небольшие повышения уровня воды (2–3 см) в этот период связаны с оттепелями и с увеличением нагрузки на ледовый покров, связанной с обильными снегопадами. Зимний минимум уровня воды наблюдается в феврале–марте. По величине он заметно выше летнего минимума.

Средний многолетний годовой ход амплитуды по средним месячным значениям уровня воды составляет всего 18 см, что характерно для малых внутриболотных озер на верховых болотах. В то же время конкретные средние по водности годы различны как по годовой амплитуде изменения уровня воды, так и по его внутригодовому распределению. Минимальная годовая амплитуда изменения уровня воды наблюдалась в 2004 году и составляла 13 см, а максимальная — в 1999 году (46 см).

Самый низкий уровень воды в озере за рассматриваемый период наблюдался 31 августа 1973 года и составлял -71 см. Наиболее высокий уровень воды зафиксирован 10 апреля 1994 года и равнялся -19 см. Соответственно, абсолютная амплитуда изменения уровня воды в озере за период наблюдений составила 52 см.

Взаимодействие озерных вод с болотными и грунтовыми водами анализировалось с позиций водного баланса болотного массива в целом (глава 16). Для рассмотрения этой частной задачи были привлечены режимные данные по гидрогеологическим скважинам 360 и 374, болотным скважинам 101–104 первого водомерного створа, болотным скважинам 210–212 второго водомерного створа. Закрытая скважина 211 расположена в 95 м от скважины 210 по направлению к центру болота и имеет период наблюдений с 1950 по 1989 год. Закрытая скважина 212 расположена в северной части второго болотного створа на расстоянии 285 м от его пересечения с болотным створом № 1 и имеет период наблюдений с 1950 по 1984 год.

Наиболее тесная связь уровней воды в озере с уровнями болотных вод первого водомерного створа наблюдается со скважиной 101 (рисунок 17.3). Теснота связи объясняется расположением скважины — это перешеек между

озерами на границе лагга, питание которого в значительной степени зависит от озерных вод. В зоне разгрузки (скважина 102) связь между уровнями озерных и болотных вод отсутствует. Далее, по направлению к генетическому центру болотного массива, такая связь постепенно начинает проявляться. В транзитной зоне (скважина 103) коэффициент детерминации (R^2) равен уже 0,39 и в зоне питания (скважина 104) достигает значения 0,46. Это доля дисперсии значений уровней озерных вод, которая зависит от степени обводнения купола болотного массива.

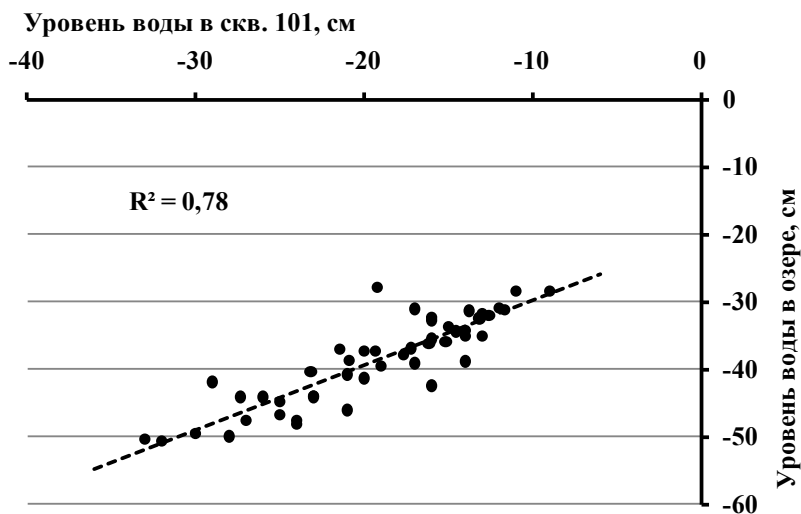


Рисунок 17.3. Связь между средними годовыми уровнями воды озера Купальное и болотной скважины 101

Связь между уровнями воды в озере и скважинами 210 и 211 второго водомерного створа отсутствует, поскольку расположенный здесь сравнительно более обводненный сфагново-осоковый микроландшафт дренируется ручьем Западный и находится вне зоны влияния разгрузки озерных вод. Определенная связь существует между уровнями воды в озере и болотными водами (скважина 212) северной оконечности второго водомерного створа, причем параметры данной зависимости за время совместных наблюдений описывают два календарных периода (рисунок 17.4).

Первый период характеризует зависимость между озерными и болотными водами до момента реконструкции водопропускного сооружения под автодорогой на ручье Северный, в результате чего высотная отметка порога слива болотных вод в ручей заметно повысилась. К концу 1975 года уровни болотных вод на северной периферии болотного массива начинают повышаться (рисунок 17.4). С 1976 года устанавливается новая зависимость

между озерными и болотными водами, соответствующая второму периоду наблюдений, при котором уровень воды на данном участке болота повысился в среднем на 18 см. При этом нельзя определенно утверждать, что характер водного режима начального периода был ближе к естественному состоянию болота.

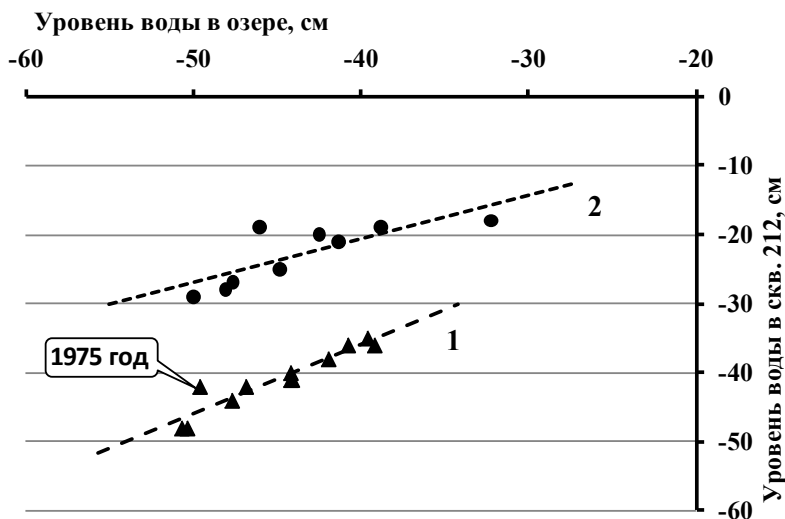


Рисунок 17.4. Связь между средними годовыми уровнями воды озера Купальное и болотной скважины 212: 1 — до 1975 года, 2 — с 1976 года

Дело в том, что в недалеком прошлом на данном участке болота в небольших объемах производилась добыча торфа кустарным способом путем ручной резки торфяных кирпичей (блоков). Последствия такой торфоразработки видны как на современном космическом снимке, так и подтверждаются условными обозначениями на старых финских картах (рисунок 17.5). В связи с этим, существующие морфометрические параметры каналообразного пересечения ручьем высокого оза (Ленинские горы) вызывают определенные сомнения в естественном происхождении этого «канала». Предположительно на рубеже XIX–XX веков естественная седловина вышеупомянутого оза была искусственно углублена с целью подсушки рассматриваемого участка болотного массива. Данное обстоятельство требует отдельного рассмотрения в будущем.

На рисунке 17.6 представлен совмещенный ход уровня воды в озере и ближайших к нему гидрогеологических скважинах 360 и 374. Как видно из рисунка, колебания многолетних циклов водности на гидрогеологических скважинах относительно синхронны. Взаимосвязь между показателями водности этих скважин для указанного периода времени находится на

уровне $R^2=0,58$. Относительно низкая амплитуда изменения уровней грунтовых вод в скважине 374 объясняется тем, что скважина расположена в пределах контура болотного массива (раздел 7.2).

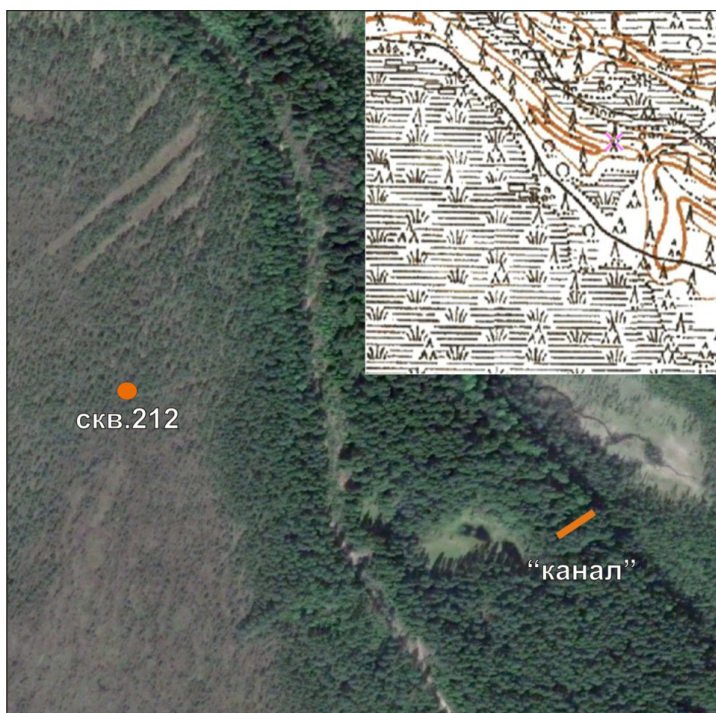


Рисунок 17.5. Современный космический снимок истоков ручья Северный с фрагментом финской карты масштаба 1:20 000 1939 года

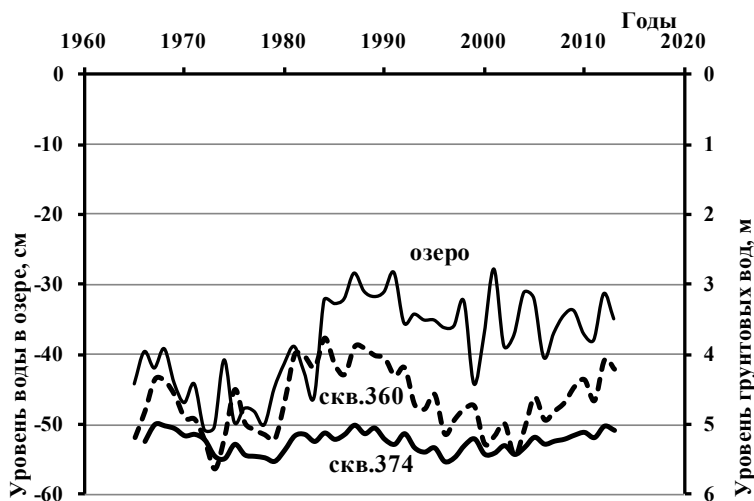


Рисунок 17.6. Совмещенный ход средних годовых значений уровня воды в озере Купальное и гидрогеологических скважинах (1964–2013 гг.)

В то же время на графике хода уровней воды в озере проявляется заметное нарушение естественной цикличности водности. Водные ресурсы, как зарегулированные вследствие реконструкции водопропускного сооружения на ручье Северный, так и начального периода наступившего многоводного цикла, были израсходованы на пополнение многолетних запасов воды северной части болотного массива (водосбор ручья Северный в целом). Не помешала данному процессу и прокладка газопровода вдоль северо-восточной периферии болотного массива. То есть в результате строительства (1984–1985 гг.) порог слива ручья Северный не был понижен и, скорее всего, был еще несколько повышен. К сожалению, в это время скважина 212 была закрыта, а специальных наблюдений по определению уклонов водной поверхности на данном участке болота не производилось. Если средний годовой уровень воды в озере Купальное в начальный период наблюдений соответствовал -45 см, то к 2013 году он установился на отметке -34 см. Ход уровня воды в озере за последние десятилетия не отражает и многолетней цикличности водности болотного массива в целом. Установившемуся гидрологическому режиму способствует не столько перетекание воды из озера Питьево (рисунок 17.1), сколько увеличивающееся прямое питание с водосборной площади ручья Северный. Как уже было отмечено ранее для юго-восточной части болота, площади водосборов на болотных массивах не постоянны и изменяются в ходе естественных процессов роста торфяной залежи. В случае же антропогенного воздействия такая трансформация происходит значительно быстрее.

Связь между уровнем воды в озере и уровнем грунтовых вод в скважине 374 отсутствует. Определенная взаимосвязь между уровнем озера и уровнем грунтовых вод в скважине 360 прослеживается до 1992 года (рисунок 17.7), далее эта связь не проявляется. В то же время (с 1991 года) появляется взаимосвязь между уровнями воды в озере и суммарным внешним водообменом болотного массива с окружающей средой (рисунок 17.8). Причем достоверность аппроксимации этой связи увеличивается с 0,62 до $R^2=0,74$ при использовании обратных значений суммарного внешнего водообмена. Чем больше внешний водообмен, тем ниже уровень воды в озере. То есть скорее внешний водообмен определяет уровень воды в озере, а не наоборот. Это объясняется тем, что наибольшая доля суммарного водообмена связана с оттоком на южной и юго-западной периферии болотного массива, а непосредственно на озерную котловину в большей степени влияют лишь отрицательные значения водообмена, то есть приток. Малые значения водообмена (менее 100 мм) наблюдаются при относительно широком диапазоне высоких уровней воды на озере. При высоких значениях водообмена взаимосвязь между рассматриваемыми характеристиками становится более тесной.

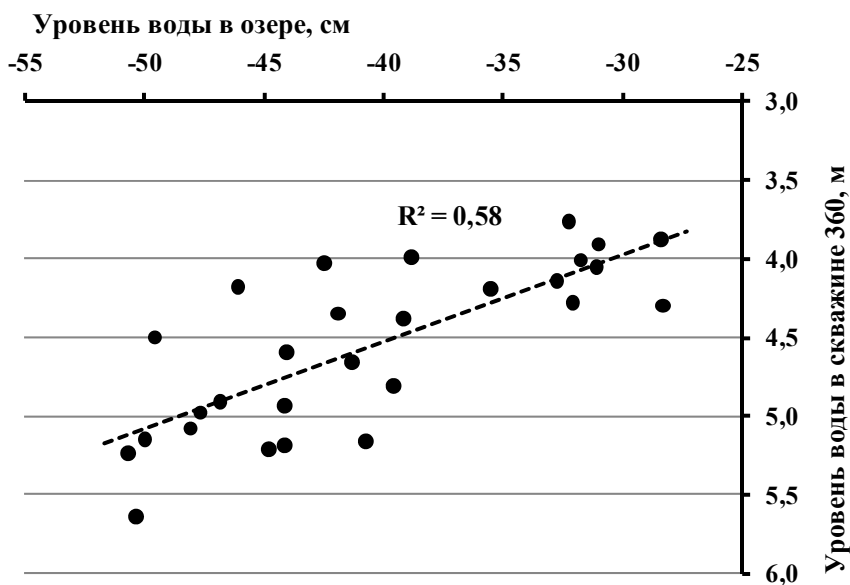


Рисунок 17.7. Связь между средними годовыми уровнями воды озера Купальное и гидрогеологической скважины 360 (1965–1992 гг.)

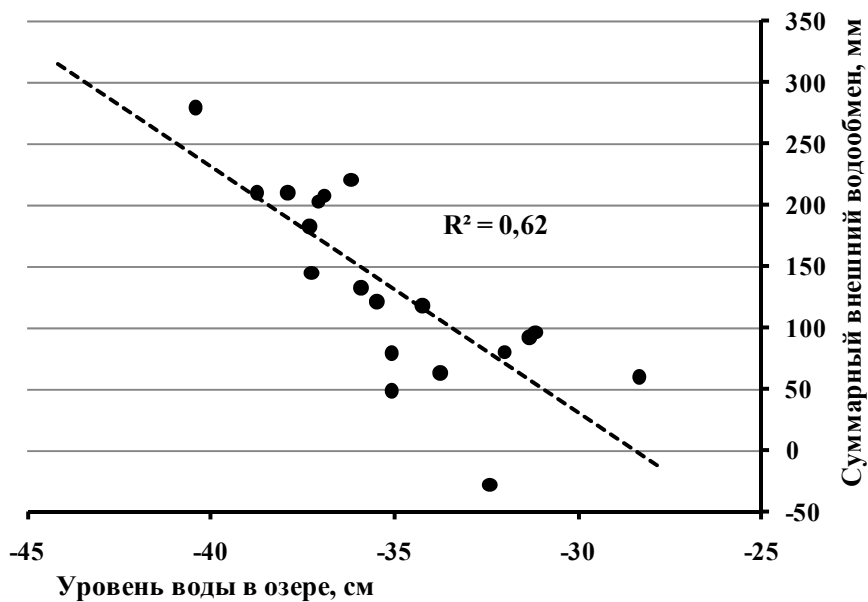


Рисунок 17.8. Связь между средними годовыми уровнями воды озера Купальное и суммарным внешним водообменом болотного массива (1991–2012 гг.)

Таким образом, результаты анализа взаимодействия режима уровней озерных и болотных вод подтверждают схему гидродинамического стекания

воды с болотного массива, рассмотренную в предыдущих главах. Характер взаимодействия озерных и грунтовых вод также не противоречит результатам исследований водного режима в рассматриваемом аспекте.

17.2. Ледовый режим внутриболотных озер

Изучение ледового режима внутриболотных озер представляет большой интерес для организаций, осваивающих заболоченные территории. Возможность передвижения по внутриболотным озерам в холодное время года может существенно отличаться от обычных озер по несущей способности ледяного покрова. Вопросы прокладки зимников на осваиваемых болотах и проблемы транспорта в зимнее время нельзя решить без знания их промерзания и ледового режима на внутриболотных озерах. Невозможно проводить и воднобалансовые расчеты без сведений о ледовом режиме этих озер. Поскольку водное питание и условия залегания болотных озер весьма разнообразны даже в пределах одного типа болот, то гидрохимический состав воды и их реакция на гидрометеорологические условия заметно различаются. На интенсивность теплообмена в пограничном слое с атмосферой заметное влияние оказывает температурный режим торфяной залежи на контакте с озером, который характеризуется значительной инерцией по отношению к изменчивости температур воздуха.

Наблюдения за толщиной льда на озерах болотного массива Ламмин-Суо на протяжении работы болотной станции носили кратковременный или эпизодический характер. Режимные наблюдения за интенсивностью нарастания и разрушения льда на озере Купальное производились один раз в 5 дней как составная часть в рамках отдельных специальных наблюдений. Ниже приводится характеристика ледового режима по материалам наблюдений трех зимних сезонов (2011–2014 гг.), которые в первом приближении соответствуют установившимся к настоящему времени климатическим параметрам для болотной метеостанции Ламмин-Суо.

На рисунке 17.9 представлены данные об интенсивности нарастания толщины льда озера Купальное для характерного зимнего периода (2011–2012 гг.). Как видно из рисунка, начало ледостава на озере характеризуется наиболее интенсивным ростом толщины льда. В середине зимы интенсивность ледообразования стабилизируется на более низком уровне, постепенно снижаясь к концу зимы. Независимо от продолжительности зимнего сезона по его завершении толщина льда начинает увеличиваться более интенсивно за счет мерзлого слоя в виде наслуда.

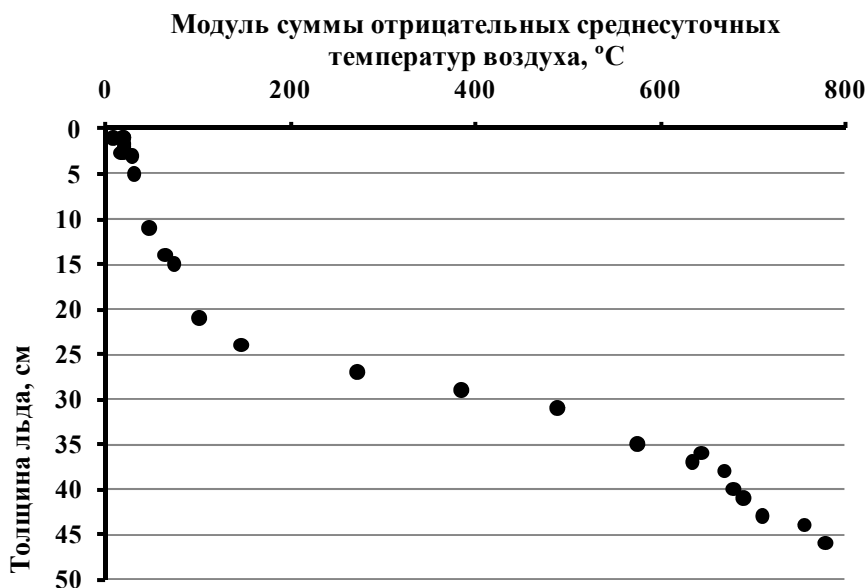


Рисунок 17.9. Толщина льда на озере Купальное за зимний период 2011–2012 гг.

Для определения средней толщины льда ($h_{\text{л}}$, см) на внутриболотных озерах выбрана простая линейная зависимость в виде:

$$h_{\text{л}} = a|\Sigma(-t)| \pm b, \quad (17.1)$$

где $|\Sigma(-t)|$ — модуль суммы отрицательных среднесуточных температур воздуха, °С; а и b — эмпирические параметры.

В таблице 17.1 представлены эмпирические параметры формулы 17.1 и границы ее применения. Диапазон применения формулы обусловлен ограниченным набором обработанных данных, которые соответствуют относительно теплomu периоду. Средняя толщина льда, полученная по эмпирическим зависимостям, для прибрежной полосы озер может отличаться на $\pm(20\text{--}25)\%$ от расчетных значений.

Толщина льда на полностью внутриболотном озере Купальное заметно меньше, чем на озере № 3, которое лишь на 12 % длины своего периметра соприкасается с болотом. Зарастающее озеро Копеечка, имеющее наименьшую мощность поверхностного органогенного слоя (сплавины), показывает в два раза меньшую глубину промерзания по сравнению со сфагново-кустарничково-пушицевым, облесенном сосной микроландшафтом. Глубина промерзания на более заторфованных заросших озерах, в последовательности Бездонное-Торфяное-Сухое, постепенно приближается к величинам, соответствующим упомянутому выше микроландшафту.

Гидрохимическая характеристика внутриболотных озер рассмотрена в разделах 14.2.2 и 14.2.3 главы 14.

Общее представление об испарении с внутриболотных озер болотного массива Ламмин-Суо можно получить из раздела 12.4 главы 12, где рассматриваются вопросы испарения как с водной поверхности, так и с различных микроландшафтов олиготрофных болот.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГИДРОЛОГИИ БОЛОТ

18.1. Краткий обзор гидрологических моделей

Математическое моделирование — относительно новое направление в гидрологии, под которым понимается исследование процессов и явлений с помощью моделей, соединяющих в себе знания о физических явлениях и методы прикладной математики. Таким образом, математическая модель — это приближенное описание природных процессов и явлений, выраженное с помощью математических правил и математической символики [23]. Математической моделью может быть одно единственное уравнение, а может быть и сложная система уравнений, связывающая различные физические процессы [24].

Вправе считать, что математическое моделирование в гидрологии болот появилось одновременно с появлением расчетных методов. В 1950-е годы на Зеленогорской болотной станции начали проводиться комплексные исследования гидрологических и гидрофизических процессов на болоте Ламмин-Суо. На основе их результатов уже в те годы был разработан ряд методик по определению характеристик водно-теплового режима болот. Так,

К. Е. Ивановым в эти годы был разработан метод расчета стока с болотных массивов — метод фильтрационных характеристик, позволяющий рассчитать сток с болот, проходящий через любой заданный контур [62, 64]. В это же время В. В. Романовым [185] был разработан метод расчета испарения с болот, основанный на тесной связи испарения с радиационным балансом.

На основе результатов исследований процесса промерзания болот А. П. Доманицким и С. А. Чечкиным [50, 216] получены расчетные зависимости для определения глубины промерзания болот по метеорологическим данным. В частности, формула А. П. Доманицкого, включающая в себя все основные параметры, обуславливающие процесс промерзания болот, дает хорошие результаты расчета [50]:

$$H = \sqrt{\left(h \frac{\lambda_M}{\lambda_C}\right)^2 - \frac{2T\lambda_M}{W_{об}L} (t - t_0) + H_0^2 + 2H_0h \frac{\lambda_M}{\lambda_C} - h \frac{\lambda_M}{\lambda_C}}, \quad (18.1)$$

где H — глубина промерзания болотной залежи (см), H_0 — глубина промерзания в начальный момент времени t_0 (см), λ_M и λ_C — теплопроводность промерзшего слоя и снежного покрова (кал/см·с·град), $W_{об}$ — содержание воды в единице объема залежи (в долях от единицы), L — скрытая теплота плавления (кал/г), T — температура поверхности снега, принимаемая равной температуре воздуха (С°), h — мощность снежного покрова (см).

Сток воды с болотных массивов напрямую зависит от уровней болотных вод, поэтому установление уровня режима болота представляется важным этапом в процессе моделирования формирования стока с болот. Первые методики по расчету уровней болотных вод на болотах по метеорологическим данным появились в конце 1950-х — начале 1960-х годов [62, 136, 137]. В 1969 году была опубликована статья И. В. Некрасовой [134] по расчету уровней болотных вод по метеоданным с помощью ЭВМ.

Большой интерес представляет схема расчета водно-теплового режима бугристых болот, разработанная Ю. П. Москвиным в 1980-х годах [125]. На основе экспедиционных исследований, выполненных на севере Западной Сибири, были получены эмпирические зависимости характеристик водно-теплового режима болот от определяющих их метеорологических факторов.

В последние годы получили развитие гидроэкологические модели болот — модели баланса двуокиси углерода в системе «почва—растительность—атмосфера» [85]. При разработке модели использовались, в частности, результаты экспериментальных работ на болоте Ламмин-Суо.

Касаясь современных математических моделей, следует отметить, что наиболее известные гидрологические модели, применительно к речным бассейнам, в нашей стране были разработаны в ГМЦ, а затем в Институте

водных проблем РАН (Л. С. Кучмент [102], А. Н. Гельфан [41], В. Н. Демидов [48], Ю. Г. Мотовилов [126], Е. М. Гусев [223]), в Государственном гидрологическом институте (Ю. Б. Виноградов [23, 24]), а также в Тихоокеанском институте географии ДВО РАН (Б. И. Гарцман [40]). Эти модели представляют собой системы с распределенными параметрами и различной реализацией разбивки водосбора. Они могут быть адаптированы к моделированию стока с болотных массивов, но до сих пор в отечественной гидрологии этот вопрос не получил должного освещения.

Из зарубежных моделей отметим те, которые в какой-то мере касаются болот.

Модель MODFLOW (Геологическая служба США — USGS) — модульная трехмерная конечно-разностная модель подземного стока [229]. При моделировании назначается 12 слоев (6 торфяных слоев и 6 слоев минеральной почвы).

Модель DRAINMOD описывает гидрологические процессы на осушенных и неосушенных заболоченных территориях, а также при близком залегании грунтовых вод. Модель способна воспроизводить ежедневный уровень воды в болотных массивах с точностью ± 10 см [231].

Модель PHIM разработана для оценки стока с осушенных и естественных болот [233]. Модель PHIM состоит из пяти модельных блоков: UPLAND (модель водного баланса для минеральных почв залесенных плоскогорий), PEAT (модель водного баланса для естественных болотных массивов), MINE (модель стока для разработанных болот), CROUTE и RROUTE (модели, описывающие движение воды в торфяном / минеральном слое почвы и в русле реки).

Модель Пенман-Монтейн (Penman-Monteith model) — модель оценки испарения с увлажненных поверхностей, в частности, эта модель была использована для расчета испарения с заболоченной тундры [232]. Испарение рассчитывается в зависимости от солнечной радиации, температуры воздуха, влажности воздуха, скорости ветра и характера подстилающей поверхности.

Перспективным направлением математического моделирования в области гидрологии болот является создание моделей развития болотных массивов, основой для которых могут служить гидроморфологические зависимости, разработанные К. Е. Ивановым [62].

18.2. Природные особенности болот

Торфяная толща верховых болот по гидрологическим свойствам разделяется на два слоя. Данные исследований показали, что верхний слой болотных массивов (деятельный горизонт) резко отличается от остальной толщи

(инертного слоя) торфяной залежи по водно-физическим свойствам залежи, гидрологическим и биохимическим процессам.

Деятельный слой болот представляет собой относительно тонкий горизонт слабо разложившейся торфяной залежи (от 5 до 25 %), тогда как инертный горизонт сложен залежью с более высокой степенью разложения (в придонных слоях до 80 %) [112]. В деятельном слое в связи с колебанием уровня болотных вод сильно изменяется его влагосодержание, в инертном горизонте количество воды практически постоянно. Для деятельного слоя характерно резкое (от 10–12 см/сек на поверхности — до 0,003 см/сек на глубине около 1 м) снижение коэффициентов фильтрации с глубиной [57, 203].

Следует отметить, что сток воды с болотного массива осуществляется сосредоточенным по площади массива фильтрационным потоком. По количественной оценке К. Е. Иванова [62], расход воды, проходящий через инертный слой, составляет менее 1 % от расхода, пропускаемого деятельным слоем, т. е. практически весь сток с болота проходит через относительно тонкий поверхностный слой торфяной залежи — деятельный слой. Поэтому при моделировании формирования стока с болот водопропускную способность инертного горизонта можно принять равной нулю.

Для верховых болот, в отличие от суходолов, характерен один водоносный горизонт от поверхности болота до его дна. Специфической особенностью, прежде всего, верховых болот является то обстоятельство, что уклоны поверхности болотных вод практически всегда равны уклонам поверхности самого болота.

Верхний горизонт деятельного слоя, обладая большой пористостью, практически беспрепятственно пропускает выпадающие осадки до уровня болотных вод. Близость уровней воды к поверхности болота обуславливает синхронность их колебаний в различных болотных микроландшафтах.

Болотные воды с верховых массивов, стекая к их окрайкам, образуют ручьи и участки подтопления суходолов. В зонах подтопления формируется диффузионный сток с болот.

При создании математических моделей гидрологических и гидрофизических процессов, протекающих на болотных массивах, необходимо учитывать рассмотренные выше особенности строения торфяной залежи, механизма перемещения в ней воды, динамики тепла и фазовые превращения влаги.

18.3. Динамика тепла в торфяной залежи верховых болот

Тепловые процессы в торфяной залежи оказывают значительное, а иногда и определяющее влияние на режим промерзания и оттаивания торфяной

залежи, испарение и формирование стока с болотного массива. Поэтому при построении математической модели стока с болот следует со вниманием отнестись к выбору их математического описания. Существуют различные способы учета влияния тепловых процессов. Наиболее полным является расчет по общему уравнению теплопроводности в частных производных. Также существует ряд упрощенных методов определения динамики тепла в почве (торфяной залежи).

Уравнение теплопроводности для почвенной (торфяной) колонки обычно записывается в виде:

$$\frac{\partial T(t, z)}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T(t, z)}{\partial z^2}, \quad (18.2)$$

где $T(t, z)$ — температура (град) за время t (с) и на глубине Z (м); K — коэффициент температуропроводности ($\text{м}^2/\text{с}$), $K = \frac{\lambda}{c\rho}$, λ — коэффициент теплопроводности ($\text{кал}/\text{м}\cdot\text{с}\cdot\text{град}$), $c\rho$ — объемная теплоемкость ($\text{кал}/\text{м}^3\cdot\text{град}$).

Тепловые свойства верхнего деятельного слоя болотных массивов в течение годового цикла меняются в очень больших пределах. В ходе исследований тепловых свойств В. В. Романов [185] определил факторы, влияющие на теплопроводность торфяной залежи: ботанический состав, степень разложения, внутриклеточная влагоемкость, капиллярные и фильтрационные свойства, температура и влажность торфа. После проведения цикла опытов была выведена формула теплопроводности торфяной залежи, учитывающая влияние основных (температура и влажность торфа) факторов:

$$\lambda = \lambda_6 + m(W - 10) + 1,583 \cdot 10^{-5}(\theta - 6) + 0,0417 \cdot 10^{-7}W(\theta - 6), \quad (18.3)$$

где λ_6 — значение коэффициента теплопереноса при температуре 6С° и влажности $W = 10\%$, примерно равное $7 \cdot 10^{-5}$ $\text{кал}/\text{см}\cdot\text{с}\cdot\text{град}$; m — параметр, величина которого изменяется от $1,0 \cdot 10^{-5}$ до $0,75 \cdot 10^{-5}$; W — объемная влажность, выраженная в процентах; θ — температура торфяной залежи (С°).

Таким образом, за основу расчета динамики тепла в торфяной залежи может быть принята схема, включающая общее уравнение теплопроводности (18.2) и формулу теплопроводности торфяной залежи (18.3). Уравнение теплопроводности может быть использовано в упрощенном виде, как в предложенной расчетной схеме для определения динамики тепла для моделей формирования стока Ю. Б. Виноградовым [24] и А. С. Литвиным [107]. Для расчета почвенная (торфяная) колонка делится на несколько расчетных слоев. Каждый расчетный слой считается однородным по всем своим характеристикам. Задается начальный профиль температуры, т. е. ее среднее

значение $\tilde{\theta}_i$ для каждого расчетного слоя. На каждый расчетный интервал времени задается значение температуры воздуха и температуры на нижней границы последнего расчетного слоя торфяной залежи, определяющей теплообмен с нижележащими слоями.

Принятая расчетная схема была проверена на болотном массиве Ламмин-Суо за периоды оттаивания торфяной залежи (март–апрель) и для теплого периода (май). Для расчета температуры торфяного слоя в условиях прогревания торфяная колонка была разбита на 4 слоя (от поверхности до глубины 20 см, от 20 см до 40 см, от 40 см до 60 см, и от 60 см до 80 см). В качестве начальных и граничных условий были заданы начальный профиль температуры в торфяной залежи (средние значения температуры для каждого слоя на начало первого расчетного интервала времени), а также средняя температура воздуха и температура торфяной залежи на нижней границе последнего расчетного слоя, которая определяет теплообмен с нижележащими слоями торфа. На рисунке 18.1 представлен график динамики температуры в торфяной залежи на болотном массиве Ламмин-Суо, расчетные значения сравниваются с наблюдаемыми температурами торфяной залежи, полученными по установке 1 (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт, центральная часть массива).

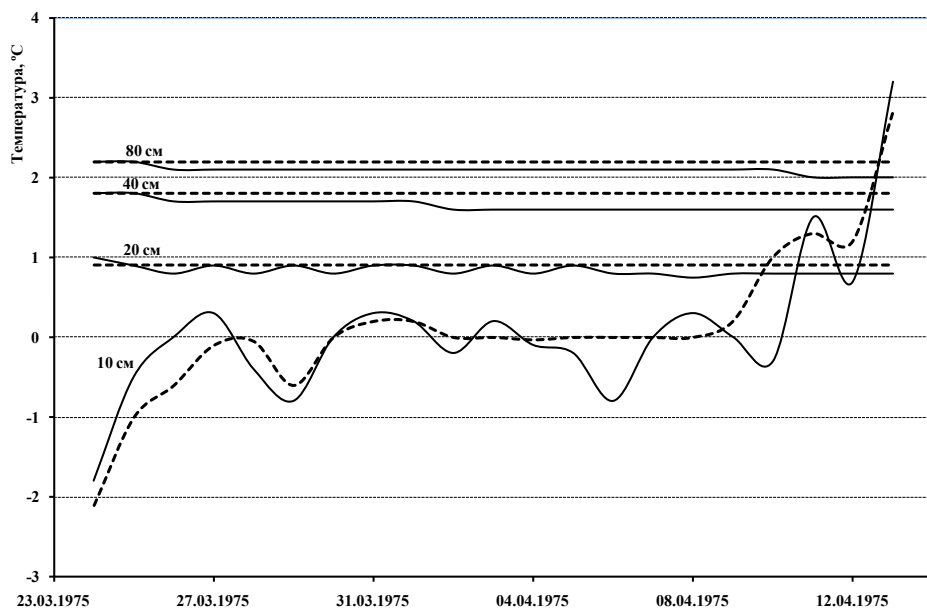


Рисунок 18.1. Рассчитанные (пунктиром) и наблюдаемые значения температуры торфяной залежи болота Ламмин-Суо (март–апрель 1975 года) на глубинах 10, 20, 40 и 80 см

Для расчета динамики тепла в торфяной залежи за теплый период года почвенная колонка была разбита на 6 слоев (5, 10, 15, 20, 40, 80 см), были заданы начальные и граничные условия, как и в предыдущем варианте расчета, т. е. средние значения температуры для каждого слоя на начало первого расчетного интервала времени, средняя температура воздуха и температура торфяной залежи на нижней границе последнего расчетного слоя. На рисунке 18.2 представлен график динамики температуры торфяной залежи на болотном массиве Ламмин-Суо за май 1975 года [116].

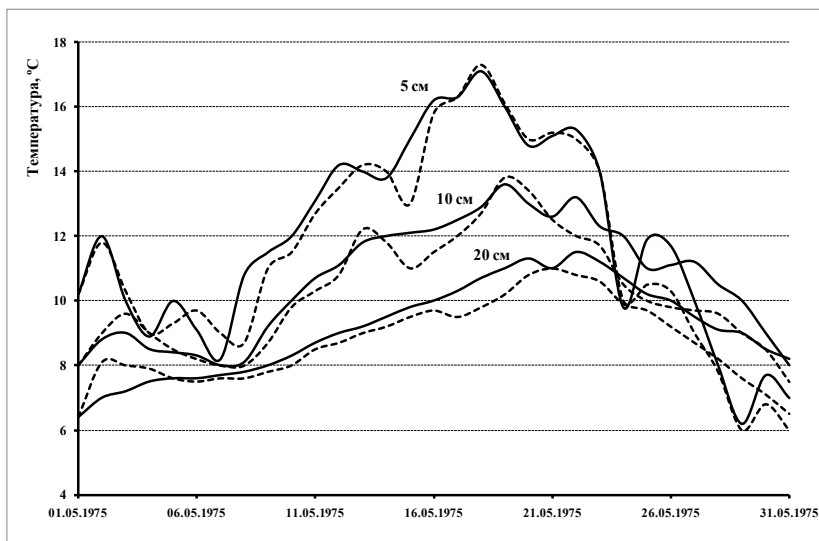


Рисунок 18.2. Рассчитанные (пунктиром) и наблюдаемые значения температуры торфяной залежи болота Ламмин-Суо (май 1975 г.) на глубинах 5, 10 и 20 см

Сравнение результатов расчетов и наблюдаемых значений температуры торфяной залежи показывает качественное их соответствие и близость численных значений. Использование уравнения теплопроводности (18.2) в сочетании с формулой теплопроводности торфяной залежи (18.3) позволяет адекватно оценивать динамику тепла в деятельном слое болота, и такая расчетная схема пригодна для применения в математических моделях формирования стока с болотных водосборов.

18.4. Испарение с болотных массивов

Испарение имеет важное значение в водно-тепловом режиме болот: в расходной части водного баланса болотных массивов его доля составляет 75 %, а сток — 25 % [62].

Интенсивность испарения с поверхности болот зависит от метеорологических факторов и уровня болотных вод. При снижении уровня воды на болоте интенсивность испарения уменьшается незначительно до тех пор, пока не прекратится капиллярный подток воды к испаряющей поверхности и верхняя граница зоны капиллярного поднятия не окажется ниже корнеобитаемого слоя. В естественных условиях на болотах критическая глубина уровней болотных вод, при которой наступает перелом в изменении интенсивности испарения, по исследованиям В. В. Романова [185], составляет 50 см.

Суммарное испарение состоит из двух процессов: испарения с поверхности торфяной залежи и транспирации растений. Основными факторами испарения являются солнечная энергия и количество влаги, поступающей к испаряющей поверхности.

С. В. Курдюмов [100] отмечает, что снижение влажности торфа ниже нормальной влагоемкости (88 %) возможно лишь за счет испарения. Им было определено, что в интервале от 72 % до 88 % диффузия влаги в торфе из более глубоких слоев к его поверхности еще не лимитирует интенсивность испарения с поверхности торфа. При достижении значений влажности в 72 % (так называемого первого критического влагосодержания) режим испарения меняется. Интенсивность испарения снижается с уменьшением влажности по линейному закону в среднем до 40 %. При дальнейшем снижении влажности интенсивность испарения резко падает и при влажности в среднем 20 % становится равной нулю. Как следует из упомянутого выше, при расчете испарения необходимо учитывать высоту капиллярного поднятия. Для верховых болот В. В. Романов [185] указывает на высоту капиллярного поднятия в деятельном слое равной 15–20 см. Корни болотных кустарничков не распространяются глубже 10–20 см, следовательно, при понижении уровня болотных вод до глубины 25–40 см верхняя граница капиллярной каймы опустится ниже корней кустарничков. Поскольку кустарнички окажутся без доступной для них капиллярной влаги, их транспирация, а также величина суммарного испарения при прочих равных условиях резко сократится.

В отечественной литературе предлагается несколько методов для определения испарения с болот. Рассмотрим расчетные зависимости трех авторов: А. И. Ивицкого, В. В. Романова и Ю. Б. Виноградова.

Формула А. И. Ивицкого, учитывающая не только метеорологические факторы, но и глубину залегания уровней болотных вод, разработана для определения испарения с оголенной торфяной почвы [71]:

$$E = \frac{aD(1 - 0,1\omega)}{e^n} \quad (18.4)$$

где E — испарение в миллиметрах, мм; D — дефицит влажности воздуха, мм; ω — скорость ветра в м/с, e — основание натурального логарифма, n — показатель степени, зависящий от расстояния до уровня болотных вод z (см) и равный $n = 1,3z \div 1,5z$, a — коэффициент, изменяющийся в пределах 0,9–1,0.

Расчетная зависимость В. В. Романова [185] для определения испарения имеет следующий вид:

$$E = \alpha R_g + C, \quad (18.5)$$

где E — испарение с болотного массива, мм; R_g — радиационный баланс, дж/см²; α — коэффициент, зависящий от уровня болотных вод и фазы развития растений, мм см²/Дж (определяется по эмпирической зависимости); C — испарение за счет адвекции тепла с прилегающих к болоту суходолов, мм.

Формула Ю. Б. Виноградова, используемая им в гидрологической модели «Гидрограф», является одной из наиболее простых расчетных зависимостей для определения испарения с поверхности суши:

$$E = \chi d, \quad (18.6)$$

где d — эффективный дефицит влажности воздуха, мб; χ — эмпирический коэффициент пропорциональности.

Рассмотренные методы по расчету испарения были применены для определения испарения с болотного массива Ламмин-Суо за теплый период 2000 года. Для оценки точности расчетов были использованы данные наблюдений за испарением, полученные на Зеленогорской болотной станции. В качестве входной информации при расчете испарения использовались данные о дефиците влажности воздуха, скорости ветра, уровне грунтовых вод, облачности, солнечной радиации и альбедо подстилающей поверхности. Значения коэффициентов в формулах А. И. Ивицкого и Ю. Б. Виноградова приняты следующими: $a = 0,9$; $n = 1,5$, $\chi = 0,4$.

Для определения величины радиационного баланса использовалось следующее выражение:

$$R_g = (I + i) * (1 - A) - E_{эф}, \quad (18.7)$$

где $I + i$ — сумма прямой и рассеянной радиации при безоблачном небе (кал/сут·см²), зависящая от широты местности, времени года (определялась

по таблицам суммарной солнечной радиации при безоблачном небе на широте 60 градусов) [185]; A — альbedo поверхности в долях от единицы (значение альbedo поверхности болотного массива устанавливался в пределах от 0,1 до 0,32); $E_{эф}$ — эффективное излучение поверхности почвы (по данным по облачности и температуре), определялось по номограмме Е. Д. Ковалевой и Т. В. Кирилловой (кал/сут·см²) [185].

На рисунке 18.3 и в таблице 18.1 приведены рассчитанные по трем методам и наблюдаемые величины испарения с поверхности болота за теплый период года.

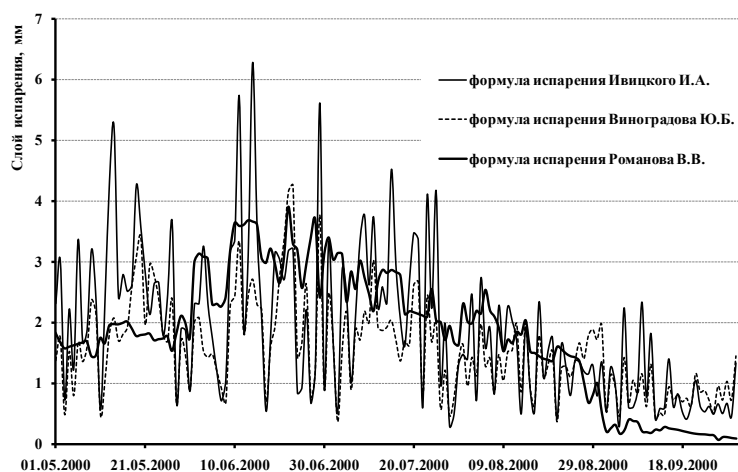


Рисунок 18.3. Суточные суммы испарения с болотного массива Ламмин-Суо (сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт) за теплый период 2000 года

Таблица 18.1. Рассчитанные и наблюдаемые величины испарения (мм) с болотного массива Ламмин-Суо за теплый период 2000 года

| Автор формулы | Месяц | | | | | Теплый период |
|-------------------|-------|----|-----|------|----|---------------|
| | V | VI | VII | VIII | IX | |
| Ивицкий А. И. | 76 | 74 | 73 | 45 | 25 | 293 |
| Виноградов Ю. Б. | 55 | 62 | 52 | 43 | 25 | 238 |
| Романова В. В. | 55 | 93 | 76 | 49 | 6 | 279 |
| Данные наблюдений | 57 | 66 | 54 | 39 | 23 | 239 |

Результаты расчета испарения по предложенным методам показывают, особенно формула Ю. Б. Виноградова, удовлетворительную сходимость расчетных и измеренных величин испарения. Следует отметить, что, несмотря на некоторое завышение величин испарения, рассчитанных по методам А. И. Ивицкого и В. В. Романова, данные методы могут применяться при

моделировании гидрологических процессов, в том числе и моделях формирования стока с болот. Хорошая сходимость вычисленных по формуле Ю. Б. Виноградова величин испарения с наблюдаемыми вызывает некоторое сомнение и требует серьезной проверки ее «работы» на обширном материале. Если высокое качество расчетов по ней подтвердится, то ее можно будет рекомендовать для использования в моделях.

