

# ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

ISSN 1997-8650 (Print)  
ISSN 2587-8255 (Online)

ENGINEERING SURVEY

Vol. XII • Том XII 9-10/2018

МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

При поддержке:

Саморегулируемая организация



Ассоциация  
«Инженерные изыскания  
в строительстве»



## СОБЫТИЯ И МНЕНИЯ

Яблонский Л.И. Техническое регулирование системы обеспечения пространственными данными .....	8
--	---

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Кропоткин М.П. Оценка опасности карстового провалообразования — детерминированная или стохастическая? .....	12
---	----

## ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Клименко Д.Е., Харламова Е.О. Инженерные методы расчета высших уровней воды неизученных озер Зауралья .....	28
---	----

Батуев В.И., Калюжный И.Л. Гидрологический режим и промерзание бугристых болот Европейского Севера России .....	38
---	----

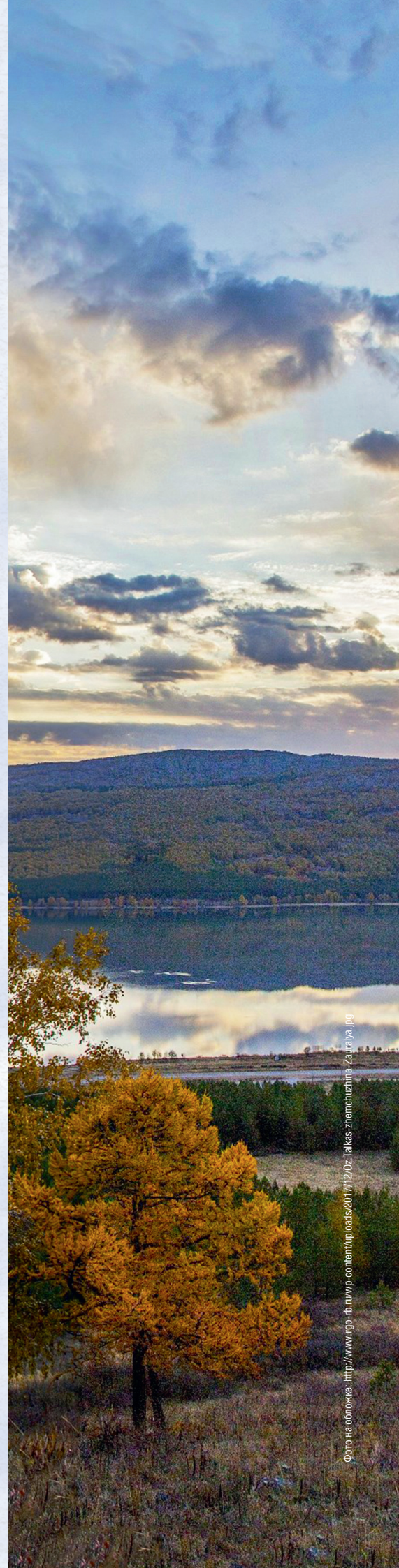
## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Кочев А.Д., Чертков Л.Г. Использование методов сейсмоакустики на закарстованных территориях крупных городов (на примере Москвы и Нижнего Новгорода) .....	50
---	----

Лексин В.К., Самарин В.И., Лисковий П.Н. Результаты интерпретации сейсмических разрезов при инженерных изысканиях в пределах Южно-Киринского нефтегазоконденсатного месторождения (шельф о. Сахалин) .....	64
---	----

Степанов Н.А., Алешкин М.В., Попков Ю.С. Обработка акустических изображений дна при инженерно-геологических изысканиях на акваториях .....	74
--	----

Отраслевые новости .....	86
--------------------------	----





Вид на Ловозерское болото (фото В.И. Батуева)

<https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-9-10-38-48>

УДК 556.551.34

# ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ПРОМЕРЗАНИЕ БУГРИСТЫХ БОЛОТ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

## **БАТУЕВ В.И.**

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», г. Санкт-Петербург, Россия, [batuevggi@mail.ru](mailto:batuevggi@mail.ru)

Адрес: 2-я линия Васильевского острова, д. 23, г. Санкт-Петербург, 199004, Россия

## **КАЛЮЖНЫЙ И.Л.\***

ФГБУ «Государственный гидрологический институт», г. Санкт-Петербург, Россия, [hfl@mail.ru](mailto:hfl@mail.ru)

**Аннотация:** освоение Европейского Севера России, в том числе и зоны плоско и крупнобугристых болотных комплексов, требует сведений о процессах формирования их гидрологического режима и промерзания этой территории. Впервые, на основании натурных наблюдений за период с 1993 по 2013 гг., даны характеристики гидрологического режима и промерзания бугристых болот Европейского Севера России на примере болота Ловозерское. Наблюдения проводились в соответствии с едиными методиками, принятыми для специализированной сети болотных станций Росгидромета. Установлены закономерности формирования гидрологического режима бугристых болот: интенсивное падение уровней болотных вод с начала промерзания и до конца марта, их повышение в период снеготаяния, незначительное летнее понижение и осенний подъем. Основной особенностью бугристых болот является наличие многолетней мерзлоты, которая обуславливает специфику строения бугров. Установлено, что на буграх гравитационные воды, образовавшиеся при снеготаянии или в результате выпадения жидких атмосферных осадков, относительно быстро скатываются по границе мерзлого слоя в межбугорные топи. Уровни болотных вод на буграх отсутствуют на протяжении большего периода времени. Амплитуда весеннего повышения уровня воды в топях составляет в среднем 60–80 см. Основными факторами, определяющими промерзание болота, являются температура воздуха и теплоизолирующие свойства снежного покрова. Бугры промерзают в среднем на глубину 63–65 см, что соответствует глубине их сезонного оттаивания в теплый период года, и смыкаются с многолетней мерзлотой. Наибольшая глубина промерзания топей составляет 82–87 см, при среднем ее значении — 68 см. Оттаивание сезонно мерзлого слоя на топях происходит как от поверхности болота, так и со стороны его нижней границы. Таяние мерзлого слоя на буграх происходит только со стороны поверхности болота со средней интенсивностью 0,51 см/сутки.

**Ключевые слова:** бугристое болото; Европейский Север России; гидрологический режим; промерзание болота; оттаивание сезонного мерзлого слоя; многолетняя мерзлота; мерзлый бугор; межбугорная топь

**Ссылка для цитирования:** Батуев В.И., Калюжный И.Л., 2018. Гидрологический режим и промерзание бугристых болот Европейского Севера России. Инженерные изыскания, Том XII, № 9–10, с. 38–48, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-9-10-38-48>.

# HYDROLOGICAL REGIME AND FREEZING OF HUMMOCKY BOGS ON THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

**VLADIMIR I. BATUEV**

«State Hydrological Institute» FSBI, Saint-Petersburg, Russia, batuevggi@mail.ru  
Address: Bld. 23, 2nd line of Vasilyevsky Island, 199004, Saint-Petersburg, Russia

**IGOR L. KALYUZHNY\***

«State Hydrological Institute» FSBI, Saint-Petersburg, Russia, hfl@mail.ru

**Abstract:** the development of the European North of Russia, where flat and high-hummocky bog complexes are spread, requires information on the processes of formation of their hydrological regime and freezing of this territory. For the first time, based on observational data, for the period from 1993 to 2013, characteristics of the hydrological regime and freezing of hummocky bogs in Northern European Russia are presented, the case study of the Lovozerskoye bog. The observations were carried out in accordance with the unified methods, approved for the specialized network of Roshydromet bog stations. The regularities of the formation of the hydrological regime of hummocky bogs have been revealed: bog water level drops dramatically from the beginning of freezing to the end of March, rises during snow melt period, slightly drops in summer and rises in autumn. The main feature of hummocky bogs is permafrost, which determines their specific structure. It has been discovered that gravitation snowmelt and liquid precipitation waters relatively quickly run down the hummocks over the frozen layer into hollows between them. Levels of bog waters on the hummocks are absent for a longer period of time. In spring, the amplitude of water level rise in swamplands is on average 60–80 cm. Air temperature and insulation properties of snow are the main factors that influence the bog freezing. Hummocks freeze out as deep as 63–65 cm, which corresponds to the depth of their seasonal thawing in the warm period of the year, and adjoin the permafrost. The greatest depth of freezing of the swamplands is 82–87 cm, with an average of 68 cm. The frozen layer at swamplands thaws out from both its upper and bottom sides. The melting of the frozen layer at hummocks occurs only from the bog surface with an average intensity of 0,51 cm/day.