18.5. Концепция моделирования стока с болотных массивов

Несмотря на то, что сток воды является не самым значимым элементом расходной части водного баланса болотных массивов (вода расходуется главным образом на испарение), изучение этого элемента представляет несомненный научный и практический интерес. В последние годы все больше внимания уделяется методам расчета стока воды с болот на основе математического моделирования [223, 224, 230].

Как правило, в гидрологических моделях болота описываются в рамках отдельных блоков, имеющих заранее определенный набор ключевых параметров. При создании блока расчета стока с верховых болот в математических моделях необходимо учитывать следующие особенности формирования стока на этих природных объектах:

- поверхностный сток на верховых болотах практически отсутствует, следовательно, интенсивность стока определяется главным образом фильтрационной способностью различных горизонтов;

- вследствие очень малых значений коэффициентов фильтрации инертного горизонта, последний играет роль относительного водоупора;

- колебание уровней грунтовых вод на верховых болотах в различных микроландшафтах происходит синхронно;

- стекание воды с болотного массива может продолжаться лишь до тех пор, пока не истощится запас свободной (несвязанной) воды в деятельном горизонте болота, т. е. пока уровни болотных вод находятся в пределах этого горизонта;

- вследствие отсутствия русловой сети на простых болотных массивах, вода с них стекает путем фильтрации через деятельный слой.

В отечественной гидрологии болот отмеченную выше специфику строения торфяной залежи и механизма перемещения в ней воды наиболее полно учитывает следующий метод расчета стока: метод фильтрационных характеристик [62, 64]. На основании анализа гидроморфологических связей и единичных расходов для заданных горизонтов в различных микроландшафтах выводится формула модуля стока с болотного массива:

$$m_t = q_z \frac{l}{\omega}, \quad (18.8)$$

где m_t — модуль стока с болотного массива в любой момент времени t (л/с·км²), q_z — единичный расход воды (л/с·км²), определяемый по кривым связи $q_z = f(z)$ для заданного горизонта z в данный момент времени t , в микроландшафте, имеющем контур стекания l (км), ω — площадь заключенного внутри контура l микроландшафта или группы микроландшафтов (км²).

Таким образом, задача расчета стока с верхового болотного массива за любой момент времени сводится к определению уровней болотных вод в различных микроландшафтах, а также длин контуров стекания и площадей этих микроландшафтов.

Рассматриваемый метод можно применять для расчетов стока воды как со всего болотного массива, так и с любой его части.

На основании рассмотренных особенностей гидрологических процессов на верховых болотах и широких возможностей расчета стока методом фильтрационных характеристик рекомендуется следующий порядок проведения моделирования стока с болотных массивов:

1) сбор гидрометеорологической информации (осадки, облачность, температура воздуха и подстилающей поверхности, влажность воздуха) и сведений о водно-физических свойствах болотных микроландшафтов (коэффициенты фильтрации и водоотдачи);

2) выбор начальных условий (назначение начального уровня болотных вод Z_0);

3) дешифрирование аэрофотоснимков болота с целью построения типологической карты болота с сеткой линий стекания, необходимой для определения входных характеристик (тип болотного микроландшафта, длины расчетного контура, площадь массива);

4) расчет уровней болотных вод по метео данным;

5) расчет расхода воды с болотного массива с помощью метода фильтрационных характеристик.

Моделирование формирования стока со специфических поверхностей, к которым относятся и заболоченные территории, сопряжено с множеством проблем, связанных с учетом их особенностей. Несмотря на достаточно большое число проведенных исследований в области оценки стока с верховых болотных массивов, разработанные методы находят применение в основном для расчетов стока с малых болотных массивов и водосборов. При моделировании формирования стока с водосборов больших рек и в условиях недостаточности информационного обеспечения необходимо прибегать к

разумному упрощению, к компромиссу между детальностью и возможностью реализации модели. В процессе развития новых средств измерений составляющих водного баланса и расширения экспериментальных и экспедиционных исследований можно рассчитывать на более точные решения поставленных проблем.

Задачи дальнейших гидрологических исследований болот и пути модернизации специализированной сети болотных станций Росгидромета

Основной задачей специализированной сети болотных станций Росгидромета является осуществление гидрометеорологического мониторинга болот для оценки изменений водно-теплового режима болот, а также прогнозирования как климатических изменений, так и изменений, происходящих под влиянием антропогенного воздействия на окружающую среду. Опираясь на материалы комплексных исследований и режимных наблюдений станций, решаются задачи практического плана, связанные со строительством объектов хозяйственной деятельности на болотах, площадным освоением заболоченных территорий и их охраной. По мере накопления информации о режиме болот уточняются задачи дальнейших исследований в области гидрологии болот [124].

Как следует из содержания настоящей монографии, за 65 лет работы Зеленогорской болотной станции получен уникальный материал по гидрометеорологическому режиму болота Ламмин-Суо, освещающий достаточно детально практически все аспекты водно-теплового режима и составляющих водного и теплового баланса этого болотного массива. Поскольку болото Ламмин-Суо в определенной мере является репрезентативным для болотных

массивов Северо-Запада РФ, то закономерности гидрологических и гидрофизических процессов, выявленные на этом болоте, можно относить на неизученные верховые болота исследуемого региона. Анализ результатов обобщения полученных материалов дает основание для постановки дальнейших задач исследований как на болоте Ламмин-Суо, так и в области гидрологии болот в целом. Весьма актуальным также является восстановление работы по методическому руководству болотными станциями Росгидромета, и в первую очередь, по проведению методических инспекций, без чего невозможно обеспечить полное единообразие методов измерений и необходимое качество данных наблюдений.

19.1. Задачи дальнейших гидрологических исследований болот

Появление новых технических средств для получения, передачи и обработки данных наблюдений открывает широкие возможности как в уточнении результатов ранее выполненных наблюдений и исследований, так и в решении вновь возникающих научных и практических задач. К числу научных задач гидрологии болот следует отнести следующие:

— исследование степени постоянства во времени зависимостей $K_z=f(z)$ и $\xi_z=f(z)$ для различных болотных микроландшафтов, изменяющихся в процессе эволюции массива, с целью корректировки параметров в формулах расчета стока с болот и прогнозов изменения влагозапасов в торфяной залежи;

— организация гидрохимического мониторинга на верховых болотах за загрязнением поверхности суши со стороны атмосферы для оценки характера и интенсивности этого процесса, поскольку других способов его изучения в зоне умеренного климата пока нет;

— широкомасштабные инструментальные определения характера и интенсивности вертикального водообмена верховых болот с подстилающими минеральными грунтами с целью оценки величины такого водообмена для различных регионов страны;

— исследование на новом по точности измерений уровне температурного режима поверхности болот и его особенностей для более глубокого познания процессов испарения с болот, промерзания и оттаивания торфяной залежи, теплообмена в деятельном слое с целью корректировки расчетных зависимостей;

- разработка методики прогнозирования пожароопасной ситуации для болот на основе обуславливающих ее гидрометеорологических факторов;
- разработка методики определения диффузного стока с болот и оценка его величины для уточнения расчетов водного баланса верховых болот;
- исследование режима колебания поверхности болота с помощью современных технических средств для повышения точности определения расчетной поверхности болота;
- определение направления и интенсивности современного болотообразовательного процесса в различных регионах страны;
- изучение химического состава болотных вод по глубине торфяной залежи с целью определения «природы» болотных вод и характера процесса вертикального водообмена с подстилающими болото минеральными грунтами;
- исследование режима испарения с болота на уровне суточных величин для определения временной и пространственной вариации испарения и уточнения параметров расчетных зависимостей;
- определение возраста болотных вод на разных глубинах торфяной залежи с целью установления их «природы» при исследовании генезиса болот.

В этой связи к числу приоритетов для болотных станций следует отнести следующие задачи:

- осуществление гидрометеорологического мониторинга болот (по обновленной программе стандартных наблюдений);
- проведение экспериментальных работ по определению коэффициентов фильтрации и водоотдачи в изменившихся за последние 50–60 лет (в процессе эволюции массива) болотных микроландшафтах;
- проведение инструментальных съемок вертикального водообмена болот с подстилающими минеральными грунтами на основе наблюдений за режимом уровней болотных и грунтовых вод;
- проведение наблюдений за гидрохимическим режимом в центральной части верховых болотных массивов для оценки степени загрязнения поверхности суши со стороны атмосферы;
- проведение экспериментальных работ по определению диффузного стока с верховых болот;
- наблюдения за колебанием поверхности болота с помощью современных технических средств;
- наблюдения за тепловым и ледовым режимом внутриболотных озер;
- наблюдения за интенсивностью роста и расширения болотных массивов.

Техническое переоснащение болотных станций следует начать с Зеленогорской полевой экспериментальной базы, являющейся методическим центром наблюдательной сети на болотах. Здесь (на болоте Ламмин-Суо) необходимо провести проверку работы новых приборов и оборудования в полевых условиях с целью разработки рекомендаций по их установке, надежной защите и эффективному использованию на специализированной сети болотных станций и постов Росгидромета. Опыт работ по автоматизации и модернизации наблюдений на болоте Ламмин-Суо будет востребован при реализации проекта по техническому переоснащению и модернизации специализированной сети болотных станций Росгидромета.

19.2. Концепция развития и модернизации сети наблюдений на болотах

Рассматривая задачи дальнейших исследований Зеленогорской болотной станции, следует коснуться основных положений современной концепции развития и модернизации наблюдательной болотной сети Росгидромета. Прежде всего, следует напомнить, что до распада СССР на территории Российской Федерации в системе Гидрометслужбы работали 10 болотных станций и 27 болотных постов [11, 122, 143]. В настоящее время (2016 год) по сокращенной программе наблюдений работают только две болотные станции: Брусовица (с 1941 года, Северное УГМС) и Зеленогорская (с 1950 года, ГГИ). Остальные станции и посты закрыты.

Таким образом, сеть специализированных болотных станций находится в критическом состоянии и нуждается в восстановлении. Фактически это означает отсутствие в наиболее заболоченной стране мира системы мониторинга болот — одного из трех основных видов объектов поверхностных вод суши. Водохозяйственная система страны представляет собой комплекс водных объектов, на которых поддерживается водный режим, обеспечивающий наиболее рациональное использование и охрану водных ресурсов. Между тем, из перечня основных водных объектов поверхности суши болота являются в гидрологическом отношении наименее изученными. В частности, недостаточно изученными остаются еще низинные болота и болота зоны многолетней мерзлоты, практически не исследованы болота, расположенные восточнее реки Енисей. На современное изменение гидрологического режима водных объектов заметно влияет и дальнейшее заболачивание территории, в частности, Северо-Западного региона, где в последнее время наблюдается устойчивая тенденция увеличения атмосферных осадков.

Между тем, огромные площади осушенных болот по-прежнему несут потенциальную опасность пожаров и, вследствие этого, значительного выброса в атмосферу угарных газов. Интенсивное строительство на болотах и заболоченных землях вблизи мегаполисов нуждается в информации о гидрологическом режиме этих территорий для предотвращения негативных последствий его нарушения. Несмотря на запрет сброса сточных вод на рельеф увеличивается число и объемы сбросов загрязняющих веществ на болота. Наиболее пагубно это отражается на экологии низинных болот, которые на территории страны наименее изучены с точки зрения гидрологии. Важно и то, что размещение объектов углеводородной отрасли страны в настоящее время и в перспективе связано с районами высокой заболоченности зоны многолетней мерзлоты на севере ЕТР и Сибири.

Основным принципом, положенным в основу размещения сети болотных станций с начала их организации, является ландшафтно-гидрологический (географо-гидрологический по В. Г. Глушкову) подход. Основой для его использования послужила классификация болот, разработанная К. Е. Ивановым и Е. А. Романовой. Применительно к болотным станциям этот подход предполагает охват наблюдениями всех болотных зон (провинций) с целью получения гидрометеорологической информации по всем основным типам болот, встречающимся в стране. Именно этот подход был применен при открытии сети болотных станций в бывшем СССР в середине прошлого века. Этот метод исследований предусматривает рациональное сочетание стационарных, экспедиционных и дистанционных исследований и методов расчета гидрологических характеристик по метеорологическим данным опорной сети метеостанций [39, 64, 139, 140, 142, 189]. Уникальные по своим масштабам и продолжительности комплексные экспедиционные исследования болот были реализованы на примере Западно-Сибирской экспедиции ГГИ [16, 42].

Специализированная сеть болотных станций в системе Гидрометслужбы СССР начала создаваться в конце 1930-х — начале 1940-х годов. Связано это было в основном с изучением возможности передвижения тяжелой техники по различным типам болот в разное время года и усиливающейся нехваткой топливных ресурсов для промышленности и населения. После открытия углеводородных месторождений Западной Сибири потребность в новых торфоразработках постепенно теряет свою актуальность в масштабах страны и приобретает региональный уровень. Мощности торфяной индустрии поэтапно переориентируются на освоение болот и заболоченных земель под лесотехнические мероприятия и сельское хозяйство. К 1980-м годам сеть

болотных станций в основном была создана и количество пунктов наблюдений стабилизировалось.

Полностью реализовать ландшафтно-гидрологический подход при организации наблюдательной сети в масштабах страны по ряду причин не удалось: организованные болотные станции и посты оказались преимущественно на ЕТР, в зоне олиготрофных сфагновых болот. За Уралом были открыты лишь две станции: Тарманская (Обь-Иртышское УГМС) и Новолиствянка (Хабаровское УГМС) и порядка 10 болотных постов. Наблюдения за режимом болот были организованы только в двух из пяти болотных зон — зоне олиготрофных сфагновых болот и зоне плоских евтрофных и мезотрофных болот.

Модернизация сети болотных станций на территории Российской Федерации должна включать в себя несколько основных компонентов, в числе которых восстановление закрытых и открытие новых болотных станций, их оснащение современными приборами и оборудованием, в том числе с передачей получаемой информации по каналам связи, восстановление, а во многих случаях и расширение программ наблюдений. Автономность регистрирующей аппаратуры позволяет минимизировать численный состав сотрудников станции при значительном увеличении территории мониторинга как по охвату различных болот, так и других водных объектов. При данных условиях для охвата всей территории страны оптимальным является наличие семи модернизированных болотных станций: три станции на ЕТР, три станции в Западной Сибири и одной в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке.

На начальном этапе необходимо восстановить целостность объектов и программы наблюдений на действующих в настоящее время двух болотных станциях с модернизацией всего приборного парка, включая применение современных средств автоматизированного сбора, передачи и обработки данных. В дальнейшем необходимо восстановить наблюдения в районах действия закрытых станций Тарманская и Новолиствянка. Первая, расположенная в зоне плоских евтрофных и мезотрофных болот, предполагает освещение гидрометеорологического режима болот южной части Западной Сибири. Вторая, условно Восточно-Сибирская, предназначена для исследования типичных болот восточной части страны в условиях хозяйственного освоения территории и изменения климата. Станция будет использоваться и как центр для организации экспедиционных исследований в этом обширном регионе страны.

На завершающем этапе оптимизации специализированной сети следует открыть три новые болотные станции с условными названиями: Подмосковная, Среднеобская и Пуртазовская. Первая станция предлагается для

мониторинга южной и центральной части ЕТР для изучения водно-теплого режима низинных болот с целью гидрологического обоснования проектов их обустройства, оценки влияния преобразования этого типа болот на их пожарную безопасность. Вторая станция предлагается к размещению в зоне олиготрофных сфагновых болот Западной Сибири — уникальном по заболоченности мировом феномене. Деятельность Пуртазовской станции будет направлена на исследование многолетнемерзлых болот Западной Сибири в районах интенсивного промышленного и хозяйственного освоения, где распространены полигональные и бугристые болота.

Основные положения концепции развития и модернизации сети болотных станций и постов:

1. Научно обоснованный выбор естественных болотных массивов для организации гидрометеорологических наблюдений, базирующийся на следующих принципах:

— охват наблюдениями всех болотных зон (провинций) с целью получения гидрометеорологической информации по всем основным типам болот, встречающихся на территории страны;

— привязка пунктов наблюдений на болотах к районам их интенсивного площадного освоения (добыча торфа, лесоустройство, сельское хозяйство, обустройство месторождений полезных ископаемых, мегаполисы) с целью получения фоновой информации для проектирования и строительства промышленных и хозяйственных объектов на болотах и оценки их влияния на окружающую среду;

— выбранный основной болотный массив должен быть типичным для изучаемой болотной зоны (провинции);

— на выбранном массиве должны быть необходимые условия для организации учета руслового стока (притока);

— болотные массивы для организации болотных станций по возможности не должны быть слишком далеко удалены от населенных пунктов во избежание возникновения проблем с подбором кадров, решением вопроса транспорта и связи.

2. Модернизация наблюдательной сети с использованием автоматических средств измерений предусматривает кардинальное повышение качества получаемой информации о гидрометеорологическом режиме болот, а также увеличение объема (количества) гидрологических данных по слабо изученным болотам севера ЕТР, территории Сибири (за Енисеем) и Дальнего Востока.

3. Модернизация, как система современной технологии получения, сбора и обработки гидрологической информации, должна начинаться с

действующих в настоящее время болотных станций (Зеленогорская и Брусовица).

4. Развитие наблюдательной сети необходимо осуществлять по двум направлениям:

— восстановление реперных (с длинными рядами наблюдений) станций и постов специализированной гидрологической сети Росгидромета, закрытых в конце прошлого века (станции Тарманская и Новолиствянка);

— открытие новых болотных станций и постов в интенсивно осваиваемых и перспективных в хозяйственном отношении регионах страны.

Болотные посты в труднодоступных и, как правило, слабо изученных районах должны быть автоматизированы для работы в автономном режиме. Для повышения эффективности работы этих постов целесообразно делать их комплексными, т. е. включать в программу их работы наблюдения на ближайших к болоту реках и озерах. Комплексные посты должны располагаться в так называемых гидрологических «узлах», чтобы иметь возможность на относительно небольшой по размерам площади организовать наблюдения за режимом на достаточно большом (порядка 10) числе водных объектов и, прежде всего, на реках с разными гидрографическими характеристиками их водосборов. В результате из одного пункта наблюдений можно будет получать гидрометеорологическую информацию о режиме болот, озер и рек. Открыв ряд таких комплексных постов, можно осуществлять мониторинг водных объектов на достаточно обширной территории. Для обслуживания комплексных автоматизированных постов на базе существующих подразделений Росгидромета создаются мобильные полевые группы, которые посещают пункты наблюдений с установленной периодичностью, в зависимости от состава и программы работ.

5. Научное обоснование выбора нарушенных болотных массивов для проведения гидрологического мониторинга (в том числе, при различных видах антропогенного воздействия на болота) и открытия на них гидрометеорологических постов. Такие посты целесообразно открывать в первую очередь на выработанных торфяниках, объектах нефтяной и газовой инфраструктуры, расположенных на болотах, для обеспечения гидрометеорологической информацией как природопользователей, так и государственных учреждений, занимающихся прогнозом изменения условий функционирования болотных экосистем и, в частности, прогнозом опасных явлений.

Выбор новых пунктов наблюдений производится в соответствии с требованиями действующих «Наставлений» Гидрометслужбы, а в зоне многолетней мерзлоты — и с учетом «Рекомендаций» (Приложение к главе). Оборудование постов и производство наблюдений проводится по методикам и

рекомендациям, соответствующим составу устанавливаемых на посту приборов. Для стандартных приборов (до 1993 года) — по требованиям и методикам действующих «Наставлений». Модернизированные и новые приборы (после 1993 года) должны быть сертифицированы и внесены в Государственный реестр средств измерения РФ и применяться в соответствии с утвержденным назначением, типом измерений, методикой и периодичностью проверки. Для экспериментальных работ и научных исследований допускается применение приборов и средств измерений согласно инструкциям производителя (изготовителя) по их использованию.

Среди новых видов наблюдений на болотных станциях, планируемых к включению, особо следует отметить те, которые направлены на оценку изменения химического состава воды под влиянием антропогенного загрязнения и самоочищения болот, изучение генезиса болот и интенсивности процесса заболачивания территории, гидрофизических свойств нарушенных торфяников и газового баланса болот. Все эти направления весьма актуальны в современных условиях, в том числе для прогнозирования долгосрочных последствий цикличности климатических изменений. Являясь одним из наиболее важных мировых хранилищ углерода, болота влияют и на баланс парниковых газов. Тесная взаимосвязь между климатом и болотами (интенсивностью торфонакопления) позволяет рассматривать последние в качестве индикатора климатических изменений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стационарные гидрометеорологические наблюдения на болотах, которые проводятся в системе Гидрометслужбы с конца 1930-х годов, были стандартизированы в 1946 году с выходом в свет «Наставления», вып. 8 «Гидрометеорологические наблюдения на болотных станциях». За время работы болотных станций накоплен обширный уникальный материал по водно-тепловому режиму различных по типу болотных массивов, находящихся как в естественном, так и в затронутом хозяйственной деятельностью состоянии. До распада СССР наблюдения проводились на 10 станциях.

В середине 1970-х — начале 1980-х годов сотрудниками болотных станций и ГМО УГМС под руководством отдела гидрологии болот ГГИ были выполнены работы по обобщению материалов наблюдений на всех действующих в то время станциях. К 1985 году эти работы были завершены, а к началу 1990-х годов по ряду станций были подготовлены рукописи монографий-справочников «Болота N-ой области, их строение и гидрометеорологический режим». Из-за крайне сложной общей ситуации в стране и институте (сокращение финансирования) рукописи не были опубликованы. Следует отметить, что из 10 болотных станций, работавших в системе Гидрометслужбы, лишь на Зеленогорской болотной станции помимо стандартных наблюдений сотрудниками ГГИ проводились многолетние комплексные работы по исследованию гидрологических и гидрофизических процессов, протекающих на болотных массивах. На других станциях научные исследования велись лишь по отдельным специфическим аспектам, присущим конкретным природным и антропогенным условиям изучаемого болотного массива, под руководством отдела гидрологии болот ГГИ.

Настоящая работа является первой публикацией, освещающей результаты обобщений материалов многолетних наблюдений одной из болотных станций Гидрометслужбы. Представленная в ней информация и методы расчета гидрологических характеристик заболоченных территорий предназначены для широкого их использования при изучении, освоении и охране болот. Весьма продолжительные ряды наблюдений за растительным покровом и элементами гидрометеорологического режима позволили дать детальную характеристику строения болотных микроландшафтов, получить сведения об их эволюции, изменения гидрометеорологического и водно-теплового режима болот изучаемой территории.

В этой монографии важно было дать оценку работы специализированной болотной сети Росгидромета, не забывая, что эта сеть является главным и

основным источником исходной информации для развития гидрологии болот, а также определить задачи дальнейших исследований болот, разработав принципы реорганизации наблюдательной сети на болотах страны, пути ее модернизации и автоматизации.

Наблюдения за растительным покровом болота Ламмин-Суо и других массивов показали, что смена болотных микроландшафтов — не такой уж медленный природный процесс, как представлялось раньше. За последние 60 лет на этом болоте, в основном за счет увеличения доли древесной составляющей в растительном покрове, произошла смена ряда микроландшафтов. Относительно «быстрая» естественная эволюция болотных микроландшафтов создала проблему использования в гидрологических расчетах водно-физических характеристик деятельного слоя торфяной залежи, полученных для них в прошлые годы. Дело в том, что за столь «короткий» период структура деятельного слоя существенно измениться не может, а, следовательно, не могут заметно измениться и его водно-физические свойства. Однако вопрос, связанный с выбором водно-физических характеристик при проведении гидрологических расчетов в условиях изменения (эволюции) типа болотного микроландшафта, остается. Не ясно, для какого микроландшафта надо брать эти характеристики — для того, который был раньше, или для «нового», сменившего его. Решение этого вопроса следует искать в производстве новых экспериментальных работ по определению водно-физических свойств (прежде всего коэффициентов фильтрации и водоотдачи) деятельного слоя торфяной залежи «новых» микроландшафтов.

Проведенный анализ литературы по исследованиям процесса заболачивания территории показал, что этот процесс в настоящее время наблюдается преимущественно в лесной зоне и в основном за счет «расползания» верховых болот. Для прогноза его интенсивности в разных регионах страны накопленных данных явно недостаточно, необходима организация и проведение более широких исследований этого процесса с учетом большого разнообразия геоморфологических условий залегания болотных массивов.

Болота и заболоченные земли в нашей стране по-прежнему занимают огромную территорию, составляя около 20 % от ее площади. Совершенно очевидно, что существующая в настоящее время сеть мониторинга на болотах явно недостаточна и не отвечает современным требованиям по вопросам обеспечения экологической безопасности и природоохранной практики. Базы исходных данных для долгосрочного прогноза и моделирования сценариев по таким вопросам, как пожарная безопасность, заболачивание территории, криогенная устойчивость многолетнемерзлых торфяников, крайне малы или отсутствуют вовсе для целого ряда регионов страны.

Обобщение материалов наблюдений болотных станций показало, что точность определения отдельных гидрометеорологических характеристик и расчетных параметров (испарение с болот, температура поверхности болота, положение расчетной поверхности болота) уже не отвечает предъявляемым современным требованиям. Следует отметить, что благодаря техническому прогрессу в области приборостроения в настоящее время имеется реальная возможность решить задачу повышения точности этих и других наблюдений, обеспечив болотные станции современными средствами измерения и регистрации данных.

Анализ полученных результатов при обобщении материалов наблюдений Зеленогорской болотной станции позволил уточнить задачи дальнейших гидрологических исследований в области гидрологии болот, определить перечень дополнительных наблюдений и экспериментальных работ на специализированной сети. Решение этих задач возможно лишь при осуществлении реорганизации, модернизации и автоматизации сети болотных станций Росгидромета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдусаматов Х. И. О долговременных вариациях потока интегральной радиации и возможных изменениях температуры в ядре Солнца // Кинематика и физика небесных тел. 2005. Т. 21. № 6. С. 471–477.
2. Антипов А. Н., Нечаева Е. Г., Дружинина Н. П. и др. Природа таёжного Прииртышья — Новосибирск: Наука, 1987. 256 с.
3. Арефьева А. И. Сезонные колебания поверхности сфагновых болот под влиянием гидрометеорологических факторов // Тр. ГГИ. Л., 1963. Вып. 105. С. 80–108.
4. Арсланов Х. А., Денисенков В. П., Исаченко Г. А., Потапова Т. М., Тертычная Т. В., Чернов С. Б. Болота Северо-Западного Приладожья: темпы торфонакопления и индикация техногенного загрязнения атмосферы // Длительные изменения и современное состояние ландшафтов Приладожья. СПб.: СПбГУ, 1995. С. 71–80.
5. Атлас торфяных ресурсов СССР / Институт географии АН СССР / под ред. А.С. Оленина. М.: Гл. управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1968. 96 л.
6. Бавина Л. Г. Водный баланс низинных болот Полесской низменности // Тр. ГГИ. Л., 1966. Вып. 135. С. 181–196.
7. Бавина Л. Г. Уточнение расчетных параметров испарения с болот по материалам наблюдений болотных станций // Тр. ГГИ. Л., 1967. Вып. 145. С. 69–96.
8. Бавина Л. Г., Романов В. В. Испарение с болот болотно-таежной зоны Западной Сибири // Тр. ГГИ. Л., 1969. Вып. 157. С. 66–77.
9. Балясова Е. Л. Изменчивость уровня режима болот верхового типа на Европейской территории Союза // Тр. ГГИ. Л., 1974. Вып. 222. С. 3–20.
10. Батуев В. И. Динамика характеристик снежного покрова в г. Санкт-Петербурге и его окрестностях за 60-летний период наблюдений (1950–2011 гг.) // Сборник работ по гидрологии, № 28 / под ред. В. С. Вуглинского. СПб.: ФГБУ ГГИ, 2011. С. 14–22.
11. Батуев В. И., Новиков С. М. Современное состояние специализированной болотной сети Росгидромета, перспективы ее развития и модернизация болотных станций // Сборник работ по гидрологии, № 28 / под ред. В.С. Вуглинского. СПб.: ФГБУ ГГИ, 2011. С. 23–28.

12. Батуев В. И., Ганул А. Г., Новиков С. М. Возраст реликтовых болот севера Западной Сибири // Вестник ТГПУ. Томск, 2015. Вып. 2. С. 185–191.
13. Белоцерковская О. А. Тепловой режим грядово-мочажинного комплекса верхового болота // Торф и его переработка. М.: Недра, 1968. С. 23–30.
14. Белоцерковская О. А., Ларгин И. Ф., Романов В. В. Исследование поверхностного и внутризалежного испарения на верховых болотах // Тр. ГГИ. Л., 1969. Вып. 177. С. 16–38.
15. Богдановская-Гиенэф И. Д. О некоторых основных вопросах болотоведения // Ботанический журнал. 1946. Т. 31. № 2.
16. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим / Под ред. К. Е. Иванова, С. М. Новикова. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 447 с.
17. Бондаренко Н. Ф., Коваленко Н. П. Водно-физические свойства торфяников. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 160 с.
18. Бородулин В. В., Калюжный И. Л., Новиков С. М. К методике измерений и расчетов промерзания болот // Тр. ГГИ. Л., 1974. Вып. 222. С. 205–224.
19. Бронзов А. Я. Верховые болота Нарымского края (бассейн р. Васюгана) // Труды НИ торфяного ин-та. М., 1930. Вып. 3.
20. Боч М. С., Смагин В. А. Флора и растительность болот Северо-Запада России и принципы их охраны. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 223 с.
21. Булавко А. Г. Мелиорация и водный режим // Сельское хозяйство Белоруссии. 1973. № 11. С. 32–33.
22. Бюриг Р. Ф., Калюжная И. И. Испарение с сельскохозяйственных полей на осушенных болотах Украинской ССР // Тр. ГГИ. Л., Вып. 126. С. 132–152.
23. Виноградов Ю. Б., Виноградова Т. А. Математическое моделирование в гидрологии. М.: Академия, 2010. 304 с.
24. Виноградов Ю. Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 312 с.
25. Водные ресурсы нечерноземной зоны РСФСР. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 214 с.
26. Воробьев П. К. Исследование водообмена торфяной залежи с нижележащим водоносным горизонтом // Тр. ГГИ. Л., 1981. Вып. 281. С. 25–45.
27. Воробьев П. К. Исследование физических характеристик деятельного горизонта неосушенных болот // Тр. ГГИ. Л., 1965. Вып. 126. С. 65–95.
28. Воробьев П. К. Методика изучения горизонта формирования микрорельефа болот на основании использования вероятно-статистических приемов анализа // Тр. ГГИ. Л., 1974. Вып. 222. С. 58–68.
29. Воробьев П. К. Определение водоотдачи из торфяной залежи естественных болот // Тр. ГГИ. Л., 1969. Вып. 177. С. 59–86.

30. Воробьев П. К. Приведение экспериментальных характеристик деятельного слоя залежи к расчетной поверхности микроландшафта // Тр. ГГИ. Л., 1979. Вып. 261. С. 90–95.
31. Воробьев П. К. Привязка результатов экспериментальных исследований водно-физических свойств торфа к поверхности болота // Тр. ГГИ. Л., 1966. Вып. 135. С. 210–222.
32. Воробьев П. К. Исследование строения слоя активного влагооборота торфяных залежей верховых неосушенных болот и методика экспериментального определения типовых расчетных характеристик водоотдачи. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. тех. наук. Л.: ГГИ, 1971. 23 с.
33. Воронков П. П., Соколова О. К. Некоторые черты формирования химического состава воды озер Карельского перешейка // Тр. ГГИ. Л., 1949. Вып. 17(71). С. 59–67.
34. Воронков П. П. Основные черты формирования режима ионного состава поверхностных вод в условиях Севера // Тр. ГГИ. Л., 1951. Вып. 33. С. 50–55.
35. Воронков П. П. Гидрохимические особенности местного стока в период весеннего половодья и почвенного покрова водосборов Европейской территории СССР // Тр. ГГИ. Л., 1966. Вып. 137. С. 130–142.
36. Воронков П. П. Гидрохимия местного стока Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 189 с.
37. Гаель А. Г. Промерзание и оттаивание почвогрунтов в Северном Приаралье // Почвоведение. 1948. № 7.
38. Галкина Е. А. Болотные ландшафты и принципы их классификации // Сборник научных работ БИН АН СССР (1941–1943). М.; Л., 1946. С. 139–156.
39. Галкина Е. А., Гилев С. Г., Иванов К. Е., Романова Е. А. Применение материалов аэрофотосъемки для гидрологического изучения болот // Тр. ГГИ. Л., 1949. Вып. 13 (67). С. 5–25.
40. Гарцман Б. И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока. Методы расчетов, прогнозов, оценок риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. 221 с.
41. Гельфан А. Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. М.: Наука, 2007. 294 с.
42. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири / под ред. С. М. Новикова. СПб.: ВВМ, 2009. 536 с.
43. Гидрологические расчеты при осушении болот и заболоченных земель / под ред. К. Е. Иванова. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 447 с.

44. Глебов Ф. З. Взаимоотношение леса и болота в таежной зоне. Новосибирск: Наука, 1988. 184 с.
45. Глухова Т. В. Значение атмосферных осадков и пыли в питании болот // Гидролесомелиорация и ведение лесного хозяйства на осушенных землях. СПб., 1993. С. 68–75.
46. Голубев В. С. О систематической ошибке корректировки атмосферных осадков // Тр. ГГИ. Л., 1973. Вып. 207. С. 3–11.
47. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013. 63 с.
48. Демидов В. Н. Моделирование взаимодействия поверхностных и подземных вод при формировании стока на речном водосборе // Водные ресурсы. 1989. № 2. С. 60–69.
49. Денисенко Г. Д., Шурыгин С. Г. Поступление в почвы промышленных выбросов в г. Санкт-Петербурге // Лесопользование и мелиорация. Часть 2. СПб.; Вологда, 2007. С. 182–184.
50. Доманицкий А. П. Проходимость замерзших болот // Тр. НИУ ГМС, серия VIII. Вып. 4. 1943. С. 25–48.
51. Дубах А. Д. Осушение лесных земель с основами гидротехники. Л.: Гослестехиздат, 1934. 360 с.
52. Дубах А. Д. Очерки по гидрологии болот (ЕГМС СССР, ГГИ). Л.: Редакционно-издательский отдел ЦУЕГМС СССР. Ленинградское отд., 1936. 118 с.
53. Дубах А. Д. Гидрология болот. М.; Л.: Гидрометеиздат, 1944. 228 с.
54. Ежегодные данные по химическому составу атмосферных осадков, 1991–1995 гг. СПб.: Гидрометеиздат, 1998. 65 с.
55. Елупенок Е. И. Содержание химических элементов в торфах и торфяных почвах южно-таежной подзоны Западной Сибири. Автореф. дис. канд. биол. наук. Томск, 2005. 20 с.
56. Жуховицкая А. Л., Ковалёв В. А., Соколовская А. А. Связь химического стока рек с заболоченностью водосбора // Литология и полезные ископаемые. 1974. № 4. С. 3–9.
57. Иванов К. Е. О фильтрации в поверхностном слое выпуклых болотных массивов // Метеорология и гидрология. 1948. № 2. С. 46–59.
58. Иванов К. Е. Сток с системы верховых болотных массивов // Тр. ГГИ. Л., Вып. 13 (67). 1949. С. 26–41.
59. Иванов К. Е. Исследования водопроницаемости верхних горизонтов болотных массивов // Тр. ГГИ. Л., 1953. Вып. 39. С. 50–59.

60. Иванов К. Е. Теоретическое и экспериментальное обоснование метода расчета стока и водного баланса болотных массивов // Труды ГГИ. Л., 1953. Вып. 39 (93). С. 5–49.
61. Иванов К. Е. Гидрология болот. Л.: Гидрометеиздат, 1953. 296 с.
62. Иванов К. Е. Основы гидрологии болот лесной зоны. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 500 с.
63. Иванов К. Е. Принципиальные основы гидрологии болот // Тр. III Всесоюз. гидрол. съезда. – Гидрометеиздат, 1959. Т. VII. С. 133–141.
64. Иванов К. Е. Основы теории морфологии болот и гидроморфологические зависимости // Тр. ГГИ. Л., 1965. Вып. 126. С. 5–47.
65. Иванов К. Е. Теория гидроморфологических связей и ее применение // Природа болот и методы их исследований. Л.: Наука, 1967. С. 200–202.
66. Иванов К. Е. Эрозионные явления на болотах и их роль в формировании озерно-болотных ландшафтов Западной Сибири // Тр. ГГИ. Л., 1969. Вып. 157. С. 78–97.
67. Иванов К. Е. Водообмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 280 с.
68. Иванов К. Е. Теоретические основы современной гидрологии болот // Водные ресурсы, АН СССР. М., 1983. № 6. С. 65–72.
69. Иванов К. Е., Кузьмин Г. Ф. Строение торфяной залежи под грядово-мочажинными комплексами верховых болот // Вест. ЛГУ. Л., 1982. № 12. С. 70–81.
70. Иванов К. Е., Сытина И. А. Исследование изменения водного питания территорий, окружающих болотные системы, при осушительных мелиорациях без регулирования водного режима // Тр. ГГИ. Л., 1983. Вып. 303. С. 53–62.
71. Ивицкий А. И. Испарение с торфяной почвы в зависимости от климатических факторов и уровня грунтовых вод // Почвоведение. 1938. № 2. С. 16–21.
72. Инишева Л. И., Езупенок Е. Э., Инишев Н. Г. Макро- и микроэлементный состав болотных вод Западной Сибири // VI Всероссийский гидрологический съезд. СПб., 2004. С. 80–82.
73. Ипатьев В. А., Смоляк Л. П., Блинцов И. К. Ведение лесного хозяйства на осушенных землях. М.: Лесная промышленность, 1984. 143 с.
74. Калюжный И. Л. Оценка вариации испарения внутри микроландшафтов верховых болот // Тр. ГГИ. Л., 1969. Вып. 177. С. 39–58.
75. Калюжный И. Л. Гидрохимический режим и химический состав вод верхового болотного массива Тирели // Труды ГГИ. Л., 1972. Вып. 167. С. 197–207.

76. Калюжный И. Л. Испарение с болотных массивов различных болотных провинций СССР // Тр. ГГИ. Л., 1974. Вып. 222. С. 21–57.
77. Калюжный И. Л. Теплоаккумуляция и теплооборот в торфяной залежи олиготрофных болотных массивов // Тр. ГГИ. Л., 1979. Вып. 261. С. 81–89.
78. Калюжный И. Л. Оценка выноса органического вещества водами олиготрофного болотного массива // Метеорология и гидрология. 1999. № 11. С. 98–104.
79. Калюжный И. Л. Химический состав, вынос минеральных и органических компонентов водами олиготрофных болотных массивов // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования. Материалы совещания. М.: ГЕОС, 1999. С. 191–193.
80. Калюжный И. Л., Левандовская Л. Я. Гидрохимический режим и химический состав вод олиготрофных болотных массивов // Тр. ГГИ. Л., 1974. Вып. 222. С. 99–118.
81. Калюжный И. Л., Калюжная И. И. Методические основы и результаты исследований испарения с болотных массивов различных болотных провинций СССР // Труды IV Всесоюз. Гидрол. съезда. Л., 1976. Т. 6. С. 62–76.
82. Калюжный И. Л., Левандовская Л. Я. Гидрохимический режим поверхностных вод Тарманского болотного массива // Труды ГГИ. Л., 1977. Вып. 236. С. 85–95.
83. Калюжный И. Л., Павлова К. К., Лавров С. А. Гидрологические исследования при мелиорации переувлажненных земель. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 260 с.
84. Калюжный И. Л., Романюк К. Д. Испарение с болотных массивов зоны олиготрофных болот // Вестник ТГПУ. Томск, 2009. Вып. 3(81). С. 120–125.
85. Калюжный И. Л., Лавров С. А. Гидрофизические процессы на водосборе. Экспериментальные исследования и моделирование. СПб.: Нестор-История, 2012. 615 с.
86. Калюжный И. Л., Романюк К. Д., Батуев В. И. Динамика гидроэкологического режима болот северо-запада и севера России при климатических изменениях последних десятилетий // Водные ресурсы. 2012. Том 39. № 1. С. 13–25.
87. Калюжный И. Л., Батуев В. И. Формирование температурного режима торфяной залежи при изменении климатических характеристик в северной и северо-западной зоне олиготрофных болот ЕТР – СПб. // Тр. ГГО, 2015. Вып. 577. С. 156–168.
88. Калюжная И. И., Калюжный И. Л., Романов В. В. Исследования потока тепла в деятельном слое верховых болот // Тр. ГГИ. Л., 1969. Вып. 177. С. 172–196.
89. Каменский Г. Н. Основы динамики подземных вод. М.: Госгеолтехиздат, 1943. 248 с.
90. Климат Ленинграда / под ред. Ц. А. Швер, Е. В. Алтыкиса, Л. С. Евтеевой. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 252 с.

91. Климат Санкт-Петербурга и его изменения / под редакцией В. П. Мелешко, А. В. Мещерской, Е. И. Хлебниковой. СПб.: ГУ ГГО, 2010. 256 с.
92. Коваленко Н. П., Ивко В. Р. О противofильтрационных экранах из торфа // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. № 2–3, 1999. С. 94–99.
93. Конищев В. Н., Голубев В. Н., Рогов В. В., Сократов С. А., Токарев И. В. Экспериментальное исследование изотопного фракционирования воды в процессе сегрегационного льдообразования // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII. № 3. С. 3–10.
94. Коноплянцев А. А., Ковалевский В. С., Семенов С. М. Естественный режим подземных вод и его закономерности // Тр. ВСЕГИНГЕО. 1963. № 2. 231 с.
95. Корчунов С. С. Теплопроводность торфа // Торфяная промышленность. М.: Госэнергоиздат, 1948. № 2. С. 23–24.
96. Крештапова В. Н. Микроэлементы в торфяных залежах европейской части СССР. Микроэлементы в почвах Советского Союза. М.: Изд-во МГУ, 1973. Вып. 1. С. 175–191.
97. Кузьмин Г. Ф. Болота и их использование // Сб. научных трудов. СПб.: изд. ВНИИТП, 1993. Вып. 70. 140 с.
98. Кузьмин П. П. Физические свойства снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 179 с.
99. Куприянов В. В. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Л.: Гидрометеиздат, 1946. Вып. 8. 36 с.
100. Курдюмов С. В. О формах соединения воды в торфе в связи с вопросами сушки // Торфяная промышленность. М., 1966. № 4. С. 21–23.
101. Кухарчик Т. И., Какарека С. В. Отложения верховых болот как индикаторов техногенного загрязнения // Тез. докл. XV Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Минск, 1993. Т. 4. С. 105–106.
102. Кучмент Л. С., Демидов В. Н., Мотовилов Ю. Г. Формирование речного стока. Физико-математические модели. М.: Наука, 1983. 216 с.
103. Ларгин И. Ф., Тюремнов С. Н. Изменения химического состава вод торфяных болот в зависимости от условий их залегания // Труды ГТИ. Л., 1966. Вып. 135. С. 223–241.
104. Ларгин И. Ф., Приемская С. Е., Мокроусова И. В. О геохимической подвижности макро- и микроэлементов в торфяных залежах // Исследование торфяных месторождений. Калинин.: КГУ, 1975. С. 54–67.
105. Ларгин И. Ф., Приемская С. Е., Трошичева Т. В. Геология торфяных месторождений: Учебное пособие. Калинин.: КГУ, 1985. 64 с.
106. Легкие дорожные покрытия для форсирования болот. Гидрометслужба Красной армии. М.; Свердловск: Гидрометеиздат, 1943. Серия VIII. Вып. 10. С. 37.

107. Литвин А. С. Сравнение методов расчета динамики тепла дисперсной среды. Математическое моделирование процессов формирования стока // Тр. ГГИ. Л., 1991. Выпуск 343. С. 73–83.
108. Лиштван И. И., Мамцис А. М., Петрухин В. П. Гидрохимические исследования торфяных месторождений верхового типа // Природа болот и методы их исследования. Л., 1967. С. 207–213.
109. Ломоносов М. В. О слоях земных. 1763.
110. Лопатин В. Д. О гидрологическом значении верховых болот // Вестник ЛГУ. № 2. 1949.
111. Лукашев К. И., Ковалев В. А., Жуховицкая А. Л. Геохимия озерно-болотного литогенеза. Минск, 1971. 282 с.
112. Лундин К. П. Водные свойства торфяной залежи. Минск: Урожай, 1964. 211 с.
113. Максимов А. И. Фитоценотическое значение и экология некоторых сфагновых мхов Карелии // Эколого-биологические особенности и продуктивность растений болот. Петрозаводск, 1982. С. 187–192.
114. Мальцева А. В., Тарасов М. Н., Смирнов М. П. Сток органических веществ с территории СССР // Гидрохимические материалы. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 115 с.
115. Маслов Б. С. Режим грунтовых вод переувлажненных земель и его регулирование. М.: Колос, 1970. 232 с.
116. Материалы наблюдений болотных станций за 1975 г. Л., 1976. Выпуск 1. 590 с.
117. Материалы наблюдений болотных станций и постов. Вып. 1 за 1990 год. Фотофсет.
118. Методическое письмо // Состояние работ по наблюдениям за химическим составом и кислотностью атмосферных осадков в 2008 г. Санкт-Петербург, 2009. 55 с.
119. Методическое письмо по обобщению материалов наблюдений болотных станций // Валдайский филиал ГГИ. Ленинград, 1982. ФОЛ, г. Валдай. 108 с.
120. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. С.-Петербург: Нестор-История, 2009. 193 с.
121. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. Нижний Новгород: Вектор-Тис, 2007. 134 с.

122. Методические указания по расчетам стока с неосушенных и осушенных болот / Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет, СТО ФГБУ ГГИ 08.30-2011). СПб.: Петербургский модный базар, 2011. 136 с.
123. Мокроусова И. В. Исследование геохимических свойств торфяных месторождений в зависимости от условий их залегания. Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Калинин: КПИ, 1972.
124. Москвин Ю. П., Новиков С. М. Современное состояние и перспектива развития гидрологии болот // Проблемы современной гидрологии. СПб.: Гидрометеоиздат, 1996.
125. Москвин Ю. П. Водно-тепловой режим и испарение в зоне бугристых болот Западной Сибири // Труды V гидрологического съезда. Л., 1988. Том 2. С. 287–292.
126. Мотовилов Ю. Г. Информационно-моделирующий комплекс ЕСОМАГ для моделирования речных бассейнов // VI Всероссийский гидрологический съезд: тезисы докл. СПб., 2004. 139 с.
127. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Гидрометеорологические наблюдения на болотах. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. Вып. 8. 296 с.
128. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Гидрометеорологические наблюдения на болотах. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. Вып. 8. 360 с.
129. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Метеорологические наблюдения на станциях. Л.: Гидрометеоиздат, 1955. Вып. 8. 229 с.
130. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Метеорологические наблюдения на станциях. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. Вып. 3. Ч. 1. 307 с.
131. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 691 с.
132. Невзоров А. Л., Тельминов И. В. Фильтрационная анизотропия верхового торфа // Геология. Инженерная геология. Гидрология. Геокриология. 2012. № 3. С. 276–281.
133. Нейштадт М. И. Возникновение и скорость развития процесса заболачивания // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М.: Наука, 1977. С. 39–48.
134. Некрасова И. В. Опыт программирования расчета уровней болотных вод по метеорологическим данным на ЭВМ // Тр. ГГИ. Л., 1969. Вып. 157. С. 138–148.

- 135.Новиков С. М. Расчеты водного режима и водного баланса низинных болот и рямов южной части Западно-Сибирской низменности // Тр. ГГИ. Л., 1963. Вып. 105. С. 5–44.
- 136.Новиков С. М. Расчет урovenного режима неосушенных верховых болот по метеорологическим данным // Тр. ГГИ. Л.: Гидрометеиздат, 1964. Вып. 112. С. 5–32.
- 137.Новиков С. М. Расчет ежедневных уровней грунтовых вод на болотах по метеорологическим данным // Тр. ГГИ. Л., 1965. Вып. 126. С. 48–64.
- 138.Новиков С. М. Новые методы расчета урovenного режима болот по метеорологическим данным // Природа болот и методы их исследований. Л.: Наука, 1967. С. 270–274.
- 139.Новиков С. М. Методические основы стационарных и экспедиционных гидрологических исследований болот // Международный симпозиум по гидрологии заболоченных территорий. Минск, 1973. Т. 1. С. 293–299.
- 140.Новиков С. М. Применение ландшафтно-гидрологического метода при исследовании болот // Проблемы современной гидрологии. Л., 1983. С. 74–82.
- 141.Новиков С. М. О развитии болотных массивов в лесной зоне // Метеорология и гидрология. Л.: Гидрометеиздат, 1991. № 3. С. 95–100.
- 142.Новиков С. М. Некоторые аспекты проблемы гидрологических исследований болот // Гидролесомелиорация (задачи и координация исследований). СПб., 1994. С. 79–82.
- 143.Новиков С. М. Гидрологические исследования болот в системе Гидрометслужбы // Региональные проблемы изучения и использования избыточно увлажненных лесных земель. Екатеринбург: УГЛТА., 2000. С. 9–11.
- 144.Новиков С. М. Болота как гидрологический объект // Торфяные болота России. К анализу отраслевой информации. М.: ГЕОС, 2001. С. 93–122.
- 145.Новиков С. М. Возможные причины облесения верховых болот Северо-Запада России во второй половине XX столетия // Проблемы комплексного использования и мелиорации земель на водосборе. СПб., 2002. С. 64–68.
- 146.Новиков С. М. Водный баланс верховых болот Северо-Запада России (на примере болота Ламмин-Суо). // Сборник работ по гидрологии. № 26. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. С. 94–110.
- 147.Новиков С. М. Экспериментальные исследования поглощения нефти торфяной залежью болот // Сборник работ по гидрологии. № 27. СПб.: Гидрометеиздат, 2004. С. 86–96.
- 148.Новиков С. М., Воробьев П. К. Комплексные воднобалансовые исследования на Старосельской осушительной системе // Тр. ГГИ. Л., 1981. Вып. 281. С. 3–17.
- 149.Новиков С. М., Романова Е. А. Использование аэрометодов при гидрологических исследованиях болот // Дистанционные методы геолого-географического изучения земли. Л.: Географ. общ-во СССР, 1982. С. 83–87.

- 150.Новиков С. М., Усова Л. И. К оценке площади болот, заболоченных земель и прогнозных запасов торфа на территории Российской Федерации // Сборник работ по гидрологии. № 25. СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. С. 3–10.
- 151.Павлова К. К. Тепловые свойства деятельного слоя болот // Тр. ГГИ. Л., 1969. Вып. 177. С. 119–155.
- 152.Павлова К. К. К вопросу о фазовом составе вод и теплофизических характеристиках мерзлого торфа при изучении инфильтрации // Тр. ГГИ. Л., 1970. Вып. 182. С. 138–158.
- 153.Перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. М.: Роскомрыболовство, 1995. 120 с.
- 154.Печуров А. Ф., Каплан М. А. Промерзание и оттаивание торфяных болот // Почвоведение. 1937. № 5. С. 707–710.
- 155.Пичугин А. В. К вопросу о минеральном режиме торфяных месторождений // Торфяная промышленность. 1947. № 7. С. 10–18.
- 156.Подземные воды СССР. Обзор подземных вод Ленинградской области за 1960–1980 гг. Том 1. Книга 9. М., 1988.
- 157.Потапова Т. М. Оценка возможности использования олиготрофных болот как индикаторов влияния атмосферного загрязнения на качество поверхностных вод // Тр. ГГИ. Л., 1988. Вып. 333. С. 23–29.
- 158.Потапова Т. М. Основные факторы формирования химического состава вод немелиорированных олиготрофных болот // Гидрохимические материалы. 1991. Т. 110.
- 159.Потапова Т. М. Болотный сток минеральных и органических веществ как информативный показатель техногенных изменений на территории нефтегазоносных районов арктической зоны Западной Сибири // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета. Серия 7. Выпуск 3. 2013. С. 128–139.
- 160.Потапова Т. М., Иванов К. Е., Золотарев А. Е. Вынос минеральных и биогенных веществ с территории немелиорированных болот Северо-Запада // Вестник ЛГУ. 1982. № 24. С. 78–83.
- 161.Потапова Т. М., Иванов К. Б., Фирсанов Д. В. Гидрохимическая характеристика неосушенных верховых болот Северо-Запада ЕТС (на примере Ширинского болотного массива) // Гидрохимические материалы. 1987. Т. 98. С. 54–64.
- 162.Потапова Т. М., Новиков С. М., Валушко Н. И. Закономерности аккумуляции нефтяных загрязнений в деятельном горизонте болот и их экологическая

- роль как естественных фильтров // Вестник СПбГУ. 2000. Сер. 7. Вып. 1. С. 47–60.
163. Потапова Т. М., Новиков С. М., Валушко И. И. Закономерности аккумуляции нефтяных загрязнений в деятельном горизонте болот и их экологическая роль как естественных факторов // Вестник СПбГУ. 2000. Сер. 7. Вып. 1 (№ 7). С. 120–128.
164. Потапова Т. М., Арсланов Х. А., Чернов С. Б. Об экологическом мониторинге субквальных геосистем // Мониторинг природы и общества. СПб., 2001. С. 121–125.
165. Потапова Т. М., Новиков С. М. Оценка антропогенных изменений химического состава болотных вод и стока растворенных веществ с территории естественных и мелиорированных верховых болот // Вестн. С.-Петербургского ун-та. 2006. Вып. 2. С. 85–96.
166. Приемская С. Е., Трошичева Т. В., Мокроусова И. В. Геохимическая характеристика торфяных залежей с различными геологическими условиями залегания // Геохимия. 1984. № 5. С. 742–750.
167. Предельно допустимые концентрации в воде рыбохозяйственных водоемов. Москва: Роскомрыболовство, 1995. 120 с.
168. Производство наблюдений над интенсивностью снеготаяния и водоотдачей из снежного покрова / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). РД 52.08.730-2010. СПб.: ФГБУ ГГИ, 2010. 48 с.
169. Проходимость снежного покрова и замерзших болот // Тр. НИУ Гидрометслужбы Красной армии. М.; Свердловск: Гидрометеиздат, 1943. Серия VIII. Вып. 4. 48 с.
170. Пьявченко Н. И. Торфяные болота, их природное и хозяйственное значение. М.: Наука, 1985.
171. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 96 с.
172. Рождественская В. Г. Водный баланс болота Ламмин-Суо // Сб. работ по гидрологии. Л., 1973. № 11. С. 129–139.
173. Розеншток Ю. С. Определение и автоматическая регистрация величин испарения с подстилающей поверхности // Бюллетень АФИ по агрономической физике. Л., 1960. № 7.
174. Романов В. В. Физические свойства промерзшего слоя болот // Тр. ГГИ. 1948. Вып. 6 (60).

175. Романов В. В. Водные свойства сфагнового очеса // Тр. ГГИ. Л., 1949. Вып. 13(67). С 43–62.
176. Романов В. В. Исследования испарения со сфагновых болот // Тр. ГГИ. Л., 1953. Вып. 39. С. 116–135.
177. Романов В. В. Методы определения запаса воды в деятельном слое и расчет элементов водного баланса болот // Тр. ГГИ. Л., 1953. Вып. 39 (93). С. 96–115.
178. Романов В. В. Физические методы изучения условий существования болотных растений // Докл. на совещании по стационарн. геобот. исслед. (22–25 декабря 1951 г.). М.; Л.: АН СССР, 1954.
179. Романов В. В. К вопросу о зависимости между капиллярными и фильтрационными свойствами в крупнопористых грунтах // Тр. ГГИ. Л., 1955. Вып. 48(102).
180. Романов В. В. Гидрофизические методы исследования водного баланса болот // Почвоведение. 1956. № 8.
181. Романов В. В. Расчет испарения по упрощенному методу теплового баланса // Тр. ГГИ. 1956. Вып. 54(108). С 75–79.
182. Романов В. В. Испарение с неосушенных и осушенных болот // Тр. ГГИ. Л., 1957. Вып. 60. С. 20–42.
183. Романов В. В. К вопросу о роли ветра в процессе испарения с болот // Тр. ГГИ. Л., 1957. Вып. 60. С. 77–85.
184. Романов В. В. Изменение водного баланса болот в засушливые и влажные годы // Тр. ГГИ. Л., 1960. Вып. 89. С. 5–36.
185. Романов В. В. Гидрофизика болот. Л.: Гидрометеоиздат, 1961. 359 с.
186. Романов В. В. Испарение с болот Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 228 с.
187. Романов В. В., Рожанская О. Д. Опыт исследования физических свойств промерзшего слоя болот // Тр. ГГИ. 1948. Вып. 7(61). С 93–105.
188. Романов В. В., Рожанская О. Д. Тепловые свойства сфагнового очеса // Тр. ГГИ. Л., 1949. Вып. 13(67). С 63–74.
189. Романова Е. А. О связи между растительностью, верхними слоями торфяной залежи и водным режимом верховых болот Северо-Запада // Тр. ГГИ. Л., 1960. Вып. 89. С. 92–122.
190. Романова Е. А. Геоботанические основы гидрологического изучения верховых болот. Л.: Гидрометеоиздат, 1961. 214 с.
191. Романова Е. А. Ландшафты верховых болот Северо-Запада и их гидрологические особенности // Уч. зап. Тартуск. гос. унив. Тарту, 1963. Вып. 145. С. 151–162.
192. Романова Е. А. Растительный покров, как показатель уровней грунтовых вод на верховых болота // Труды Московского общ. испытателей природы. 1964. Т. 8. С. 94–101.
193. Романова Е. А. Методика составления типологических карт болот с использованием материалов аэрофотосъемки для гидрологического изучения

- болотных ландшафтов // Тематическое картографирование в СССР. Л.: Наука, 1967. С. 108–111.
194. Романова Е. А. Дешифрирование аэрофотоснимков и составление крупномасштабных типологических карт болот Западной Сибири // Крупномасштабное картографирование растительности. Новосибирск: Наука, 1970. С. 118–123.
195. Руководство гидрометеорологических станциям по актинометрическим наблюдениям. Л., 1971. 220 с.
196. Руководство по загрязнению атмосферы. РД 52.04. 186-89. М.: Гидрометеоиздат, 1991. 693 с.
197. Руководство по градиентным наблюдениям и определению составляющих теплового баланса. Л.: Гидрометеоиздат, 1964. 130 с.
198. Руководство по теплобалансовым наблюдениям. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 149 с.
199. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 533 с.
200. Сапрыкин Ф. Я. Геохимия торфяно-болотных почв. Л.: Наука, 1983. 260 с.
201. Серебрянская П. И. Явления сезонного замерзания и оттаивания почв Центральной Барабы // Тр. Почвенного ин-та. 1954. Том 42.
202. Сирин А. А., Шумов Д. Б., Власов Л. С. Изучение водообмена в болотных водах при помощи анализа изотопа водорода // Водные ресурсы. 1997. Т. 24. № 6. С. 679–687.
203. Справочник по торфу / Вихляев И. И., Оленин А. С., Рунов Д. И., Терегулов И. Х., Фатчихина О. Е., Шишков К. Н. М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1960. 319 с.
204. Справочник по климату СССР. Вып. 3. Ч. I. Гидрометеоиздат, 1966. 77 с.
205. Справочник по климату СССР. Вып. 3. Ч. IV. Гидрометеоиздат, 1968. 328 с.
206. Судариков С. М. Тяжелые металлы в болотных водах // Гидрохимические материалы, 1987. Т. 99. С. 3–15.
207. Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации // ред. А. А. Сирин, Т. Ю. Минаевой. Москва: ГЕОС, 2001. 190 с.
208. Тихонов С. В. Оценка лесоводственной эффективности облесения мелиорируемых болот сфагновой группы на основе мониторинга (на примере Северо-Запада Европейской России). Автореф. дис. на соискание учен. степени канд. тех. наук, Л., 2003.

209. Торфяные месторождения Ленинградской области. Справочник по состоянию изученности на 1 января 1978 г. Книга 2. / под ред. В. Д. Маркова (отв. ред.) и др. М-во геологии РСФСР. Трест Геолторфразведка. Москва. 1980. 609 с.
210. Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 488 с.
211. Указания по расчету недостатка водопотребления сельскохозяйственных растений. Л., 1974. 35 с.
212. Указания по расчетам стока с неосушенных и осушенных верховых болот. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 84 с.
213. Усова Л. И. Стратиграфия торфяной залежи грядово-мочажинных комплексных микроландшафтов верховых болот Западной Сибири // Тр. ГГИ. Л., 1988. Вып. 333. С. 70–81.
214. Усова Л. И. Практическое пособие по ландшафтному дешифрированию аэрофотоснимков различных типов болот Западной Сибири. СПб.: Нестор-История, 2009. 78 с.
215. Черняев А. М., Черняева Л. Е., Еремеева М. Н. Гидрохимия болот. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 429 с.
216. Чечкин С. А. Водно-тепловой режим неосушенных болот и его расчет. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 203 с.
217. Шерстюков Б. Г. Изменения, изменчивость и колебания климата. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМЦ-МЦД», 2011. 294 с.
218. Шебеко В. Ф. Испарение с болот и баланс почвенной влаги. Минск: Урожай, 1965. 394 с.
219. Шевченко В. П., Алиев Р. А., Денисенков В. П. Микроэлементный состав и радиоактивность отложений Иласского болота (Архангельская область) // Вестник Архангельского технического университета. Серия «Прикладная геоэкология». Архангельск, 2008. Вып. 76. С. 67–84.
220. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 1964. V. 16. № 4. P. 436–463.
221. Craig H. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 1961. V. 133. No 3464. Pp. 1702–1703.
222. Arslanov Kh. A., Saveljeva L. A., Gey N. A., Klimanov V. A., Chernov S. B., Chernova G. M., Kuzmin G. F., Tertychnaya T. V., Subetto D. A., Denisenkov V. P. Chronology of vegetation and paleoclimatic stages of northwestern Russia during the late glacial and Holocene // *Radiocarbon*. Vol. 41. # 1, 1999. P. 25–45.
223. Gusev Ye. M., Nasonova O. N. The simulation of heat and water exchange at the land-atmosphere interface for the boreal grassland by the land-surface model SWAP // *Hydrological Processes*. 2002. Volume 16, № 10. Pp. 1893–1919.
224. Jing L., and B. Chen. «Field investigation and hydrological modelling of a subarctic wetland-the Deer River watershed» // *Journal of Environmental Informatics* 17.1 (2011): 36–45.
225. Kortelainen N. M. and Karhu J. A. Regional and seasonal trends in the oxygen and hydrogen isotope ratios of Finnish groundwaters: a key for mean annual precipitation // *Journal of Hydrology*. 2004. V. 285. P. 143–157.

226. Kortelainen N. M. Isotopic fingerprints in surficial waters: stable isotope methods applied in hydrogeological studies. Academic dissertation. Geological Survey of Finland. Department of Geology, Faculty of Science. Espoo, 2007. 41 p.
227. Kortelainen N. M. Isotopic composition of atmospheric precipitation and shallow groundwater in Olkiluoto: O-18, H-2 and H-3. Geological Survey of Finland. Working Report P 32.4/2008/62. Espoo, 2008. 96 p.
228. Markov M., Gurevich E., Zhuravin S., Zavileysky S. Impact of cryogenic processes on surface and groundwater interaction // Studies of Hydrological Processes in Research Basins: Current Challenges and Prospects (14th Biennial Conference ERB) – St.Petersburg. 2012. P. 1–4.
229. McKillop, R., N. Kouwen, and E. D. Soulis, Modeling the rainfall-runoff response of a headwater wetland // Water Resources research, 35(4), 1165-1177, 1999.
230. Shook, Kevin, Pomeroy. Storage dynamics simulations in prairie wetland hydrology models: Evaluation and parameterization // Hydrological Processes 27.13 (2013): 1875–1889.
231. Skaggs R. W., M. A. Youssef, G. M. Chescheir, DRAINMOD: Model use, calibration and validation // ASABE, 55(4), 1509–1522, 2012.
232. Wessel, David A., and Wayne R. Rouse. Modelling evaporation from wetland tundra // Boundary-Layer Meteorology 68.1-2 (1994): 109-130.
233. Guertin D. P., K. N. Brooks, PHIM: development and testing // Nordic Hydrology, 18, 79-100, 1987.

Приложение к главе 3

Таблица П.3.1. Болотные скважины и их технические характеристики

| Номер скважины | Возвышение верхнего края трубы над поверхностью болота, м | Глубина скважины, м | Подстилающий торфяную залежь грунт | Начало наблюдений | Год закрытия |
|----------------|---|---------------------|------------------------------------|-------------------|--------------|
| 101 | 0,74 | 1,50 | Песок средне и мелкозернистый | 03.1950 | |
| 102 | 0,64 | 1,50 | Суглинок илистый | 03.1950 | 1990 |
| 102a | 0,59 | 1,50 | Суглинок илистый | 04.1975 | |
| 103 | 0,63 | 1,50 | Суглинок илистый | 03.1950 | |
| 104 | 0,64 | 1,50 | Супесь тяжелая, илистая | 03.1950 | |
| 105 | 0,59 | 1,50 | Супесь тяжелая, илистая | 03.1950 | 1990 |
| 106 | 0,67 | 1,50 | Супесь тяжелая, илистая | 03.1950 | |
| 107 | 0,67 | 1,50 | Супесь легкая пылеватая | 03.1950 | 1990 |
| 107б | 0,52 | 1,50 | Супесь тяжелая, илистая | 05.1971 | |
| 108 | 0,52 | 1,50 | Супесь легкая пылеватая | 03.1950 | |
| 109 | 0,65 | 1,50 | Супесь легкая пылеватая | 03.1950 | |
| 210 | 0,65 | 1,50 | Супесь тяжелая, илистая | 03.1950 | |
| 211 | 0,69 | 1,50 | Супесь тяжелая, илистая | 03.1950 | 1990 |
| 212 | 0,58 | 1,50 | Супесь тяжелая, илистая | 03.1950 | 1985 |
| 313 | 0,52 | 1,20 | Супесь легкая пылеватая | 03.1950 | |
| 314 | 0,58 | 1,50 | Супесь легкая пылеватая | 03.1950 | 1990 |
| 315 | 0,58 | 1,50 | Супесь легкая пылеватая | 03.1950 | 1990 |
| 316 | 0,68 | 1,50 | Супесь легкая пылеватая | 03.1950 | |
| 317 | 0,60 | 1,50 | Супесь легкая пылеватая | 09.1972 | 1990 |
| 318 | 0,28 | 1,30 | Супесь легкая пылеватая | 03.1978 | 1990 |

Примечания: 1. Трубы скважин деревянные, квадратного сечения 140×140 мм, длиной 2,0 м; до 1980 г. скважины оборудовались поплавковыми устройствами для измерения уровня, в середине 1980-х гг. в скважины установлены металлические трубы-реперы. 2. Глубина скважин 1,5 м, глубина залегания водоносного слоя 0,0–0,5 м. 3. Расположение скважин по микроландштафтам приведено в таблице П.5.1 приложения к главе 5.

Таблица П.3.2. Метеорологические наблюдения

| Местоположение метеоплощадки (тип болотного микроландшафта) | Высота над уровнем моря, м абс. БС | Состав наблюдений | Период наблюдений | | Примечание |
|--|------------------------------------|--|---|-------------|--|
| | | | открытие | закрытие | |
| Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной (генетический центр массива) | 55,39 | Осадки, температура и влажность воздуха, атмосферное давление, облачность, снежный покров, ветер, атмосферные явления. Температура торфяной залежи на поверхности и на глубинах (установка 1). Суммарная радиация (прямая, рассеянная), радиационный баланс, альbedo, теплоток в торфяную залежь; градиентные наблюдения за температурой и влажностью воздуха на высотах 0,5 и 2,0 м | 01.03.1950 06–08.1951 06–08.1968 05–09.1971–1972 | Действующая | Наблюдения проводились эпизодически отдельными сериями (в течение 2–3 суток) |
| Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем | 55,45 | Температура торфяной залежи на поверхности и на глубинах (установка 2) | 01.08.1963 | 1994 | |
| Суходол (площадка под пологом леса в 0,2 км от края болота) | 20,12 усл. | Температура и влажность воздуха, осадки | 01.05.1952 | 1964 | |

Таблица П.3.3. Число сроков метеорологических наблюдений

| Год | Месяц | | | | | | | | | | | |
|---|-------|----|-----|----|-----|-----|-----|------|----|---|----|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Болотная метеорологическая площадка | | | | | | | | | | | | |
| 1950 | 1 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 1951–1953 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 1954 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| 1955 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1956–1962 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1963 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 1964–1975 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 1976 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1977 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3/1 | 1/2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1978 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3/2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 1979–1985 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 1986–1990 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 1991 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 1992 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 1993 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 1994–1995 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 1996 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 1997–2005 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 2006 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 2007 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 2008–2011 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 2012 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 2013 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 2014 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Суходольная метеорологическая площадка | | | | | | | | | | | | |
| 1952 | | | | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 1953 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 1954 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1955 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1956–1961 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1962 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 1963–1965 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

Таблица П.3.4. Сеть пунктов наблюдения за атмосферными осадками

| Номер осадкомера | Местоположение (тип болотного микроландшафта, суходол) | Высота над уровнем моря, м. абс. БС | Период наблюдений | | Примечание |
|------------------|---|-------------------------------------|-------------------|---------|---------------------------------|
| | | | открыт | закрыт | |
| 1 | В сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной, метеоплощадка | 55,39 | 05.1950 | Действ. | Наблюдения круглогодичные |
| 2 | В сфагново-осоковом, редко облесенном березой и сосной, в 80 м (к суходолу) от скв. 210 | 55,45 | 05.1950 | 01.1977 | Наблюдения в теплый период года |
| 3 | В грядово-мочажинном комплексе в 50 м к северо-востоку от скв. 212 | 55,26 | 05.1950 | 01.1977 | Наблюдения в теплый период года |
| 4 | В сфагново-осоковом, облесенном березой и сосной, у скв. 313 | 52,93 | 05.1950 | 01.1977 | Наблюдения в теплый период года |
| 5 | В сфагново-пушицево-кустарничково-сосновом, у скв. 316 | 53,16 | 05.1950 | 01.1977 | Наблюдения в теплый период года |
| 6 | В сфагново-пушицево-кустарничковом, редко облесенном сосной с сухостоем | 52,51 | 05.1950 | 01.1977 | Наблюдения в теплый период года |
| 7 | На суходоле, на усадьбе станции | 64,26 | 05.1952 | Действ. | Наблюдения круглогодичные |

Примечание: Наблюдения проводились по осадкомеру Третьякова.

Таблица П.3.5. Пункты наблюдений за промерзанием и оттаиванием болота

| Номер пункта | Местоположение (тип болотного микроландшафта) | Вид торфа | Период наблюдений | |
|--------------|---|--|-------------------|---------|
| | | | открыт | закрыт |
| 1 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной (в районе скв. 103) | В слое 0,00–0,75 м фускум-торф; в слое 0,75–1,00 м комплексно-верховой | 03.1950 | Действ. |
| 2 | Грядово-мочажинный на гряде (в районе скв. 107) | В пределах глубины промерзания — фускум-торф | 03.1950 | Действ. |
| 3 | Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной и сухостоем (в районе скв. 108) | В слое 0,0–0,6 м комплексно-верховой; 0,6–1,2 м — пушицевый торф | 03.1950 | Действ. |
| 4 | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями (в районе скв. 106) | Фускум-торф | 03.1950 | Действ. |

Примечание: Метод наблюдений — шурфование; все пункты совмещены с участками, где проводятся снегомерные наблюдения.

Таблица П.3.6. Характеристика снегомерных маршрутов

| Болотный микрорландшафт (уголье) | Период наблюдений | | Количество точек измерений | | Распределение маршрутов максимальных снегосьеом по типам болотных микрорландшафтов | | | |
|---|-------------------|---------|----------------------------|-----------|--|------------------|----------------------|-----------|
| | открыт | закрыт | высота снега, см | плотность | длина снегомерной линии (суммарная) | | количество измерений | |
| | | | | | км | % от общей длины | высота снега | плотность |
| Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 01.1950 | Действ. | 50 | 5 | 0,15 | 3 | 30 | 6 |
| Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 01.1950 | Действ. | 50 | 5 | 0,60 | 14 | 120 | 24 |
| Грядово-мочажинный комплекс | 01.1950 | Действ. | 50 | 5 | 0,40 | 9 | 80 | 16 |
| Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем | 01.1950 | Действ. | 50 | 5 | 0,45 | 10 | 90 | 18 |
| Сфагново-кустарничково-сосновый | 01.1950 | Действ. | 50 | – | 0,30 | 7 | 60 | 12 |
| Сфагново-осоково-пушицевый | 01.1950 | Действ. | 50 | – | 0,15 | 3 | 30 | 6 |
| Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 01.1950 | Действ. | 50 | – | 0,15 | 3 | 30 | 6 |
| Суходольные склоны | 01.1950 | Действ. | 50 | – | 2,30 | 51 | 230 | 23 |

Таблица П.3.7. Сведения о числе пунктов наблюдений и объеме экспериментальных работ болотной станции

| № п/п | Вид наблюдений | Вид объекта | Количество пунктов в году | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|----------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 1950 | 1955 | 1960 | 1965 | 1970 | 1975 | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2014 |
| Уровни болотных и грунтовых вод | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Болотных вод | скважина | 16 | 16 | 16 | 16 | 18 | 19 | 20 | 19 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| | грунтовых вод | скважина | – | – | – | 21 | 21 | 20 | 20 | 20 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| | Озерных вод | пост | – | – | – | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | Сток с болота | гидроствор | 1 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 3 | Осадки | пункт | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | Снегосъемки | маршрут | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| | | участок | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Испарение | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | с болота | площадка | – | – | 1 | 2 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | с поверхности воды | площадка | – | – | – | 1 | 1 | 1 | – | – | – | – | – | – | – |
| Метеоэлементы на болоте | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | стандартные | площадка | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | актинометрия | площадка | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | тепловой баланс | площадка | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Метеоэлементы на суходоле | | | | | | | | | | | | | | | |
| | стандартные | площадка | 1 | 1 | 1 | 1 | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 7 | Промерзание, оттаивание | пункт | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 8 | Исследование водопроводимости деятельного слоя торфяной залежи* | монолит | 5 | 2 | 3 | – | 9 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 9 | Исследование водоотдачи деятельного слоя торфяной залежи | монолит | – | – | – | 7 | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 9 | Определение коэффициента подъема уровня болотных вод | пункт | – | 3 | 3 | 4 | 1 | 6 | – | – | – | – | – | – | – |
| Химический состав поверхностных вод | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | болотных вод | пункт | – | – | – | – | 4 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | речных вод | пункт | – | – | – | – | 4 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 11 | Определение расчетной поверхности микроландшафтов | пункт таксации | – | – | – | – | – | 16 | – | – | – | – | – | – | – |
| 12 | Определение колебания поверхности болота (по короткой линии) | пункт | – | – | – | – | – | – | – | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |

* Исследования проведены на 70 монолитах.

Таблица П.3.8. Пункты наблюдений за стоком

| Ручей (площадка) | Гидрометрическое сооружение | Период наблюдений | Примечание |
|-------------------|---|--------------------------------------|--|
| Южный | Гидрометрический лоток пропускной способностью 1 м ³ /с вставным треугольным водосливом с углом выреза 90°. Стенка водослива бетонная, подводящий, отводящий каналы и успокоительный бассейн деревянные. Здание (будка) гидрометрического сооружения кирпичное | Открыт в 1950 г. Действующий | Ручей вытекает с юго-восточной окрайки болота |
| Северный | Тонкостенный треугольный водослив с углом выреза 90°. Подводящий и отводящий каналы деревянные. Будка гидрометрического сооружения кирпичная | Открыт в 1953 г. Действующий | Ручей вытекает с северной окрайки болота |
| Западный-1 | Тонкостенный треугольный водослив с углом выреза 90° установлен в 225 м от выхода руч. Западный из болота на одном из его рукавов (Западный-1). Будка гидрометрического сооружения кирпичная | Открыт в 1953 г. Действующий | Ручей вытекает с западной окрайки болота |
| Западный-2 | Тонкостенный треугольный водослив с углом выреза 90° установлен в 160 м от выхода руч. Западный из болота на одном из его рукавов (Западный-2). Будка гидрометрического сооружения кирпичная | Открыт в 1953 г. Действующий | Ручей вытекает с западной окрайки болота |
| Восточный | Тонкостенный треугольный водослив с углом выреза 90°. Подводящий, отводящий каналы деревянные. Будка гидрометрического сооружения деревянная | Открыт в 1971 г. Закрыт в 1988 г. | Ручей вытекает с восточной окрайки болота |
| Стоковая площадка | Площадка наблюдений за стоком с суходольных склонов расположена на залесенном сосной склоне, в 200 м к востоку от усадьбы станции | Открыта в 1963 г. Действующая | Размер площадки 20×20 м, средний уклон склона 0,15, уклон водосборного желоба 0,30 |

Примечание: Уровни воды на гидрометрических сооружениях в теплый период года регистрируются самописцем уровня «Валдай», в холодный — измеряются рейкой один раз в 5 дней.

Таблица П.3.9. Испарительные площадки

| Номер площадки | Местоположение (тип микроландшафта, водомерная скважина) | Оборудование (тип испарителя их количество и годы работы) | Период наблюдений | | Примечание |
|----------------|---|---|-------------------|---------|--|
| | | | открыт | закрыт | |
| 1 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной (район скв. 104) | ГГИ Б-1000, 1956–1967 гг. — 2 шт., с 1968 г. — 7 шт. ГГИ-3000 | 1956 | Действ. | В 1967 и 1971 гг. наблюдения не проводились |
| | | | 1964 | 1976 | |
| 2 | Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем (окрайка болота скв. 210) | ГГИ Б-1000, 1966 г. — 2 шт. 1967–1976 гг. — 7 шт. | 1966 | 1976 | |
| 3 | Грядово-мочажинный комплекс (район скв. 107б) | ГГИ Б-1000, 1962–1967 гг. — 2 шт.; 1968–1976 гг. — 4 шт.; ГГИ Б-1000М (в обводненной мочажине), 1968–76 гг. — 1 шт. | 1962 | 1976 | В 1968 г. установка была перенесена на 50 м южнее; 3 испарителя были на гряде и 2 в мочажине |
| 4 | Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем (район скв. 108) | ГГИ Б-1000 — 8 шт. | 1968 | 1974 | |

Таблица П.3.10. Расположение гидрогеологических скважин на болоте и суходоле

| Номер скважины | Местоположение (тип болотного микроландшафта, суходол) | Глубина скважины, м | Отметка поверхности болота, мБС | Глубина заложения фильтра, м | Литологический разрез | Коэффициент водоотдачи водоносного горизонта | Период наблюдений | |
|----------------|---|---------------------|---------------------------------|------------------------------|--|--|-------------------|---------------|
| | | | | | | | Дата открытия | Дата закрытия |
| 359 (лагг.) | Сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый, в 20 м от окрайки болота, в начале створа 1 | 5,60 | 54,56 | 3,40 | Песок мелкозернистый пылеватый с линзами разноразмерного гравия, песка и супеси | 0,10–0,15 | 04.1964 | Действ. |
| 360 | Суходол, у подножья каменной возвышенности, в 60 м к ЗСЗ от репера №1 | 8,60 | 55,75 | 6,10 | Песок мелкозернистый пылеватый с линзами разноразмерного гравия, песка | 0,10–0,15 | 04.1964 | Действ. |
| 361 | Суходол, на территории станции в 70 м от репера №1 | 15,00 | 63,20 | 12,55 | Песок мелкозернистый пылеватый с линзами разноразмерного гравия, песка, супеси и алевроита | 0,10–0,15 | 06.1964 | 07.1980 |
| 362 | Суходол, на склоне озовой гряды, в конце створа 2, в 70 м к СВ от репера №3 | 10,33 | 54,60 | 7,85 | Тот же, что у скв. 361 | 0,10–0,15 | 06.1964 | 01.1984 |
| 363 | Суходол, в конце створа 3, в 30 м от озера №3 | 18,40 | – | – | Тот же, что у скв. 361 | 0,10–0,15 | 07.1964 | 09.1971 |
| 364 | На суходоле, в 2 м от руч. Западный-1 | 5,06 | 52,63 | 3,75 | Крупнозернистый песок | – | 1964 | Действ. |
| 365 | На суходоле, в лесу, в створе 2 водомерного створа, в 95 м от окрайки болота | 3,70 | 55,45 | 1,38 | Мелкозернистый песок | – | 1964 | Действ. |
| 366 | Суходол, в 2 м от скв. 365 | 5,63 | 55,46 | 3,38 | Мелко- и среднезернистый песок | – | 1964 | Действ. |
| 367 | Суходол, в 2 м от скв. 366 | 1,99 | 55,46 | 0,62 | Среднезернистый песок | – | 1964 | Действ. |
| 369 | Суходол, в 50 м от Rp №6 | 4,69 | 50,68 | 2,67 | Супесь | – | 1964 | Действ. |

| | | | | | | | | |
|-----|--|-------|-------|-------|-------------------------------|-----------|---------|---------|
| 374 | Сфагново-кустарничково-сосновый. На водомерном створе 1, в 6 м от оз. Две Сестры | 5,72 | 54,87 | 5,60 | Разнозернистые пески | - | 1965 | Действ. |
| 375 | Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем. На пересечении водомерных створов 1 и 3 | 6,68 | 53,44 | 4,00 | Тяжелая супесь | - | 1965 | Действ. |
| 376 | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый. В конце водомерного створа 3, в 50 м от окрайки болота | 6,09 | 52,90 | 4,33 | Мелкозернистый песок | - | 1965 | Действ. |
| 377 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной. На пересечении створов 1 и 2, на метеоплощадке | 9,44 | 55,40 | 7,71 | Супесь и песок | - | 1965 | Действ. |
| 378 | В заболоченном лесу, на западном конце водомерного створа 3 | 4,26 | 53,34 | 2,39 | Супесь и песок | - | 1965 | Действ. |
| 379 | Суходол, в лесу, в 100 м от скв. 378 | 4,35 | 54,09 | 5,50 | Разнозернистые пески | - | 1965 | Действ. |
| 386 | Суходол, в 146 м на северо-восток от скв. 362 и в 19 м от ручья, протекающего через второе болото | 10,00 | 46,45 | 8,20 | Тонкозернистый песок | - | 1965 | 1985 |
| 387 | Суходол (у створа 2), на озовой гряде, в 115 м к северо-востоку от скв. 386 | 6,50 | 47,49 | 2,83 | Тот же, что у скв. 361 | 0,10-0,15 | 06.1965 | Действ. |
| 388 | У истока руч. Болотный | 6,52 | 48,42 | 2,69 | Гравийный слой | - | - | 1985 |
| 389 | Суходол на озовой гряде, вниз по руч. Болотный, в 300 м от скв. 388 | 9,00 | 52,94 | 6,35 | Тот же, что у скв. 361 | 0,10-0,15 | 06.1965 | Действ. |
| 390 | На болоте, в створе со скв. 389 | 13,00 | 47,75 | 10,31 | Супесь и тонкозернистый песок | - | 1965 | 1985 |

Таблица П.3.11. Технические характеристики гидрогеологических скважин

| Номер скважины | Общая длина трубы, м | Возвышение верхнего края трубы над поверхностью земли, м | Глубина скважины, м | Расстояние от поверхности земли до перфорированного участка, м | |
|----------------|----------------------|--|---------------------|--|---------|
| | | | | верхнего | нижнего |
| 359 | 6,60 | 0,76 | 5,90 | 3,40 | 4,90 |
| 360 | 9,50 | 0,86 | 8,60 | 6,10 | 7,60 |
| 361 | 15,40 | 0,38 | 15,00 | 12,55 | 14,05 |
| 362 | 10,80 | 0,48 | 10,33 | 7,85 | 9,35 |
| 363 | 19,30 | 0,82 | 18,41 | – | – |
| 364 | 6,80 | 0,54 | 6,25 | 3,75 | 5,25 |
| 365 | 4,80 | 0,87 | 3,93 | 1,38 | 2,88 |
| 366 | 6,70 | 0,80 | 5,83 | 3,38 | 4,88 |
| 367 | 3,20 | 0,89 | 2,27 | 0,62 | 2,12 |
| 369 | 6,20 | 0,95 | 5,17 | 2,67 | 4,17 |
| 374 | 13,70 | 0,93 | 13,00 | 5,60 | 7,10 |
| 375 | 7,30 | 0,76 | 6,50 | 4,00 | 5,50 |
| 376 | 7,90 | 0,93 | 7,00 | 4,33 | 5,83 |
| 377 | 11,80 | 0,93 | 11,00 | 7,71 | 9,21 |
| 378 | 6,00 | 0,97 | 5,00 | 2,39 | 3,89 |
| 379 | 8,00 | 0,98 | 7,00 | 5,50 | 7,00 |
| 386 | 11,20 | 1,17 | 10,00 | 8,20 | 9,40 |
| 387 | 7,40 | 0,90 | 6,50 | 2,83 | 4,18 |
| 388 | 7,20 | 0,75 | 6,50 | 2,69 | 3,98 |
| 389 | 9,90 | 0,89 | 9,00 | 6,35 | 7,95 |
| 390 | 13,80 | 0,83 | 13,00 | 10,31 | 11,61 |

Таблица П.3.12. Пункты наблюдений за химическим составом поверхностных вод

| Болотный микроландшафт, водный объект | Период наблюдений | | Количество проб в году | Способ отбора проб | Примечание |
|---|-------------------|----------|---|---------------------------|--|
| | открыт | закрыт | | | |
| Ручьи: Южный, Северный, Западный-1, Западный-2 | 25.11.65 | 28.04.71 | 1965 — 1; 1966 — 14; 1967 — 22; 1968 — 20; 1969 — 4; 1970 — 7; 1971 — 1 | В 50 см от поверхности | Пробы отбирались на всех ручьях в один день |
| Сфагново-пушицево- кустарничково-сосновый (скв. 316) | 19.01.67 | 28.12.67 | 66 | шурф | |
| | 19.01.68 | 25.12.68 | 60 | | |
| Сфагново-кустарничково- пушицевый, облесенный сосной (скв. 103, 104) | 19.01.67 | 28.12.67 | 44 | шурф | |
| | 19.01.68 | 25.12.68 | 60 | | |
| Грядово-мочажинный на гряде (скв. 106, 107, 212 и в 50 м от скв. 212) | 19.01.67 | 28.12.67 | 44 | шурф | |
| | 19.01.68 | 25.12.68 | 36 | | |
| Сфагново-пушицевый, редко облесенный сосной с сухостоем (скв. 108, 210, 314, 315 и в 80 м от скв. 210) | 19.01.67 | 28.12.67 | 88 | шурф | |
| | 19.01.68 | 25.12.68 | 60 | | |
| Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной (скв. 313 и в 50 м от скв. 313) | 19.01.67 | 28.12.67 | 22 | шурф | |
| | 19.01.68 | 25.12.68 | 24 | | |
| Сфагново-кустарничково- пушицевый, редко облесенный сосной (скв. 101, 102) | 19.01.67 | 28.12.67 | 66 | шурф | |
| | 19.01.68 | 25.12.68 | 60 | | |
| Грядово-мочажинный комплекс на гряде (скв. 211) | 19.01.67 | 28.12.67 | 44 | шурф | |
| | 19.01.68 | 25.12.68 | 36 | | |

**Таблица П.3.13. Даты и пункты отбора проб воды на химический анализ
Потаповой Т.М. за период 2005–2015 гг.**

| Дата отбора проб | Микроландшафт | Скважина (шурф) |
|------------------|---|-----------------|
| 30.06.2005 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 102а |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 104 |
| | Грядово-мочажинный комплекс | 107б, шурф |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 313 |
| | Руч. Западный-1 | – |
| 05.07.2006 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 102а |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 104 |
| | Грядово-мочажинный комплекс | 107б, шурф |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 313 |
| | Руч. Северный | |
| | Руч. Западный-1 | |
| | Руч. Западный-2 | |
| 30.06.2007 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 102а |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 104 |
| | Грядово-мочажинный комплекс | 107б |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 210 |
| | Руч. Южный | |
| | Руч. Северный | |
| | Руч. Западный-1 | |
| | Руч. Западный-2 | |
| 05.07.2008 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 102а |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 104 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 106 |
| | Грядово-мочажинный комплекс | 107б |
| | Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем | 108 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 210 |
| | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 316 |
| | Руч. Южный | |
| | Руч. Западный-1 | |
| 05.07.2009 | Сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый | 101 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 102а |
| | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 106 |
| | Грядово-мочажинный комплекс | 107б |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 210 |
| | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 316 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 313 |
| | Руч. Южный | |
| | Руч. Западный | |

| Дата отбора проб | Микроландшафт | Скважина (шурф) |
|------------------|---|-----------------|
| 30.06.2010 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 103 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 104 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 210 |
| | Руч. Южный | |
| | Руч. Северный | |
| | Руч. Западный-1 | |
| | Руч. Западный-2 | |
| 30.06.2012 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 102а |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 104 |
| | Грядово-мочажинный комплекс | 1076 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 210 |
| | Руч. Южный | |
| | Руч. Северный | |
| | Руч. Западный-1 Руч. Западный-2 | |
| 05.07.2013 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 102а |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 104 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 106 |
| | Грядово-мочажинный комплекс | 1076 |
| | Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем | 108 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сухостоем | 210 |
| | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 316 |
| | Руч. Южный Руч. Западный | |
| 15.09.2013 | Сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый | 101 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 104 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 106 |
| | Грядово-мочажинный комплекс | 1076 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 210 |
| | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 316 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 313 |
| | Руч. Южный Руч. Западный | |
| | Сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый | 101 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 104 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 106 |
| 05.02.2014 | Грядово-мочажинный комплекс | 1076 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 210 |
| | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 316 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 313 |
| | Руч. Южный | |
| | Руч. Западный | |
| | Руч. Западный | |
| | Руч. Западный | |

Окончание таблицы П.3.13

| Дата отбора проб | Микроландшафт | Скважина (шурф) |
|------------------|---|-----------------|
| 05.05.2014 | Сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый | 101 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 104 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 106 |
| | Грядово-мочажинный комплекс | 1076 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 210 |
| | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 316 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 313 |
| | Руч. Южный | |
| 05.07.2014 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 104 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 106 |
| | Грядово-мочажинный комплекс | 1076 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 210 |
| | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 316 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 313 |
| | Руч. Южный | |
| 20.09.2014 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 104 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 106 |
| | Грядово-мочажинный комплекс | 1076 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 210 |
| | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 316 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 313 |
| | Руч. Южный | |
| 05.07.2015 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 104 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 106 |
| | Грядово-мочажинный комплекс | 1076 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 210 |
| | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 316 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 313 |
| | Руч. Южный | - |

Примечание: Отбор проб воды на химический анализ проводился в летне-осенний период в 2004–2013 гг. и в 2014 г. зима, весна, осень, лето, в 2011 г. пробы не отбирались.

Таблица П.3.14. Сведения об определении коэффициентов фильтрации деятельного слоя торфяной залежи

| Болотный микроландшафт | Метод определения | Количество монолитов (скважин) | Год проведения работ |
|---|-----------------------|--------------------------------|----------------------|
| Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | лабораторный | 1 | 1950 |
| | полевой | 2 | 1951 |
| | лабораторный | 2 | 1954 |
| | лабораторный | 2 | 1955 |
| | лабораторный | 2 | 1956 |
| | лабораторный | 1 | 1958 |
| | лабораторный | 1 | 1960 |
| | лабораторный | 7 | 1969 |
| Грядово-мочажинный (гряда) | полевой | 2 | 1950 |
| | лабораторный, полевой | 2 | 1950 |
| | полевой | 2 | 1951 |
| | лабораторный | 2 | 1953 |
| | лабораторный | 9 | 1954 |
| | лабораторный | 2 | 1958 |
| | лабораторный | 9 | 1970 |
| Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем | лабораторный | 1 | 1950 |
| | полевой | 2 | 1951 |
| | лабораторный | 3 | 1953 |
| | лабораторный | 4 | 1954 |
| | лабораторный | 1 | 1956 |
| | лабораторный | 2 | 1958 |
| | лабораторный | 2 | 1960 |
| | лабораторный | 10 | 1969 |
| Сфагново-сосново-кустарничковый (облесенное кольцо) | лабораторный | 1 | 1950 |
| | полевой | 2 | 1951 |
| | лабораторный | 1 | 1953 |
| Сфагново-осоковый, редко облесенный березой и сосной | лабораторный | 3 | 1954 |

Примечание: При лабораторном методе использовался фильтрационный лоток К.Е. Иванова; при полевом — метод восстановления уровня (коэффициент фильтрации вычислялся по формуле Г.Д. Эркина).