**Key words:** hummocky bog, the European North of Russia; hydrological regime; freezing of bogs; thawing of the seasonal frozen layer; permafrost; frozen hummock; swampland

**For citation:** Batuev V.I., Kalyuzhny I.L., 2018. Hydrological regime and freezing of hummocky bogs on the European North of Russia. Engineering Survey, Vol. XII, No. 9–10, pp. 38–48, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-12-9-10-38-48>.

## Введение

На территории Европейского Севера России, в районах современного интенсивного освоения природных ресурсов, распространены многолетнемерзлые плоскобугристые и крупнобугристые болотные комплексы как в тундре, так и в зоне лесотундры. Типичным примером этих образований являются бугристые болота Кольского полуострова с многолетнемерзлыми буграми. Генезис, растительный покров и строение этих болот подробно описано в отечественной литературе [3–8, 12–14, 21, 22, 24, 25]. Характеристики гидрологического режима мерзлых болот, в отличие от однотипных болот Западной Сибири [2, 3, 15–18, 20], освещены в малой степени [11]. В классификации болотных провинций земного шара Н.Я. Кац выделяет эту территорию как провинцию Кольской тундры, лесотундры и крупнобугристых болот [12]. Южная граница существования мерзлых бугров на Кольском полуострове ограничивается 68-ым градусом северной широты. Гидрологический режим и промерзание бугристых болот этой провинции до сих пор не были изучены.

Главной компонентой гидрологического режима, несомненно, является сезонная динамика уровней болотных вод. Положение уровня воды относительно поверхности определяет степень обводненности различных участков болота и представляет собой большой практический интерес при освоении территории. Не менее важным аспектом являются глубина промерзания и оттаивания отдельных форм поверхности болотного массива. Располагая данными об этих характеристиках можно производить расчеты элементов водного баланса и параметров водообмена, которые необходимы при производстве мероприятий по обустройству территории: прокладка линейных сооружений, регулирование водного режима переувлажненных земель, определение степени проходимости различных типов болот и др.

Целью настоящей работы является объективная оценка гидрологического режима и мощности промерзания (оттаивания) бугристых болот Европейского Севера России, основанная на многолетних инструментальных наблюдениях.

## Объект исследования

При выполнении настоящей работы были использованы результаты режимных наблюдений на болотном посту Ловозеро, который функционировал (1990–2013 гг.) в составе гидрометеорологической станции Ловозеро Мурманского УГМС Росгидромета. Специализированные наблюдения производились непосредственно на Ловозерском болотном массиве, который является типичным болотом для зоны бугристых болот Европейской территории России.

Ловозерский болотный массив расположен на левобережье нижнего течения реки Вирма, между пос. Ловозеро и северо-западным побережьем одноименного озера (рис. 1, 2). Координаты центра болота 68°00' с.ш. и 35°03' в.д. Площадь болотного массива, который является частью обширной болотной системы Ловозерской равнины Кольского полуострова, составляет около 5 км<sup>2</sup>.

Краткий анализ литературных источников по возрасту и генезису бугристых болот приведен в работе [4]. В работе [19] представлены данные по абсолютному возрасту различных слоев тор-

фяной залежи и видовой состав торфа бугристых болот криолитозоны Западной Сибири. Датирование многолетне-мерзлых бугров в районе Ловозера, спорово-пыльцевые диаграммы и предположения о ходе развития торфяной залежи содержатся в работах [5, 7]. Согласно этим работам, торфообразование здесь началось примерно 7,5 тыс. лет назад. Изучаемый болотный массив образовался на месте мелководного залива палеозера, расположенного в пределах Ловозерской равнины Кольского полуострова. Наиболее древняя торфяная залежь приурочена к многолетнемерзлым болотным микроландшафтам (рис. 2). Остальная часть болота представляет собой позднеголоценовую торфяную залежь, образовавшуюся во второй половине суббореального периода, т.е. не ранее чем 3,5–4,0 тыс. лет назад.