Таблица П.3.15. Сведения об определении коэффициентов подъема уровня в деятельном слое торфяной залежи

| Номер установки | Болотный микроландшафт | Местоположение относительно водомерных скважин | Период наблюдений |
|-----------------|---|---|------------------------|
| 1 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | В центральной части, в 60 м на юго-восток от скв. 104 | 1956–1961 |
| 1б | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | В центральной части, в 24 м на юго-запад от скв. 104 | 1972–1976 |
| 2 | Грядово-мочажинный (гряда) | В 173 м на юго-восток от скв. 106 | 1956–1968 |
| 2а | Грядово-мочажинный | В 15 м на юго-восток от скв. 107 б | 1972–1975 |
| 3 | Сфагново-пушицевый с сухостоем | В 102 м на северо-восток от скв. 314 | 1958–1966 |
| 3а | Сфагново-пушицевый с сухостоем | Около скв. 314 | 1967–1974 |
| 3б | Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем | Около скв. 108 | 1975 |
| 4 | Сфагново-пушицево-кустарничковый редко облесенный сосной с сухостоем | В 75 м на северо-восток от скв. 315 | 1963–1967 1973–1975 |
| 5 | Сфагново-кустарничково-сосновый | Окрайка болота, в 19 м к югу от скв. 102 | 1972–1975 |
| 6 | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | В 45 м на северо-восток от скв. 211 | 1972–1975 |

Примечание: Будка для самописца уровня воды металлическая, размером 60×90×200 см; колодец прямоугольного сечения размером 40×40 см.

Приложение к главе 5

Таблица П.5.1. Расположение водомерных скважин по болотным микроландшафтам на болотном массиве Ламмин-Суо

| Группы болотных микроландшафтов | Тип болотного микроландшафта | Годы наблюдений | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 1950 | 1955 | 1960 | 1965 | 1970 | 1975 | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2014 | | | |
| Лесные | Сосново-сфагново-кустарничковый | | | | | | 318 317 | 317 318 | | | | | | | 109 | 109 | 109 | |
| | Сосново-сфагново-пушицево-кустарничковый | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый | | | | | | | | | | | | | | 101 | 101 | 101 | |
| | Сфагново-сосново-кустарничковый | | | | | 109 | | 107 109 | 107 109 | 109 | 109 | 109 | | | | | | |
| | Сфагново-кустарничково-сосновый | | | | | | | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | | | | | | | |
| Мохово-лесные | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 316 109 | 316 109 | 316 109 | 316 109 | 316 | 316 | 316 | 316 | 316 | 316 | 316 | 316 | 316 | 316 | 316 | 316 | 316 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицами понижениями | | | | | 106 105 | 106 105 | 106 105 | 106 105 | 106 105 | 106 105 | 106 105 | 106 105 | 106 105 | 106 106 | 106 106 | 106 106 | 106 106 |
| Моховые | Сфагново-кустарничково-пушицевый, редко облесенный сосной | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 | 101 102 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 | 103 104 |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 |

| Группы болотных микрорландшафтов | Тип болотного микрорландшафта | Годы наблюдений | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 1950 | 1955 | 1960 | 1965 | 1970 | 1975 | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2014 |
| Мохово-травяные | Сфагново-пушицевый с сухостоем | 108 210 314 315 | 108 210 314 315 | 108 210 314 315 | 108 210 314 315 | | | | | | | | | | |
| | Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем | | | | | 108 210 314 315 | 108 210 314 315 | 108 210 314 315 | 108 210 314 315 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 |
| | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 313 | 313 | 313 | 313 | 313 | 313 | 313 | 313 | 313 | 313 | 313 | 313 | 313 | 313 |
| Комплексы | Грядово-мочажинные гряды: сфагново-кустарничковые, облесенные сосной; мочажины: сфагново-пушицево-шейхцериевые | 106 107 211 212 | 106 107 211 212 | 106 107 211 212 | 106 107 211 212 | 107a 1076 107 211 212 | 1076 1076 211 212 | 1076 1076 211 212 | 1076 1076 211 212 | 1076 1076 | 1076 1076 | 1076 1076 | 1076 1076 | 1076 1076 | 1076 1076 |

Примечание: Водомерные скважины 106, 107, 109, 210 меняли свое местоположение; в грядово-мочажинном комплексе: а — мочажина, б — гряда.

| Сомкнутость яруса, % | 75 | 80 | 70 | 70 | 50-80 | 70-80 | 70 | 60-80 | 80 | 40-50 | 60 | 70 | 60 | 60 | 60 | 60-80 |
|-----------------------|-------|---------|---------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-----|-----|-----|---------|---------|---------|
| Багульник | 1 | 2-3 | 1 | 1 | 1-2 | 2 | 2 | 2-3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2-3 гр. | 3-4 |
| Вереск | 3-4 | 2-3 | 3 | 4 | 3-4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2-3 гр. |
| Голубика | | 2-3 гр. | 2-3 гр. | | 1 | 3 гр. | | 1 | | | | | | | 3 гр. | |
| Водяника | 2 | 1-2 | 1 | 2 | 2-3 | 2 | 2-3 | 2-3 гр. | | 2 | | 1 | 1 | 2 | | |
| Подбел | 2 | 2 | 1 | 2 | 2-3 гр. | 2 | 2 | 2 | 2 | 2-3 | 2 | 3 | 2 | | | |
| Кассандра | 1 | 2 | 3 гр. | 1 | 1 | 3 | | | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| Морошка | 1-2 | 2-3 гр. | 2 | 2 | 2-3 гр. | 2-3 гр. | 2-3 гр. | 2-3 | 2 | 1 | 2-3 | 3 | 1 | 3-4 гр. | 1 | 1 |
| Клюква | 1-2 | 2-4 гр. | 1 | 1-2 | 2-3 гр. | 2 | | 3 | 2-3 гр. | 2 | | 2 | 2 | | | |
| Брусника | | | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | 1 |
| Пушица | 3 гр. | 2-3 гр. | 4 | 3-4 | 3 | 3 | 2-3 | 3-4 гр. | 3 | 5 | 4-5 | 3-5 | 4 | 2-3 гр. | | 2 |
| Сомкнутость яруса (%) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Сфагновые мхи | 5-6 | 5-6 | 5-6 | 5-6 | 5-6 | 5-6 | 5 | 4-5 | 5-6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Зеленые мхи | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | |
| Лишайники | | | | | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | |

Примечания: 1. Описание растительного покрова болотных микроландшафтов за 1950-1965 гг. приведено по полевым данным Е.А. Романовой. 2. Оценка обилия видов растений приведена по шкале Друде (с переводом в цифровые обозначения): Sol — 1, Sp — 2, Sor₁ — 3, Sor₂ — 4, Sor₃ — 5, Soc — 6. 3. Обозначения: в скобках () — единичная высота деревьев, гр. — растения встречаются группами.

Приложение к главе 6

Таблица П.6.1. Значения единичных расходов воды в различных болотных микроландшафтах, Северо-Запад ЕТР

| Уровень воды Z от СПБ, см | Сосново-кустарничково-сфагновый | Сфагново-кустарничково-пушицевый, редко облесенный сосной | Сфагново-пушицевый |
|---------------------------|---------------------------------|---|-----------------------------|
| | q_z , л/с·км, $i = 0,009$ | q_z , л/с·км, $i = 0,0008$ | q_z , л/с км, $i = 0,003$ |
| 6 | | | 1320 |
| 4 | | | 680 |
| 2 | | 760 | 331 |
| 0 | 432 | 118 | 142 |
| -2 | 109 | 28,7 | 48,9 |
| -4 | 73,1 | 10,5 | 27,9 |
| -6 | 56,0 | 4,84 | 18,3 |
| -8 | 45,4 | 3,19 | 12,3 |
| -10 | 36,7 | 2,40 | 7,65 |
| -12 | 30,5 | 1,87 | 4,20 |
| -14 | 25,3 | 1,45 | 2,16 |
| -16 | 21,7 | 1,14 | 1,20 |
| -18 | 18,9 | 0,897 | 0,720 |
| -20 | 16,6 | 0,719 | 0,460 |
| -22 | 14,5 | 0,579 | 0,330 |
| -24 | 12,6 | 0,464 | 0,250 |
| -26 | 10,8 | 0,368 | 0,200 |
| -28 | 9,08 | 0,288 | 0,170 |
| -30 | 7,46 | 0,225 | 0,150 |
| -32 | 5,90 | 0,171 | 0,130 |
| -34 | 4,49 | 0,125 | 0,100 |
| -36 | 3,20 | 0,091 | 0,080 |
| -38 | 2,09 | 0,064 | 0,054 |
| -40 | 1,17 | 0,044 | 0,036 |
| -42 | 0,450 | 0,030 | 0,018 |
| -44 | 0,090 | 0,019 | 0,009 |
| -46 | | 0,011 | |
| -48 | | 0,005 | |
| -50 | | 0,002 | |
| -52 | | 0,001 | |

Продолжение таблицы П.6.1

| Уровень воды Z от СПБ, см | Сфагново- кустарничковый с редким облесением сосны | Осоково-сфагновый, облесенный березой и сосной | Грядово- мочажинный, гряды сфагново-пушицевые с угнетенной сосной, мочажины сфагново- шейхцериевые |
|---------------------------------|---|---|---|
| | qz, л/с·км, i = 0,003 | qz, л/с·км, i = 0,002 | qz, л/с·км, i = 0,002 |
| 8 | | 1060 | |
| 6 | 620 | 520 | |
| 4 | 439 | 329 | |
| 2 | 271 | 149 | |
| 0 | 163 | 70,7 | |
| -2 | 103 | 29,5 | 950 |
| -4 | 72,4 | 9,46 | 600 |
| -6 | 52,0 | 3,06 | 309 |
| -8 | 37,0 | 2,06 | 133 |
| -10 | 26,2 | 1,54 | 53,2 |
| -12 | 19,0 | 1,27 | 17,2 |
| -14 | 13,8 | 1,08 | 7,24 |
| -16 | 9,31 | 0,910 | 4,44 |
| -18 | 5,66 | 0,760 | 3,44 |
| -20 | 3,86 | 0,620 | 2,72 |
| -22 | 2,71 | 0,500 | 2,20 |
| -24 | 1,93 | 0,400 | 1,84 |
| -26 | 1,39 | 0,310 | 1,54 |
| -28 | 1,00 | 0,230 | 1,28 |
| -30 | 0,740 | 0,170 | 1,06 |
| -32 | 0,550 | 0,120 | 0,880 |
| -34 | 0,390 | 0,080 | 0,720 |
| -36 | 0,260 | 0,050 | 0,610 |
| -38 | 0,150 | 0,030 | 0,520 |
| -40 | 0,070 | 0,006 | 0,430 |
| -42 | 0,030 | 0,002 | 0,340 |
| -44 | | | 0,260 |
| -46 | | | 0,210 |
| -48 | | | 0,160 |
| -50 | | | 0,120 |
| -52 | | | 0,090 |
| -56 | | | 0,050 |
| -60 | | | 0,010 |
| -66 | | | 0,0004 |

| Уровень воды Z от СПБ, см | Грядово-мочажинный, гряды сфагново- кустарничковые, облесенные сосной; мочажины сфагново-пушицевые | Грядово-озерковый, гряды сфагново-кустарничковые, облесенные сосной |
|------------------------------|--|---|
| | q_2 , л/с·км, $i = 0,0020$ | q_2 , л/с·км, $i = 0,0013$ |
| 2 | 368 | 242 |
| 0 | 250 | 125 |
| -2 | 160 | 62,7 |
| -4 | 91,0 | 32,0 |
| -6 | 44,2 | 15,1 |
| -8 | 21,0 | 5,75 |
| -10 | 9,18 | 2,11 |
| -12 | 7,18 | 1,74 |
| -14 | 6,02 | 1,48 |
| -16 | 5,20 | 1,27 |
| -18 | 4,56 | 1,09 |
| -20 | 4,00 | 0,92 |
| -22 | 3,48 | 0,77 |
| -24 | 3,00 | 0,62 |
| -26 | 2,60 | 0,50 |
| -28 | 2,22 | 0,39 |
| -30 | 1,90 | 0,30 |
| -32 | 1,58 | 0,22 |
| -34 | 1,30 | 0,15 |
| -36 | 1,06 | 0,10 |
| -38 | 0,84 | 0,06 |
| -40 | 0,66 | 0,02 |
| -42 | 0,50 | 0,01 |
| -44 | 0,34 | |
| -46 | 0,22 | |
| -48 | 0,14 | |
| -50 | 0,06 | |
| -52 | 0,02 | |

Таблица П.6.2. Значения посплошных коэффициентов водоотдачи. Северо-Запад ЕТР

| Уровень воды от СПБ, см | Сфагново-кустарничково-сосновый | Сфагново-кустарничково-пушицевый, редко облесенный сосной | Сфагново-пушицевый | Грядово-мочажинный комплекс | | |
|-------------------------|---------------------------------|---|--------------------|--|--|--|
| | | | | Гряды сфагново-кустарничковые с угнетенной, сосной; мочажины сфагново-пушицевые, $P_r = 80\%$, $P_m = 20\%$ | Гряды сфагново-кустарничковые, редко облесенные сосной; мочажины сфагново-пушицевые или сфагново-шейхцериевые, $P_r = 50\%$, $P_m = 50\%$ | Гряды сфагново-кустарничково-лишайниковые; мочажины сфагново-шейхцериевые, $P_r = 20\%$, $P_m = 80\%$ |
| 8 | 0,95 | 0,98 | 0,99 | 0,92 | 0,94 | 0,97 |
| 6 | 0,89 | 0,97 | 0,95 | 0,91 | 0,93 | 0,96 |
| 4 | 0,88 | 0,91 | 0,92 | 0,90 | 0,92 | 0,95 |
| 2 | 0,81 | 0,88 | 0,91 | 0,86 | 0,88 | 0,93 |
| 0 | 0,79 | 0,78 | 0,87 | 0,83 | 0,86 | 0,90 |
| -2 | 0,77 | 0,72 | 0,86 | 0,78 | 0,82 | 0,86 |
| -4 | 0,73 | 0,65 | 0,84 | 0,73 | 0,77 | 0,82 |
| -6 | 0,69 | 0,56 | 0,83 | 0,67 | 0,71 | 0,76 |
| -8 | 0,65 | 0,48 | 0,77 | 0,58 | 0,63 | 0,66 |
| -10 | 0,61 | 0,40 | 0,70 | 0,46 | 0,51 | 0,57 |
| -12 | 0,57 | 0,34 | 0,68 | 0,31 | 0,35 | 0,39 |
| -14 | 0,54 | 0,28 | 0,58 | 0,28 | 0,29 | 0,32 |
| -16 | 0,51 | 0,24 | 0,53 | 0,25 | 0,25 | 0,28 |
| -18 | 0,48 | 0,22 | 0,47 | 0,23 | 0,22 | 0,25 |
| -20 | 0,45 | 0,20 | 0,41 | 0,21 | 0,20 | 0,23 |
| -22 | 0,42 | 0,19 | 0,35 | 0,20 | 0,18 | 0,21 |
| -24 | 0,40 | 0,18 | 0,32 | 0,19 | 0,17 | 0,20 |
| -26 | 0,37 | 0,17 | 0,28 | 0,18 | 0,16 | 0,19 |
| -28 | 0,34 | 0,17 | 0,25 | 0,12 | 0,15 | 0,18 |
| -30 | 0,32 | 0,17 | 0,24 | 0,11 | 0,14 | 0,17 |
| -40 | 0,21 | 0,17 | 0,19 | 0,1 | 0,12 | 0,14 |
| -50 | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,09 | 0,12 | 0,14 |
| -60 | 0,16 | 0,18 | 0,15 | | | |
| -70 | | 0,14 | | | | |

**Таблица П.6.3. Значения коэффициентов подъема уровней болотных вод (η_2).
Болото Ламмин-Суо**

| Уровень болотных вод от СПБ, см | Микроландшафт | | | | | |
|---------------------------------|---|--------------------|--|---|---------------------------------|--------------------|
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | Сфагново-пушицевый | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | Сфагново-кустарничково-сосновый | Грядово-мочажинный |
| 5 | | | | | | |
| 0 | | 3,2 | | | | 1,3 |
| -5 | 1,5 | 4,3 | 1,0 | | | 3,5 |
| -10 | 3,0 | 5,2 | 2,1 | | 3,6 | 4,7 |
| -15 | 3,9 | 5,8 | 3,1 | 4,7 | 4,2 | 5,5 |
| -20 | 4,5 | 6,4 | 3,7 | 5,7 | 4,6 | 6,2 |
| -25 | 5,0 | 6,9 | 4,2 | 6,1 | 4,8 | 6,7 |
| -30 | 5,3 | 7,3 | 4,5 | 6,2 | 4,8 | 7,6 |
| -35 | 5,5 | 7,5 | 4,6 | 6,2 | 4,9 | 8,1 |
| -40 | 5,6 | 7,7 | 4,6 | 6,2 | 4,9 | 8,4 |
| -45 | 5,6 | 7,8 | 4,7 | 6,2 | 4,9 | 8,5 |
| -50 | 5,6 | 7,9 | 4,7 | 6,2 | 4,9 | 8,5 |
| -55 | 5,6 | 8,0 | 4,7 | 6,2 | 4,9 | 8,5 |
| -60 | | 8,0 | 4,9 | 6,2 | 4,9 | 8,5 |

Таблица П.6.4. Величины капиллярной влагоемкости торфяной залежи. Болото Ламмин-Суо

| | Глубина взятия, см | Степень разложения, % | Объемный вес сухого вещества, г/см ³ | Объем пор при данном интервале высот отсоса, % | | | | | | | | | | Влага, % | | | Объем, % | | |
|---|--------------------------|-----------------------------|--|--|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|----------|---------|-------------|-------------|------------|-----------------|
| | | | | 0-5 | 0-10 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-70 | 70-100 | 100-130 | 130-150 | 130-155 | капиллярная | | остаточная | сухого вещества |
| Микроландшафт, место отбора проб | 0-10 | 0 | 0,008 | | 69,0 | | 16,4 | 4,2 | 2,0 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0,0 | | 93,5 | 5,6 | 0,5 | 0,4 |
| | 0-10 | 0 | 0,030 | 46,6 | | 23,7 | 3,2 | 1,9 | 1,5 | 2,6 | 2,8 | 2,5 | 1,6 | | 86,4 | 16,6 | 1,9 | -3,9 | |
| Грядово-мочажинный комплекс. Мочажина сфагново-пушицевая, в 73 м к северо-западу от скв. 107 | 12-22 | 5 | 0,042 | 27,4 | | 24,8 | 5,0 | 2,7 | 1,9 | 4,1 | 4,5 | 2,7 | 1,8 | | 74,9 | 23,8 | 2,6 | -1,3 | |
| | 16-36 | 5 | 0,054 | 18,4 | | 14,5 | 7,8 | 5,6 | 3,7 | 6,3 | 7,8 | 2,1 | 3,1 | | 69,3 | 28,7 | 3,3 | -1,3 | |
| | 37-47 | 5 | 0,052 | 4,4 | | 13,9 | 8,8 | 7,0 | 4,2 | 11,5 | 7,3 | 3,5 | 3,4 | | 64,0 | 34,7 | 3,3 | -2,0 | |
| | 42-52 | 7 | 0,061 | 3,6 | | 13,5 | 6,4 | 4,6 | 5,0 | 2,5 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | | 39,0 | 54,3 | 3,8 | 2,9 | |
| | 54-64 | 10 | 0,062 | 4,7 | | 9,5 | 5,8 | 1,6 | 1,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,4 | | 25,6 | 66,9 | 3,8 | 3,7 | |
| | 66-76 | 12 | 0,060 | 1,5 | | 6,2 | 7,0 | 2,2 | 1,9 | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 0,8 | | 22,2 | 64,8 | 3,8 | 9,2 | |
| | 78-88 | 12 | 0,059 | 2,1 | | 4,2 | 7,0 | 3,0 | 1,8 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | | 21,5 | 75,3 | 3,7 | -0,5 | |
| | 88-98 | 18 | 0,051 | 0,3 | | 5,3 | 7,2 | 4,9 | 3,5 | 4,9 | 6,8 | 5,4 | 4,2 | | 42,5 | 45,3 | 3,2 | 9,0 | |
| | 100-110 | 20 | 0,051 | 0,9 | | 3,1 | 8,9 | 7,2 | 4,4 | 3,3 | 3,2 | 2,6 | 2,3 | | 35,9 | 63,0 | 3,3 | -2,2 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-------|-------|-------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Сфагново-пушицевый микроландшафт. Слабо выраженное понижение среди редких сфагновых подушек, в 20 м к югу от скв. 108 | 2-12 | 0 | 0,026 | 54,7 | 4,1 | 15,3 | 4,9 | 2,4 | 1,8 | 2,5 | 1,9 | 1,0 | | | 87,2 | 13,7 | 1,6 | 2,5 | |
| | 14-24 | 5 | 0,049 | 18,9 | | 20,9 | 6,4 | 3,6 | 3,1 | 3,8 | 2,8 | 1,4 | | 1,7 | 62,6 | 26,2 | 3,1 | 8,1 | |
| | 25-35 | 10 | 0,060 | 11,8 | | 8,1 | 7,6 | 5,7 | 6,6 | 7,1 | 5,2 | 3,5 | | 2,4 | 58,0 | 36,2 | 3,8 | 2,0 | |
| | 38-48 | 10 | 0,059 | 1,9 | | 3,9 | 14,5 | 9,0 | 5,1 | 8,3 | 7,6 | 5,0 | | 3,4 | 58,7 | 38,7 | 3,7 | -1,1 | |
| | 50-55 | 15 | 0,052 | 3,6 | 4,1 | 17,1 | 10,5 | 7,6 | 4,4 | 6,0 | 6,0 | 4,3 | | 2,4 | 66,3 | 33,2 | 3,2 | -2,7 | |
| | 55-60 | 15 | 0,066 | 4,2 | 2,7 | 9,9 | 9,4 | 7,8 | 4,4 | 6,7 | 7,1 | 5,0 | | 2,7 | 59,9 | 41,0 | 4,1 | -5,0 | |
| | 61-71 | 15 | 0,140 | | 0,7 | 3,0 | 1,2 | 0,9 | 0,6 | 1,1 | 0,3 | 0,2 | | 0,2 | 8,7 | 81,5 | 8,8 | 1,5 | |
| | 73-83 | 20 | 0,153 | 0,4 | | 0,1 | 1,4 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | | 0,6 | 3,8 | 86,9 | 9,6 | -0,3 | |
| | 85-90 | 20 | 0,142 | 0,0 | 0,6 | 3,8 | 3,9 | 3,2 | 2,2 | 2,2 | 3,0 | 3,3 | 1,5 | 0,2 | 21,7 | 60,7 | 6,8 | 10,8 | |
| | 90-95 | 20 | 0,148 | 0,0 | 1,3 | 3,0 | 1,8 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 1,4 | 20,6 | 64,8 | 9,2 | 5,4 | |
| | 96-102 | 20 | 0,147 | 1,5 | 1,9 | 4,3 | 4,7 | 2,3 | 1,5 | 1,8 | 0,4 | 1,3 | | 1,0 | 20,7 | 57,5 | 9,2 | 12,6 | |
| | 102-107 | 25 | 0,152 | 0,0 | 0,7 | 1,3 | 0,0 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 3,7 | 4,3 | 2,4 | 1,0 | 18,7 | 60,3 | 9,5 | 11,5 | |
| | 108-113 | 25 | 0,115 | 1,3 | 1,9 | 6,6 | 6,9 | 5,0 | 3,3 | 3,3 | 4,7 | 4,5 | 3,0 | 1,2 | 38,4 | 47,4 | 7,2 | 7,0 | |
| | 114-119 | 25 | 0,141 | 0,0 | 1,4 | 5,2 | 2,7 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 1,5 | 2,1 | 1,5 | 3,3 | 21,8 | 57,8 | 8,8 | 11,6 | |
| | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт. Сфагновая подушка в 58 м к югу от скв. 104 | 0-10 | 5 | 0,036 | 33,7 | | 21,3 | 5,6 | 3,5 | 2,2 | 3,2 | 4,2 | 2,0 | 2,4 | | 78,1 | 20,4 | 2,3 | -0,8 |
| | | 14-24 | 5 | 0,046 | 26,4 | | 17,4 | 6,2 | 4,1 | 2,9 | 4,9 | 4,9 | 2,7 | 2,3 | | 71,8 | 26,1 | 2,8 | -0,7 |
| | | 26-36 | 5 | 0,045 | 15,5 | | 16,6 | 8,0 | 4,8 | 3,8 | 6,4 | 5,3 | 3,1 | 3,0 | | 66,5 | 26,4 | 2,8 | 4,3 |
| | | 38-48 | 5 | 0,049 | 7,2 | | 20,7 | 7,2 | 4,6 | 3,8 | 5,3 | 4,6 | 5,4 | 1,6 | | 60,4 | 30,4 | 3,0 | 6,2 |
| | | 49-59 | 10 | 0,059 | 5,6 | | 9,4 | 10,2 | 5,1 | 4,3 | 6,7 | 5,3 | 3,9 | 3,2 | | 53,7 | 43,5 | 3,7 | 1,1 |
| | | 61-71 | 10 | 0,061 | 5,2 | | 8,3 | 9,6 | 6,1 | 5,5 | 4,4 | 6,4 | 6,7 | 4,4 | | 56,6 | 39,3 | 3,8 | 0,3 |
| 13-18 | | 5 | 0,041 | 1,9 | 7,1 | 14,2 | 10,9 | 9,4 | 4,3 | 8,2 | 4,5 | 2,8 | 1,7 | | 65,0 | 27,6 | 2,6 | 4,8 | |
| 19-24 | | 10 | 0,074 | 0,2 | 10,7 | 13,4 | 6,7 | 5,0 | 3,2 | 4,5 | 3,7 | 2,7 | 1,3 | | 51,4 | 34,8 | 4,6 | 9,2 | |
| 25-30 | | 10 | 0,173 | 0,0 | 0,9 | 2,8 | 2,6 | 2,0 | 1,8 | 3,5 | 4,1 | 3,2 | 0,9 | | 21,8 | 61,0 | 10,8 | 6,4 | |
| 31-36 | | 20 | 0,194 | 0,0 | 0,6 | 1,7 | 1,4 | 0,9 | 0,8 | 1,7 | 1,8 | 0,6 | 0,2 | | 9,7 | 72,5 | 12,1 | 5,7 | |

Приложение к главе 7

Таблица П.7.1. Значения соответственных уровней воды для различных типов болотных микроландшафтов

| а | б | в | г | д | е | ж | з |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 4 | 1 | -2 | 3 | 18 | 2 | 13 | 1 |
| 2 | 0 | -4 | 1 | 16 | 1 | 10 | -1 |
| 0 | -2 | -5 | -1 | 13 | -1 | 7 | -2 |
| -2 | -4 | -7 | -4 | 11 | -2 | 4 | -4 |
| -4 | -6 | -9 | -6 | 8 | -4 | 0 | -5 |
| -6 | -8 | -11 | -9 | 5 | -5 | -3 | -7 |
| -8 | -9 | -12 | -11 | 3 | -7 | -6 | -8 |
| -10 | -11 | -14 | -13 | 0 | -8 | -9 | -10 |
| -12 | -13 | -16 | -16 | -3 | -10 | -12 | -11 |
| -14 | -15 | -17 | -18 | -5 | -11 | -15 | -13 |
| -16 | -17 | -19 | -21 | -8 | -13 | -19 | -14 |
| -18 | -18 | -21 | -23 | -11 | -14 | -22 | -16 |
| -20 | -20 | -22 | -25 | -13 | -16 | -25 | -17 |
| -22 | -22 | -24 | -28 | -16 | -17 | -28 | -18 |
| -24 | -24 | -26 | -30 | -19 | -19 | -31 | -20 |
| -26 | -26 | -27 | -33 | -21 | -20 | -35 | -21 |
| -28 | -27 | -29 | -35 | -24 | -22 | -38 | -23 |
| -30 | -29 | -31 | -37 | -27 | -23 | -41 | -24 |
| -32 | -31 | -32 | -40 | -29 | -25 | -44 | -26 |
| -34 | -33 | -34 | -42 | -32 | -26 | -47 | -27 |
| -36 | -35 | -36 | -45 | -35 | -28 | -50 | -29 |
| -38 | -36 | -37 | -47 | -37 | -29 | -54 | -30 |
| -40 | -38 | -39 | -49 | -40 | -31 | -57 | -32 |
| -42 | -40 | -41 | -52 | -43 | -32 | -60 | -33 |
| -44 | -42 | -42 | -54 | -45 | -33 | -63 | -35 |
| -46 | -44 | -44 | -57 | -48 | -35 | -66 | -36 |
| -48 | -45 | -46 | -59 | -51 | -36 | -69 | -38 |
| -50 | -47 | -47 | -61 | -53 | -38 | -73 | -39 |

Примечание: Буквенные обозначения см. в нижеприведенной таблице.

Вспомогательная таблица к таблице П.7.1

| Тип | Номер скважины | Микроландшафт |
|-----|----------------|---|
| а | 102а, 103 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной |
| б | 101 | Сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый |
| в | 107б | Грядово-мочажинный комплекс (гряда) |
| г | 108 | Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем |
| д | 210, 313 | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной |
| е | 106 | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями |
| ж | 316 | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый |
| з | 109 | Сосново-сфагново-кустарничковый |

Приложение к главе 12

Таблица П.12.1. Данные серийных теплобалансовых наблюдений в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте. Болото Ламмин-Суо, 1971 г.

| Час | R _г , Дж/ (см ² ·ч) | Q _г , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|----------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| Серия 1 (12–14.07), 12.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 42,3 | 0,0 | 17,5 | 17,2 | 16,6 | 16,4 | 0,086 |
| 07:30–08:30 | 83,3 | 3,3 | 18,6 | 18,2 | 16,8 | 16,4 | 0,195 |
| 08:30–09:30 | 89,2 | 4,1 | 19,8 | 19,1 | 16,9 | 16,4 | 0,178 |
| 09:30–10:30 | 154,5 | 8,2 | 21,0 | 20,0 | 16,6 | 16,0 | 0,280 |
| 10:30–11:30 | 143,2 | 7,4 | 22,1 | 21,0 | 16,4 | 15,5 | 0,306 |
| 11:30–12:30 | 202,6 | 11,9 | 23,2 | 22,0 | 16,3 | 15,4 | 0,415 |
| 12:30–13:30 | 179,6 | 10,8 | 24,2 | 23,1 | 16,2 | 15,3 | 0,382 |
| 13:30–14:30 | 211,9 | 10,7 | 24,4 | 23,4 | 15,4 | 14,4 | 0,490 |
| 14:30–15:30 | 129,4 | 3,1 | 24,6 | 23,8 | 14,5 | 13,6 | 0,334 |
| 15:30–16:30 | 166,6 | 11,5 | 24,8 | 24,2 | 14,8 | 14,2 | 0,379 |
| 16:30–17:30 | 129,0 | 6,9 | 25,0 | 24,5 | 15,2 | 14,7 | 0,298 |
| 17:30–18:30 | 100,5 | 5,2 | 23,6 | 23,3 | 15,3 | 14,8 | 0,274 |
| 18:30–19:30 | 42,3 | 2,6 | 22,1 | 22,1 | 15,4 | 15,0 | 0,157 |
| 19:30–20:30 | 20,9 | 0,7 | 19,8 | 20,0 | 16,1 | 15,9 | 0,080 |
| 20:30–21:30 | -5,0 | -0,8 | 17,6 | 17,6 | 16,8 | 16,8 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -22,6 | -2,1 | 16,4 | 16,8 | 16,0 | 16,0 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -23,9 | -2,1 | 15,2 | 15,7 | 15,1 | 15,2 | -0,021 |
| 23:30–00:30 | -23,9 | -3,3 | 14,8 | 15,4 | 14,6 | 14,6 | 0,000 |
| 00:30–01:30 | -19,3 | -2,9 | 14,5 | 15,0 | 14,0 | 14,1 | -0,016 |
| 01:30–02:30 | -23,9 | -4,1 | 14,0 | 14,6 | 14,4 | 14,6 | -0,027 |
| 02:30–03:30 | -9,2 | -2,9 | 13,4 | 14,2 | 14,7 | 15,1 | -0,011 |
| 03:30–04:30 | -18,4 | -11,5 | 13,2 | 13,9 | 14,7 | 15,2 | -0,014 |
| 04:30–05:30 | 4,6 | -1,6 | 13,0 | 13,6 | 14,7 | 15,4 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 9,2 | -0,8 | 14,3 | 14,6 | 15,6 | 15,9 | 0,000 |
| Сумма | 1562,9 | 54,2 | | | | | 3,768 |
| 13.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 23,0 | -0,4 | 15,6 | 15,5 | 16,4 | 16,4 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 68,2 | -0,8 | 17,6 | 17,2 | 15,6 | 15,2 | 0,168 |
| 08:30–09:30 | 123,9 | 3,9 | 19,5 | 18,8 | 14,7 | 14,1 | 0,271 |
| 09:30–10:30 | 143,2 | 5,5 | 19,8 | 19,0 | 13,2 | 12,6 | 0,299 |
| 10:30–11:30 | 173,8 | 7,0 | 20,2 | 19,3 | 11,7 | 11,1 | 0,338 |

| Час | R ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Q ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | E, мм/ч |
|--------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 11:30–12:30 | 191,3 | 7,8 | 20,6 | 19,6 | 11,3 | 10,6 | 0,394 |
| 12:30–13:30 | 197,6 | 7,8 | 20,9 | 19,8 | 10,9 | 10,0 | 0,428 |
| 13:30–14:30 | 149,9 | 7,8 | 20,8 | 19,8 | 11,6 | 11,0 | 0,272 |
| 14:30–15:30 | 177,1 | 7,0 | 20,8 | 19,7 | 12,4 | 11,9 | 0,282 |
| 15:30–16:30 | 143,2 | 6,2 | 20,5 | 19,6 | 12,0 | 11,4 | 0,277 |
| 16:30–17:30 | 145,7 | 6,2 | 20,2 | 19,5 | 11,5 | 10,8 | 0,340 |
| 17:30–18:30 | 93,8 | 4,1 | 19,2 | 18,8 | 11,3 | 10,7 | 0,246 |
| 18:30–19:30 | 47,3 | 2,1 | 18,3 | 18,2 | 11,1 | 10,8 | 0,159 |
| 19:30–20:30 | 0,0 | -1,2 | 16,8 | 16,9 | 11,3 | 11,0 | 0,006 |
| 20:30–21:30 | -4,6 | -1,6 | 15,4 | 15,6 | 11,4 | 11,3 | 0,042 |
| 21:30–22:30 | -23,0 | -3,3 | 13,1 | 14,0 | 10,3 | 10,3 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -13,8 | -4,9 | 10,8 | 12,4 | 9,2 | 9,3 | -0,003 |
| 23:30–00:30 | -9,2 | -5,3 | 6,2 | 8,7 | 7,9 | 8,8 | -0,006 |
| 00:30–01:30 | -13,8 | -7,0 | 1,5 | 5,0 | 6,6 | 8,4 | -0,012 |
| 01:30–02:30 | -13,8 | -7,4 | 1,4 | 4,7 | 6,6 | 8,4 | -0,012 |
| 02:30–03:30 | -13,8 | -7,0 | 1,4 | 4,4 | 6,7 | 8,3 | -0,012 |
| 03:30–04:30 | -13,8 | -5,3 | 4,2 | 6,2 | 8,0 | 7,8 | 0,006 |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -5,3 | 7,1 | 7,9 | 9,2 | 9,2 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 23,0 | -3,6 | 9,6 | 9,8 | 9,1 | 8,9 | 0,290 |
| Сумма | 1595,2 | 12,1 | | | | | 3,789 |
| 14.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 50,2 | -1,9 | 12,2 | 11,8 | 9,0 | 8,6 | 0,127 |
| 07:30–08:30 | 83,7 | 0,4 | 13,4 | 12,8 | 8,7 | 8,2 | 0,188 |
| 08:30–09:30 | 99,6 | 2,1 | 14,7 | 13,9 | 8,4 | 7,7 | 0,229 |
| 09:30–10:30 | 149,1 | 6,3 | 14,8 | 14,0 | 8,6 | 8,0 | 0,219 |
| 10:30–11:30 | 82,9 | 4,4 | 14,8 | 14,1 | 8,7 | 8,2 | 0,165 |
| 11:30–12:30 | 74,9 | 5,5 | 15,0 | 14,4 | 8,9 | 8,4 | 0,157 |
| 12:30–13:30 | 100,5 | 4,1 | 15,1 | 14,7 | 9,1 | 8,6 | 0,256 |
| 13:30–14:30 | 48,6 | 5,2 | 16,1 | 15,4 | 9,0 | 8,4 | 0,098 |
| 14:30–15:30 | 106,3 | 4,9 | 17,1 | 16,2 | 9,0 | 8,3 | 0,220 |
| 15:30–16:30 | 69,1 | 4,9 | 16,6 | 15,8 | 9,0 | 8,4 | 0,139 |
| 16:30–17:30 | 55,3 | 3,2 | 16,0 | 15,4 | 8,9 | 8,4 | 0,117 |
| 17:30–18:30 | 1,7 | 0,3 | 14,0 | 13,6 | 10,2 | 9,8 | 0,004 |
| 18:30–19:30 | 8,4 | 0,0 | 12,0 | 11,8 | 11,5 | 11,3 | 0,020 |
| 19:30–20:30 | 17,6 | -1,0 | 11,6 | 11,8 | 11,3 | 11,2 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | -3,8 | -2,4 | 11,2 | 11,7 | 11,1 | 11,2 | -0,003 |
| 21:30–22:30 | -16,7 | -5,0 | 6,2 | 8,3 | 8,8 | 9,9 | -0,021 |
| 22:30–23:30 | -13,8 | -4,7 | 1,3 | 4,9 | 6,6 | 8,6 | -0,009 |
| 23:30–00:30 | -15,5 | -7,4 | | | | | |

Продолжение таблицы П.12.1

| Час | R ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Q ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | E, мм/ч |
|----------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 00:30–01:30 | -10,5 | -5,4 | | | | | |
| 01:30–02:30 | -13,8 | -7,4 | | | | | |
| 02:30–03:30 | -13,8 | -11,5 | | | | | |
| 03:30–04:30 | -13,8 | -3,1 | | | | | |
| 04:30–05:30 | 4,6 | -3,0 | 2,1 | 2,5 | 6,7 | 7,2 | 0,020 |
| 05:30–06:30 | 18,4 | -4,5 | 7,2 | 7,2 | 10,5 | 10,5 | 0,000 |
| Сумма | 869,2 | -16,0 | | | | | |
| Серия 2 (21–23.07), 21.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 0,0 | 0,3 | 17,4 | 16,5 | 14,1 | 13,9 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 20,9 | 4,4 | 18,3 | 17,7 | 14,6 | 14,2 | 0,034 |
| 08:30–09:30 | 96,3 | 6,8 | 19,2 | 18,9 | 15,0 | 14,4 | 0,271 |
| 09:30–10:30 | 137,7 | 9,2 | 20,6 | 20, | 15,0 | 14,2 | 0,341 |
| 10:30–11:30 | 140,3 | 10,7 | 22,1 | 21,0 | 15,1 | 14,1 | 0,304 |
| 11:30–12:30 | 91,7 | 11,1 | 21,2 | 20,6 | 14,9 | 14,0 | 0,222 |
| 12:30–13:30 | 69,5 | 4,0 | 20,4 | 20,2 | 14,7 | 14,0 | 0,220 |
| 13:30–14:30 | 185,1 | 12,7 | 18,4 | 18,3 | 15,2 | 14,6 | 0,607 |
| 14:30–15:30 | 43,1 | 5,1 | 16,4 | 16,4 | 15,6 | 15,3 | 0,153 |
| 15:30–16:30 | 19,7 | 0,9 | 16,8 | 16,8 | 15,9 | 15,2 | 0,075 |
| 16:30–17:30 | 20,5 | 0,8 | 17,1 | 17,1 | 16,2 | 15,2 | 0,078 |
| 17:30–18:30 | 20,5 | 1,5 | 17,8 | 17,8 | 15,0 | 14,8 | 0,075 |
| 18:30–19:30 | 23,9 | 2,0 | 18,6 | 18,6 | 14,8 | 14,4 | 0,087 |
| 19:30–20:30 | 11,7 | 1,5 | 16,7 | 17,0 | 15,1 | 14,8 | 0,044 |
| 20:30–21:30 | 0,0 | 0,0 | 14,8 | 15,5 | 15,4 | 15,3 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -20,1 | -2,6 | 13,8 | 14,6 | 13,9 | 13,9 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -9,2 | -2,1 | 12,7 | 13,6 | 12,4 | 12,5 | -0,004 |
| 23:30–00:30 | -13,8 | -3,3 | 12,1 | 13,0 | 12,5 | 12,6 | -0,006 |
| 00:30–01:30 | -4,6 | -3,3 | 11,5 | 12,5 | 12,6 | 12,8 | -0,001 |
| 01:30–02:30 | 0,0 | -3,7 | 10,9 | 11,7 | 12,4 | 12,8 | 0,000 |
| 02:30–03:30 | -4,6 | -2,5 | 10,3 | 10,9 | 12,3 | 12,7 | -0,004 |
| 03:30–04:30 | -4,6 | -2,5 | 10,8 | 11,2 | 12,4 | 12,6 | -0,004 |
| 04:30–05:30 | -4,6 | -2,5 | 11,2 | 11,5 | 12,5 | 12,6 | -0,003 |
| 05:30–06:30 | 1,7 | -0,5 | 12,4 | 12,4 | 13,2 | 13,2 | 0,000 |
| Сумма | 821,0 | 48,1 | | | | | 2,490 |
| 22.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 36,8 | 0,0 | 13,5 | 13,3 | 14,0 | 13,8 | 0,089 |
| 07:30–08:30 | 27,6 | 1,8 | 15,0 | 14,6 | 14,8 | 14,6 | 0,045 |
| 08:30–09:30 | 53,2 | 4,4 | 16,5 | 16,0 | 15,7 | 15,5 | 0,074 |
| 09:30–10:30 | 99,6 | 13,4 | 17,6 | 17,2 | 15,5 | 15,2 | 0,188 |
| 10:30–11:30 | 74,9 | 1,0 | 18,7 | 18,3 | 15,3 | 14,9 | 0,180 |

| Час | R ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Q ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|--------------|--|--|-----------------|-------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 11:30–12:30 | 38,5 | 3,7 | 18,6 | 18,2 | 15,5 | 15,0 | 0,092 |
| 12:30–13:30 | 101,7 | 4,9 | 18,6 | 18,1 | 15,7 | 15,1 | 0,255 |
| 13:30–14:30 | 110,1 | 8,2 | 18,4 | 18,0 | 16,2 | 15,6 | 0,279 |
| 14:30–15:30 | 28,9 | 4,5 | 18,3 | 17,9 | 16,6 | 16,1 | 0,064 |
| 15:30–16:30 | 43,1 | 4,1 | 18,3 | 18,0 | 16,4 | 15,7 | 0,123 |
| 16:30–17:30 | 60,7 | 0,0 | 18,3 | 18,0 | 16,2 | 15,3 | 0,183 |
| 17:30–18:30 | 61,1 | 3,9 | 17,4 | 17,4 | 14,2 | 13,5 | 0,227 |
| 18:30–19:30 | 17,6 | 3,1 | 16,6 | 16,7 | 12,3 | 11,7 | 0,067 |
| 19:30–20:30 | 31,8 | 0,6 | 15,8 | 16,0 | 12,4 | 12,0 | 0,184 |
| 20:30–21:30 | -17,6 | 2,2 | 15,0 | 15,3 | 12,5 | 12,3 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -15,1 | -3,9 | 11,7 | 12,8 | 11,6 | 12,1 | -0,019 |
| 22:30–23:30 | -12,1 | -5,5 | 8,4 | 10,2 | 10,8 | 11,9 | -0,013 |
| 23:30–00:30 | -9,2 | -3,6 | 10,4 | 11,6 | 11,8 | 12,4 | -0,010 |
| 00:30–01:30 | -7,5 | -2,7 | 12,3 | 13,0 | 12,9 | 13,0 | -0,004 |
| 01:30–02:30 | -18,4 | -3,6 | 11,0 | 12,0 | 12,2 | 12,6 | -0,022 |
| 02:30–03:30 | -17,6 | -4,9 | 9,8 | 11,1 | 11,6 | 12,2 | -0,021 |
| 03:30–04:30 | -10,9 | -5,1 | 7,6 | 10,2 | 10,2 | 11,6 | -0,012 |
| 04:30–05:30 | -3,8 | -0,4 | 5,5 | 9,4 | 8,9 | 11,5 | -0,007 |
| 05:30–06:30 | 22,2 | 10,1 | 10,0 | 11,9 | 11,4 | 12,6 | 0,000 |
| Сумма | 695,8 | 36,1 | | | | | 1,942 |
| 23.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 48,1 | -2,0 | 14,4 | 14,40 | 14,0 | 13,8 | 0,198 |
| 07:30–08:30 | 77,5 | 0,0 | 16,0 | 15,6 | 14,0 | 13,6 | 0,188 |
| 08:30–09:30 | 96,7 | 2,5 | 17,5 | 16,8 | 13,8 | 13,3 | 0,212 |
| 09:30–10:30 | 117,2 | 7,0 | 18,2 | 17,4 | 13,9 | 13,2 | 0,258 |
| 10:30–11:30 | 141,9 | 8,6 | 18,9 | 18,0 | 13,9 | 13,0 | 0,318 |
| 11:30–12:30 | 188,4 | 11,1 | 19,6 | 18,6 | 13,0 | 12,0 | 0,433 |
| 12:30–13:30 | 230,3 | 10,5 | 20,3 | 19,1 | 12,0 | 11,0 | 0,495 |
| 13:30–14:30 | 145,7 | 12,7 | 20,8 | 19,6 | 12,6 | 11,7 | 0,289 |
| 14:30–15:30 | 161,6 | 11,3 | 21,3 | 20,0 | 13,3 | 12,4 | 0,314 |
| 15:30–16:30 | 130,6 | 9,8 | 21,4 | 20,4 | 12,8 | 12,0 | 0,273 |
| 16:30–17:30 | 92,1 | 8,5 | 21,6 | 20,0 | 12,4 | 11,5 | 0,211 |
| 17:30–18:30 | 76,6 | 6,3 | 21,0 | 20,4 | 12,4 | 11,6 | 0,187 |
| 18:30–19:30 | 41,0 | 2,9 | 20,4 | 20,0 | 12,3 | 11,7 | 0,106 |
| 19:30–20:30 | 9,2 | -0,4 | 18,2 | 18,4 | 13,2 | 12,6 | 0,056 |
| 20:30–21:30 | -9,2 | -2,5 | 15,9 | 16,7 | 14,2 | 13,8 | 0,030 |
| 21:30–22:30 | -16,7 | -5,3 | 10,8 | 13,0 | 11,6 | 12,8 | -0,021 |
| 22:30–23:30 | -13,8 | -5,3 | 5,8 | 9,2 | 9,1 | 11,8 | -0,018 |
| 23:30–00:30 | -13,8 | -5,3 | 4,7 | 8,2 | 8,5 | 11,0 | -0,018 |

Продолжение таблицы П.12.1

| Час | R ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Q ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|-----------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 00:30–01:30 | -9,2 | -4,1 | 3,6 | 7,3 | 7,9 | 10,2 | -0,010 |
| 01:30–02:30 | -18,4 | -9,0 | 2,8 | 6,4 | 7,5 | 9,6 | -0,017 |
| 02:30–03:30 | -9,2 | -4,1 | 2,1 | 5,5 | 7,1 | 9,0 | -0,009 |
| 03:30–04:30 | -13,8 | -8,2 | 2,2 | 5,6 | 7,2 | 9,1 | -0,010 |
| 04:30–05:30 | -4,6 | -3,3 | 2,4 | 5,7 | 7,3 | 9,2 | -0,003 |
| 05:30–06:30 | 9,2 | -7,0 | | | | | |
| Сумма | 1457,4 | 34,6 | | | | | 3,462 |
| Серия 3 (28, 29.07), 28.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 23,9 | 0,0 | 17,7 | 17,4 | 18,4 | 18,2 | 0,048 |
| 07:30–08:30 | 67,0 | 1,2 | 19,4 | 18,8 | 18,8 | 18,4 | 0,134 |
| 08:30–09:30 | 104,3 | 4,9 | 21,1 | 20,3 | 19,1 | 18,7 | 0,173 |
| 09:30–10:30 | 134,0 | 8,2 | 23,1 | 22,2 | 18,1 | 17,4 | 0,273 |
| 10:30–11:30 | 164,5 | 10,7 | 25,1 | 24,0 | 17,1 | 16,2 | 0,346 |
| 11:30–12:30 | 138,2 | 10,3 | 24,6 | 23,8 | 16,4 | 15,6 | 0,311 |
| 12:30–13:30 | 75,4 | 9,0 | 24,2 | 23,7 | 15,6 | 14,9 | 0,182 |
| 13:30–14:30 | 139,4 | 8,2 | 25,0 | 24,4 | 15,4 | 14,6 | 0,345 |
| 14:30–15:30 | 118,1 | 7,4 | 25,7 | 25,0 | 15,1 | 14,3 | 0,280 |
| 15:30–16:30 | 97,6 | 8,0 | 25,0 | 24,4 | 15,2 | 14,5 | 0,225 |
| 16:30–17:30 | 78,3 | 5,6 | 24,4 | 23,8 | 15,4 | 14,7 | 0,184 |
| 17:30–18:30 | 87,9 | 6,6 | 24,6 | 23,8 | 14,8 | 14,2 | 0,175 |
| 18:30–19:30 | 28,9 | 1,6 | 24,9 | 23,9 | 14,3 | 13,8 | 0,048 |
| 19:30–20:30 | 4,6 | 0,0 | 21,6 | 21,5 | 15,0 | 14,8 | 0,014 |
| 20:30–21:30 | -4,6 | -0,3 | 18,2 | 19,1 | 15,7 | 15,7 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -27,6 | -6,2 | 13,6 | 15,4 | 13,4 | 14,7 | -0,045 |
| 22:30–23:30 | -4,6 | -3,3 | 9,0 | 11,7 | 11,2 | 13,7 | -0,003 |
| 23:30–00:30 | -23,0 | -6,6 | 8,2 | 11,1 | 10,8 | 13,2 | -0,037 |
| 00:30–01:30 | -4,6 | -4,1 | 7,5 | 10,5 | 10,3 | 12,7 | -0,001 |
| 01:30–02:30 | -4,6 | -4,1 | 7,6 | 10,0 | 10,4 | 12,4 | -0,001 |
| 02:30–03:30 | -4,6 | -4,1 | 7,7 | 9,6 | 10,5 | 12,0 | -0,001 |
| 03:30–04:30 | -4,6 | -4,1 | 8,4 | 9,8 | 11,0 | 12,1 | -0,001 |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -2,8 | 9,2 | 9,9 | 11,5 | 12,2 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 13,8 | -1,6 | 12,6 | 12,8 | 14,0 | 14,4 | 0,000 |
| Сумма | 1197,4 | 44,4 | | | | | 2,649 |
| 29.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 18,4 | -1,2 | 15,9 | 15,6 | 16,5 | 16,5 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 64,5 | 2,5 | 17,8 | 17,4 | 17,2 | 17,0 | 0,109 |
| 08:30–09:30 | 61,5 | 5,3 | 19,8 | 19,2 | 17,9 | 17,6 | 0,100 |
| 09:30–10:30 | 47,7 | 5,7 | 19,4 | 19,0 | 17,8 | 17,4 | 0,102 |
| 10:30–11:30 | 38,5 | 4,1 | 19,1 | 18,7 | 17,6 | 17,2 | 0,084 |

| Час | R ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Q ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | E, мм/ч |
|-----------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 11:30–12:30 | 77,5 | 3,8 | 19,4 | 18,6 | 16,8 | 16,3 | 0,145 |
| 12:30–13:30 | 121,0 | 5,7 | 19,6 | 18,4 | 16,1 | 15,4 | 0,220 |
| 13:30–14:30 | 149,9 | 11,1 | 20,3 | 19,0 | 15,6 | 14,8 | 0,274 |
| 14:30–15:30 | 96,7 | 7,8 | 21,0 | 19,7 | 15,1 | 14,3 | 0,175 |
| 15:30–16:30 | 146,5 | 9,0 | 20,9 | 19,4 | 14,2 | 13,6 | 0,210 |
| 16:30–17:30 | 102,6 | 7,8 | 20,8 | 19,1 | 13,3 | 12,8 | 0,118 |
| 17:30–18:30 | 68,2 | 5,3 | 19,6 | 18,4 | 12,6 | 12,2 | 0,086 |
| 18:30–19:30 | 38,1 | 0,7 | 18,4 | 17,7 | 12,0 | 11,7 | 0,060 |
| 19:30–20:30 | 9,6 | -3,1 | 16,4 | 16,3 | 11,6 | 11,6 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | -9,6 | -3,3 | 14,3 | 14,9 | 11,3 | 11,4 | -0,005 |
| 21:30–22:30 | -27,6 | -7,8 | 11,2 | 12,6 | 10,6 | 11,1 | -0,028 |
| 22:30–23:30 | -18,4 | -6,2 | 8,2 | 10,4 | 10,0 | 10,8 | -0,018 |
| 23:30–00:30 | -13,8 | -6,6 | 5,0 | 8,4 | 8,4 | 10,1 | -0,013 |
| 00:30–01:30 | -9,2 | -6,2 | 1,7 | 6,3 | 6,8 | 9,4 | -0,006 |
| 01:30–02:30 | -18,4 | -7,8 | 0,7 | 5,2 | 6,4 | 8,8 | -0,019 |
| 02:30–03:30 | -9,2 | -6,2 | -0,3 | 4,2 | 5,9 | 8,2 | -0,005 |
| 03:30–04:30 | -18,4 | -6,6 | | | | | |
| 04:30–05:30 | -13,8 | -6,2 | | | | | |
| 05:30–06:30 | | | | | | | |
| Сумма | 902,3 | 7,9 | | | | | 1,589 |
| Серия 4 (18, 19.08), 18.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 14,2 | -5,7 | 11,7 | 11,6 | 12,9 | 12,8 | 0,222 |
| 07:30–08:30 | 33,9 | 0,4 | 13,4 | 13,2 | 13,0 | 12,8 | 0,082 |
| 08:30–09:30 | 62,8 | 1,2 | 15,2 | 14,7 | 13,0 | 12,7 | 0,118 |
| 09:30–10:30 | 87,9 | 4,1 | 16,8 | 16,0 | 13,1 | 12,8 | 0,122 |
| 10:30–11:30 | 141,5 | 6,6 | 18,3 | 17,3 | 13,2 | 12,8 | 0,206 |
| 11:30–12:30 | 146,5 | 9,0 | 18,9 | 18,0 | 13,2 | 12,8 | 0,227 |
| 12:30–13:30 | 152,8 | 9,8 | 19,5 | 18,6 | 13,3 | 12,9 | 0,236 |
| 13:30–14:30 | 128,1 | 8,2 | 19,4 | 18,6 | 13,0 | 12,7 | 0,175 |
| 14:30–15:30 | 108,4 | 6,6 | 19,4 | 18,7 | 12,8 | 12,5 | 0,164 |
| 15:30–16:30 | 93,8 | 4,1 | 19,0 | 18,4 | 13,6 | 13,4 | 0,122 |
| 16:30–17:30 | 78,7 | 5,3 | 18,5 | 18,1 | 14,4 | 14,2 | 0,128 |
| 17:30–18:30 | 49,0 | 4,1 | 18,0 | 17,8 | 14,6 | 14,5 | 0,078 |
| 18:30–19:30 | 9,6 | 0,4 | 17,6 | 17,6 | 14,8 | 14,6 | 0,037 |
| 19:30–20:30 | -14,2 | -83,7 | 13,4 | 14,9 | 13,0 | 14,3 | -0,030 |
| 20:30–21:30 | -9,2 | -2,9 | 9,1 | 12,2 | 11,3 | 13,8 | -0,014 |
| 21:30–22:30 | -13,8 | -4,9 | 6,5 | 10,3 | 9,6 | 12,4 | -0,018 |
| 22:30–23:30 | -13,8 | -5,7 | 3,9 | 8,4 | 8,0 | 11,1 | -0,016 |
| 23:30–00:30 | -13,8 | -5,7 | 2,7 | 7,0 | 7,4 | 10,2 | -0,016 |

Продолжение таблицы П.12.1

| Час | R ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Q ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | E, мм/ч |
|-----------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 00:30–01:30 | -13,8 | -6,2 | 1,5 | 5,7 | 6,8 | 9,2 | -0,011 |
| 01:30–02:30 | -9,2 | -6,2 | 1,0 | 4,7 | 6,5 | 8,6 | -0,006 |
| 02:30–03:30 | -13,8 | -6,2 | 0,4 | 3,7 | 6,2 | 8,0 | -0,011 |
| 03:30–04:30 | -4,6 | -5,7 | 0,6 | 3,8 | 6,3 | 8,0 | 0,002 |
| 04:30–05:30 | -9,2 | -4,5 | 0,7 | 3,8 | 6,4 | 8,0 | -0,008 |
| 05:30–06:30 | 4,6 | -6,2 | 2,1 | 3,8 | 7,1 | 8,0 | 0,000 |
| Сумма | 996,5 | -83,7 | | | | | 1,789 |
| 19.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 0,0 | -4,5 | 3,5 | 3,8 | 7,8 | 8,0 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 38,1 | -3,7 | 9,8 | 9,6 | 11,1 | 11,1 | 0,000 |
| 08:30–09:30 | 57,8 | 0,4 | 16,1 | 15,4 | 14,4 | 14,2 | 0,071 |
| 09:30–10:30 | 87,1 | 4,1 | 17,0 | 16,4 | 14,2 | 14,0 | 0,113 |
| 10:30–11:30 | 77,9 | 6,2 | 18,0 | 17,5 | 14,0 | 13,7 | 0,137 |
| 11:30–12:30 | 142,8 | 7,4 | 18,9 | 18,4 | 12,7 | 12,3 | 0,305 |
| 12:30–13:30 | 133,1 | 7,8 | 19,8 | 19,2 | 11,4 | 10,9 | 0,283 |
| 13:30–14:30 | 147,8 | 8,2 | 20,0 | 19,2 | 10,4 | 9,8 | 0,303 |
| 14:30–15:30 | 134,4 | 9,0 | 20,1 | 19,3 | 9,3 | 8,7 | 0,272 |
| 15:30–16:30 | 103,4 | 5,3 | 19,4 | 18,8 | 9,7 | 9,0 | 0,257 |
| 16:30–17:30 | 59,0 | 4,5 | 18,8 | 18,2 | 10,1 | 9,6 | 0,122 |
| 17:30–18:30 | 38,5 | 3,7 | 17,8 | 17,5 | 10,9 | 10,5 | 0,091 |
| 18:30–19:30 | 4,6 | 0,0 | 16,9 | 16,8 | 11,7 | 11,6 | 0,011 |
| 19:30–20:30 | 0,0 | -1,6 | 13,7 | 14,8 | 11,2 | 11,4 | 0,001 |
| 20:30–21:30 | -18,4 | -2,5 | 10,5 | 12,7 | 10,8 | 11,2 | -0,014 |
| 21:30–22:30 | -14,2 | -4,9 | 11,3 | 12,7 | 12,0 | 12,8 | -0,017 |
| 22:30–23:30 | -18,8 | -5,3 | 12,1 | 12,7 | 13,1 | 13,3 | -0,018 |
| 23:30–00:30 | -14,2 | -2,9 | 12,6 | 13,0 | 13,6 | 13,9 | -0,025 |
| 00:30–01:30 | -19,3 | -2,5 | 13,0 | 13,4 | 14,2 | 14,5 | -0,036 |
| 01:30–02:30 | -18,8 | -2,5 | 12,6 | 13,2 | 14,0 | 14,5 | -0,037 |
| 02:30–03:30 | -18,8 | -2,9 | 12,2 | 13,0 | 13,9 | 14,5 | -0,034 |
| 03:30–04:30 | -18,8 | -3,3 | 12,4 | 13,1 | 14,2 | 14,6 | -0,029 |
| 04:30–05:30 | -23,9 | -2,5 | 12,7 | 13,2 | 14,4 | 14,7 | -0,041 |
| 05:30–06:30 | -9,6 | -2,9 | 13,0 | 13,3 | 14,6 | 14,8 | -0,014 |
| Сумма | 849,5 | 14,7 | | | | | 1,701 |
| Серия 5 (25, 26.08), 25.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 0,0 | -2,1 | 13,0 | 13,3 | | | |
| 07:30–08:30 | 5,9 | -0,4 | | | | | |
| 08:30–09:30 | 42,7 | 1,7 | 17,3 | 16,9 | | | |
| 09:30–10:30 | 79,5 | 4,2 | | | | | |
| 10:30–11:30 | 142,4 | 5,4 | 19,0 | 18,3 | | | |

| Час | R ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Q ₀ , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|--------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 11:30–12:30 | 150,3 | 5,9 | | | | | |
| 12:30–13:30 | 106,3 | 4,6 | 18,2 | 17,6 | | | |
| 13:30–14:30 | 106,3 | 4,6 | | | | | |
| 14:30–15:30 | 111,4 | 5,0 | 19,1 | 18,4 | 13,7 | 13,4 | 0,131 |
| 15:30–16:30 | 98,8 | 5,4 | 18,7 | 18,2 | 13,6 | 13,2 | 0,210 |
| 16:30–17:30 | 68,2 | 3,8 | 18,3 | 18,0 | 13,6 | 12,9 | 0,205 |
| 17:30–18:30 | 24,3 | 2,5 | 17,4 | 17,2 | 14,1 | 13,6 | 0,070 |
| 18:30–19:30 | 0,0 | 0,4 | 16,5 | 16,5 | 14,6 | 14,3 | 0,000 |
| 19:30–20:30 | -11,7 | -0,8 | 14,8 | 15,0 | 14,5 | 14,6 | -0,019 |
| 20:30–21:30 | -23,0 | -2,5 | 13,0 | 13,6 | 14,4 | 14,9 | -0,046 |
| 21:30–22:30 | -17,2 | -3,3 | 10,6 | 11,8 | 12,6 | 13,5 | -0,030 |
| 22:30–23:30 | -5,9 | -3,8 | 8,1 | 9,9 | 10,8 | 12,1 | -0,004 |
| 23:30–00:30 | -11,3 | -3,3 | 8,6 | 10,8 | 11,2 | 11,8 | -0,017 |
| 00:30–01:30 | -5,9 | -3,8 | 9,0 | 11,6 | 11,5 | 13,6 | -0,005 |
| 01:30–02:30 | -5,9 | -2,5 | 10,8 | 12,4 | 13,0 | 14,2 | -0,007 |
| 02:30–03:30 | -11,3 | -2,5 | 12,5 | 13,1 | 14,5 | 14,8 | -0,015 |
| 03:30–04:30 | -17,2 | -1,7 | 11,8 | 12,6 | 14,0 | 14,4 | -0,027 |
| 04:30–05:30 | -23,0 | -2,1 | 11,2 | 12,2 | 13,6 | 14,0 | -0,032 |
| 05:30–06:30 | -5,9 | -3,3 | 11,6 | 12,2 | 13,7 | 14,0 | -0,004 |
| Сумма | 798,0 | 11,3 | | | | | |
| 26.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 5,9 | -2,1 | 11,9 | 12,2 | 13,8 | 14,0 | 0,016 |
| 07:30–08:30 | 17,6 | -0,4 | 13,6 | 13,6 | 14,7 | 14,7 | 0,072 |
| 08:30–09:30 | 47,7 | 1,2 | 15,2 | 14,9 | 15,6 | 15,4 | 0,095 |
| 09:30–10:30 | 97,1 | 3,7 | 16,0 | 15,6 | 15,3 | 15,0 | 0,203 |
| 10:30–11:30 | 104,3 | 4,9 | 16,9 | 16,3 | 15,0 | 14,7 | 0,173 |
| 11:30–12:30 | 85,8 | 5,7 | 16,2 | 15,7 | 15,0 | 14,8 | 0,126 |
| 12:30–13:30 | 42,7 | 2,8 | 15,6 | 15,1 | 14,9 | 14,8 | 0,038 |
| 13:30–14:30 | 121,8 | 5,3 | 16,6 | 16,0 | 14,8 | 14,6 | 0,159 |
| 14:30–15:30 | 116,4 | 5,7 | 17,7 | 16,9 | 14,8 | 14,4 | 0,193 |
| 15:30–16:30 | 60,7 | 6,2 | 17,8 | 17,2 | 14,4 | 14,0 | 0,110 |
| 16:30–17:30 | 54,4 | 3,7 | 17,8 | 17,4 | 13,9 | 13,6 | 0,111 |
| 17:30–18:30 | 5,9 | 1,6 | 16,8 | 16,8 | 13,6 | 13,3 | 0,017 |
| 18:30–19:30 | 0,0 | 0,4 | 15,7 | 16,1 | 13,2 | 13,0 | 0,000 |
| 19:30–20:30 | -5,9 | -1,2 | 10,8 | 12,5 | 11,6 | 12,2 | -0,006 |
| 20:30–21:30 | -17,2 | -4,1 | 5,8 | 8,9 | 9,1 | 11,4 | -0,028 |
| 21:30–22:30 | -11,3 | -4,5 | 4,3 | 7,4 | 8,8 | 10,3 | -0,012 |
| 22:30–23:30 | -11,3 | -4,9 | 2,8 | 6,0 | 7,5 | 9,3 | -0,012 |
| 23:30–00:30 | -5,9 | -5,7 | 1,7 | 5,0 | 7,0 | 8,6 | 0,000 |

Окончание таблицы П.12.1

| Час | R ₀ , дж/ (см ² ·ч) | Q _п , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | E, мм/ч |
|-----------------------|--|--|-----------------|-----|---------------|-----|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 00:30–01:30 | -17,2 | -5,7 | 0,6 | 3,9 | 6,4 | 8,0 | -0,020 |
| 01:30–02:30 | -5,9 | -5,7 | 0,8 | 3,4 | 6,5 | 7,8 | 0,000 |
| 02:30–03:30 | -5,9 | -4,9 | 1,0 | 2,9 | 6,6 | 7,5 | -0,001 |
| 03:30–04:30 | -5,9 | -5,3 | 1,8 | 3,2 | 7,0 | 7,6 | -0,001 |
| 04:30–05:30 | -5,9 | -3,7 | 2,7 | 3,5 | 7,4 | 7,8 | -0,004 |
| 05:30–06:30 | 0,0 | -4,1 | 4,6 | 4,8 | 8,4 | 8,6 | 0,010 |
| Сумма | 668,2 | -11,1 | | | | | 1,239 |
| Серия 6, 15.09 | | | | | | | |
| 09:30–10:30 | 53,2 | 3,3 | 6,3 | 5,9 | 8,3 | 8,2 | 0,056 |
| 10:30–11:30 | 83,7 | 2,9 | 8,2 | 7,4 | 7,8 | 7,5 | 0,118 |
| 11:30–12:30 | 66,6 | 2,5 | 8,6 | 8,0 | 7,4 | 7,2 | 0,087 |
| 12:30–13:30 | 49,4 | -2,5 | 9,1 | 8,5 | 7,0 | 6,8 | 0,070 |
| 13:30–14:30 | 5,9 | -1,6 | 8,3 | 7,8 | 7,4 | 7,2 | 0,012 |
| 14:30–15:30 | 0,0 | -1,6 | 7,5 | 7,2 | 7,8 | 7,6 | 0,003 |
| 15:30–16:30 | 17,6 | -0,4 | 8,0 | 7,7 | 7,4 | 7,0 | 0,049 |
| 16:30–17:30 | 17,6 | -1,6 | 8,5 | 8,2 | 6,9 | 6,5 | 0,052 |
| 17:30–18:30 | 0,0 | -0,8 | 6,6 | 7,0 | 7,0 | 6,8 | 0,000 |
| 18:30–19:30 | -11,3 | -0,8 | 4,6 | 5,9 | 7,2 | 7,0 | 0,000 |
| Сумма | 282,7 | -0,6 | | | | | 0,447 |

Таблица П.12.2. Данные серийных теплобалансовых наблюдений на прилегающем к болоту Ламмин-Суо суходоле. 1971 г.

| Час | R _г , дж/ (см ² ·ч) | Q _г , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|----------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| Серия 1 (21–23.07), 21.07 | | | | | | | |
| 07:00–07:30 | 32,2 | 1,7 | 17,9 | 17,3 | 13,6 | 13,0 | 0,074 |
| 07:30–08:30 | 106,3 | 5,1 | 19,2 | 18,5 | 13,4 | 13,0 | 0,194 |
| 08:30–09:30 | 116,8 | 7,7 | 20,4 | 19,7 | 13,3 | 13,1 | 0,134 |
| 09:30–10:30 | 132,7 | 8,5 | 21,4 | 20,4 | 13,2 | 13,1 | 0,067 |
| 10:30–11:30 | 118,1 | 9,3 | 21,9 | 21,2 | 13,2 | 13,1 | 0,079 |
| 11:30–12:30 | 112,6 | 8,1 | 21,6 | 21,0 | 13,3 | 13,1 | 0,143 |
| 12:30–13:30 | 48,1 | 0,4 | 21,2 | 20,7 | 13,4 | 13,1 | 0,091 |
| 13:30–14:30 | 198,5 | 10,6 | 20,8 | 20,4 | 13,2 | 12,8 | 0,458 |
| 14:30–15:30 | 42,7 | 5,5 | 20,5 | 20,1 | 12,9 | 12,6 | 0,081 |
| 15:30–16:30 | 20,9 | -2,6 | 18,3 | 18,0 | 14,6 | 14,2 | 0,062 |
| 16:30–17:30 | 41,9 | -1,3 | 16,1 | 15,8 | 16,2 | 15,9 | 0,105 |
| 17:30–18:30 | 36,4 | 0,8 | 17,4 | 17,1 | 15,6 | 15,2 | 0,093 |
| 18:30–19:30 | 23,9 | 0,3 | 18,6 | 18,4 | 15,0 | 14,4 | 0,079 |
| 19:30–20:30 | 2,1 | -0,7 | 16,9 | 16,8 | 15,6 | 15,2 | 0,010 |
| 20:30–21:30 | -10,5 | -2,3 | 15,2 | 15,3 | 16,2 | 15,9 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -15,5 | -4,1 | 13,8 | 14,1 | 14,6 | 14,4 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -10,5 | -3,8 | 12,4 | 12,9 | 13,0 | 12,9 | 0,000 |
| 23:30–0:30 | -15,5 | -5,1 | 11,6 | 12,0 | 12,8 | 12,8 | 0,000 |
| 00:30–01:30 | -5,0 | -4,4 | 10,7 | 11,0 | 12,6 | 12,7 | -0,001 |
| 01:30–02:30 | -10,5 | -5,0 | 10,8 | 11,0 | 12,6 | 12,7 | -0,010 |
| 02:30–03:30 | -5,0 | -4,3 | 11,0 | 11,0 | 12,7 | 12,7 | -0,003 |
| 03:30–04:30 | -5,0 | -3,8 | 11,1 | 11,2 | 12,8 | 12,8 | 0,000 |
| 04:30–05:30 | -2,9 | -3,4 | 11,2 | 11,3 | 12,8 | 12,9 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | -2,1 | -3,0 | 12,4 | 12,4 | 13,2 | 13,1 | 0,004 |
| Сумма | 950,8 | 14,4 | | | | | 1,660 |
| 22.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 10,5 | -2,1 | 13,7 | 13,4 | 13,6 | 13,4 | 0,017 |
| 07:30–08:30 | 46,9 | 3,0 | 15,1 | 14,8 | 14,4 | 14,2 | 0,089 |
| 08:30–09:30 | 46,9 | 3,4 | 16,5 | 16,2 | 15,2 | 15,1 | 0,060 |
| 09:30–10:30 | 88,8 | 3,4 | 17,6 | 17,2 | 15,0 | 14,8 | 0,149 |
| 10:30–11:30 | 90,4 | 9,3 | 18,8 | 18,3 | 14,9 | 14,4 | 0,198 |
| 11:30–12:30 | 42,7 | 3,0 | 18,7 | 18,2 | 15,0 | 14,6 | 0,090 |
| 12:30–13:30 | 101,7 | 4,7 | 18,6 | 18,2 | 15,2 | 14,8 | 0,236 |
| 13:30–14:30 | 101,7 | 6,1 | 18,5 | 18,1 | 16,3 | 15,8 | 0,251 |
| 14:30–15:30 | 5,4 | 4,4 | 18,4 | 18,0 | 17,4 | 16,0 | 0,003 |
| 15:30–16:30 | 16,3 | 7,3 | 18,2 | 17,8 | 16,4 | 15,7 | 0,026 |

Продолжение таблицы П.12.2

| Час | R _г , дж/ (см ² ·ч) | Q _г , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|--------------|--|--|-----------------|------|---------------|--------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 16:30–17:30 | 54,4 | 2,6 | 18,0 | 17,6 | 15,3 | 14,6 | 0,157 |
| 17:30–18:30 | 30,1 | 3,4 | 17,5 | 17,3 | 13,7 | 13,0 | 0,090 |
| 18:30–19:30 | 2,1 | -0,4 | 17,0 | 16,8 | 12,1 | 11,5 | 0,009 |
| 19:30–20:30 | 21,4 | -1,0 | 15,6 | 15,6 | 12,0 | 11,8 | 0,089 |
| 20:30–21:30 | -15,1 | -0,7 | 14,1 | 14,4 | 12,0 | 12,0 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -26,0 | -8,5 | 12,2 | 12,6 | 12,0 | 12,1 | -0,020 |
| 22:30–23:30 | -5,9 | -5,9 | 10,2 | 10,8 | 12,1 | 12,2 | 0,000 |
| 23:30–00:30 | -5,9 | -4,8 | 11,1 | 11,7 | 12,4 | 12,4 | 0,000 |
| 00:30–01:30 | -10,5 | -3,4 | 12,0 | 12,6 | 12,8 | 12,7 | 0,010 |
| 01:30–02:30 | -20,9 | -5,1 | 10,6 | 11,3 | 12,1 | 12,2 | -0,011 |
| 02:30–03:30 | -20,9 | -5,9 | 9,2 | 10,1 | 11,4 | 11,8 | -0,026 |
| 03:30–04:30 | -20,9 | -6,4 | 8,6 | 9,4 | 11,0 | 11,6 | -0,031 |
| 04:30–05:30 | -15,1 | -5,5 | 7,9 | 8,9 | 10,5 | 11,3 | -0,022 |
| 05:30–06:30 | 0,0 | -5,9 | 11,2 | 11,6 | 12,0 | 12,4 | 0,000 |
| Сумма | 518,3 | -5,2 | | | | | 1,364 |
| 23.07 | | | | | | | |
| 6:30–7:30 | 32,2 | 1,7 | 14,6 | 14,4 | 13,4 | 13,4 | 0,122 |
| 7:30–8:30 | 85,8 | 2,1 | 15,8 | 15,5 | 13,2 | 13,0 | 0,170 |
| 8:30–9:30 | 112,6 | 4,7 | 16,9 | 16,6 | 12,9 | 12,6 | 0,253 |
| 9:30–10:30 | 135,2 | 7,2 | 17,9 | 17,3 | 12,7 | 12,4 | 0,223 |
| 1:30–11:30 | 162,9 | 8,9 | 18,9 | 18,0 | 12,5 | 12,2 | 0,210 |
| 11:30–12:30 | 178,8 | 7,6 | 19,6 | 18,8 | 11,4 | 11,2 | 0,192 |
| 12:30–13:30 | 187,1 | 9,8 | 20,4 | 19,5 | 10,3 | 10,1 | 0,180 |
| 13:30–14:30 | 195,1 | 10,6 | 20,8 | 19,8 | 11,1 | 10,8 | 0,237 |
| 14:30–15:30 | 182,5 | 8,5 | 21,2 | 20,2 | 11,9 | 11,5 | 0,267 |
| 15:30–16:30 | 144,9 | 7,2 | 21,4 | 20,5 | 11,4 | 11,2 | 0,142 |
| 16:30–17:30 | 109,7 | 5,1 | 21,6 | 20,8 | 10,8 | 10,8 | 0,068 |
| 17:30–18:30 | 58,6 | 2,6 | 21,1 | 20,5 | 10,9 | 10,6 | 0,046 |
| 18:30–19:30 | 26,0 | 0,8 | 20,6 | 20,2 | 11,0 | 10,8 | 0,044 |
| 19:30–20:30 | 0,0 | -1,3 | 17,3 | 17,8 | 12,0 | 11,8 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | -10,5 | -3,8 | 14,0 | 15,3 | 13,0 | 12,7 | 0,016 |
| 21:30–22:30 | -23,0 | -5,5 | 11,6 | 12,8 | 12,0 | 12,4 | -0,024 |
| 22:30–23:30 | -16,7 | -6,1 | 9,1 | 10,4 | 11,1 | 12,1 | -0,023 |
| 23:30–0:30 | -23,0 | -8,3 | 8,1 | 9,6 | 10,4 | 11,6 | -0,033- |
| 0:30–1:30 | -20,9 | -5,9 | 7,1 | 8,7 | 9,8 | 11,0 | -0,032 |
| 1:30–2:30 | -5,0 | -8,1 | 6,7 | 8,2 | 9,6 | 10,8 | 0,006 |
| 2:30–3:30 | -23,9 | -5,9 | 6,3 | 7,8 | 9,4 | 10,5 | -0,038 |
| 3:30–4:30 | -20,9 | -7,2 | (6,2) | 7,9 | (9,4) | (10,5) | -0,029 |
| 4:30–5:30 | -7,1 | -4,7 | | | | | |

| Час | R _φ , Дж/ (см ² ·ч) | Q _п , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °C | | Влажность, мб | | E, мм/ч |
|----------------------------------|--|--|-----------------|-------|---------------|-----|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| Сумма | 1460,4 | 20,0 | | | | | 1,997 |
| Серия 2 (23–26.08), 23.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 10,5 | -3,4 | 5,4 | 5,4 | 8,5 | 8,4 | 0,055 |
| 07:30–08:30 | 26,0 | -1,7 | 7,5 | 7,3 | 8,5 | 8,4 | 0,048 |
| 08:30–09:30 | 74,9 | 0,0 | 9,6 | 9,2 | 8,5 | 8,4 | 0,084 |
| 09:30–10:30 | 74,9 | -2,6 | 10,3 | 9,8 | 8,1 | 8,0 | 0,072 |
| 10:30–11:30 | 74,9 | 0,4 | 11,0 | 10,4 | 7,7 | 7,7 | 0,000 |
| 11:30–12:30 | 123,5 | 0,8 | 12,1 | 11,4 | 7,5 | 7,3 | 0,151 |
| 12:30–13:30 | 144,9 | 4,3 | 13,2 | 12,30 | 7,3 | 6,9 | 0,230 |
| 13:30–14:30 | 72,4 | 6,4 | 13,2 | 12,4 | 7,6 | 7,2 | 0,115 |
| 14:30–15:30 | 80,0 | 4,7 | 13,2 | 12,6 | 8,0 | 7,4 | 0,184 |
| 15:30–16:30 | 67,8 | 5,5 | 12,6 | 12,1 | 8,1 | 7,5 | 0,166 |
| 16:30–17:30 | 20,9 | 1,7 | 11,9 | 11,6 | 8,2 | 7,6 | 0,058 |
| 17:30–18:30 | 31,4 | 0,8 | 11,6 | 11,6 | 8,3 | 7,8 | 0,096 |
| 18:30–19:30 | 5,0 | -0,8 | 11,8 | 11,6 | 8,4 | 8,0 | 0,018 |
| 19:30–20:30 | -15,5 | -2,6 | 9,3 | 9,4 | 8,8 | 8,6 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | -10,5 | -3,4 | 6,7 | 7,3 | 9,2 | 9,1 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -8,4 | -5,4 | 6,4 | 6,8 | 9,1 | 9,0 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -7,1 | -3,9 | 6,0 | 6,2 | 9,0 | 8,9 | 0,000 |
| 23:30–00:30 | -6,3 | -4,9 | 5,8 | 6,2 | 9,0 | 9,0 | 0,000 |
| 00:30–01:30 | -9,2 | -3,9 | 5,6 | 6,2 | 9,0 | 9,0 | 0,000 |
| 01:30–02:30 | -10,5 | -4,9 | 4,2 | 5,2 | 8,2 | 8,6 | -0,008 |
| 02:30–03:30 | -12,6 | -4,8 | 2,9 | 4,2 | 7,5 | 8,1 | -0,013 |
| 03:30–04:30 | -18,8 | -5,9 | 1,8 | 3,2 | 7,0 | 7,6 | -0,021 |
| 04:30–05:30 | -6,3 | -5,4 | 0,7 | 2,1 | 6,4 | 7,0 | -0,001 |
| 05:30–06:30 | -25,1 | -4,2 | 3,4 | 4,1 | 7,7 | 8,0 | -0,034 |
| Сумма | 677,0 | -33,1 | | | | | 1,200 |
| 24.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 19,7 | -19,7 | 6,1 | 6,1 | 9,0 | 9,0 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 51,9 | 11,3 | 9,4 | 9,1 | 8,7 | 8,6 | 0,055 |
| 08:30–09:30 | 51,9 | 2,5 | 12,7 | 12,1 | 8,4 | 8,3 | 0,041 |
| 09:30–10:30 | 109,3 | 4,6 | 14,0 | 13,4 | 8,0 | 8,0 | 0,000 |
| 10:30–11:30 | 85,0 | 4,2 | 15,2 | 14,6 | 7,6 | 7,6 | 0,000 |
| 11:30–12:30 | 118,9 | 7,1 | 16,0 | 15,2 | 8,2 | 8,2 | 0,000 |
| 12:30–13:30 | 117,2 | 6,7 | 16,7 | 15,7 | 8,9 | 8,9 | 0,000 |
| 13:30–14:30 | 126,4 | 9,2 | 16,6 | 15,0 | 8,9 | 8,9 | 0,000 |
| 14:30–15:30 | 98,4 | 5,9 | 16,6 | 16,0 | 8,9 | 8,9 | 0,000 |
| 15:30–16:30 | 120,6 | 6,7 | 16,6 | 16,1 | 8,8 | 8,9 | 0,000 |
| 16:30–17:30 | 59,5 | 6,7 | 16,7 | 16,2 | 8,8 | 8,9 | 0,000 |

Продолжение таблицы П.12.2

| Час | R _г , Дж/ (см ² ·ч) | Q _г , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °C | | Влажность, мБ | | E, мм/ч |
|--------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 17:30–18:30 | 21,4 | 1,7 | 15,4 | 15,2 | 9,1 | 9,2 | 0,000 |
| 18:30–19:30 | 0,0 | 0,0 | 14,1 | 14,1 | 9,4 | 9,4 | 0,000 |
| 19:30–20:30 | -19,7 | -2,5 | 13,4 | 13,4 | 10,4 | 10,4 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | -10,5 | -2,5 | 12,6 | 12,6 | 11,4 | 11,5 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -5,0 | -2,1 | 13,2 | 13,2 | 12,5 | 12,8 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -15,5 | -2,1 | 13,7 | 13,9 | 13,6 | 14,0 | -0,040 |
| 23:30–00:30 | -10,5 | -2,1 | 13,3 | 13,6 | 13,9 | 14,3 | -0,021 |
| 00:30–01:30 | -5,0 | -2,1 | 12,9 | 13,4 | 14,2 | 14,6 | -0,007 |
| 01:30–02:30 | -5,0 | -1,7 | 13,0 | 13,5 | 14,4 | 14,8 | -0,008 |
| 02:30–03:30 | -10,5 | -1,3 | 13,2 | 13,6 | 14,6 | 15,1 | -0,024 |
| 03:30–04:30 | -10,5 | -2,1 | 12,2 | 13,0 | 13,8 | 14,8 | -0,022 |
| 04:30–05:30 | -10,5 | -2,5 | 11,2 | 12,4 | 13,1 | 14,4 | -0,020 |
| 05:30–06:30 | -10,5 | -4,6 | 11,9 | 12,6 | 13,7 | 14,4 | -0,014 |
| Сумма | 867,1 | 21,4 | | | | | -0,156 |
| 25.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 0,0 | -2,1 | 12,6 | 12,9 | 14,3 | 14,5 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 31,8 | 0,0 | 15,0 | 14,9 | 14,5 | 14,6 | 0,000 |
| 08:30–09:30 | 64,5 | 2,6 | 17,3 | 16,9 | 14,7 | 14,7 | 0,000 |
| 09:30–10:30 | 92,1 | 4,7 | 18,0 | 17,6 | 14,0 | 14,1 | 0,000 |
| 10:30–11:30 | 92,5 | 3,8 | 18,7 | 18,2 | 13,4 | 13,5 | -0,002 |
| 11:30–12:30 | 143,6 | 6,8 | 28,4 | 17,6 | 13,2 | 13,2 | 0,000 |
| 12:30–13:30 | 72,0 | 5,1 | 18,1 | 17,6 | 13,1 | 13,0 | 0,007 |
| 13:30–14:30 | 72,0 | 4,3 | 18,2 | 17,8 | 12,6 | 12,6 | 0,000 |
| 14:30–15:30 | 104,3 | 5,1 | 18,4 | 18,0 | 12,1 | 12,1 | 0,000 |
| 15:30–16:30 | 104,3 | 6,8 | 18,4 | 18,0 | 12,2 | 12,2 | 0,000 |
| 16:30–17:30 | 64,9 | 4,7 | 18,5 | 18,1 | 12,4 | 12,4 | 0,000 |
| 17:30–18:30 | 21,4 | 2,1 | 17,6 | 17,3 | 13,2 | 13,2 | 0,000 |
| 18:30–19:30 | 0,0 | 0,8 | 16,6 | 16,5 | 14,0 | 14,1 | 0,000 |
| 19:30–20:30 | -10,5 | -0,8 | 15,0 | 15,0 | 14,2 | 14,4 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | -15,5 | -2,6 | 13,3 | 13,5 | 14,30 | 14,7 | -0,038 |
| 21:30–22:30 | -15,5 | -3,4 | 11,9 | 12,4 | 13,4 | 14,1 | -0,034 |
| 22:30–23:30 | -10,5 | -3,8 | 10,5 | 11,4 | 12,6 | 13,5 | -0,016 |
| 23:30–00:30 | -10,5 | -3,8 | 10,6 | 11,6 | 12,7 | 13,7 | -0,016 |
| 00:30–01:30 | -10,5 | -3,4 | 10,8 | 11,9 | 12,8 | 13,9 | -0,017 |
| 01:30–02:30 | -10,5 | -3,4 | 11,0 | 12,4 | 13,6 | 14,4 | -0,018 |
| 02:30–03:30 | -10,5 | -2,6 | 12,7 | 13,0 | 14,4 | 14,8 | -0,022 |
| 03:30–04:30 | -15,5 | -1,7 | 11,8 | 12,4 | 13,6 | 14,3 | -0,035 |
| 04:30–05:30 | -15,5 | -2,6 | 11,0 | 11,9 | 12,9 | 13,8 | -0,032 |
| 05:30–06:30 | -15,5 | -4,7 | 11,5 | 12,1 | 13,4 | 14,0 | -0,026 |

| Час | R _φ , Дж/ (см ² ·ч) | Q _н , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | E, мм/ч |
|--------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| Сумма | 723,1 | 11,9 | | | | | -0,254 |
| 26.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 5,0 | -0,8 | 12,0 | 12,3 | 13,8 | 14,1 | 0,015 |
| 07:30–08:30 | 15,9 | -0,4 | 13,6 | 13,6 | 14,6 | 14,8 | 0,065 |
| 08:30–09:30 | 48,1 | 1,7 | 15,3 | 15,0 | 15,3 | 15,4 | -0,064 |
| 09:30–10:30 | 80,4 | 3,8 | 16,2 | 15,7 | 14,8 | 15,0 | -0,156 |
| 10:30–11:30 | 81,2 | 4,7 | 17,0 | 16,4 | 14,4 | 14,6 | -0,104 |
| 11:30–12:30 | 59,5 | 4,3 | 16,3 | 15,8 | 14,4 | 14,4 | 0,000 |
| 12:30–13:30 | 48,6 | 3,0 | 15,6 | 15,1 | 14,3 | 14,3 | 0,000 |
| 13:30–14:30 | 85,8 | 4,3 | 16,8 | 16,2 | 14,2 | 14,2 | 0,000 |
| 14:30–15:30 | 95,9 | 6,4 | 18,0 | 17,4 | 14,2 | 14,0 | 0,122 |
| 15:30–16:30 | 85,0 | 6,8 | 18,0 | 17,5 | 13,6 | 13,4 | 0,159 |
| 16:30–17:30 | 32,2 | 3,4 | 18,1 | 17,6 | 13,0 | 12,9 | 0,076 |
| 17:30–18:30 | 21,4 | 2,8 | 16,7 | 16,6 | 13,0 | 13,0 | 0,000 |
| 18:30–19:30 | -5,0 | 0,4 | 15,3 | 15,5 | 12,9 | 13,2 | -0,018 |
| 19:30–20:30 | -10,5 | -3,4 | 11,8 | 12,8 | 11,8 | 12,6 | -0,014 |
| 20:30–21:30 | -5,0 | -3,4 | 8,4 | 10,0 | 10,7 | 11,9 | -0,003 |
| Сумма | 638,5 | 33,5 | | | | | 0,078 |

Таблица П.12.3. Данные серийных теплобалансовых наблюдений в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте. Болото Ламмин-Суо, 1972 г.