На современном этапе развития — болото олигомезотрофного типа, водно-минеральное питание которого осуществляется посредством атмосферных осадков, и лишь окрайки подпитываются грунтовыми водами, а также склоновым притоком со стороны прилегающих суходолов. Структура микрорельефа поверхности болота довольно сложная, представлена буграми и межбугорными понижениями (топями, ложбинами стока), грядами и мочажинами. Поверхность болота имеет общий уклон в сторону Ловозера.

В восточной части болотного массива значительное распространение получили микроландшафты, поверхность которых формировалась под влиянием многолетней мерзлоты, занимающие 38% его площади. На участках бугристого мезорельефа поверхность болота сильно расчленена. Бугры возвышаются над поверхностью межбугорных понижений — топей различной морфометрии и степени проточности [1].

Поверхность плоскобугристо-топяного комплексного микроландшафта (35% от общей площади болота) значительно расчленена и представлена плоскими мерзлыми буграми, занимающими 60–70% комплекса, и топиями. Поверхность бугров плоская, склоны крутые, местами со следами разрушения. Высота бугров над поверхностью понижений составляет в среднем 0,7–1,2 м, отдельные до 2,0 м. Бугры разделены ложбинами, малопроточными и транзитными топиями, имеющими в плане извилистую форму. Поверхность топей ровная со следами морозного пучения. Топи сильно обводнены. Растительность на буграх лишайнико-