| Час | R _в , дж/ (см ² ·ч) | Q _н , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|----------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| Серия 1, 29.05 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 29,5 | 2,3 | 9,6 | 9,5 | 11,3 | 11,3 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 30,3 | 2,3 | 10,7 | 10,4 | 11,4 | 11,3 | 0,040 |
| 08:30–09:30 | 93,4 | 4,5 | 11,8 | 11,4 | 11,5 | 11,3 | 0,155 |
| 09:30–10:30 | 157,0 | 7,9 | 13,0 | 12,4 | 11,1 | 10,8 | 0,204 |
| 10:30–11:30 | 142,8 | 6,8 | 14,1 | 13,3 | 10,7 | 10,4 | 0,198 |
| 11:30–12:30 | 142,8 | 7,9 | 15,0 | 14,0 | 10,7 | 10,4 | 0,222 |
| 12:30–13:30 | 219,8 | 9,6 | 15,8 | 14,8 | 10,7 | 10,3 | 0,322 |
| 13:30–14:30 | 168,3 | 7,9 | 16,1 | 15,2 | 10,6 | 10,2 | 0,264 |
| 14:30–15:30 | 165,0 | 9,6 | 16,4 | 15,6 | 10,5 | 10,2 | 0,226 |
| 15:30–16:30 | 120,2 | 7,9 | 15,7 | 15,0 | 10,7 | 10,4 | 0,125 |
| 16:30–17:30 | 105,1 | 5,7 | 15,0 | 14,3 | 10,9 | 10,7 | 0,122 |
| 17:30–18:30 | 74,5 | 4,5 | 14,0 | 13,6 | 10,6 | 10,5 | 0,122 |
| 18:30–19:30 | 29,5 | 2,8 | 12,9 | 12,8 | 10,4 | 10,3 | 0,065 |
| 19:30–20:30 | 29,2 | 2,3 | 12,3 | 12,2 | 10,6 | 10,6 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | 0,0 | 0,6 | 11,7 | 11,6 | 10,7 | 10,8 | -0,006 |
| 21:30–22:30 | -14,6 | -1,1 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,9 | -0,054 |
| 22:30–23:30 | | -0,6 | 9,9 | 10,0 | 11,0 | 11,0 | |
| 23:30–00:30 | | -1,7 | 6,8 | 7,8 | 9,5 | 10,0 | |
| 00:30–01:30 | 0,0 | -3,4 | 3,8 | 5,5 | 8,0 | 9,1 | 0,007 |
| 01:30–02:30 | 0,0 | -3,4 | 2,6 | 4,4 | 7,4 | 8,4 | 0,006 |
| 02:30–03:30 | -14,0 | -3,9 | 1,3 | 3,4 | 6,7 | 7,8 | -0,018 |
| 03:30–04:30 | -14,0 | -2,8 | 2,1 | 3,6 | 7,1 | 7,9 | -0,020 |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -3,4 | 2,9 | 3,8 | 7,5 | 8,0 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 14,0 | -2,3 | 6,8 | 7,0 | 9,8 | 10,0 | 0,000 |
| Сумма | 1478,6 | 60,0 | | | | | 1,989 |
| Серия 2 (05–07.06), 05.06 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 28,3 | -3,4 | 12,8 | 12,4 | 10,7 | 10,8 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 57,8 | 3,9 | 15,0 | 14,3 | 10,9 | 10,8 | 0,010 |
| 08:30–09:30 | 117,6 | 7,9 | 17,2 | 16,3 | 11,2 | 10,8 | 0,180 |
| 09:30–10:30 | 147,0 | 10,7 | 18,5 | 17,4 | 11,8 | 11,3 | 0,220 |
| 10:30–11:30 | 178,4 | 13,6 | 19,9 | 18,6 | 12,5 | 11,8 | 0,300 |
| 11:30–12:30 | 178,4 | 11,3 | 20,4 | 19,0 | 11,2 | 10,5 | 0,300 |
| 12:30–13:30 | 210,2 | 12,4 | 20,9 | 19,5 | 10,0 | 9,3 | 0,340 |
| 13:30–14:30 | 163,5 | 10,2 | 21,2 | 20,1 | 9,2 | 8,4 | 0,300 |
| 14:30–15:30 | 163,5 | 8,5 | 21,6 | 20,7 | 8,4 | 7,5 | 0,380 |

| Час | R _в , Дж/ (см ² ·ч) | Q _н , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|--------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 15:30–16:30 | 135,1 | 7,4 | 21,8 | 21,1 | 8,7 | 8,8 | 0,320 |
| 16:30–17:30 | 120,1 | 6,2 | 22,1 | 21,5 | 9,0 | 8,1 | 0,310 |
| 17:30–18:30 | 74,4 | 4,5 | 21,7 | 21,2 | 9,3 | 8,5 | 0,200 |
| 18:30–19:30 | 29,5 | 3,4 | 21,3 | 21,0 | 9,6 | 9,0 | 0,070 |
| 19:30–20:30 | 29,7 | 2,8 | 18,4 | 18,6 | 10,0 | 9,5 | 0,090 |
| 20:30–21:30 | 0,0 | 0,0 | 15,6 | 16,2 | 10,4 | 10,0 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | 0,0 | -0,6 | 11,1 | 12,6 | 9,7 | 10,0 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -14,0 | -2,3 | 6,6 | 9,0 | 9,0 | 9,9 | -0,020 |
| 23:30–00:30 | 0,0 | -3,9 | 5,5 | 7,8 | 8,5 | 9,7 | 0,000 |
| 00:30–01:30 | 0,0 | -2,8 | 4,3 | 6,6 | 8,1 | 9,4 | 0,000 |
| 01:30–02:30 | -14,0 | -3,9 | 3,2 | 5,7 | 7,5 | 8,9 | -0,020 |
| 02:30–03:30 | -14,0 | -2,8 | 2,1 | 4,7 | 7,0 | 8,5 | -0,020 |
| 03:30–04:30 | -14,0 | -3,9 | 2,4 | 4,3 | 7,2 | 8,3 | -0,020 |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -3,4 | 2,7 | 4,0 | 7,3 | 8,1 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 28,1 | -2,3 | 8,8 | 9,4 | 9,8 | 10,2 | 0,000 |
| Сумма | 1605,3 | 73,4 | | | | | 2,36 |
| 06.06 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 28,1 | 2,3 | 14,9 | 14,7 | 12,5 | 12,4 | 0,040 |
| 07:30–08:30 | 85,8 | 6,2 | 18,2 | 17,7 | 12,4 | 12,1 | 0,150 |
| 08:30–09:30 | 102,2 | 9,6 | 21,5 | 20,7 | 12,3 | 11,8 | 0,180 |
| 09:30–10:30 | 147,4 | 12,4 | 22,6 | 21,8 | 12,3 | 11,7 | 0,290 |
| 10:30–11:30 | 163,7 | 11,3 | 23,8 | 22,9 | 12,3 | 11,5 | 0,360 |
| 11:30–12:30 | 210,2 | 12,4 | 24,6 | 23,6 | 11,7 | 10,8 | 0,460 |
| 12:30–13:30 | 195,1 | 11,9 | 25,5 | 24,4 | 11,2 | 10,2 | 0,430 |
| 13:30–14:30 | 195,1 | 9,6 | 25,5 | 24,5 | 11,0 | 10,1 | 0,430 |
| 14:30–15:30 | 166,6 | 7,9 | 25,5 | 24,6 | 10,8 | 10,0 | 0,370 |
| 15:30–16:30 | 181,7 | 8,5 | 25,5 | 24,8 | 10,7 | 10,0 | 0,420 |
| 16:30–17:30 | 151,6 | 6,8 | 25,6 | 25,0 | 10,6 | 9,9 | 0,360 |
| 17:30–18:30 | 105,1 | 6,2 | 24,8 | 24,4 | 10,7 | 10,0 | 0,280 |
| 18:30–19:30 | 59,5 | 3,4 | 23,9 | 23,8 | 10,7 | 10,1 | 0,200 |
| 19:30–20:30 | 14,6 | 1,7 | 22,1 | 22,6 | 10,9 | 10,4 | 0,140 |
| 20:30–21:30 | 14,0 | 0,6 | 20,4 | 21,4 | 11,3 | 10,8 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | 0,0 | 1,1 | 14,7 | 16,8 | 11,0 | 11,2 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | 0,0 | 0,0 | 9,0 | 12,2 | 10,6 | 11,7 | 0,000 |
| 23:30–00:30 | -14,0 | -3,4 | 7,3 | 10,5 | 9,7 | 11,2 | -0,020 |
| 00:30–01:30 | -14,0 | -2,8 | 5,7 | 8,9 | 8,9 | 10,8 | -0,020 |
| 01:30–02:30 | -14,0 | -2,8 | 4,9 | 7,9 | 8,4 | 10,3 | -0,000 |
| 02:30–03:30 | -14,0 | -4,0 | 4,1 | 6,9 | 8,0 | 9,8 | -0,020 |
| 03:30–04:30 | 0,0 | -3,4 | 5,1 | 7,0 | 8,6 | 9,9 | 0,000 |

Продолжение таблицы П.12.3

| Час | R _в , дж/ (см ² ·ч) | Q _н , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|-----------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -2,8 | 5,9 | 7,2 | 9,1 | 10,0 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 41,9 | 0,0 | 11,9 | 12,4 | 11,2 | 11,4 | 0,000 |
| Сумма | 1806,3 | 92,7 | | | | | 4,030 |
| 07.06 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 42,5 | 2,3 | 17,9 | 17,7 | 13,3 | 12,9 | 0,121 |
| 07:30–08:30 | 57,8 | 6,2 | 20,5 | 20,0 | 13,1 | 12,6 | 0,126 |
| 08:30–09:30 | 102,2 | 9,0 | 23,1 | 22,3 | 12,9 | 12,2 | 0,218 |
| 09:30–10:30 | 162,0 | 12,4 | 24,2 | 23,4 | 12,8 | 11,8 | 0,394 |
| 10:30–11:30 | 163,3 | 12,4 | 25,4 | 24,4 | 12,7 | 11,5 | 0,398 |
| 11:30–12:30 | 193,0 | 11,9 | 25,9 | 24,9 | 12,8 | 11,6 | 0,477 |
| 12:30–13:30 | 193,0 | 13,6 | 26,4 | 25,4 | 13,0 | 11,8 | 0,473 |
| 13:30–14:30 | 180,0 | 10,2 | 26,3 | 25,3 | 12,8 | 11,4 | 0,468 |
| 14:30–15:30 | 181,8 | 9,0 | 26,2 | 25,3 | 12,6 | 11,1 | 0,498 |
| 15:30–16:30 | 165,0 | 9,0 | 25,7 | 24,9 | 12,2 | 11,0 | 0,430 |
| 16:30–17:30 | 135,2 | 6,8 | 25,2 | 24,5 | 11,9 | 10,9 | 0,353 |
| 17:30–18:30 | 90,0 | 5,7 | 24,9 | 24,5 | 12,0 | 11,0 | 0,267 |
| 18:30–19:30 | 59,5 | 3,9 | 24,7 | 24,5 | 12,0 | 11,1 | 0,196 |
| 19:30–20:30 | 29,4 | 2,3 | 23,1 | 23,3 | 12,4 | 11,7 | 0,134 |
| 20:30–21:30 | 14,3 | 1,1 | 21,5 | 22,1 | 12,8 | 12,3 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | 0,0 | 1,1 | 16,9 | 18,6 | 12,6 | 12,7 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -14,2 | -2,3 | 12,4 | 15,1 | 12,3 | 13,0 | -0,014 |
| 23:30–00:30 | -14,6 | -1,7 | 13,7 | 15,2 | 13,2 | 13,6 | -0,015 |
| 00:30–01:30 | -15,0 | -1,1 | 15,0 | 15,4 | 14,2 | 14,2 | 0,000 |
| 01:30–02:30 | -14,9 | -0,6 | 14,1 | 14,5 | 13,6 | 13,7 | -0,016 |
| 02:30–03:30 | -14,7 | -1,1 | 13,2 | 13,6 | 13,0 | 13,1 | -0,015 |
| 03:30–04:30 | -14,7 | -1,1 | 12,6 | 12,9 | 12,7 | 12,8 | -0,018 |
| 04:30–05:30 | -14,7 | -1,1 | 12,0 | 12,2 | 12,4 | 12,6 | -0,024 |
| 05:30–06:30 | -14,7 | -1,1 | 12,2 | 12,0 | 11,5 | 11,4 | 0,000 |
| Сумма | 1651,4 | 106,8 | | | | | 4,511 |
| Серия 3 (13, 14.06), 13.06 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 51,9 | 1,1 | 14,8 | 14,1 | 11,7 | 11,2 | 0,107 |
| 07:30–08:30 | 64,1 | 4,5 | 17,4 | 16,4 | 11,8 | 11,2 | 0,114 |
| 08:30–09:30 | 121,0 | 10,2 | 20,0 | 18,8 | 11,9 | 11,3 | 0,193 |
| 09:30–10:30 | 124,8 | 9,6 | 20,8 | 19,3 | 11,6 | 10,9 | 0,207 |
| 10:30–11:30 | 124,8 | 9,0 | 21,7 | 19,8 | 11,3 | 10,5 | 0,182 |
| 11:30–12:30 | 201,0 | 11,3 | 22,6 | 20,8 | 11,6 | 10,6 | 0,351 |
| 12:30–13:30 | 170,8 | 10,2 | 23,5 | 21,9 | 12,0 | 10,6 | 0,376 |
| 13:30–14:30 | 126,0 | 8,5 | 23,8 | 22,4 | 12,6 | 11,1 | 0,307 |
| 14:30–15:30 | 163,3 | 9,0 | 24,2 | 22,8 | 13,1 | 11,6 | 0,388 |

| Час | R _в , Дж/ (см ² ·ч) | Q _н , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|--------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 15:30–16:30 | 133,6 | 7,4 | 24,0 | 22,8 | 14,1 | 12,8 | 0,318 |
| 16:30–17:30 | 59,5 | 6,2 | 23,7 | 22,9 | 15,1 | 14,1 | 0,140 |
| 17:30–18:30 | 73,7 | 3,9 | 23,3 | 22,9 | 15,7 | 15,0 | 0,201 |
| 18:30–19:30 | 44,4 | 3,9 | 22,9 | 22,8 | 16,3 | 15,8 | 0,141 |
| 19:30–20:30 | 14,6 | 2,3 | 22,2 | 22,2 | 16,7 | 16,2 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | 14,6 | 1,1 | 21,6 | 21,7 | 17,1 | 16,7 | 0,062 |
| 21:30–22:30 | 0,0 | 0,6 | 17,1 | 19,2 | 15,6 | 16,6 | -0,001 |
| 22:30–23:30 | -14,0 | -1,7 | 12,6 | 16,1 | 14,1 | 16,5 | -0,025 |
| 23:30–00:30 | -14,0 | -2,8 | 11,0 | 14,4 | 12,8 | 15,6 | -0,025 |
| 00:30–01:30 | 0,0 | -2,8 | 9,4 | 12,8 | 11,6 | 14,7 | 0,000 |
| 01:30–02:30 | 0,0 | -2,8 | 9,1 | 12,5 | 11,4 | 14,4 | 0,000 |
| 02:30–03:30 | -14,0 | -2,8 | 8,8 | 12,2 | 11,2 | 14,2 | -0,025 |
| 03:30–04:30 | 0,0 | -2,3 | 10,4 | 12,4 | 12,6 | 14,4 | 0,000 |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -1,1 | 12,1 | 12,6 | 14,0 | 14,6 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 14,3 | 1,1 | 15,8 | 15,8 | 16,1 | 16,4 | 0,000 |
| Сумма | 1460,1 | 83,5 | | | | | 3,011 |
| 14.06 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 28,9 | 3,9 | 19,4 | 18,9 | 18,3 | 18,2 | 0,024 |
| 07:30–08:30 | 58,4 | 5,1 | 21,8 | 21,0 | 19,6 | 19,2 | 0,093 |
| 08:30–09:30 | 117,8 | 10,2 | 24,2 | 23,0 | 20,9 | 20,2 | 0,206 |
| 09:30–10:30 | 58,9 | 8,5 | 25,4 | 24,2 | 21,5 | 20,8 | 0,097 |
| 10:30–11:30 | 133,8 | 10,7 | 26,5 | 25,3 | 22,1 | 21,5 | 0,214 |
| 11:30–12:30 | 163,5 | 12,4 | 27,6 | 26,3 | 21,6 | 20,8 | 0,299 |
| 12:30–13:30 | 178,4 | 13,0 | 28,6 | 27,3 | 21,2 | 20,1 | 0,372 |
| 13:30–14:30 | 148,7 | 10,2 | 28,8 | 27,6 | 21,7 | 20,6 | 0,325 |
| 14:30–15:30 | 148,7 | 8,5 | 29,0 | 27,9 | 22,2 | 21,2 | 0,328 |
| 15:30–16:30 | 133,8 | 10,2 | 28,4 | 27,4 | 21,2 | 20,4 | 0,278 |
| 16:30–17:30 | 104,3 | 7,9 | 27,7 | 27,0 | 20,3 | 19,7 | 0,216 |
| 17:30–18:30 | 89,5 | 5,7 | 26,2 | 25,7 | 20,0 | 19,6 | 0,189 |
| 18:30–19:30 | 44,6 | 4,5 | 24,6 | 24,4 | 19,8 | 19,4 | 0,121 |
| 19:30–20:30 | 29,7 | 2,3 | 22,9 | 22,9 | 18,5 | 18,2 | 0,109 |
| 20:30–21:30 | 15,0 | 0,6 | 21,2 | 21,4 | 17,2 | 17,0 | 0,050 |
| 21:30–22:30 | 14,7 | 0,6 | 18,8 | 19,2 | 14,9 | 14,8 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -14,4 | -1,7 | 16,5 | 17,0 | 12,6 | 12,6 | -0,057 |
| 23:30–00:30 | -8,6 | -2,1 | 15,0 | 15,6 | 12,5 | 12,6 | -0,009 |
| 00:30–01:30 | -14,3 | -2,8 | 13,6 | 14,2 | 12,4 | 12,6 | -0,016 |
| 01:30–02:30 | -5,7 | -2,8 | 11,6 | 13,0 | 11,9 | 12,6 | -0,005 |
| 02:30–03:30 | -14,0 | -3,1 | 9,7 | 11,8 | 11,4 | 12,5 | -0,020 |
| 03:30–04:30 | 0,0 | -3,6 | 9,4 | 11,4 | 11,4 | 12,7 | 0,000 |

Продолжение таблицы П.12.3

| Час | R _в , Дж/ (см ² ·ч) | Q _н , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|-----------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -3,2 | 9,2 | 11,0 | 11,5 | 12,9 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 14,0 | 4,5 | | | | | |
| Сумма без (5.30–6.30) | 1411,6 | 94,9 | | | | | 2,814 |
| Серия 4 (22, 23.06), 22.06 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 44,2 | 0,6 | 13,8 | 13,6 | 13,8 | 13,8 | 0,174 |
| 07:30–08:30 | 103,8 | 1,7 | 14,6 | 14,2 | 13,8 | 13,6 | 0,178 |
| 08:30–09:30 | 54,0 | 3,4 | 15,3 | 14,9 | 13,7 | 13,4 | 0,109 |
| 09:30–10:30 | 95,9 | 4,5 | 15,8 | 15,2 | 13,6 | 13,4 | 0,160 |
| 10:30–11:30 | 84,2 | 3,4 | 16,2 | 15,6 | 13,5 | 13,3 | 0,110 |
| 11:30–12:30 | 126,9 | 5,1 | 17,2 | 16,4 | 13,7 | 13,4 | 0,179 |
| 12:30–13:30 | 181,7 | 6,2 | 18,1 | 17,1 | 13,9 | 13,4 | 0,306 |
| 13:30–14:30 | 196,8 | 7,9 | 19,1 | 18,0 | 13,0 | 12,4 | 0,363 |
| 14:30–15:30 | 181,8 | 7,3 | 20,1 | 19,0 | 12,1 | 11,5 | 0,320 |
| 15:30–16:30 | 149,9 | 6,2 | 20,1 | 19,2 | 12,0 | 11,4 | 0,292 |
| 16:30–17:30 | 89,2 | 4,5 | 20,1 | 19,5 | 11,8 | 11,3 | 0,190 |
| 17:30–18:30 | 73,9 | 3,9 | 18,8 | 18,5 | 12,6 | 12,3 | 0,170 |
| 18:30–19:30 | 0,0 | 1,7 | 17,4 | 17,4 | 13,5 | 13,3 | -0,007 |
| 19:30–20:30 | 0,0 | 1,1 | 17,0 | 17,2 | 13,2 | 13,2 | -0,004 |
| 20:30–21:30 | 0,0 | 0,6 | 16,7 | 16,9 | 13,0 | 13,0 | -0,002 |
| 21:30–22:30 | 0,0 | -1,1 | 14,2 | 14,8 | 12,8 | 13,0 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -14,0 | -1,7 | 11,6 | 12,8 | 12,6 | 12,9 | -0,026 |
| 23:30–00:30 | -14,0 | -1,1 | 10,6 | 11,6 | 12,2 | 12,6 | -0,020 |
| 00:30–01:30 | -8,4 | -3,4 | 9,7 | 10,4 | 11,7 | 12,3 | -0,011 |
| 01:30–02:30 | -5,6 | -2,3 | 8,1 | 9,8 | 10,6 | 12,0 | -0,007 |
| 02:30–03:30 | -14,0 | -2,3 | 6,5 | 9,1 | 9,6 | 11,6 | -0,026 |
| 03:30–04:30 | 0,0 | -3,4 | 8,0 | 9,4 | 10,8 | 11,8 | 0,000 |
| 04:30–05:30 | 16,8 | -2,8 | 9,6 | 9,8 | 11,9 | 12,1 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 11,2 | 0,6 | 11,7 | 11,7 | 13,2 | 13,4 | 0,000 |
| Сумма | 1354,1 | 40,7 | | | | | 2,448 |
| 23.06 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 8,7 | 1,1 | 13,8 | 13,6 | 14,5 | 14,6 | -0,107 |
| 07:30–08:30 | 49,8 | 2,1 | 16,0 | 15,5 | 14,7 | 14,6 | 0,045 |
| 08:30–09:30 | 59,5 | 3,4 | 18,2 | 17,4 | 14,9 | 14,7 | 0,022 |
| 09:30–10:30 | 82,1 | 7,6 | 18,0 | 17,6 | 14,6 | 14,4 | 0,130 |
| 10:30–11:30 | 29,4 | 2,8 | 17,0 | 17,8 | 14,3 | 14,1 | 0,081 |
| 11:30–12:30 | 178,4 | 7,3 | 20,6 | 20,0 | 14,8 | 14,3 | 0,385 |
| 12:30–13:30 | 141,1 | 9,0 | 23,4 | 22,3 | 15,4 | 14,5 | 0,297 |
| 13:30–14:30 | 166,6 | 9,6 | 24,1 | 23,1 | 15,1 | 14,2 | 0,368 |
| 14:30–15:30 | 151,6 | 7,9 | 24,8 | 23,9 | 14,8 | 14,0 | 0,336 |

| Час | R_0 , Дж/ (см ² ·ч) | Q_n , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | E, мм/ч |
|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 15:30–16:30 | 136,5 | 7,3 | 24,9 | 24,1 | 14,6 | 13,9 | 0,303 |
| 16:30–17:30 | 105,9 | 5,7 | 25,0 | 24,3 | 14,5 | 13,8 | 0,254 |
| 17:30–18:30 | 90,9 | 3,4 | 24,4 | 24,0 | 14,0 | 13,6 | 0,213 |
| 18:30–19:30 | 45,2 | 2,8 | 23,7 | 23,6 | 13,6 | 13,3 | 0,142 |
| 19:30–20:30 | 15,0 | 0,0 | 22,6 | 22,6 | 13,8 | 13,4 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | 0,0 | -0,6 | 21,5 | 21,6 | 14,1 | 13,5 | 0,027 |
| 21:30–22:30 | -14,7 | -1,1 | 19,4 | 19,8 | 14,0 | 13,6 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -14,4 | -1,7 | 17,2 | 18,1 | 13,8 | 13,8 | -0,051 |
| 23:30–00:30 | -14,4 | -2,3 | 16,0 | 17,0 | 13,6 | 13,6 | -0,048 |
| 00:30–01:30 | -14,3 | -2,3 | 14,7 | 15,8 | 13,3 | 13,5 | -0,011 |
| 01:30–02:30 | -14,2 | -2,8 | 12,7 | 14,6 | 12,6 | 13,4 | -0,018 |
| 02:30–03:30 | -14,0 | -2,8 | 10,7 | 13,4 | 12,0 | 13,3 | -0,019 |
| 03:30–04:30 | -14,0 | -2,8 | 12,0 | 13,6 | 12,8 | 13,5 | -0,018 |
| 04:30–05:30 | -14,2 | -2,8 | 13,2 | 13,9 | 13,5 | 13,7 | -0,014 |
| 05:30–06:30 | 29,4 | -0,6 | | | | | |
| Сумма без (5.30–6.30) | 1146,3 | 50,8 | | | | | 2,350 |
| Серия 5 (27–29.06), 27.06 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 57,8 | 3,2 | 22,6 | 22,2 | 16,9 | 16,4 | 0,144 |
| 07:30–08:30 | 73,3 | 4,7 | 24,7 | 24,1 | 16,8 | 15,9 | 0,180 |
| 08:30–09:30 | 101,7 | 7,7 | 26,8 | 26,0 | 16,6 | 15,4 | 0,258 |
| 09:30–10:30 | 161,6 | 11,5 | 28,4 | 27,4 | 16,2 | 14,9 | 0,395 |
| 10:30–11:30 | 157,4 | 9,0 | 30,0 | 28,8 | 15,8 | 14,4 | 0,175 |
| 11:30–12:30 | 201,0 | 10,2 | 30,5 | 29,1 | 15,2 | 13,7 | 0,482 |
| 12:30–13:30 | 195,5 | 8,5 | 31,0 | 29,4 | 14,6 | 13,0 | 0,454 |
| 13:30–14:30 | 180,0 | 7,4 | 31,0 | 29,5 | 14,9 | 13,4 | 0,419 |
| 14:30–15:30 | 163,3 | 6,8 | 31,0 | 29,6 | 15,2 | 13,7 | 0,395 |
| 15:30–16:30 | 163,3 | 4,5 | 30,6 | 29,4 | 15,0 | 13,8 | 0,385 |
| 16:30–17:30 | 118,9 | 3,9 | 30,1 | 29,1 | 14,9 | 13,9 | 0,279 |
| 17:30–18:30 | 88,3 | 1,7 | 29,2 | 28,6 | 15,0 | 14,2 | 0,228 |
| 18:30–19:30 | 59,0 | 1,1 | 28,4 | 28,1 | 15,2 | 14,5 | 0,184 |
| 19:30–20:30 | 14,7 | 0,0 | 26,4 | 26,9 | 15,7 | 15,0 | 0,106 |
| 20:30–21:30 | 14,2 | 0,0 | 24,4 | 25,7 | 16,2 | 15,4 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | 0,0 | -2,3 | 19,8 | 21,8 | 15,4 | 15,3 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | 0,0 | -2,8 | 15,2 | 17,9 | 14,7 | 15,2 | 0,000 |
| 23:30–00:30 | -14,0 | -3,9 | 13,2 | 16,0 | 13,8 | 15,0 | -0,016 |
| 00:30–01:30 | -14,0 | -2,8 | 11,1 | 14,2 | 12,8 | 14,8 | -0,022 |
| 01:30–02:30 | -14,0 | -3,9 | 10,5 | 13,4 | 12,3 | 14,3 | -0,020 |
| 02:30–03:30 | -14,0 | -2,8 | 9,9 | 12,7 | 11,8 | 13,8 | -0,023 |
| 03:30–04:30 | 0,0 | -3,9 | 12,0 | 14,7 | 13,2 | 14,2 | 0,000 |

Продолжение таблицы П.12.3

| Час | R _в , дж/ (см ² ·ч) | Q _н , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|--------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -2,3 | 14,0 | 16,7 | 14,7 | 14,7 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 41,9 | 0,0 | 19,0 | 20,2 | 15,7 | 15,3 | 0,505 |
| Сумма | 1735,8 | 55,3 | | | | | 4,203 |
| 28.06 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 42,7 | 2,3 | 24,0 | 23,7 | 16,7 | 15,9 | 0,130 |
| 07:30–08:30 | 86,7 | 5,7 | 26,2 | 25,7 | 17,0 | 16,0 | 0,245 |
| 08:30–09:30 | 158,7 | 9,0 | 28,4 | 27,7 | 17,2 | 16,1 | 0,423 |
| 09:30–10:30 | 117,6 | 10,7 | 29,4 | 28,6 | 16,9 | 15,6 | 0,305 |
| 10:30–11:30 | 148,6 | 8,5 | 30,5 | 29,1 | 16,5 | 15,1 | 0,370 |
| 11:30–12:30 | 208,1 | 9,2 | 30,6 | 29,4 | 16,4 | 15,0 | 0,511 |
| 12:30–13:30 | 195,1 | 7,4 | 30,7 | 29,5 | 16,3 | 14,8 | 0,495 |
| 13:30–14:30 | 195,1 | 7,4 | 30,6 | 29,4 | 14,8 | 13,5 | 0,470 |
| 14:30–15:30 | 178,4 | 5,1 | 30,5 | 29,3 | 13,4 | 12,2 | 0,421 |
| 15:30–16:30 | 148,6 | 4,5 | 30,2 | 29,2 | 13,8 | 12,7 | 0,363 |
| 16:30–17:30 | 118,9 | 3,4 | 29,9 | 29,0 | 14,2 | 13,2 | 0,291 |
| 17:30–18:30 | 104,3 | 1,1 | 29,2 | 28,6 | 13,8 | 12,9 | 0,297 |
| 18:30–19:30 | 59,0 | 0,0 | 28,4 | 28,2 | 13,4 | 12,6 | 0,202 |
| 19:30–20:30 | 29,2 | 0,0 | 26,4 | 26,9 | 13,6 | 12,8 | 0,102 |
| 20:30–21:30 | 0,0 | -0,6 | 24,3 | 25,6 | 13,7 | 12,9 | 0,003 |
| 21:30–22:30 | 0,0 | -2,3 | 21,2 | 23,4 | 13,5 | 12,9 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -14,3 | -2,8 | 18,0 | 20,9 | 13,3 | 12,9 | 0,000 |
| 23:30–00:30 | -14,0 | -3,4 | 14,6 | 18,2 | 12,6 | 13,0 | -0,006 |
| 00:30–01:30 | -14,0 | -3,4 | 11,3 | 15,4 | 12,0 | 13,1 | -0,001 |
| 01:30–02:30 | -14,2 | -3,9 | 13,8 | 16,8 | 12,4 | 12,0 | -0,008 |
| 02:30–03:30 | -14,3 | -3,9 | 16,3 | 18,2 | 12,7 | 12,7 | -0,041 |
| 03:30–04:30 | -14,3 | -2,3 | 16,8 | 18,2 | 13,2 | 13,2 | 0,000 |
| 04:30–05:30 | -14,2 | -1,1 | 17,4 | 18,3 | 13,7 | 13,6 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 28,2 | 0,0 | 18,8 | 19,2 | 15,0 | 14,8 | 0,049 |
| Сумма | 1719,9 | 50,5 | | | | | 4,703 |
| 29.06 | | | | | | | |
| 6:30–7:30 | 43,5 | 1,7 | 20,2 | 20,1 | 16,5 | 16,1 | 0,144 |
| 7:30–8:30 | 72,9 | 5,1 | 23,0 | 22,5 | 17,7 | 17,0 | 0,184 |
| 8:30–9:30 | 87,5 | 7,9 | 25,9 | 24,9 | 18,9 | 18,0 | 0,186 |
| 9:30–10:30 | 132,7 | 8,5 | 27,0 | 25,8 | 18,0 | 16,9 | 0,291 |
| 10:30–11:30 | 147,4 | 9,0 | 28,0 | 26,8 | 17,1 | 15,8 | 0,346 |
| 11:30–12:30 | 134,0 | 7,4 | 28,4 | 27,2 | 15,7 | 14,2 | 0,333 |
| 12:30–13:30 | 208,1 | 9,0 | 28,8 | 27,6 | 14,3 | 12,7 | 0,537 |
| 13:30–14:30 | 193,4 | 7,4 | 29,2 | 27,9 | 13,2 | 11,8 | 0,464 |
| 14:30–15:30 | 178,4 | 5,7 | 29,6 | 28,2 | 12,2 | 10,8 | 0,419 |

| Час | R _в , Дж/ (см ² ·ч) | Q _н , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|----------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 15:30–16:30 | 163,7 | 4,5 | 29,4 | 28,2 | 12,1 | 10,8 | 0,385 |
| 16:30–17:30 | 117,6 | 2,8 | 29,3 | 28,2 | 12,0 | 10,7 | 0,299 |
| 17:30–18:30 | 88,3 | 1,1 | 28,3 | 27,6 | 11,8 | 10,6 | 0,253 |
| 18:30–19:30 | 59,0 | 1,1 | 27,3 | 27,0 | 11,5 | 10,5 | 0,198 |
| 19:30–20:30 | 14,2 | -1,1 | 25,3 | 25,6 | 12,0 | 11,2 | 0,049 |
| 20:30–21:30 | 0,0 | -0,6 | 23,3 | 24,3 | 12,5 | 11,8 | 0,001 |
| 21:30–22:30 | 14,2 | -1,1 | 21,2 | 22,2 | 12,0 | 11,6 | 0,072 |
| 22:30–23:30 | -14,2 | -2,8 | 19,2 | 20,2 | 11,6 | 11,5 | 0,008 |
| 23:30–0:30 | -14,3 | -2,8 | 19,0 | 20,0 | | | |
| Сумма | 1626,5 | 62,7 | | | | | |
| Серия 6 (11–13.07), 11.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 14,0 | 0,3 | 16,6 | 16,4 | 17,2 | 17,1 | 0,024 |
| 07:30–08:30 | 71,6 | 4,1 | 20,8 | 20,2 | 19,4 | 19,0 | 0,136 |
| 08:30–09:30 | 102,2 | 7,4 | 25,1 | 24,0 | 21,6 | 20,9 | 0,188 |
| 09:30–10:30 | 147,4 | 10,8 | 26,6 | 25,4 | 21,6 | 20,6 | 0,307 |
| 10:30–11:30 | 147,4 | 9,0 | 28,2 | 26,8 | 21,7 | 20,4 | 0,326 |
| 11:30–12:30 | 178,4 | 10,8 | 28,4 | 27,1 | 21,6 | 20,4 | 0,395 |
| 12:30–13:30 | 148,6 | 7,4 | 28,5 | 27,4 | 21,6 | 20,4 | 0,354 |
| 13:30–14:30 | 178,4 | 6,8 | 28,2 | 27,2 | 22,10 | 21,0 | 0,432 |
| 14:30–15:30 | 132,7 | 5,7 | 27,8 | 26,0 | 22,6 | 21,5 | 0,332 |
| 15:30–16:30 | 117,6 | 4,5 | 28,6 | 27,4 | 22,5 | 21,3 | 0,275 |
| 16:30–17:30 | 117,6 | 4,5 | 29,3 | 27,9 | 22,4 | 21,1 | 0,267 |
| 17:30–18:30 | 59,0 | 3,4 | 28,5 | 27,6 | 22,6 | 21,6 | 0,140 |
| 18:30–19:30 | 59,0 | 1,7 | 27,7 | 27,3 | 22,9 | 22,2 | 0,166 |
| 19:30–20:30 | 14,6 | 0,6 | 25,6 | 25,9 | 22,4 | 22,0 | 0,107 |
| 20:30–21:30 | 0,0 | 0,0 | 24,2 | 24,6 | 22,3 | 22,1 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | 0,0 | -0,6 | | | | | 0,000 |
| 22:30–23:30 | 0,0 | 0,0 | | | | | 0,000 |
| 23:30–00:30 | | | | | | | 0,000 |
| 00:30–01:30 | -8,5 | -1,1 | 18,0 | 18,1 | 19,8 | 20,1 | -0,024 |
| 01:30–02:30 | -5,7 | -1,1 | 18,1 | 18,3 | 19,9 | 20,2 | -0,013 |
| 02:30–03:30 | -14,3 | -1,1 | 18,2 | 18,5 | 20,0 | 20,2 | -0,027 |
| 03:30–04:30 | 0,0 | -1,7 | 18,4 | 18,6 | 20,2 | 20,6 | 0,000 |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -0,6 | 18,5 | 18,8 | 20,5 | 21,0 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 0,0 | 0,0 | 19,7 | 19,6 | 22,0 | 22,1 | 0,000 |
| Сумма | 1460,0 | 70,7 | | | | | 3,385 |
| 12.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 0,0 | 1,7 | 20,9 | 20,5 | 23,6 | 23,2 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 28,9 | 4,5 | 21,8 | 21,2 | 24,1 | 23,5 | 0,059 |

Продолжение таблицы П.12.3

| Час | R _в , дж/ (см ² ·ч) | Q _н , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|--------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 08:30–09:30 | 72,9 | 3,9 | 22,7 | 22,0 | 24,6 | 23,8 | 0,176 |
| 09:30–10:30 | 131,5 | 8,5 | 24,4 | 23,4 | 24,6 | 23,6 | 0,298 |
| 10:30–11:30 | 116,8 | 7,9 | 26,0 | 24,7 | 24,6 | 23,5 | 0,246 |
| 11:30–12:30 | 176,7 | 10,2 | 27,8 | 26,4 | 24,6 | 23,1 | 0,414 |
| 12:30–13:30 | 178,4 | 10,2 | 29,5 | 28,1 | 24,6 | 22,7 | 0,456 |
| 13:30–14:30 | 163,7 | 9,0 | 29,7 | 28,6 | 24,4 | 22,8 | 0,427 |
| 14:30–15:30 | 134,0 | 7,4 | 29,9 | 29,0 | 24,2 | 22,9 | 0,350 |
| 15:30–16:30 | 148,6 | 7,4 | 29,8 | 29,0 | 24,6 | 23,4 | 0,393 |
| 16:30–17:30 | 89,2 | 2,8 | 29,7 | 29,0 | 25,0 | 24,0 | 0,237 |
| 17:30–18:30 | 73,7 | 2,8 | 29,1 | 28,7 | 24,7 | 23,8 | 0,220 |
| 18:30–19:30 | 43,5 | 1,1 | 28,5 | 28,4 | 24,4 | 23,7 | 0,156 |
| 19:30–20:30 | 0,0 | 1,7 | 27,4 | 27,8 | 23,6 | 23,1 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | 0,0 | -1,1 | 23,1 | 24,6 | 22,3 | 21,7 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -14,3 | -2,8 | 22,8 | 24,0 | 21,4 | 21,0 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -14,4 | -1,7 | 22,5 | 23,5 | 20,5 | 20,4 | 0,000 |
| 23:30–00:30 | 0,0 | -1,7 | 21,8 | 22,8 | 20,1 | 20,1 | 0,000 |
| 00:30–01:30 | -14,4 | -1,7 | 21,2 | 22,2 | 19,7 | 19,8 | -0,007 |
| 01:30–02:30 | -14,3 | -1,7 | 20,3 | 21,4 | 19,8 | 20,2 | -0,018 |
| 02:30–03:30 | -14,0 | -1,1 | 19,4 | 20,7 | 20,0 | 20,5 | -0,019 |
| 03:30–04:30 | -14,0 | -1,7 | 18,3 | 19,7 | 19,4 | 20,3 | -0,025 |
| 04:30–05:30 | -14,0 | -2,8 | 17,2 | 18,7 | 18,8 | 20,1 | -0,026 |
| 05:30–06:30 | 43,5 | 0,6 | 20,0 | 20,6 | 20,6 | 21,2 | 0,000 |
| Сумма | 1301,7 | 63,4 | | | | | 3,338 |
| 13.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 43,5 | 1,1 | 22,8 | 22,4 | 22,4 | 22,2 | 0,079 |
| 07:30–08:30 | 59,0 | 4,5 | 24,4 | 23,7 | 23,4 | 23,0 | 0,103 |
| 08:30–09:30 | 87,5 | 6,2 | 26,0 | 25,0 | 24,0 | 23,5 | 0,142 |
| 09:30–10:30 | 125,6 | 8,5 | 27,6 | 26,5 | 25,1 | 24,5 | 0,216 |
| 10:30–11:30 | 149,9 | 9,6 | 28,9 | 27,6 | 26,0 | 24,9 | 0,316 |
| 11:30–12:30 | 146,5 | 10,2 | 29,4 | 28,2 | 25,0 | 24,1 | 0,295 |
| 12:30–13:30 | 131,9 | 7,9 | 28,9 | 28,0 | 25,2 | 24,7 | 0,230 |
| 13:30–14:30 | 188,4 | 10,2 | 30,1 | 28,9 | 25,1 | 24,1 | 0,401 |
| 14:30–15:30 | 146,5 | 7,9 | 29,7 | 29,0 | 24,2 | 23,5 | 0,338 |
| 15:30–16:30 | 123,9 | 6,8 | 29,8 | 29,1 | 23,4 | 22,5 | 0,311 |
| 16:30–17:30 | 118,1 | 5,1 | 29,9 | 29,3 | 22,4 | 21,8 | 0,275 |
| 17:30–18:30 | 62,8 | 3,9 | 28,0 | 27,8 | 22,0 | 20,9 | 0,210 |
| 18:30–19:30 | 28,5 | 2,8 | 27,4 | 27,4 | 22,9 | 22,5 | 0,102 |
| 19:30–20:30 | 9,3 | 2,8 | 25,4 | 25,8 | 23,8 | 23,4 | 0,070 |
| 20:30–21:30 | 0,0 | 0,6 | 23,8 | 24,4 | 24,4 | 24,1 | 0,000 |

| Час | R _в , дж/ (см ² ·ч) | Q _н , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | E, мм/ч |
|----------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 21:30–22:30 | -4,6 | 0,0 | 23,0 | 23,5 | 23,8 | 23,6 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -9,2 | -1,1 | 22,1 | 22,6 | 23,2 | 23,2 | 0,000 |
| 23:30–00:30 | -9,2 | -1,1 | 20,0 | 20,6 | 20,7 | 21,4 | -0,021 |
| 00:30–01:30 | -18,4 | -3,4 | 17,9 | 18,5 | 18,2 | 19,6 | -0,047 |
| 01:30–02:30 | -4,6 | -1,7 | 15,5 | 17,0 | 16,5 | 18,6 | -0,008 |
| 02:30–03:30 | -4,6 | -2,3 | 13,0 | 15,6 | 14,8 | 17,7 | -0,006 |
| 03:30–04:30 | -9,2 | -4,5 | 13,8 | 15,6 | 15,5 | 17,6 | -0,012 |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -2,3 | 14,8 | 15,5 | 16,2 | 17,6 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 13,8 | 0,0 | 18,3 | 17,7 | 19,9 | 20,3 | 0,000 |
| Сумма | 1375,4 | 71,8 | | | | | 2,994 |
| Серия 7 (18–20.07), 18.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 37,9 | 0,9 | 19,8 | 19,4 | 19,8 | 19,9 | -0,094 |
| 07:30–08:30 | 75,8 | 4,7 | 21,8 | 21,1 | 19,2 | 19,0 | 0,087 |
| 08:30–09:30 | 95,0 | 5,7 | 23,7 | 22,8 | 18,6 | 18,2 | 0,146 |
| 09:30–10:30 | 143,6 | 7,9 | 24,8 | 23,8 | 18,5 | 17,8 | 0,282 |
| 10:30–11:30 | 153,2 | 9,0 | 26,0 | 24,9 | 18,4 | 17,5 | 0,322 |
| 11:30–12:30 | 154,9 | 9,0 | 26,5 | 25,4 | 18,4 | 17,6 | 0,308 |
| 12:30–13:30 | 154,9 | 8,5 | 27,0 | 26,0 | 18,3 | 17,6 | 0,303 |
| 13:30–14:30 | 164,5 | 9,6 | 26,2 | 25,6 | 17,5 | 17,0 | 0,348 |
| 14:30–15:30 | 90,9 | 2,8 | 25,4 | 25,2 | 16,7 | 16,4 | 0,245 |
| 15:30–16:30 | 72,0 | 5,1 | 26,0 | 25,7 | 16,8 | 16,4 | 0,180 |
| 16:30–17:30 | 67,8 | 3,4 | 26,6 | 26,2 | 16,9 | 16,4 | 0,170 |
| 17:30–18:30 | 90,9 | 3,4 | 25,1 | 24,9 | 17,3 | 17,0 | 0,244 |
| 18:30–19:30 | 23,9 | 1,7 | 23,6 | 23,6 | 17,7 | 17,5 | 0,089 |
| 19:30–20:30 | 9,3 | 1,1 | 22,2 | 22,4 | 17,2 | 17,0 | 0,091 |
| 20:30–21:30 | 0,0 | -0,6 | 20,8 | 21,1 | 16,7 | 16,6 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -9,2 | -0,6 | 17,9 | 18,9 | 16,3 | 17,0 | -0,016 |
| 22:30–23:30 | -9,2 | -2,3 | 15,0 | 16,7 | 15,9 | 17,4 | -0,016 |
| 23:30–00:30 | -9,2 | -2,8 | 16,6 | 17,6 | 17,4 | 18,3 | -0,015 |
| 00:30–01:30 | -9,3 | -1,1 | 18,3 | 18,6 | 18,8 | 19,2 | -0,022 |
| 01:30–02:30 | -9,2 | -1,7 | 16,6 | 17,6 | 17,4 | 18,2 | -0,017 |
| 02:30–03:30 | -9,2 | -1,7 | 15,0 | 16,5 | 16,0 | 17,3 | -0,017 |
| 03:30–04:30 | -18,4 | -5,1 | 14,0 | 15,6 | 15,2 | 16,8 | -0,032 |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -1,7 | 13,1 | 14,7 | 14,4 | 16,2 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 23,5 | -3,4 | 15,9 | 16,5 | 15,4 | 16,2 | 0,000 |
| Сумма | 1284,5 | 52,0 | | | | | 2,286 |
| 19.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 33,5 | 0,6 | 18,7 | 18,3 | 16,3 | 16,1 | 0,058 |
| 07:30–08:30 | 89,2 | 1,7 | 20,0 | 19,4 | 14,8 | 14,4 | 0,177 |

Продолжение таблицы П.12.3

| Час | R _в , Дж/ (см ² ·ч) | Q _н , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|--------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 08:30–09:30 | 97,6 | 4,5 | 21,4 | 20,6 | 13,4 | 12,7 | 0,214 |
| 09:30–10:30 | 182,1 | 5,1 | 22,2 | 21,2 | 13,0 | 12,2 | 0,391 |
| 10:30–11:30 | 148,6 | 7,4 | 23,0 | 21,7 | 12,5 | 11,6 | 0,293 |
| 11:30–12:30 | 175,4 | 6,8 | 23,4 | 22,2 | 12,0 | 11,1 | 0,363 |
| 12:30–13:30 | 175,4 | 7,9 | 23,9 | 22,6 | 11,6 | 10,6 | 0,364 |
| 13:30–14:30 | 148,6 | 6,8 | 24,3 | 23,0 | 11,8 | 10,8 | 0,308 |
| 14:30–15:30 | 148,6 | 6,8 | 24,7 | 23,4 | 12,0 | 11,1 | 0,294 |
| 15:30–16:30 | 139,0 | 5,7 | 24,6 | 23,5 | 11,8 | 11,1 | 0,265 |
| 16:30–17:30 | 115,1 | 3,4 | 24,6 | 23,6 | 11,6 | 11,1 | 0,195 |
| 17:30–18:30 | 75,4 | 2,8 | 24,2 | 23,4 | 11,3 | 10,8 | 0,142 |
| 18:30–19:30 | 46,1 | 1,1 | 23,7 | 23,3 | 11,0 | 10,6 | 0,109 |
| 19:30–20:30 | 13,9 | -1,1 | 21,6 | 21,6 | 12,8 | 12,7 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | 4,7 | -1,7 | 19,4 | 19,8 | 14,8 | 14,8 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -18,4 | -4,5 | 14,2 | 16,4 | 12,8 | 14,3 | -0,029 |
| 22:30–23:30 | -9,2 | -5,7 | 9,0 | 13,1 | 10,8 | 13,8 | -0,008 |
| 23:30–00:30 | -18,4 | -4,5 | 7,4 | 11,5 | 9,9 | 13,0 | -0,030 |
| 00:30–01:30 | -18,4 | -6,8 | 5,8 | 9,9 | 9,0 | 12,2 | -0,025 |
| 01:30–02:30 | -4,6 | -3,4 | 5,0 | 9,1 | 8,5 | 11,6 | -0,003 |
| 02:30–03:30 | -9,2 | -4,5 | 4,2 | 8,3 | 8,0 | 10,9 | -0,010 |
| 03:30–04:30 | -13,8 | -4,5 | 4,3 | 7,7 | 8,1 | 10,5 | -0,019 |
| 04:30–05:30 | -4,6 | -4,5 | 4,4 | 7,1 | 8,2 | 10,1 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 18,4 | -2,8 | 10,1 | 11,2 | 11,6 | 12,6 | 0,000 |
| Сумма | 1515,0 | 16,4 | | | | | 3,109 |
| 20.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 27,6 | 0,6 | 15,8 | 15,4 | 15,0 | 15,2 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 73,7 | 3,4 | 19,8 | 18,8 | 15,2 | 14,3 | 0,164 |
| 08:30–09:30 | 115,0 | 7,9 | 23,9 | 22,2 | 15,5 | 13,4 | 0,335 |
| 09:30–10:30 | 124,6 | 4,5 | 23,9 | 22,5 | 14,8 | 13,4 | 0,295 |
| 10:30–11:30 | 153,3 | 9,0 | 23,9 | 22,8 | 14,1 | 13,5 | 0,265 |
| 11:30–12:30 | 153,3 | 9,0 | 24,6 | 23,4 | 13,6 | 13,2 | 0,199 |
| 12:30–13:30 | 167,6 | 10,2 | 25,2 | 23,9 | 13,0 | 12,9 | 0,067 |
| 13:30–14:30 | 159,6 | 8,5 | 25,5 | 24,3 | 13,5 | 13,0 | 0,237 |
| 14:30–15:30 | 174,1 | 9,0 | 25,8 | 24,7 | 14,0 | 13,0 | 0,386 |
| 15:30–16:30 | 175,8 | 6,2 | 25,5 | 24,6 | 14,0 | 13,2 | 0,393 |
| 16:30–17:30 | 58,6 | 2,8 | 25,2 | 24,4 | 14,0 | 13,5 | 0,110 |
| 17:30–18:30 | 77,4 | 2,3 | 24,6 | 24,0 | 14,8 | 14,2 | 0,182 |
| 18:30–19:30 | 43,1 | 1,7 | 23,9 | 23,6 | 15,5 | 15,0 | 0,120 |
| 19:30–20:30 | 4,7 | 0,0 | 21,8 | 22,0 | 16,2 | 15,9 | 0,033 |
| 20:30–21:30 | -9,2 | -1,1 | 19,7 | 20,5 | 16,8 | 16,8 | 0,000 |

| Час | R _в , дж/ (см ² ·ч) | Q _н , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|-----------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 21:30–22:30 | -9,2 | -2,3 | 15,8 | 17,2 | 15,0 | 16,2 | -0,016 |
| 22:30–23:30 | -9,2 | -3,4 | 11,8 | 13,9 | 13,2 | 15,6 | -0,015 |
| 23:30–00:30 | -9,2 | -4,5 | 10,2 | 12,8 | 12,0 | 14,6 | -0,011 |
| 00:30–01:30 | -13,8 | -3,9 | 8,7 | 11,6 | 10,9 | 13,7 | -0,024 |
| 01:30–02:30 | -9,2 | -3,9 | 7,8 | 10,6 | 10,4 | 12,8 | -0,012 |
| 02:30–03:30 | -9,2 | -3,4 | 7,0 | 9,6 | 9,8 | 12,0 | -0,013 |
| 03:30–04:30 | -4,6 | -3,4 | 9,1 | 10,4 | 11,4 | 12,6 | -0,003 |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -2,3 | 11,2 | 11,1 | 13,0 | 13,2 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 9,2 | 0,6 | 14,6 | 14,3 | 14,8 | 14,8 | 0,000 |
| Сумма | 1443,8 | 47,5 | | | | | 2,692 |
| Серия 8 (25, 26.07), 25.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 25,8 | 1,7 | 17,9 | 17,5 | 16,5 | 16,5 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 58,2 | 3,4 | 20,5 | 19,9 | 17,1 | 17,1 | 0,000 |
| 08:30–09:30 | 100,6 | 6,2 | 23,1 | 22,3 | 17,7 | 17,7 | 0,000 |
| 09:30–10:30 | 169,2 | 9,6 | 24,4 | 23,5 | 17,0 | 16,6 | 0,260 |
| 10:30–11:30 | 116,1 | 8,2 | 25,6 | 24,7 | 16,2 | 15,6 | 0,219 |
| 11:30–12:30 | 116,1 | 7,0 | 25,9 | 25,0 | 15,8 | 15,2 | 0,222 |
| 12:30–13:30 | 135,4 | 7,9 | 26,2 | 25,3 | 15,4 | 14,8 | 0,259 |
| 13:30–14:30 | 154,7 | 8,5 | 26,8 | 25,8 | 15,2 | 14,6 | 0,281 |
| 14:30–15:30 | 145,1 | 7,9 | 27,3 | 26,2 | 15,0 | 14,5 | 0,229 |
| 15:30–16:30 | 143,7 | 7,4 | 27,1 | 26,2 | 15,4 | 14,6 | 0,277 |
| 16:30–17:30 | 95,8 | 4,5 | 26,9 | 26,2 | 15,7 | 15,1 | 0,208 |
| 17:30–18:30 | 47,4 | 4,5 | 25,8 | 25,6 | 16,0 | 15,4 | 0,141 |
| 18:30–19:30 | 18,6 | 1,7 | 24,8 | 24,9 | 16,3 | 15,6 | 0,062 |
| 19:30–20:30 | 4,6 | 0,6 | 22,3 | 22,6 | 18,2 | 17,5 | 0,013 |
| 20:30–21:30 | -4,6 | 0,0 | 19,8 | 20,4 | 20,0 | 19,4 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -4,6 | -2,3 | 16,8 | 18,4 | 17,6 | 18,6 | -0,005 |
| 22:30–23:30 | -4,6 | -2,3 | 13,9 | 16,3 | 15,2 | 17,8 | -0,006 |
| 23:30–00:30 | 0,0 | -1,7 | 16,8 | 18,4 | 16,8 | 18,4 | 0,000 |
| 00:30–01:30 | -9,2 | -1,7 | 19,8 | 20,4 | 18,4 | 10,0 | -0,018 |
| 01:30–02:30 | -9,2 | -0,6 | 17,9 | 19,4 | 17,6 | 18,8 | -0,029 |
| 02:30–03:30 | -9,2 | -1,1 | 16,0 | 18,4 | 16,8 | 18,6 | -0,027 |
| 03:30–04:30 | -4,6 | -2,8 | 14,1 | 16,4 | 15,2 | 17,5 | -0,004 |
| 04:30–05:30 | -4,6 | -2,3 | 12,2 | 14,5 | 13,6 | 16,5 | -0,006 |
| 05:30–06:30 | 9,2 | -1,1 | 15,9 | 16,9 | 16,6 | 18,2 | 0,000 |
| Сумма | 1289,8 | 63,3 | | | | | 2,076 |
| 26.07 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 27,6 | 1,1 | 19,6 | 19,3 | 19,7 | 20,0 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 46,1 | 3,4 | 21,5 | 21,0 | 21,2 | 21,1 | 0,040 |

Продолжение таблицы П.12.3

| Час | R _в , Дж/ (см ² ·ч) | Q _н , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | E, мм/ч |
|-----------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 08:30–09:30 | 73,7 | 6,2 | 23,4 | 22,6 | 21,6 | 21,5 | 0,044 |
| 09:30–10:30 | 124,3 | 7,9 | 24,2 | 23,4 | 21,4 | 21,2 | 0,130 |
| 10:30–11:30 | 105,9 | 7,9 | 25,1 | 24,1 | 21,3 | 21,0 | 0,125 |
| 11:30–12:30 | 156,6 | 9,6 | 26,4 | 25,4 | 20,7 | 20,2 | 0,257 |
| 12:30–13:30 | 156,6 | 9,0 | 27,6 | 26,3 | 20,1 | 19,5 | 0,246 |
| 13:30–14:30 | 175,0 | 9,0 | 28,2 | 27,0 | 19,4 | 18,8 | 0,290 |
| 14:30–15:30 | 138,2 | 7,9 | 28,7 | 27,7 | 18,6 | 18,1 | 0,230 |
| 15:30–16:30 | 152,0 | 7,4 | 28,2 | 27,6 | 19,2 | 18,2 | 0,325 |
| 16:30–17:30 | 50,7 | 3,9 | 27,8 | 27,6 | 19,8 | 18,4 | 0,171 |
| 17:30–18:30 | 78,3 | 4,5 | 27,4 | 27,2 | 19,6 | 18,6 | 0,260 |
| 18:30–19:30 | 32,2 | 2,8 | 27,0 | 26,9 | 19,5 | 18,8 | 0,107 |
| 19:30–20:30 | 9,2 | 1,7 | 24,4 | 25,1 | 21,0 | 20,7 | 0,012 |
| 20:30–21:30 | -4,6 | 0,0 | 21,8 | 23,3 | 22,6 | 22,6 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -4,6 | -1,7 | 19,8 | 21,3 | 20,9 | 21,6 | -0,005 |
| 22:30–23:30 | -9,2 | -2,3 | 17,9 | 19,3 | 19,2 | 20,6 | -0,017 |
| 23:30–00:30 | -9,2 | -1,9 | 18,4 | 19,4 | 19,5 | 20,6 | -0,018 |
| 00:30–01:30 | -9,2 | -1,5 | 19,0 | 19,5 | 19,8 | 20,6 | -0,022 |
| 01:30–02:30 | 0,0 | -0,6 | 19,3 | 19,6 | 20,1 | 20,6 | 0,000 |
| 02:30–03:30 | -4,6 | -0,6 | 19,6 | 19,7 | 20,4 | 20,5 | -0,010 |
| 03:30–04:30 | -4,6 | 0,0 | 18,8 | 19,0 | 20,1 | 20,2 | -0,008 |
| 04:30–05:30 | -9,2 | -0,6 | 18,0 | 18,2 | 19,8 | 19,9 | -0,015 |
| 05:30–06:30 | 0,0 | 0,0 | 17,8 | 17,7 | 19,7 | 20,0 | 0,000 |
| Сумма | 1271,1 | 73,4 | | | | | 2,142 |
| Серия 9 (01, 02.08), 01.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 18,8 | -1,1 | 14,4 | 14,2 | 14,6 | 14,8 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 46,9 | 3,4 | 18,0 | 17,5 | 15,4 | 15,2 | 0,067 |
| 08:30–09:30 | 75,8 | 5,7 | 21,5 | 20,8 | 16,2 | 15,7 | 0,147 |
| 09:30–10:30 | 105,5 | 5,1 | 23,2 | 21,9 | 16,0 | 15,0 | 0,218 |
| 10:30–11:30 | 135,2 | 7,4 | 24,8 | 23,0 | 15,7 | 14,3 | 0,278 |
| 11:30–12:30 | 144,9 | 9,0 | 27,1 | 23,5 | 15,8 | 13,9 | 0,276 |
| 12:30–13:30 | 164,5 | 9,6 | 29,4 | 24,0 | 15,8 | 13,5 | 0,278 |
| 13:30–14:30 | 164,5 | 8,5 | 29,7 | 24,4 | 16,0 | 13,3 | 0,308 |
| 14:30–15:30 | 153,2 | 7,9 | | | 16,3 | 13,1 | 0,315 |
| 15:30–16:30 | 116,0 | 5,1 | | | 15,2 | 13,0 | 0,270 |
| 16:30–17:30 | 90,9 | 3,9 | 26,3 | 25,4 | 14,0 | 13,0 | 0,219 |
| 17:30–18:30 | 71,2 | 2,3 | 25,8 | 25,2 | 14,0 | 13,0 | 0,199 |
| 18:30–19:30 | 32,9 | 1,1 | 25,2 | 24,9 | 13,9 | 13,0 | 0,104 |
| 19:30–20:30 | 0,0 | -0,6 | 20,8 | 21,7 | 14,8 | 14,6 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | -9,2 | -1,7 | 16,3 | 18,5 | 15,6 | 16,2 | -0,009 |

| Час | R _в , дж/ (см ² ·ч) | Q _н , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 21:30–22:30 | -4,6 | -4,5 | 13,0 | 16,2 | 13,4 | 15,4 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -9,2 | -4,5 | 9,6 | 14,0 | 11,3 | 14,7 | -0,010 |
| 23:30–00:30 | -9,2 | -4,5 | 8,6 | 13,0 | 10,6 | 14,4 | -0,011 |
| 00:30–01:30 | -13,8 | -3,4 | 7,5 | 12,0 | 10,0 | 14,0 | -0,024 |
| 01:30–02:30 | -4,6 | -4,5 | 6,4 | 11,0 | 9,4 | 13,1 | 0,000 |
| 02:30–03:30 | -9,2 | -3,4 | 5,4 | 9,9 | 8,8 | 12,2 | -0,013 |
| 03:30–04:30 | -9,2 | -4,5 | 5,1 | 9,0 | 8,6 | 11,5 | -0,010 |
| 04:30–05:30 | -9,2 | -3,4 | 4,8 | 8,1 | 8,4 | 10,8 | -0,012 |
| 05:30–06:30 | 9,2 | -1,1 | 9,8 | 11,2 | 12,0 | 13,3 | 0,000 |
| Сумма | 1251,2 | 31,7 | | | | | 2,590 |
| 02.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 9,3 | -1,7 | 14,8 | 14,3 | 15,6 | 15,8 | -0,073 |
| 07:30–08:30 | 46,9 | 3,9 | 18,6 | 17,9 | 16,4 | 16,4 | 0,000 |
| 08:30–09:30 | 71,2 | 5,4 | 22,3 | 21,5 | 17,2 | 16,7 | 0,130 |
| 09:30–10:30 | 119,7 | 4,7 | 23,8 | 23,0 | 16,4 | 15,8 | 0,247 |
| 10:30–11:30 | 125,6 | 7,9 | 25,4 | 24,4 | 15,7 | 14,9 | 0,260 |
| 11:30–12:30 | 149,9 | 9,6 | 26,0 | 24,8 | 16,0 | 15,0 | 0,316 |
| 12:30–13:30 | 154,9 | 9,0 | 26,6 | 25,2 | 16,3 | 15,1 | 0,331 |
| 13:30–14:30 | 159,5 | 8,5 | 27,0 | 25,6 | 16,4 | 14,8 | 0,386 |
| 14:30–15:30 | 144,9 | 7,4 | 27,3 | 26,1 | 16,4 | 14,6 | 0,383 |
| 15:30–16:30 | 116,0 | 5,1 | 27,5 | 26,4 | 16,6 | 14,4 | 0,335 |
| 16:30–17:30 | 101,7 | 4,5 | 27,7 | 26,6 | 16,7 | 14,1 | 0,304 |
| 17:30–18:30 | 68,2 | 1,7 | 27,0 | 26,4 | 16,6 | 14,4 | 0,226 |
| 18:30–19:30 | 33,5 | 1,7 | 26,4 | 26,2 | 16,6 | 14,6 | 0,120 |
| 19:30–20:30 | -4,6 | 0,0 | 23,1 | 24,0 | 17,3 | 16,2 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | -4,6 | -2,3 | 19,8 | 21,7 | 18,0 | 17,7 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -9,2 | -3,4 | 15,4 | 18,1 | 15,2 | 16,8 | -0,011 |
| 22:30–23:30 | -9,2 | -4,5 | 10,9 | 14,5 | 12,3 | 15,8 | -0,011 |
| 23:30–00:30 | 0,0 | -3,4 | 10,0 | 13,6 | 11,7 | 15,2 | 0,000 |
| 00:30–01:30 | -9,2 | -3,9 | 9,10 | 12,7 | 11,1 | 14,6 | -0,013 |
| 01:30–02:30 | -9,2 | -3,9 | 8,20 | 11,9 | 10,6 | 13,9 | -0,012 |
| 02:30–03:30 | -9,2 | -3,4 | 7,40 | 11,1 | 10,0 | 13,2 | -0,013 |
| 03:30–04:30 | -9,2 | -3,4 | 7,10 | 11,0 | 9,8 | 13,1 | -0,013 |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -3,9 | 6,80 | 10,8 | 9,6 | 13,0 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 0,0 | -2,8 | 14,0 | 12,5 | 15,7 | 14,5 | 0,000 |
| Сумма | 1236,9 | 32,8 | | | | | 2,860 |
| Серия 10, 10.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 9,3 | -1,1 | 16,6 | 16,4 | 17,5 | 17,6 | -0,148 |
| 07:30–08:30 | 42,3 | 2,8 | 20,6 | 20,2 | 19,5 | 19,3 | 0,068 |

Продолжение таблицы П.12.3

| Час | R _в , дж/ (см ² ·ч) | Q _н , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | E, мм/ч |
|------------------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 08:30–09:30 | 76,6 | 4,5 | 24,5 | 24,0 | 21,5 | 21,0 | 0,175 |
| 09:30–10:30 | 113,0 | 6,2 | 25,8 | 25,2 | 21,2 | 20,7 | 0,241 |
| 10:30–11:30 | 113,5 | 5,7 | 27,1 | 26,3 | 21,0 | 20,4 | 0,234 |
| 11:30–12:30 | 142,8 | 7,4 | 27,8 | 26,8 | 20,6 | 19,8 | 0,299 |
| 12:30–13:30 | 138,2 | 6,2 | 28,4 | 27,4 | 20,1 | 19,2 | 0,307 |
| 13:30–14:30 | 152,8 | 6,8 | 28,6 | 27,6 | 20,0 | 19,2 | 0,323 |
| 14:30–15:30 | 124,3 | 4,5 | 28,8 | 27,8 | 19,8 | 19,1 | 0,248 |
| 15:30–16:30 | 93,8 | 3,9 | 28,4 | 27,7 | 19,1 | 18,4 | 0,218 |
| 16:30–17:30 | 83,7 | 3,9 | 28,1 | 27,6 | 18,4 | 17,7 | 0,219 |
| 17:30–18:30 | 53,6 | 2,3 | 26,0 | 25,6 | 19,5 | 19,2 | 0,111 |
| 18:30–19:30 | 14,7 | 1,7 | 23,8 | 23,7 | 20,6 | 20,7 | 0,000 |
| 19:30–20:30 | -4,9 | -0,6 | 22,0 | 22,2 | 20,0 | 20,2 | -0,010 |
| 20:30–21:30 | -19,2 | -1,1 | 20,3 | 20,8 | 19,4 | 19,6 | -0,028 |
| 21:30–22:30 | -9,4 | -1,7 | 16,6 | 18,2 | 16,7 | 17,9 | -0,017 |
| 22:30–23:30 | -9,2 | -3,4 | 13,0 | 15,5 | 14,0 | 16,2 | -0,013 |
| 23:30–00:30 | -18,4 | -3,9 | 11,9 | 14,0 | 13,2 | 15,4 | -0,036 |
| 00:30–01:30 | -4,6 | -2,8 | 10,8 | 12,6 | 12,4 | 14,6 | -0,005 |
| 01:30–02:30 | -9,3 | -2,8 | 13,7 | 14,8 | 14,1 | 15,2 | -0,016 |
| 02:30–03:30 | -9,4 | -1,1 | 16,6 | 17,0 | 15,8 | 15,8 | 0,000 |
| 03:30–04:30 | -4,7 | -0,6 | 15,3 | 15,8 | 15,4 | 15,6 | -0,006 |
| 04:30–05:30 | 0,0 | -1,1 | 14,0 | 14,6 | 15,0 | 15,5 | -0,003 |
| 05:30–06:30 | 0,0 | -1,1 | 15,4 | 15,4 | 16,4 | 16,6 | -0,004 |
| Сумма | 1069,6 | 34,4 | | | | | 2,158 |
| Серия 11 (16, 17.08), 16.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 4,8 | -0,6 | 14,2 | 14,1 | 15,6 | 15,6 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 23,9 | 0,6 | 15,7 | 15,4 | 16,5 | 16,4 | 0,032 |
| 08:30–09:30 | 53,2 | 2,8 | 17,2 | 16,7 | 17,4 | 17,1 | 0,097 |
| 09:30–10:30 | 33,8 | 3,4 | 18,2 | 17,8 | 17,4 | 17,0 | 0,074 |
| 10:30–11:30 | 44,0 | 3,9 | 19,3 | 19,0 | 17,3 | 17,0 | 0,097 |
| 11:30–12:30 | 4,9 | 3,4 | 20,6 | 20,2 | 17,8 | 17,3 | 0,004 |
| 12:30–13:30 | 107,2 | 5,1 | 22,0 | 21,3 | 18,3 | 17,6 | 0,250 |
| 13:30–14:30 | 128,1 | 7,4 | 22,8 | 22,4 | 17,6 | 17,0 | 0,336 |
| 14:30–15:30 | 78,7 | 6,2 | 23,7 | 23,4 | 16,9 | 16,3 | 0,257 |
| 15:30–16:30 | 24,4 | 3,9 | 21,6 | 21,4 | 18,0 | 17,6 | 0,062 |
| 16:30–17:30 | 19,3 | 2,3 | 19,6 | 19,4 | 19,1 | 19,0 | 0,028 |
| 17:30–18:30 | 14,5 | 1,7 | 19,1 | 18,9 | 18,8 | 18,9 | 0,000 |
| 18:30–19:30 | 4,8 | 0,6 | 18,6 | 18,4 | 18,6 | 18,8 | 0,000 |
| 19:30–20:30 | 0,0 | 1,1 | 18,0 | 17,8 | 18,0 | 18,2 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | 0,0 | 0,0 | 17,3 | 17,2 | 17,5 | 17,7 | 0,000 |

| Час | R _в , дж/ (см ² ·ч) | Q _н , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 21:30–22:30 | -19,2 | -1,7 | 16,4 | 16,4 | 17,0 | 17,3 | -0,068 |
| 22:30–23:30 | -14,1 | -1,7 | 15,6 | 15,7 | 16,5 | 16,9 | -0,043 |
| 23:30–00:30 | -18,4 | -2,8 | 13,2 | 14,4 | 14,6 | 16,0 | -0,040 |
| 00:30–01:30 | -9,2 | -2,8 | 10,9 | 13,2 | 12,8 | 15,2 | -0,016 |
| 01:30–02:30 | 0,0 | -2,3 | 12,6 | 14,0 | 14,4 | 15,9 | 0,006 |
| 02:30–03:30 | -4,6 | -1,1 | 14,3 | 14,7 | 16,0 | 16,6 | -0,010 |
| 03:30–04:30 | -4,6 | -1,1 | 12,8 | 13,8 | 14,6 | 15,7 | -0,009 |
| 04:30–05:30 | -4,6 | -1,7 | 11,3 | 12,8 | 13,1 | 14,8 | -0,007 |
| 05:30–06:30 | 4,6 | -1,1 | 12,6 | 13,2 | 14,3 | 15,2 | 0,000 |
| Сумма | 471,5 | 25,5 | | | | | 1,050 |
| 17.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 0,0 | -0,6 | 13,8 | 13,6 | 15,5 | 15,6 | -0,008 |
| 07:30–08:30 | 4,6 | 0,0 | 15,0 | 14,7 | 16,7 | 16,8 | -0,020 |
| 08:30–09:30 | 14,1 | 1,1 | 16,3 | 15,8 | 17,9 | 18,0 | -0,023 |
| 09:30–10:30 | 23,7 | 1,7 | 17,2 | 16,4 | 18,4 | 18,3 | 0,021 |
| 10:30–11:30 | 86,2 | 4,5 | 18,2 | 16,9 | 18,8 | 18,6 | 0,063 |
| 11:30–12:30 | 149,9 | 9,0 | 19,8 | 18,6 | 18,0 | 17,6 | 0,192 |
| 12:30–13:30 | 146,5 | 6,8 | 21,4 | 20,2 | 17,3 | 16,6 | 0,265 |
| 13:30–14:30 | 146,5 | 6,8 | 21,0 | 19,8 | 17,5 | 17,0 | 0,253 |
| 14:30–15:30 | 107,2 | 5,7 | 20,6 | 19,5 | 17,7 | 17,4 | 0,122 |
| 15:30–16:30 | 87,1 | 5,7 | 20,3 | 19,4 | 17,5 | 17,2 | 0,111 |
| 16:30–17:30 | 57,5 | 4,5 | 20,0 | 19,4 | 17,3 | 17,0 | 0,094 |
| 17:30–18:30 | 37,9 | 2,8 | 19,6 | 19,2 | 17,0 | 16,8 | 0,061 |
| 18:30–19:30 | 9,5 | 1,7 | 19,2 | 19,0 | 16,8 | 16,6 | 0,019 |
| 19:30–20:30 | 0,0 | 0,0 | 18,1 | 18,0 | 17,2 | 17,2 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | 0,0 | -0,6 | 17,0 | 17,0 | 17,6 | 17,7 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -4,6 | -0,6 | 15,5 | 16,1 | 16,6 | 17,4 | -0,011 |
| 22:30–23:30 | -9,3 | -1,1 | 14,0 | 15,2 | 15,5 | 17,2 | -0,022 |
| 23:30–00:30 | 0,0 | -2,3 | 13,6 | 14,9 | 15,2 | 16,9 | 0,006 |
| 00:30–01:30 | -9,3 | -3,4 | 13,2 | 14,6 | 14,8 | 16,6 | -0,016 |
| 01:30–02:30 | -9,3 | -1,1 | 14,0 | 15,0 | 15,6 | 17,1 | -0,023 |
| 02:30–03:30 | -4,6 | -0,6 | 14,8 | 15,5 | 16,5 | 17,6 | -0,011 |
| 03:30–04:30 | -9,4 | -0,6 | 15,8 | 16,1 | 17,3 | 18,0 | -0,028 |
| 04:30–05:30 | 0,0 | 0,0 | 16,8 | 16,7 | 18,1 | 18,5 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | 0,0 | 0,0 | 16,7 | 16,6 | 17,7 | 18,0 | 0,000 |
| Сумма | 824,3 | 39,4 | | | | | 1,047 |
| Серия 12, 23.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 1,9 | -1,7 | 17,5 | 18,1 | 15,3 | 14,7 | 0,039 |
| 07:30–08:30 | 19,2 | 1,1 | 19,4 | 19,6 | 15,5 | 14,8 | 0,088 |

Продолжение таблицы П.12.3

| Час | R _в , дж/ (см ² ·ч) | Q _н , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | E, мм/ч |
|------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 08:30–09:30 | 38,7 | 2,8 | 21,2 | 21,0 | 15,7 | 15,0 | 0,120 |
| 09:30–10:30 | 58,0 | 3,4 | 23,1 | 22,4 | 16,5 | 15,6 | 0,144 |
| 10:30–11:30 | 96,7 | 6,8 | 25,0 | 23,9 | 17,3 | 16,2 | 0,219 |
| 11:30–12:30 | 71,8 | 5,7 | 24,4 | 24,0 | 18,6 | 17,4 | 0,222 |
| 12:30–13:30 | 23,4 | 3,4 | 23,9 | 24,0 | 19,8 | 18,6 | 0,086 |
| 13:30–14:30 | 52,7 | 4,5 | 26,4 | 26,2 | 19,4 | 18,4 | 0,169 |
| 14:30–15:30 | 88,7 | 3,9 | 29,0 | 28,3 | 19,0 | 18,1 | 0,222 |
| 15:30–16:30 | 59,1 | 3,4 | 28,3 | 28,0 | 17,7 | 16,9 | 0,175 |
| 16:30–17:30 | 49,3 | 3,4 | 27,6 | 27,6 | 16,4 | 15,7 | 0,183 |
| 17:30–18:30 | 4,8 | 1,1 | 23,4 | 23,4 | 18,8 | 18,6 | 0,014 |
| 18:30–19:30 | 0,0 | 0,0 | 19,2 | 19,1 | 21,2 | 21,4 | 0,000 |
| 19:30–20:30 | 0,0 | -0,6 | 19,5 | 19,6 | 20,4 | 20,6 | 0,000 |
| 20:30–21:30 | -4,7 | -1,1 | 19,7 | 20,0 | 19,7 | 19,7 | 0,000 |
| 21:30–22:30 | -4,8 | 0,0 | 19,8 | 20,2 | 19,0 | 18,9 | 0,000 |
| 22:30–23:30 | -4,9 | -0,6 | 19,8 | 20,3 | 18,3 | 18,1 | 0,000 |
| 23:30–00:30 | -4,8 | -0,6 | 18,7 | 19,0 | 18,2 | 18,2 | 0,000 |
| 00:30–01:30 | -9,5 | -0,6 | 17,6 | 17,8 | 18,1 | 18,2 | -0,016 |
| 01:30–02:30 | -4,7 | -0,6 | 17,8 | 18,2 | 18,0 | 18,0 | 0,000 |
| 02:30–03:30 | -4,8 | -1,1 | 18,1 | 18,5 | 17,8 | 17,8 | 0,000 |
| 03:30–04:30 | -4,8 | -0,6 | 17,8 | 18,1 | 17,8 | 17,8 | 0,000 |
| 04:30–05:30 | -9,6 | -1,1 | 17,6 | 17,7 | 17,7 | 17,8 | -0,021 |
| 05:30–06:30 | 0,0 | -0,6 | 17,2 | 17,2 | 17,9 | 18,0 | 0,000 |
| Сумма | 511,8 | 30,4 | | | | | 1,647 |
| Серия 13, 31.08 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | -7,5 | -3,2 | 5,7 | 5,8 | 7,9 | 8,1 | -0,013 |
| 07:30–08:30 | 28,7 | -3,4 | 8,3 | 8,0 | 8,6 | 8,6 | 0,000 |
| 08:30–09:30 | 29,0 | 0,0 | 10,9 | 10,2 | 9,4 | 9,2 | 0,036 |
| 09:30–10:30 | 9,7 | 1,1 | 11,2 | 10,2 | 10,1 | 9,5 | 0,016 |
| 10:30–11:30 | 67,0 | 2,3 | 11,4 | 10,1 | 10,8 | 9,8 | 0,141 |
| 11:30–12:30 | 14,9 | 3,4 | 12,6 | 11,3 | 10,0 | 9,0 | 0,025 |
| 12:30–13:30 | 56,9 | 4,3 | 13,8 | 12,5 | 9,2 | 8,3 | 0,109 |
| 13:30–14:30 | 126,4 | 0,2 | 13,4 | 12,4 | 8,8 | 8,0 | 0,284 |
| 14:30–15:30 | 72,9 | 1,3 | 13,1 | 12,2 | 8,5 | 7,7 | 0,168 |
| 15:30–16:30 | 83,7 | 0,7 | 13,0 | 12,2 | 8,0 | 7,40 | 0,180 |
| 16:30–17:30 | 55,3 | 1,0 | 13,0 | 12,1 | 7,6 | 7,0 | 0,110 |
| 17:30–18:30 | 21,3 | -1,1 | 11,8 | 11,3 | 7,8 | 7,4 | 0,050 |
| 18:30–19:30 | -7,7 | -1,7 | 10,6 | 10,5 | 8,0 | 7,9 | 0,000 |
| 19:30–20:30 | -12,2 | -2,6 | 7,1 | 8,5 | 7,8 | 8,0 | -0,007 |
| 20:30–21:30 | -9,2 | -4,2 | 3,6 | 6,5 | 7,6 | 8,1 | -0,004 |

| Час | R _в , Дж/ (см ² ·ч) | Q _н , Дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | E, мм/ч |
|------------------------|--|--|-----------------|------|---------------|------|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 21:30–22:30 | -9,3 | -3,7 | 2,6 | 5,4 | 7,0 | 7,7 | -0,006 |
| 22:30–23:30 | -4,6 | -2,8 | 1,6 | 4,2 | 6,4 | 7,3 | -0,002 |
| 23:30–00:30 | -4,6 | -3,9 | 1,8 | 4,2 | 6,6 | 7,4 | -0,001 |
| 00:30–01:30 | -9,2 | -2,3 | 2,1 | 4,1 | 5,7 | 7,5 | -0,011 |
| 01:30–02:30 | -13,8 | -2,8 | -0,1 | 2,2 | 5,9 | 6,8 | -0,016 |
| 02:30–03:30 | -18,4 | -3,9 | -2,3 | 0,3 | 5,1 | 6,2 | -0,023 |
| 03:30–04:30 | -13,8 | -5,7 | -2,8 | -0,3 | 4,8 | 5,9 | -0,013 |
| 04:30–05:30 | -13,8 | -3,4 | -3,3 | -0,9 | 4,6 | 5,6 | -0,160 |
| 05:30–06:30 | 0,0 | -3,4 | | | | | 0,000 |
| Сумма | 441,5 | -33,9 | | | | | 1,007 |
| Серия 14, 12.09 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | 4,6 | -3,4 | 4,1 | 8,1 | 7,7 | 10,7 | 0,000 |
| 07:30–08:30 | 4,7 | -2,3 | 9,3 | 11,2 | 10,6 | 12,0 | 0,000 |
| 08:30–09:30 | 23,7 | 0,0 | 14,5 | 14,4 | 13,5 | 13,3 | 0,072 |
| 09:30–10:30 | 50,7 | 2,3 | 17,6 | 17,0 | 13,9 | 13,6 | 0,085 |
| 10:30–11:30 | 64,9 | 3,9 | 20,7 | 19,8 | 14,3 | 14,0 | 0,083 |
| 11:30–12:30 | 72,4 | 6,2 | 22,0 | 21,1 | 14,5 | 14,2 | 0,091 |
| 12:30–13:30 | 73,3 | 5,7 | 23,3 | 22,4 | 14,7 | 14,3 | 0,112 |
| 13:30–14:30 | 73,3 | 4,5 | 23,8 | 23,0 | 14,4 | 14,0 | 0,120 |
| 14:30–15:30 | 63,6 | 4,5 | 24,3 | 23,7 | 14,0 | 13,7 | 0,103 |
| 15:30–16:30 | 38,7 | 3,4 | 23,8 | 23,4 | 13,8 | 13,4 | 0,086 |
| 16:30–17:30 | 23,9 | 2,3 | 23,3 | 23,1 | 13,5 | 13,2 | 0,060 |
| 17:30–18:30 | 4,7 | 2,3 | 18,8 | 19,0 | 13,8 | 14,0 | 0,000 |
| 18:30–19:30 | -9,2 | -0,6 | 14,4 | 16,2 | 14,2 | 14,9 | -0,013 |
| 19:30–20:30 | -9,2 | -1,7 | 11,6 | 13,8 | 12,4 | 14,2 | -0,17 |
| 20:30–21:30 | -9,2 | -2,8 | 8,8 | 11,4 | 10,6 | 13,4 | -0,016 |
| 21:30–22:30 | -4,6 | -2,3 | 7,0 | 10,0 | 9,5 | 12,3 | -0,006 |
| 22:30–23:30 | -4,6 | -3,4 | 5,2 | 8,6 | 8,4 | 11,2 | -0,003 |
| 23:30–00:30 | -9,3 | -3,9 | 5,1 | 8,4 | 8,3 | 11,1 | -0,012 |
| 00:30–01:30 | -9,4 | -2,8 | 5,0 | 8,3 | 8,2 | 11,0 | -0,015 |
| 01:30–02:30 | -4,7 | -2,8 | 5,6 | 8,4 | 8,5 | 10,8 | -0,004 |
| 02:30–03:30 | -9,4 | -3,4 | 6,3 | 8,4 | 8,8 | 10,7 | -0,014 |
| 03:30–04:30 | -18,8 | -2,3 | 8,4 | 9,4 | 10,2 | 11,2 | -0,040 |
| 04:30–05:30 | -9,4 | -1,1 | 10,1 | 10,4 | 11,7 | 12,6 | -0,028 |
| 05:30–06:30 | -9,4 | -2,3 | 9,4 | 9,6 | 10,9 | 12,0 | -0,022 |
| Сумма | 391,3 | -0,1 | | | | | 0,602 |
| Серия 15, 20.09 | | | | | | | |
| 06:30–07:30 | -14,2 | -2,8 | -1,0 | -0,5 | 5,5 | 5,8 | -0,022 |
| 07:30–08:30 | 0,0 | -2,8 | 1,2 | 1,2 | 6,2 | 6,4 | 0,000 |

Окончание таблицы П.12.3

| Час | R _в , дж/ (см ² ·ч) | Q _н , дж/ (см ² ·ч) | Температура, °С | | Влажность, мб | | Е, мм/ч |
|-------------|--|--|-----------------|-----|---------------|-----|---------|
| | | | на высоте, м | | на высоте, м | | |
| | | | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 2,0 | |
| 08:30–09:30 | 23,9 | -3,4 | 3,4 | 2,9 | 6,8 | 6,9 | 0,000 |
| 09:30–10:30 | 48,6 | -2,8 | 5,8 | 5,0 | 6,8 | 6,8 | 0,000 |
| 10:30–11:30 | 62,8 | -2,3 | 8,2 | 7,0 | 6,7 | 6,6 | 0,030 |
| 11:30–12:30 | 48,6 | -0,6 | 9,2 | 8,0 | 6,4 | 6,2 | 0,040 |
| 12:30–13:30 | 87,1 | 1,1 | 10,3 | 8,9 | 6,1 | 5,7 | 0,106 |
| 13:30–14:30 | 43,5 | 3,4 | 9,9 | 8,8 | 5,8 | 5,6 | 0,035 |
| 14:30–15:30 | 38,7 | 0,0 | 9,5 | 8,8 | 5,6 | 5,4 | 0,048 |
| 15:30–16:30 | 29,0 | 0,0 | 9,4 | 9,0 | 5,5 | 5,4 | 0,032 |
| 16:30–17:30 | 19,3 | -0,6 | 9,4 | 9,1 | 5,4 | 5,3 | 0,027 |
| 17:30–18:30 | 0,0 | -0,6 | 7,6 | 7,8 | 5,8 | 5,8 | 0,000 |
| 18:30–19:30 | 0,0 | -1,7 | 5,7 | 6,5 | 6,3 | 6,2 | 0,000 |
| 19:30–20:30 | -4,6 | -1,7 | 2,8 | 4,1 | 6,0 | 6,3 | -0,003 |
| 20:30–21:30 | -4,6 | -2,8 | 0,0 | 1,7 | 5,7 | 6,4 | -0,003 |
| 21:30–22:30 | -4,6 | -3,9 | 0,0 | 1,4 | 5,8 | 6,3 | -0,001 |
| 22:30–23:30 | -9,2 | -3,4 | 0,1 | 1,2 | 5,9 | 6,2 | -0,007 |
| 23:30–00:30 | -4,6 | -1,7 | 0,4 | 1,3 | | | -0,003 |
| 00:30–01:30 | 0,0 | -1,1 | 0,7 | 1,4 | | | 0,000 |
| 01:30–02:30 | 0,0 | -2,8 | 1,6 | 2,0 | | | 0,000 |
| 02:30–03:30 | 0,0 | -1,7 | 2,5 | 2,6 | 6,8 | 6,8 | 0,000 |
| 03:30–04:30 | 0,0 | -1,7 | 4,8 | 5,0 | 5,8 | 6,8 | 0,000 |
| 04:30–05:30 | -4,7 | -1,1 | 7,0 | 7,3 | 6,9 | 6,7 | 0,000 |
| 05:30–06:30 | -4,9 | -0,6 | 7,0 | 7,2 | 7,9 | 6,7 | 0,000 |
| Сумма | 350,0 | -35,7 | | | | | 0,279 |

Приложение к главе 14

Таблица П.14.1. Общая минерализация и ионный состав вод болотных микроландшафтов по данным летне-осенних съемок 2005–2013 гг.

| Пункт отбора проб | Микроландшафт | Общая минерализация, мг/л | Кальций + магний, ионы, мг/л | Хлорид-ион, мг/л | Сульфат-ион, мг/л | Гидрохимическая формула |
|-------------------|---|---------------------------|------------------------------|------------------|-------------------|-------------------------|
| Скважина 101 | Сосново-сфагново-кустарничково-пушицевый | 16 | 1 | 4,3 | 5 | SO ₄ (Cl)–Ca |
| Скважина 102а | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 9 | 5,1 | 2,8 | 4 | SO ₄ –Ca |
| Скважина 104 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной, центр массива | 17 | 10 | 4,3 | 8 | SO ₄ –Ca |
| Скважина 106 | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 24 | 1 | 3,6 | 21 | SO ₄ –Na |
| Скважина 107б | Грядово-мочажинный комплекс | 12 | 7 | 4,3 | 2 | Cl–Ca |
| Скважина 210 | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 21 | 1 | 2,8 | 6 | SO ₄ –Na |
| Скважина 313 | Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной | 16 | 4 | 4,3 | 4 | Cl(SO ₄)–Ca |
| Скважина 316 | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 15 | 1 | 7,1 | 4 | Cl–Ca |
| Грунтовые воды | | 180–250 | | | | HCO ₃ –Ca |

Таблица П.14.2. Содержание биогенных элементов в водах болотных микроландшафтов по данным летне-осенних съемок 2005–2013 гг.

| Пункт отбора проб | Микроландшафт | Азот аммонийный, мг/л | Азот нитритный, мг/л | Фосфор минеральный, мг/л |
|-------------------|---|-----------------------|----------------------|--------------------------|
| Скважина 102а | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной | 3,75 | < 0,005 | < 0,01 |
| Скважина 104 | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной, центр массива | 2,50 | < 0,005 | < 0,01 |
| Скважина 106 | Сфагново-кустарничково-пушицево-сосновый со сфагново-пушицевыми понижениями | 1,90 | < 0,005 | < 0,01 |
| Скважина 107б | Грядово-мочажинный комплекс | 2,50 | < 0,005 | < 0,01 |
| Скважина 108 | Сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный сосной с сухостоем | 2,50 | 0,012 | < 0,01 |
| Скважина 210 | Сфагново-осоково-пушицевый, облесенный березой и сосной | 2,50 | < 0,005 | 0,01 |
| Скважина 316 | Сфагново-пушицево-кустарничково-сосновый | 3,75 | < 0,005 | < 0,01 |

Таблица П.14.3. Содержание биогенных элементов в водах внутренних водоемов и водотоков болотного массива по данным летне-осенних съемок 2005–2014 гг.

| Водный объект | Азот* аммонийный, мг/л | Азот** нитритный, мг/л | Фосфор** минеральный, мг/л |
|------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| Озеро Купальное | 1,25 0,13–3,75 | < 0,005–0,010 | < 0,010–0,025 |
| Ручей Северный | 0,50 0,05–3,75 | < 0,005–0,025 | < 0,010–0,010 |
| Ручей Южный | 0,60 0,05–6,25 | < 0,005–0,025 | < 0,010–0,025 |
| Ручей Западный-1 | 0,25 0,02–1,25 | < 0,005–0,025 | < 0,010–0,010 |

* Числитель дроби — среднее значение показателя, знаменатель — минимальное и максимальное значения концентрации.

** Минимальное и максимальное содержание за период наблюдений.

Таблица П.14.4. Среднестатистические содержания микроэлементов в водах болотных ручьев за 2013–2014 гг.

| Микроэлемент | Среднее | Мин.–макс. | N | C _v |
|--------------|---------|-------------|---|----------------|
| Fe, мг/л | 0,59 | 0,250–0,880 | 5 | 0,05 |
| Ni, мкг/л | 2,50 | 0,990–6,62 | 5 | 0,47 |
| Cr, мкг/л | 5,08 | 1,25–9,40 | 3 | 1,37 |
| Mn, мкг/л | 11,33 | 1,46–18,0 | 5 | 1,37 |
| Co, мкг/л | 1,19 | 0,130–3,07 | 3 | 0,55 |
| Pb, мкг/л | 5,17 | 0,370–9,48 | 5 | 0,88 |
| Cd, мкг/л | 0,12 | 0,003–0,230 | 4 | 0,03 |
| Cu, мкг/л | 2,38 | 0,830–4,33 | 4 | 0,38 |
| Zn, мкг/л | 5,30 | 1,03–11,8 | 5 | 0,97 |

Примечание: Средние, минимальные и максимальные содержания определены по результатам обобщения гидрохимических данных по ручьям Северный, Южный, Западный-1; N — число членов в выборке, C_v — коэффициент вариации среднего.

Таблица П.14.5. Сезонная изменчивость главных ионов и общей минерализации вод различных болотных микроландшафтов за 2013–2014 гг.

| Дата отбора пробы | 05.07.2013 | 30.10.2013 | 05.02.2014 | 30.05.2014 |
|--|------------|------------|------------|------------|
| Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной (скв. 104) | | | | |
| Кальций + магний, ионы, мг/л | 4,5 | 4,8 | 6,4 | 3,8 |
| Хлорид-ион, мг/л | 3,8 | 4,3 | 4,4 | 7,5 |
| Сульфат-ион, мг/л | 2,0 | 8,0 | 5,0 | 2,0 |
| Общая минерализация, мг/л | 13,0 | 17,2 | 14,0 | 13,0 |
| Грядово-мочажинный комплекс (скв. 1076) | | | | |
| Кальций + магний, ионы, мг/л | 5,8 | 9,6 | 6,4 | 7,9 |
| Хлорид-ион, мг/л | 3,1 | 4,3 | 4,4 | 9,6 |
| Сульфат-ион, мг/л | 4,0 | 4,0 | 2,0 | 2,0 |
| Общая минерализация, мг/л | 15,0 | 18,0 | 14,0 | 17,0 |
| Сфагново-осоковый, облесенный березой и сосной (скв. 210) | | | | |
| Кальций + магний, ионы, мг/л | 3,2 | < 1,0 | < 1,0 | 4,4 |
| Хлорид-ион, мг/л | 3,8 | 2,8 | 4,9 | 6,2 |
| Сульфат-ион, мг/л | 4,0 | 6,0 | 2,0 | 2,0 |
| Общая минерализация, мг/л | 17,0 | 9,2 | 14,0 | 11,0 |

Таблица П.14.6. Сезонная изменчивость микроэлементов вод различных болотных микроландшафтов за 2013–2014 гг.

| Пункт отбора пробы | Сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной, скв. 104 | | | Грядово-мочажинный комплекс, скв. 1076 | | | Ручей Южный | | |
|--------------------|---|------------------|-------------------|--|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | 05.07.2013, лето | 05.02.2014, зима | 30.05.2014, весна | 05.07.2013, лето | 05.02.2014, зима | 30.05.2014, весна | 05.07.2013, лето | 05.02.2014, зима | 30.05.2014, весна |
| Fe, мг/л | 2,3 | 1,40 | 1,10 | 1,50 | 0,14 | 1,10 | 0,88 | 0,66 | 0,25 |
| Ni, мкг/л | 1,50 | 3,30 | 1,40 | 6,80 | 9,90 | 5,40 | 1,20 | 6,60 | 1,00 |
| Mn, мкг/л | 37,6 | 27,4 | 15,0 | 37,5 | 2,3 | 19,2 | 14,6 | 12,9 | 15,6 |
| Zn, мкг/л | 42,80 | 81,20 | 23,80 | 163,000 | н/о* | 128,60 | 10,30 | 0,03 | 1,70 |
| Cu, мкг/л | 1,9 | 10,1 | 4,6 | 3,2 | 5,0 | 4,6 | 2,7 | 4,1 | н/о |
| Pb, мкг/л | н/о | 8,9 | н/о | н/о | 10,1 | 2,8 | 7,4 | 9,5 | 8,2 |
| Cd, мкг/л | 0,12 | н/о | 0,13 | 0,10 | н/о | 0,13 | н/о | 0,003 | н/о |
| Co, мкг/л | 1,20 | 0,64 | н/о | 1,30 | н/о | н/о | н/о | 0,14 | 3,10 |

* не обнаружено.