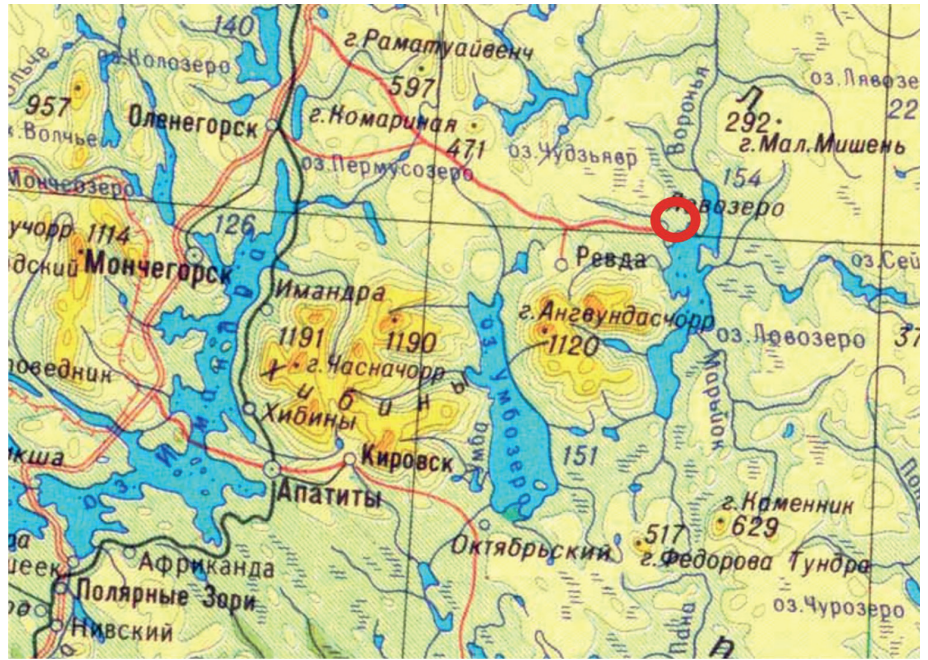


Рис. 1. Местоположение Ловозерского болотного массива на топографической карте

Fig. 1. Location of the Lovozerskoye bog massif on a topographic map

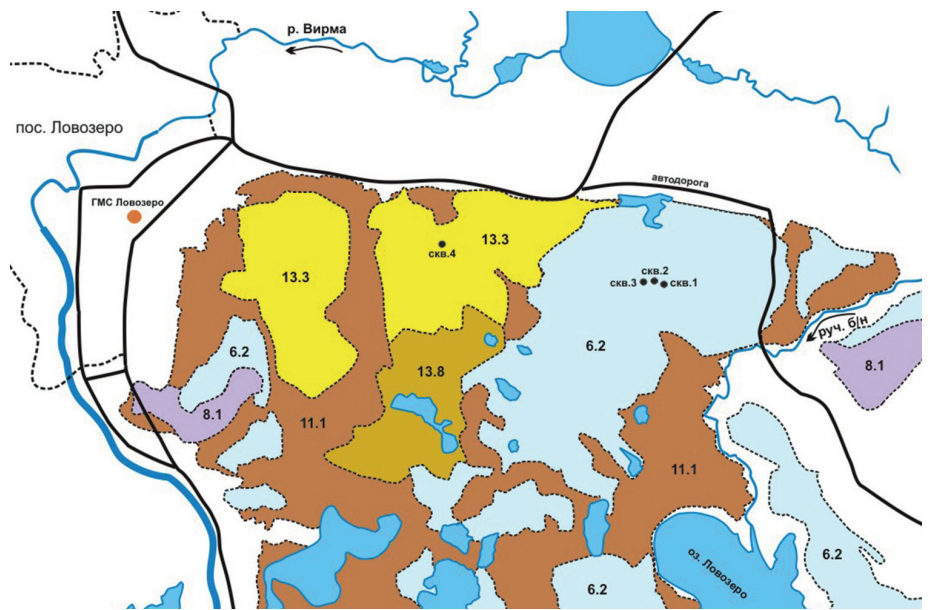


Рис. 2. Типологическая схема Ловозерского болотного массива. Обозначения: классификационные индексы болотных микроландшафтов по [22] 6.2 — плоскобугристо-топяной; 8.1 — крупнобугристо-топяной; 11.1 — сфагново-кустарничковый; 13.3 — грядово-мочажинный; 13.8 — мочажинно-грядовый

Fig. 2. Typological scheme of the Lovozerskoye bog massif. Designations: classification indices of bog micro landscapes according to [22] 6.2 — flat-hummocky-swamp; 8.1 — large-hummocky-swamp; 11.1 — sphagnum-subshrub; 13.3 — hummocky-ridge; 13.8 — hollows-ridge

во-мохово-кустарничковая, в топиях — сфагново-пушицево-осоковая.

Крупнобугристо-топяной комплекс (3%) расположен на переувлажненных окрайках болота. Мезорельеф представлен мерзлыми буграми куполообразной формы, с крутыми обрывистыми склонами со следами обвалов и обводненными топиями, на которых встречаются микроозерки. Высота бугров составляет

2–4 м, иногда до 5 м. Растительность на буграх лишайниково-кустарничковая, в топиях — сфагново-осоково-пушицевая.

Торфяная залежь многолетнемерзлых микроландшафтов смешенного типа. Ее глубина изменяется от 0,4 до 2,6 м и более. В верхних слоях залежи залегает фускум и линдбергии торф со степенью разложения 5–30%. Ниже, как правило, пушицевый, а в придонных го-



Рис. 3. Вид на грядово-мочажинный комплекс Ловозерского болотного массива

Fig. 3. View of the ridge-mastic complex of the Lovozeroyskoye bog massif

ризонтах — хвощевой низинный торф со степенью разложения 20–35%. Мощность торфяной залежи на бугре у водомерной скважины 1 составляет 85 см. На участках расположения скважин 2 и 3 (в топях), толщина слоя торфяных отложений равна 110 см. Торфяная залежь на буграх находится в многолетнемерзлом состоянии при сезонно талом верхнем горизонте. На топиях торфяная залежь находится в талом состоянии при сезонно промерзающем верхнем слое, и лишь на участках пучения в отдельные годы могут сохраняться перелетки. Минеральный грунт под буграми на 0,5–1,0 м выше, чем на топиях.

В западной части массива расположены талые болотные микроландшафты, из которых преобладающим является грядово-мочажинный комплекс (рис. 3), занимающий 24% от площади всего болота. Поверхность гряд мелко-кочковатая. Моховые кочки, высотой 10–20 см, занимают 60–70% поверхности гряд. Мочажины, длиной 20–60 м и шириной 5–10 м, расположены на 20–30 см ниже поверхности гряд. Растительность на грядах сфагново-кустарничковая, на мочажинах — сфагново-пушицево-осоковая. Мощность торфяной залежи здесь несколько меньше, с глубиной в пределах 0,4–1,0 м. Она состоит, в основном, из верховых торфов и находится в талом состоянии.