Таблица П.14.7. Основные гидрохимические показатели болотных вод и атмосферных осадков Ширинского болотного массива за период 1983–1986 гг.

| Компонент | Болотные воды | | | Атмосферные осадки | | |
|--------------------------------------|---------------|---------|----------|--------------------|---------|----------|
| | Среднее | Минимум | Максимум | Среднее | Минимум | Максимум |
| РН | 4,2 | 3,8 | 4,6 | 5,7 | 4,9 | 6,9 |
| Цветность, град. | 190 | 60 | 320 | 5 | < 5 | 30 |
| ХПК, мгО/л | 98 | 50 | 160 | 12 | 5 | 20 |
| Общая минерализация, мг/л | 15,0 | 13,0 | 18,0 | 6,8 | 3,8 | 16,0 |
| Ca ²⁺ , мг/л | 3,0 | 1,6 | 4,2 | 0,7 | < 0,1 | 5,2 |
| Mg ²⁺ , мг/л | 1,3 | < 0,1 | 1,9 | 0,1 | < 0,1 | 0,2 |
| K ⁺ , мг/л | 1,0 | 0,6 | 6,5 | 0,3 | < 0,1 | 0,7 |
| Na ⁺ , мг/л | 1,4 | 0,5 | 2,2 | 1,6 | 0,6 | 2,4 |
| Cl ⁻ , мг/л | 2,7 | 3,5 | 7,0 | 1,0 | 2,5 | 2,8 |
| SO ₄ ²⁻ , мг/л | 4,8 | 1,5 | 9,8 | 4,4 | < 0,1 | 8,7 |
| HCO ₃ ⁻ , мг/л | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3,0 | < 0,1 | 10,0 |
| Азот нитратный, мг/л | 0,03 | 0,00 | 0,15 | 0,07 | < 0,10 | 1,60 |
| Азот аммонийный, мг/л | 1,30 | 0,36 | 1,90 | 0,11 | < 0,10 | 0,70 |
| Фосфор минеральный, мг/л | 0,006 | 0,000 | 0,100 | 0,050 | < 0,005 | 0,180 |
| Железо общее, мг/л | 0,52 | 0,20 | 0,75 | 0,05 | 0,02 | 0,30 |

Таблица П.14.8. Русловой сток микроэлементов и аммонийного азота через ручей Южный за 2013 г.

| Элемент | Средний годовой расход воды, л/с | Концентрация вещества, мкг/л | Сток вещества, кг | Модуль стока вещества, кг/км ² |
|-----------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------|---|
| Азот аммонийный | 17,2 | 700 | 378 | 320 |
| Fe | | 600 | 324 | 274 |
| Ni | | 2,9 | 1,6 | 1,40 |
| Mn | | 14,0 | 7,6 | 6,50 |
| Zn | | 7,0 | 3,8 | 3,10 |
| Pb | | 5,4 | 2,9 | 2,50 |
| Cu | | 3,5 | 1,9 | 1,70 |
| Co | | 1,1 | 0,60 | 0,51 |

Таблица П.14.9. Фоновые содержания гидрохимических показателей в болотных ручьях по результатам съемок 2004–2013 гг.

| Название ручья | Общая минерализация, мг/л | ПО, мгО/л | Аммонийный азот, мг/л |
|---------------------------------------|---------------------------|-----------|-----------------------|
| Ручей Южный | 17 | 70 | 0,60 |
| Ручей Западный | 10 | 40 | 0,25 |
| Ручей Северный | 20 | 55 | 0,50 |
| Фоновое содержание по ручьям | 18 | 66 | 0,50 |
| Фоновое содержание по микроландшафтам | 16 | 105 | 2,50 |

Таблица П.14.10. Фоновое содержание (мг/кг) подвижных* форм тяжелых металлов в торфяных отложениях верховых болот Ленинградской области

| Пункт отбора проб | Железо | Марганец | Цинк | Медь | Свинец | Кадмий |
|-------------------|--------|----------|------|------|--------|--------|
| Болото Ламмин-Суо | 120 | 2,0 | 4,0 | 7,0 | < 1,0 | < 0,1 |
| Болото Ширинское | 115 | 1,8 | 12,0 | 1,0 | 3,0 | 0,2 |

* подвижные микроэлементы определялись в азотнокислой вытяжке из влажных торфов при одновременном определении влажности и последующем пересчете на сухое вещество. Отбор проб проводился с глубины 55 см.

Таблица П.14.11. Среднее содержание подвижных форм тяжелых металлов и минеральной серы (индикаторов техногенного загрязнения) в поверхностном слое торфяных отложений (0–20 см) верховых болот Ленинградской области в современный период

| Пункт отбора проб | Календарный возраст слоя | Цинк, мг/кг | Медь, мг/кг | Свинец, мг/кг | Кадмий, мг/кг | Сера, сульфатов, мг/100 г АСВ* |
|-------------------|--------------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|--------------------------------|
| Болото Ламмин-Суо | 1967–1993 | 47,0 | 6,5 | 5,0 | 0,3 | 60 |
| Болото Ширинское | 1959–1993 | 80,0 | 1,7 | 13,0 | – | 80 |

*АСВ — абсолютно сухое вещество.

Таблица П.14.12. Концентрация углеводородов (C_{ny}) в воде нижнего бьефа и средний коэффициент фильтрации деятельного слоя при разных уровнях воды в торфяном монолите

| Уровень воды, см | K_{ϕ} , см/с | C_{ny} , мг/л |
|------------------|-------------------|-----------------|
| -28 | 0,015 | 0,15 |
| -21 | 0,018 | 0,17 |
| -13 | 0,025 | 0,22 |
| -10 | 0,080 | 0,40 |
| -8 | 0,160 | 0,65 |
| -4 | 1,800 | 1,45 |

Таблица П.14.13. Величины коэффициентов фильтрации (K_{ϕ}) и концентрации углеводородов природного происхождения (C_{ϕ}) в воде нижнего бьефа фильтрационного лотка при разной толщине фильтрующего слоя (Н)

| Н, см | Уровень воды, см | K_{ϕ} , см/с | C_{ϕ} , мг/л |
|-------|------------------|-------------------|-------------------|
| 12 | -28 | 0,024 | 0,03 |
| 19 | -21 | 0,035 | 0,03 |
| 24 | -16 | 0,061 | 0,03 |
| 28 | -12 | 0,092 | 0,02 |
| 34 | -6 | 0,730 | 0,01 |
| 36 | -4 | 2,710 | 0,01 |

Приложение к главе 19

Выдержки из Отчета НИР ГГИ «Разработать методы гидрологических наблюдений и расчетов для слабо изученных районов многолетней мерзлоты (на примере зоны БАМ и севера Западной Сибири)» / под рук. Б.Л. Соколова. — СПб.: Архив ГГИ, № 282-НИР. 1995. 292 с.

Методы наблюдений в слабоизученных районах многолетней мерзлоты

При проведении экспедиционных работ в районах многолетней мерзлоты эффективно сочетать наземные и дистанционные группы методов наблюдений, различающихся технологией получения информации, ее содержанием, составом, объемом, способами обработки и анализа полевых материалов.

Основными являются наземные методы получения сведений о водных ресурсах, гидрологическом режиме водных объектов, элементах водного и теплового баланса. Как отмечено выше, они используются в дополнение к наблюдениям на редкой государственной сети гидрологических постов и метеорологических станций.

В условиях малоизученной, необжитой и труднодоступной территории многолетней мерзлоты особую ценность приобретают дистанционные методы исследований (аэрофотосъемка и космическая съемка, радиолокационное зондирование, инфракрасная (тепловая) съемка, аэровизуальные наблюдения), позволяющие за сравнительно короткий период получить большой объем разнообразной дополнительной информации о водных объектах, состоянии земной поверхности, явлениях криогенной природы, взаимосвязи гидрологических процессов и многолетнемерзлых пород и пр. не только на площади, но в их динамике. Использование спектрально-фотоматериалов с инфракрасным фотослоем позволяет намного увеличить информативность даже такого традиционного метода, как аэрофотосъемка. К настоящему времени накоплен достаточно большой методический и практический опыт в использовании дистанционных методов гидрологических исследований в районах многолетней мерзлоты [8, 10]. Он свидетельствует о необходимости при этом применять ландшафтно-гидрологический подход, опирающийся на ландшафтное районирование территории с помощью ландшафтных индикаторов. Особенно эффективны

дистанционные методы при проведении комплексных тепло-воднобалансовых исследований на речных, болотных, озерных, наледных и антропогенных полигонах.

Промежуточное положение занимает авиадесантный метод наблюдений: вертолет доставляет специалистов на отдельные участки территории или околотоводных объектов для производства небольшого комплекса наземных работ. Нередко этот метод эффективно сочетать с аэровизуальными обследованиями.

Наземные экспедиционные методы наблюдений по продолжительности подразделяются на следующие типы:

1. Экспедиционно-стационарные наблюдения — проводятся круглогодично в течение всего периода экспедиционных работ: на речных, болотных, озерных, наледных и антропогенных полигонах, на экспедиционной сети гидрологических и метеорологических постов, открытых на водных объектах исследуемого района.
2. Временные наблюдения — проводятся в течение сравнительно короткого периода (например, в течение только весеннего половодья или межени и т. п.) на протяжении одного года или ряда лет для получения дополнительной информации о какой-либо одной (реже больше) характеристике водных ресурсов, элементов водного или теплового баланса, гидрологического режима водных объектов и пр.
3. Эпизодические наблюдения — преимущественно разовые измерения, проводятся в течение одного года или нескольких лет в виде гидрометрических меженных ландшафтных, почвенных, термометрических, ледемерных, гидрохимических, изотопных съемок, гидрографических обследований, гидрофизических наблюдений разного целевого назначения.

Дистанционные методы, в первую очередь аэрофотосъемка, аэровизуальные наблюдения, используются эпизодически для получения материалов о каких-либо количественных показателях водных объектов или состоянии поверхности водосборов водотоков и водоемов в заданный период теплого или холодного сезонов. Реже эти работы проводятся систематически через заданные интервалы в течение года с целью получения данных о внутригодовой динамике тех или иных гидрологических процессов и явлений, режиме водных объектов.

Принципы выбора объектов и пунктов наблюдений

Необходимость руководствоваться каким-то достаточно общими правилами при выборе объектов и пунктов наблюдений возникает преимущественно при решении задач, связанных с теми или иными территориальными (региональными) оценками характеристик водных ресурсов и элементов гидрологического режима водных объектов, изучением водного и теплового режима региона. При этом основные трудности возникают при организации экспедиционных работ в относительно большом по размерам районе, характеризующемся разнообразными природно-ландшафтными условиями и полным набором водных объектов (реки, озера, болота, наледи, бассейны подземных вод).

Следует признать, что в гидрологии водных объектов суши в целом еще не разработаны надежные количественные критерии и показатели, с помощью которых могла бы объективно решена рассматриваемая задача [3, 12]. До настоящего времени используются преимущественно качественные соображения, основанные на ландшафтно-гидрологическом подходе выбора некоторых типичных (репрезентативных) водных объектов, данные наблюдений на которых показательны для неизученных объектов с аналогичной подстилающей поверхностью и близкими размерами [1, 9]. Здесь реализуется принцип гидрологической аналогии, предполагающий примерное равенство оценок тех или иных гидрологических характеристик водных объектов с одинаковыми ландшафтными условиями в сравнительно однородном климатическом районе. При всей дискусионности такого подхода, которая в настоящем отчете не рассматривается, при выборе объектов и пунктов экспедиционных наблюдений ландшафтный принцип в настоящее время является основным. При практической реализации он должен быть дополнен другими принципами и требованиями, не только научной, но и экономико-организационной сущности, особенно при организации полевых работ в малоизученных, необжитых и труднодоступных районах многолетней мерзлоты.

Наиболее ответственным является выбор экспедиционных полигонов (речных, болотных, озерных, антропогенных), предназначенных для проведения на них преимущественно научно-исследовательских работ с целью наиболее детального изучения закономерностей влаго- и теплообмена, процессов формирования водных ресурсов и элементов гидрологического режима водных объектов. Результаты анализа и обобщения материалов наблюдений на них с известными ограничениями распространяются на всю территорию изучаемого региона. Поэтому выбранный, например, речной

полигон должен представлять какой-либо речной водосбор, в ландшафтном отношении типичный для всей территории.

В идеальном случае на его площади должны располагаться ландшафты и водные объекты всех основных типов, присущих данному региону, или по крайней мере большинство из них. Аналогичные требования предъявляются к выбору болотного и озерного полигонов. Последние включают в себя не только непосредственно водоем или болотный массив, но и их водосборную площадь.

Необходимость выбора антропогенного полигона возникает в том случае, если в исследуемом районе хозяйственная деятельность разных типов развита в разных частях территории. В этой, наиболее сложной, ситуации полигон должен представлять какой-либо речной или озерный водосбор (или его часть), где происходит хозяйственная деятельность наиболее распространенного типа, например эксплуатация подземных вод в целях водоснабжения, разработка твердых полезных ископаемых открытым способом с осушением горных выработок и т. п., которая оказывает (уже оказала) наибольшее влияние на гидрологический режим водных объектов. В некоторых случаях при выборе полигона этого вида целесообразно руководствоваться перспективными планами развития хозяйственной деятельности и возможным увеличением антропогенной нагрузки на водную среду в той или иной части территории, хотя в период проведения экспедиционных работ она и не так значительна.

Нет необходимости развивать тезис о том, что любой экспедиционный полигон является составной частью экспедиционного комплекса наблюдений. Их местоположение определяется не только рассмотренными выше научно-методическими принципами, но и организационно-экономическими требованиями: близостью к базе экспедиции, транспортными возможностями доставки и смены наблюдателей, инженерно-технического персонала, оборудования, систем жизнеобеспечения, соблюдением правил техники безопасности и пр.

Принципы и критерии размещения гидрологических постов на реках и озерах разработаны в ГГИ [3, 4]. Они основаны на дискретно-непрерывном представлении поля гидрологических элементов: каждый гидрологический элемент, например годовой сток рек, определяется для дискретной области — площади водосбора A . В то же время при рассмотрении территории достаточно больших размеров (гидрологических зон) принимается предпосылка о непрерывном распределении характеристик этого элемента.

Расстояние между пунктами наблюдений должно быть, с одной стороны, достаточным для регистрации пространственных изменений (градиентов)

элемента (годового стока), а с другой — не слишком большим, чтобы сохранилась корреляция изучаемых характеристик и работал принцип гидрологической аналогии. Из этих предпосылок вытекают градиентный и корреляционный критерии плотности сети, соответствующие площадям водосбора АГР и АК, которые ограничивают оптимальное значение $A0 \leq AK$.

В [4] определены значения критериальной площади водосбора при изучении годового речного стока в основных физико-географических зонах России: тундровой — $A_0 = 15\ 000\ \text{км}^2$, лесной — $A_0 = 5000\ \text{км}^2$, степной — $A_0 = 2000\ \text{км}^2$.

Оптимальные значения A_0 в большинстве случаев отвечают водосборам средних рек, для которых характерны зональные закономерности формирования речного стока. Этот градиентно-корреляционный принцип может быть использован на начальном этапе планирования размещения и определения минимального количества опорных гидрологических постов на реках экспедиционно-стационарных наблюдений — первом достаточно общем региональном (районном) уровне изучения зональных закономерностей территориального распределения гидрологических характеристик. На втором, более детальном, уровне он должен быть дополнен упомянутым выше ландшафтным принципом, что потребует дополнить зональную сеть постами экспедиционно-стационарных гидрометрических наблюдений, замыкающих водосборы с основными типами ландшафта, на границах смены гидрогеологических условий, определяющих закономерности подземного питания рек и пр.

Для малых рек с $A < A_0$, характеризующихся преимущественно азональными, и больших рек с $A > A_0$ с полизональными закономерностями формирования стока с антропогенными изменениями последнего правомерно использовать пообъектный принцип размещения гидрологических постов в зависимости от структуры речных систем. Речная сеть может быть представлена в виде графа типа дерева, в котором внешние вершины отображают потоки, а внутренние — потоки слияния водотоков. Параметры речных систем обладают индикативными свойствами в отношении гидрологических процессов. Многие характеристики режима рек, такие как осредненные и максимальные расходы воды, толщина льда и др. могут быть представлены в функции различных структурных мер, в частности порядка реки K [13]. Перенос характеристик гидрологического режима с объектов наблюдений на другие объекты осуществляется в подмножестве однопорядковых элементов. Отсюда вытекает последний принцип размещения пунктов наблюдений, дополняющий первые два принципа: в общем случае они должны располагаться во всех звеньях иерархической цепи потоков разных порядков или

как минимум в тех из них, которые имеют наибольшее значение для решения той или иной региональной задачи.

Таким образом, наряду с традиционными принципами относительно равномерного размещения постов, которые соблюдаются при развертывании сети для изучения зональных характеристик, при организации экспедиционной сети постов целесообразно сгустить пункты наблюдений в ключевых звеньях речных систем, например в так называемых гидрологических узлах — районах слияния водотоков разных порядков, что целесообразно и с экономико-организационной точки зрения. В каждой из систем должна быть создана по крайней мере одна цепь постов, пронизывающая насквозь объектный граф гидрологической сети по порядкам рек I, II, ... K. Этот принцип может быть реализован путем организации пунктов преимущественно временных и эпизодических наблюдений, дополняющих сеть экспедиционно-стационарных постов.

Принципы выбора болотных массивов для производства наблюдений и размещения на них наблюдательных пунктов приведены в Наставлении [5].

Выбор и оборудование пунктов наблюдений на реках

Детальность рекогносцировочного обследования участка реки для производства наблюдений зависит от разряда организуемого поста. Для проведения эпизодических наблюдений не требуется тщательного выбора места измерений, так как задачей таких наблюдений является получение общих представлений о водотоке либо информации о конкретной гидрологической характеристике. К такого рода наблюдениям относятся различные гидрологические съемки (меженного стока, температурная и гидрохимическая, максимального стока и максимального затопления, ледемерная и т. д.). Главным критерием выбора мест для проведения таких съемок является наличие подъезда автомобильным либо водным транспортом. В экспедиционных условиях для заброски наблюдателей эффективно использовать вертолет. В теплое время года целесообразно совмещать съемки разного назначения и проводить их путем сплава на лодках.

Стационарные посты наблюдений при экспедиционных исследованиях должны выбираться в соответствии с Наставлениями [6, 7], а также дополнением [11]. При невозможности соблюдения требуемых нормальных условий измерения гидрологических характеристик следует оценивать погрешность этих измерений в соответствии с действующими рекомендациями.

Посты наблюдений при экспедиционных исследованиях располагаются в районе полевой базы в радиусе не более 3–4 км.

Экспедиционные посты наблюдений отличаются от сетевых в основном техническим оснащением и условиями работы.

В связи с невозможностью установки (многолетняя мерзлота) и использования (снежные заносы, выпучивание) гидрометрических сооружений на малых водотоках, где обычно наблюдаются значительные внутрисуточные колебания стока, измерения расходов на них в период половодья проводят учащенно (2–4 раза в сутки).

Одним из главных критериев выбора участка реки для организации гидрометрического поста являются наиболее благоприятные условия для измерения стока воды во время весеннего половодья. Например, в северных районах криолитозоны, т. к. за этот период проходит от 60 до 90 % объема годового стока. Следовательно, погрешности при измерении максимального стока наиболее сильно влияют на расчет гидрологических характеристик, как за период половодья, так и за весь год в целом.

На участке гидрологического поста ширина поймы должна быть как можно меньше. При невозможности выполнения этого условия необходимо подобрать участок поймы с хорошо выраженными рукавами, протоками, ложбинами и т. д., на которых можно наиболее точно измерить расход воды. При измерении стока на широких поймах наиболее велика вероятность получения максимальных погрешностей измерений, обусловленных относительно малыми скоростями, наличием мертвых пространств, захламленностью пойм, значительной продолжительностью измерения скоростей течения и т. д.

Поэтому выбор направления гидрометрического створа на реках с широкими сложными поймами проводится очень ответственно, с учетом различий в направлении движения потока на разных участках поймы. В наиболее сложных случаях линия гидрометрического створа может быть ломаной.

На реках лесотундры водомерный пост необходимо располагать на береговых участках с отсутствием многолетнемерзлых пород.

На реках зоны тундр, где такие участки встречаются редко, основания свай должны быть расположены на 0,5 м ниже глубины сезонного протаивания грунта. Высотное положение свай проверяется нивелированием не реже 2 раз в год, а при наличии многолетнемерзлых пород — не реже 3 раз.

На участках поста должен наблюдаться равномерный типичный переход многолетнемерзлых пород в подрусловое талое ложе, без боковых таликов, ледяных линз, термокарстовых образований. Особое внимание следует уделять характеру залегания многолетнемерзлых пород при выборе места

расположения водомерного поста. В зависимости от этого выбирается тип водомерного поста, его оснащение, частота контрольных нивелировок.

На реках Крайнего Севера оборудуются водомерные посты свайного типа. Установка реперов и скважин производится в конце летне-осенней межени при низких уровнях и наибольшей глубине оттаивания почвогрунтов. На теплый период года обычно устанавливаются самописцы уровня воды длительного действия (СУВ). На небольших реках при установке СУВ оборудуются специальные береговые подставки для выноса самописцев над водной поверхностью. Для поплавка делается защита (деревянный короб) от действия течения и волн. Обычно устанавливаются две подставки: одна — для максимальных уровней, другая — для меженных уровней воды.

При наличии интенсивных мерзлотно-эрозионных процессов вблизи руслового вреза, связанных с нарушениями естественного растительного покрова, а также непредсказуемостью процесса разрушения снежного покрова на участках водомерного поста, достигающего в ряде случаев высоты до 8 м и более, применяются береговые установки самописцев с выносной стрелой и изменяющимся углом его наклона к водной поверхности. Длительное сохранение снежного покрова в руслах рек, захватывающего иногда и часть летнего меженного периода, вызывает необходимость довольно частой переустановки самописца и обеспечения надежной защиты поплавка. В этот период масштаб времени СУВ выбирается наиболее коротким и производятся учащенные замеры уровня воды. Это необходимо для наиболее точного фиксирования хода колебания уровня воды, который в весенний период имеет высокую суточную амплитуду.

В зимнее время установки СУВ, как правило, не применяются из-за сильных морозов и сложности создания системы обогрева колодцев.

В период начала ледостава со льда забивается временная зимняя свая и производится высотная привязка ее к реперу поста. Одновременно делается и ее плановая привязка. Местоположение сваи отмечается двумя кольями, забитыми у сваи, верх которых должен быть ниже ледяного покрова при его максимальной мощности. Место установки зимней сваи не должно перемерзнуть и забиваться шугой. Максимальные рейки используют во время летних и осенних паводков, которые проходят обычно неожиданно. Резкие подъемы уровня нередко приводят к выходу из строя, и поэтому установка максимальных реек необходима.

Следует заранее оборудовать основания для крепления максимальных реек, особенно на постах с многолетнемерзлыми породами.

Для производства зимних гидрологических работ необходимо иметь следующее оборудование: гидротермобур и поворотное устройство на штанге

для вертушки. Гидротермобур может существенно облегчить ледемерные съемки и промеры глубин при большой мощности льда. Поворотное устройство для вертушки необходимо для того, чтобы можно было опускать вертушку вертикально в пробуренные лунки малого диаметра. Бурение льда осуществляется кольцевым буром ПИ-8.

К пунктам наблюдений за ледовыми явлениями в общем случае предъявляются основные требования: на водоемах при дальности обзора до 5 км высота пункта должна быть не менее 2–3 м, до 10 км — 5–6 м, до 15 км — около 15 м над уровнем моря.

Посты на реках для изучения заторов льда на участках с постоянным местоположением ледяного скопления размещаются по следующей схеме: по одному посту ниже затора и в зоне подпора, два-три поста непосредственно на участке затора. Посты должны быть свайного типа и размещаться в местах, защищенных от навалов льда.

Выбор болотного массива, размещение и оборудование пунктов наблюдений

Выбор болотного массива для проведения исследований определяется задачами, связанными с изучением и освоением заболоченных территорий. Учитывая это, при выборе массива следует придерживаться следующих общих принципов:

- выбираемый болотный массив должен быть типичным для изучаемого физико-географического района при решении научных задач или типичным по характеру хозяйственного освоения при решении чисто практических задач;
- выбранные массивы должны по возможности находиться вблизи так называемых гидрологических узлов — мест слияния рек, наличия озер, где могут быть организованы режимные наблюдения на этих водных объектах.

При размещении пунктов наблюдений на естественных (неосушенных) болотных массивах целесообразно учитывать в первую очередь типологию болотного массива и характер территориального расположения болотных микроландшафтов.

При выборе водомерных створов на талых болотах учитывается направление линий стекания болотных вод (водомерный створ прокладывается вдоль линии тока). На мерзлых болотах этот критерий при выборе водомерного створа не учитывается.

Наблюдения за элементами гидрометеорологического режима (уровень болотных вод, испарение с болот, оттаивание и промерзание торфяной залежи, высота и плотность снежного покрова, температура поверхности и верхнего 40-сантиметрового слоя, теплоток в торфяную залежь, химический состав болотных вод, альbedo подстилающей поверхности), которые изменяются по территории, организуются в каждом болотном микроландшафте. Наблюдения за элементами гидрометеорологического режима (атмосферные осадки, температура торфяной залежи на глубине больше 40 см, испарение с водной поверхности), значения которых заметно не изменяются по территории массива, организуются обычно в одном пункте (болотная метеоплощадка), выбранном на достаточном удалении (не менее 200–500 м) от границы болотного массива.

Для проведения наблюдений за стоком воды с болот выбирают речки и ручьи с сильно заболоченными (более 80%) водосборами, а также топи, которые являются элементом первичной гидрографической сети на болотах. Для организации наблюдений за стоком с бугристых болот выбирают наиболее крупные, так называемые магистральные топи, имеющие обычно достаточно большую водосборную площадь. Место для организации гидрометрического створа выбирается в наиболее узкой части топи, с относительно высокими берегами.

Оборудование пунктов наблюдений на болотных массивах проводится по рекомендациям, изложенным в Наставлении, вып. 8 [5]. Необходимо отметить, что на участках болот с многолетнемерзлыми грунтами реперы, столбы, сваи, стойки, являющиеся элементами наблюдательных установок, должны заглубляться в мерзлый слой на глубину не менее 1,5–2,0 м. Только в этом случае обеспечивается необходимая высотная и плановая устойчивость сооружаемых наблюдательных установок.

Оборудование наблюдательных установок на мерзлых болотах производится в конце теплого периода при максимальном оттаивании торфяной залежи и имеет некоторые особенности, которые рассмотрены ниже.

Оборудование пунктов наблюдений за стоком воды на топях. Через топь в створе поста в конце теплого периода сооружается шпунтовая стенка высотой 50–70 см над поверхностью топи. В наиболее низкой части топи (фарватере) в шпунтовой стенке устанавливается, согласно Наставлению, вып. 6 [7], контрольное русло. Ниже по течению, в 10–20 м от гидроствора, в пределах узкой части топи, оборудуется водомерный пост (водомерная болотная скважина и установка для самописца уровня воды).

Оборудование испарительной площадки. Для установки испарителей на повышенных элементах мезорельефа (бугры, полигоны) мерзлых болот в конце осени роятся котлованы, в которые помещаются и закрепляются к

сваям кожухи испарителей. В это же время производится зарядка испарителей торфяными монолитами. Заряженные испарители после частичного насыщения монолитов водой помещают в кожухи. На зиму испарители покрывают деревянными щитами, чтобы в них не попадали осадки. В таком положении испарители остаются до весны, т. е. до начала наблюдений за испарением.

Оборудование метеорологической площадки на болотах проводится по рекомендациям Наставления, вып. 8 [5].

При оборудовании пунктов наблюдений за температурой торфяной залежи необходимо иметь в виду следующее:

- термометры Савинова устанавливаются на болоте по мере оттаивания торфяной залежи с учетом рекомендаций изложенных в Наставлении, вып. 8 [5];
- трубы вытяжных термометров устанавливаются в конце теплого периода в скважины, пробуренные буром АМ-26. Наблюдения начинают только после промерзания деятельного слоя, т. е. после слияния слоя сезонного промерзания с кровлей многолетнемерзлых пород. Это вызвано тем, что для установления надежного контакта термометров с торфяной залежью необходимо время для восстановления мерзлого слоя около термометра;
- электротермометры устанавливаются также в конце теплого периода, наблюдения начинают после полного промерзания деятельного слоя.

Литература

1. Викторов С.В., Чикишев А.Г. Ландшафтная индикация и ее практическое применение. — М.: Изд-во МГУ, 1990. 199 с.
2. Водогрецкий В.Е., Крестовский О.И. Воднобалансовые экспедиционные исследования. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. 144 с.
3. Карасев И.Ф. О принципах размещения и перспективах развития гидрологической сети. — Л.: Труды ГГИ, 1968. Вып. 164. С. 3–36.
4. Карасев И.Ф. Оптимальная густота и принципы размещения сети пунктов гидрологических наблюдений // Динамика русловых потоков. — Л.: Изд-во ЛПИ, 1987. Вып. 98. С. 9–16.
5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 8. Гидрометеорологические наблюдения на болотах. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. 360 с.
6. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6.2.1. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. 384 с.

7. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6.2.2. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. — Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 266 с.
8. Петропавловская М.С. Дистанционные методы изучения криолитозоны. — Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 88 с.
9. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. — Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 448 с.
10. Прокачева В.Г., Снищенко Д.В., Усачев В.Ф. Дистанционные методы гидрологического изучения зоны БАМа. — Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 224 с.
11. РД 52.08.163. Дополнение к Наставлению гидрометрическим станциям и постам. Вып. 6, часть 1. — Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 90 с.
12. Репрезентативные и экспериментальные бассейны. Международное руководство по исследованиям и практике // под ред. К. Тоубса и В. Урываева. — Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 428 с.
13. Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 263 с.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| Предисловие | 3 |
| Глава 1 Верховые болота Северо-Запада (Новиков С.М.)..... | 7 |
| 1.1 Образование и развитие болот | 9 |
| 1.2 Эволюция болотных микроландшафтов во второй половине XX века | 10 |
| 1.3 Прогноз развития верховых болотных массивов . | 15 |
| 1.4 Процессы заболачивания территории в современный период | 18 |
| Глава 2 Изученность болот Северо-Запада (Новиков С.М.) | 21 |
| 2.1 Геоботаническая изученность | 21 |
| 2.2 Торфоресурсная изученность | 22 |
| 2.3 Лесомелиоративная изученность..... | 22 |
| 2.4 Гидрологическая изученность | 24 |
| Глава 3 Гидрологические исследования болота Ламмин-Суо (Новиков С.М.) . | 26 |
| 3.1 Открытие Зеленогорской болотной станции | 26 |
| 3.2 Организация стандартных гидрометеорологических наблюдений на болоте | 31 |
| 3.3 Научно-исследовательские и методические работы..... | 38 |
| 3.3.1 Научно-исследовательские работы..... | 38 |
| 3.3.2 Научно-методические работы | 40 |
| Глава 4 Общая характеристика болота Ламмин-Суо..... | 43 |
| 4.1 Геология, гидрогеология (Коносавский П.К. (СПбГУ), Марков М.Л., Батуев В.И.) | 43 |
| 4.2 Климат (Новиков С.М.) | 49 |
| 4.3 Гидрография (Батуев В.И.)..... | 53 |
| 4.3.1 Ручьи | 54 |
| 4.3.2 Озера | 61 |
| Глава 5 Характеристика строения болота Ламмин-Суо (Усова Л.И.) | 68 |
| 5.1 Болотные микроландшафты и характер размещения их на массиве..... | 69 |

| | |
|--|------------|
| 5.2 Описание болотных микроландшафтов болота Ламмин-Суо | 69 |
| 5.3 Изменения болотных микроландшафтов болота Ламмин-Суо за период с 1950 по 2014 год | 86 |
| 5.4 Торфяная залежь..... | 88 |
| Глава 6 Деятельный горизонт торфяной залежи и его водно-физические свойства (Новиков С.М.)..... | 94 |
| 6.1 Строение деятельного слоя | 94 |
| 6.2 Водно-физические свойства деятельного слоя..... | 98 |
| 6.2.1 Общие положения | 98 |
| 6.2.2 Фильтрационные свойства..... | 98 |
| 6.2.3 Водоотдача | 101 |
| 6.2.4 Коэффициент подъема уровня..... | 105 |
| 6.2.5 Капиллярные свойства торфяной залежи | 106 |
| 6.2.6 Объемный вес сухого вещества торфяной залежи..... | 109 |
| Глава 7 Уровненный режим | 114 |
| 7.1 Режим уровней болотных вод (Новиков С.М.) ... | 114 |
| 7.1.1 Расчет уровней болотных вод (Новиков С.М.) | 121 |
| 7.1.2 Связь уровней болотных и грунтовых вод (Батуев В.И.) | 122 |
| 7.2 Режим уровней грунтовых вод (Батуев В.И., Коносовский П.К. СПбГУ, Марков М.Л.)..... | 128 |
| Глава 8 Метеорологический режим болота (Батуев В.И., Новиков С.М.)..... | 140 |
| 8.1 Температура воздуха..... | 143 |
| 8.2 Статистическая зависимость между температурами воздуха на болоте и суходоле | 148 |
| 8.3 Влажность воздуха..... | 151 |
| 8.4 Атмосферные осадки | 155 |
| 8.5 Снежный покров..... | 157 |
| 8.6 Ветер..... | 162 |
| 8.7 Облачность..... | 164 |
| 8.8 Атмосферное давление | 166 |
| Глава 9 Радиационный режим болота (Новиков С.М.) | 168 |
| 9.1 Суммарная солнечная радиация | 168 |
| 9.2 Альbedo поверхности различных болотных микроландшафтов | 170 |

| | |
|--|------------|
| 9.3 Радиационный баланс | 171 |
| Глава 10 Тепловой режим болота (Новиков С.М.)..... | 174 |
| 10.1 Тепловые свойства деятельного слоя торфяной залежи | 174 |
| 10.2 Режим теплообмена в деятельном слое залежи..... | 177 |
| 10.3 Температурный режим торфяной залежи | 180 |
| 10.3.1 Суточные колебания температуры торфяной залежи | 181 |
| 10.3.2 Внутригодовой ход температуры торфяной залежи..... | 186 |
| 10.3.3 Изменение температуры торфяной залежи за многолетний период | 190 |
| Глава 11 Промерзание и оттаивание болота (Новиков С.М.) | 192 |
| 11.1 Режим промерзания торфяной залежи..... | 193 |
| 11.2 Влагосодержание мерзлого слоя | 201 |
| 11.3 Расчет глубины промерзания..... | 201 |
| 11.4 Изменения глубины промерзания за многолетний период | 203 |
| 11.5 Оттаивание болота | 204 |
| Глава 12 Испарение с болота (Новиков С.М., Батуев В.И.) | 206 |
| 12.1 Наблюдения за испарением на болоте Ламмин-Суо | 206 |
| 12.2 Изменчивость испарения во времени | 209 |
| 12.3 Изменчивость испарения по территории (площади) | 214 |
| 12.4 Испарение с водной поверхности | 220 |
| Глава 13 Режим руслового стока с болота (Батуев В.И.)..... | 225 |
| 13.1 Годовой сток..... | 226 |
| 13.2 Внутригодовое распределение стока | 228 |
| 13.3 Максимальный сток весеннего половодья | 231 |
| 13.4 Максимальный сток дождевых паводков | 237 |
| 13.5 Минимальный сток | 241 |
| Глава 14 Гидрохимические особенности верховых болот (Потапова Т.М. СПбГУ) | 246 |
| 14.1 Литературный обзор гидрохимических исследований болот | 246 |

| | |
|--|------------|
| 14.2 Гидрохимическая характеристика болотного массива Ламмин-Суо | 250 |
| 14.3 Сток растворенных веществ с болотного массива | 261 |
| 14.4 Геохимические особенности верхних горизонтов торфяной залежи | 265 |
| Глава 15 Использование изотопных трассеров для идентификации условий формирования водного баланса болотного массива (Токарев И.В. СПбГУ, Батуев В.И.) | 272 |
| 15.1 Метод применения изотопных трассеров..... | 272 |
| 15.2 Исследование изотопного состава атмосферных осадков, болотных и грунтовых вод на болотном массиве Ламмин-Суо | 276 |
| Глава 16 Водный баланс болота Ламмин-Суо (Батуев В.И., Новиков С.М.) .. | 284 |
| Глава 17 Гидрологический режим внутриболотных озер (Батуев В.И.)..... | 303 |
| 17.1 Уровенный режим внутриболотных озер | 303 |
| 17.2 Ледовый режим внутриболотных озер | 312 |
| Глава 18 Современное состояние и перспективы математического моделирования в гидрологии болот (Журавлева А.Д.) | 315 |
| 18.1 Краткий обзор гидрологических моделей | 315 |
| 18.2 Природные особенности болот | 317 |
| 18.3 Динамика тепла в торфяной залежи верховых болот | 318 |
| 18.4 Испарение с болотных массивов..... | 321 |
| 18.5 Концепция моделирования стока с болотных массивов | 325 |
| Глава 19 Задачи дальнейших гидрологических исследований болот и пути модернизации специализированной сети болотных станций Росгидромета (Новиков С.М., Батуев В.И.) | 328 |
| 19.1 Задачи дальнейших гидрологических исследований болот..... | 329 |
| 19.2 Концепция развития и модернизации сети наблюдений на болотах..... | 331 |
| Заключение | 337 |
| Литература..... | 340 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| Приложения к главам | 356 |
| Приложение к главе 3 | 356 |
| Приложение к главе 5 | 373 |
| Приложение к главе 6 | 377 |
| Приложение к главе 7 | 384 |
| Приложение к главе 10..... | 385 |
| Приложение к главе 12 | 386 |
| Приложение к главе 14 | 419 |
| Приложение к главе 19..... | 426 |

CONTENTS

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 3 |
| Chapter 1 Raised bogs in the North-West of Russia (Novikov S.M.) | 7 |
| 1.1 Peatland formation and development | 9 |
| 1.2 Peatland microlandscapes dynamics in the second half of the 20th century | 10 |
| 1.3 Projection of raised bogs development | 15 |
| 1.4 The ongoing peatland processes | 18 |
| Chapter 2 State of knowledge of the peatlands in the North-West of Russia (Novikov S.M.) | 21 |
| 2.1 Geobotany | 21 |
| 2.2 Peat reserves | 22 |
| 2.3 Forest reclamation | 22 |
| 2.4 Hydrology | 24 |
| Chapter 3 Lammin-Suo peatland hydrological research (Novikov S.M.) | 26 |
| 3.1 Opening of the Zelenogorsk peatland station | 26 |
| 3.2 Organization of the standard hydrometeorological peatland observations | 31 |
| 3.3 Scientific and methodological research..... | 38 |
| 3.3.1 Scientific researches | 38 |
| 3.3.2 Methodological issues | 40 |
| Chapter 4 General characteristics of the Lammin-Suo peatland | 43 |
| 4.1 Geology and hydrogeology (Konosavsky P.K., Markov M.L., Batuev V.I.) | 43 |
| 4.2 Climate (Novikov S.M.) | 49 |
| 4.3 Hydrography (Batyev V.I.) | 53 |
| 4.3.1 Creeks | 54 |
| 4.3.2 Lakes | 61 |
| Chapter 5 The Lammin-Suo peatland structure (Usova L.I.) | 68 |
| 5.1 Peatland microlandscapes: general information and location | 69 |
| 5.2 Description of the Lammin-Suo peatland microlandscapes | 69 |

| | |
|--|------------|
| 5.3 Lammin-Suo peatland microlandscapes: changes from 1950 to 2014 | 86 |
| 5.4 Peat deposit | 88 |
| Chapter 6 Acrotelm and its water-physical properties (Novikov S.M.) | 94 |
| 6.1 Acrotelm structure | 94 |
| 6.2 Acrotelm water-physical properties | 98 |
| 6.2.1 General issues | 98 |
| 6.2.2 Filtration properties | 98 |
| 6.2.3 Water loss | 101 |
| 6.2.4 Level rise coefficient | 105 |
| 6.2.5 Capillary properties of peat deposits | 106 |
| 6.2.6 Volumetric dry weight of peat deposits | 109 |
| Chapter 7 Water level regime | 114 |
| 7.1 Peatland water level regime (Novikov S.M.) | 114 |
| 7.1.1 Peatland water level assessment (Novikov S.M.) | 121 |
| 7.1.2 Peatland and groundwater levels (Batyev V.I.) ... | 122 |
| 7.2 Groundwater levels regime (Konosavsky P.K., Markov M.L., Batyev V.I.) | 128 |
| Chapter 8 Meteorological regime of the peatland (Novikov S.M., Batyev V.I.) . | 140 |
| 8.1 Air temperature | 143 |
| 8.2 Air temperature over the peatland and dry land ... | 148 |
| 8.3 Air humidity | 151 |
| 8.4 Precipitation | 155 |
| 8.5 Snow cover | 157 |
| 8.6 Wind | 162 |
| 8.7 Cloudiness | 164 |
| 8.8 Atmosphere pressure | 166 |
| Chapter 9 Peatland radiation regime (Novikov S.M.) | 168 |
| 9.1 Total solar radiation | 168 |
| 9.2 Albedo of the different peatland microlandscapes | 170 |
| 9.3 The radiation balance | 171 |
| Chapter 10 Peatland thermal regime (Novikov S.M.) | 174 |
| 10.1 Thermal properties of the acrotelm | 174 |
| 10.2 Heat transfer regime of the acrotelm | 177 |
| 10.3 Temperature regime of the peat deposits | 180 |

| | |
|--|------------|
| 10.3.1 Daily variations in the peat deposits temperature..... | 181 |
| 10.3.2 Annual peat deposits temperature variation..... | 186 |
| 10.3.3 Peat deposits temperature variation for the long-term period | 190 |
| Chapter 11 Freezing and thawing of the peatland (Novikov S.M.) | 192 |
| 11.1 Peat freezing regime | 193 |
| 11.2 Moisture content of the frozen layer | 201 |
| 11.3 Freezing depth calculation | 201 |
| 11.4 Freezing depth variation for long-term period ... | 203 |
| 11.5 Thawing of peatland | 204 |
| Chapter 12 Peatland evaporation (Novikov S.M., Batyev V.I.) | 206 |
| 12.1 Observation of evaporation in the Lammin-Suo peatland | 206 |
| 12.2 Variability of evaporation in time | 209 |
| 12.3 Variability of evaporation by area | 214 |
| 12.4 Evaporation from water surface | 220 |
| Chapter 13 Peatland runoff regime (Batyev V.I.) | 225 |
| 13.1 Annual flow | 226 |
| 13.2 Intra-annual flow distribution | 228 |
| 13.3 Maximum flow of spring flood | 231 |
| 13.4 Maximum flow of rain-fall flood | 237 |
| 13.5 Minimum flow | 241 |
| Chapter 14 Hydrochemical features of raised bogs (Potapova T.M.) | 246 |
| 14.1 Hydrochemical research review of pelands | 246 |
| 14.2 Hydrochemical features of the Lammin-Suo peatland | 250 |
| 14.3 Dissolved runoff from peatland | 261 |
| 14.4 Geochemical features of the upper peat deposit layers | 265 |
| Chapter 15 The use of isotopic tracers to identify the conditions of the peatland water balance formation (Tokarev I.V., Batuev V.I.) | 272 |
| 15.1 Isotopic tracers method | 272 |
| 15.2 Research of precipitation, peatland water and groundwater isotopic composition in the Lammin-Suo peatland | 276 |

| | |
|---|------------|
| Chapter 16 Water balance of the Lammin-Suo peatland (Novikov S.M., Batyev V.I.) | 284 |
| Chapter 17 Hydrological regime of the Lammin-Suo peatland lakes (Batyev V.I.) | 303 |
| 17.1 Water level regime of the Lammin-Suo peatland lakes | 303 |
| 17.2 Lake-ice regime | 312 |
| Chapter 18 The current state and prospects of mathematical modeling in wetland hydrology (Zhuravleva A.D.) | 315 |
| 18.1 Hydrological models overview | 315 |
| 18.2 Peatland natural features | 317 |
| 18.3 Peatland heat dynamics | 318 |
| 18.4 Peatland evapotranspiration | 321 |
| 18.5 The concept of peatland modeling runoff | 325 |
| Chapter 19 Further hydrological research of wetlands and development of the peatland observation network (Novikov S.M., Batyev V.I.) | 328 |
| 19.1 Further hydrological research of wetlands | 329 |
| 19.2 The concept of development and modernization of the peatland observation network | 331 |
| Conclusion | 337 |
| References | 340 |
| List of Appendixes | 356 |
| Chapter 3 | 356 |
| Chapter 5 | 373 |
| Chapter 6 | 377 |
| Chapter 7 | 384 |
| Chapter 10..... | 385 |
| Chapter 12 | 386 |
| Chapter 14 | 419 |
| Chapter 19..... | 426 |

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ
И ВОДНЫЙ БАЛАНС ВЕРХОВЫХ БОЛОТ
СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ**

(на примере болота Ламмин-Суо)

Под ред. С. М. Новикова, В. И. Батуева

ISBN 978-5-4386-1701-3

«Свое издательство»

199052 Санкт-Петербург, 4-я линия В. О., 5

(812) 900-21-45

editor@isvoe.ru

<http://isvoe.ru>