Остальная часть болотного массива представлена следующими микроландшафтами: сфагново-кустарничковый (16%), мочажинно-грядовый (8%),

сфагново-кустарничково-ивовый (6%), сфагново-пушицево-кустарничковый (5%) и сфагново-кустарничково-ивовый, облесенный березой (3%).

#### Методика производства наблюдений за гидрологическим режимом болот

Производство наблюдений за характеристиками гидрологического режима болот является одним из элементов комплексных гидрометеорологических наблюдений, проводимых на специализированной сети болотных станций Росгидромета. Наблюдения за элементами гидрометеорологического режима проводятся по единым методикам, изложенным в руководящих документах Росгидромета «Наставление гидрологическим станциям и постам. Гидрометеорологические наблюдения на болотах» 1972 и 1990 гг. изданий.

Основными характеристиками гидрологического режима болот являются уровни болотных вод и промерзание торфяной залежи. Наблюдения за уровнем болотных вод Ловозерского болота проводились на четырех водомерных скважинах (рис. 4). В пределах болотного массива они расположены на бугре (скв. № 1), слабопроточной застойной (скв. № 2) и проточной магистральной (скв. № 3) топиях [1] плоскобугристо-топяного комплексного микроландшафта, а также на гряде (скв. № 4) грядово-мочажинного комплекса.

На этих же микроландшафтах велись наблюдения за промерзанием торфяной

залежи, высотой и плотностью снежного покрова на повышенных и пониженных элементах рельефа. В качестве характеристик промерзания на болотах определяют глубину промерзания как расстояние между верхней и нижней границами мерзлого слоя, а также визуально — содержание твердой фазы воды в промерзшей торфяной залежи, именуемой приведенным слоем промерзания согласно документу «Наставление...» 1972 г. Под последним понимают количество льда в 1 см<sup>3</sup>, заключенного в столбике промерзшего слоя с площадью основания 1 см<sup>2</sup>. Приведенный слой выражается в сантиметрах слоя воды.

#### Режим уровней болотных вод

Многолетний, за период климатических наблюдений, ход уровней болотных вод на бугристом микроландшафте Ловозерского болота в целом имеет общие закономерности с олиго-мезотрофными болотами Кольского полуострова и болотами олиготрофной зоны Европейской территории России [9, 10]. Это подъем уровней воды весной в период снеготаяния и оттаивания мерзлого слоя небольшим снижением после достигнутого максимума, обусловленного стоком и испарением, осенним повышением уровней после выпадения жидких осадков, падением после начала промерзания и прекращением дождевого питания (рис. 5).

Но кратковременный, или текущий, режим уровней болотных вод на мерзлых болотах имеет и определенные отличия. Они обусловлены морфометрическим строением бугра и наличием многолетней мерзлоты. Профиль поверхности мерзлоты в первом приближении повторяет профиль поверхности бугра и имеет довольно крутые склоны в сторону межбугорных понижений. Вследствие этого на буграх может образоваться слой гравитационной влаги только на относительно кратковременный период. Этот слой образуется за счет талых вод при снеготаянии, оттаивания сезонного мерзлого слоя и выпадения атмосферных осадков. При оттаивании мерзлоты на буграх верхняя граница мерзлого слоя является водупором, по которому талые и дождевые воды стекают в топи. В период отсутствия дождей или при малом количестве жидких атмосферных осадков гравитационные воды на буграх не наблюдаются. Вследствие относительно быстрого стекания воды с бугров, подъем уровня воды в топиях происходит более

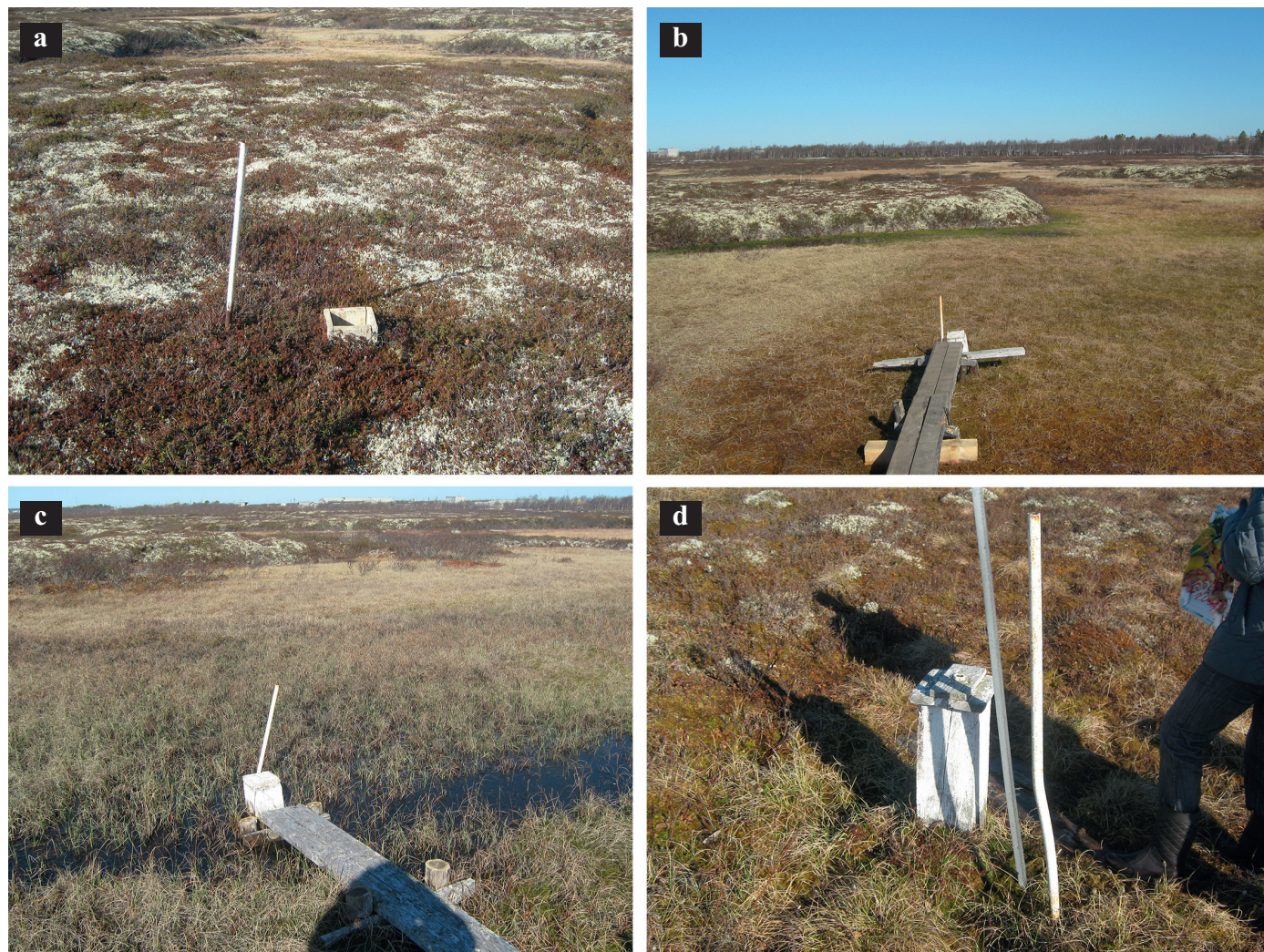


Рис. 4. Болотные водомерные скважины. Обозначения: а — скважина № 1, б — скважина № 2, с — скважина № 3, d — скважина № 4  
 Fig. 4. Marsh water measuring wells. Designations: a — well number 1, b — well number 2, c — well number 3, d — well number 4

интенсивно и пропорционально площади бугров и топей. Межбугорные понижения [1] на бугристых болотах являются индикаторами обводненности для болотного массива в целом. Более подробно формирование стока с бугристых болот Западной Сибири в различных фазах гидрологического цикла рассматривается в работе [2].

В холодный период года, начиная с ноября месяца, по мере промерзания болота и прекращения его питания жидкими атмосферными осадками начинается зимнее падение уровня на топях, обусловленное стоком болотных вод в дренирующие водоприемники. Среднее многолетнее значение падения уровня воды в этот период составляет 35 см. В отдельные годы уровень болотных вод на Ловозерском болоте снижался до 90 см относительно поверхности межбугорных понижений.

Максимальный сезонный запас воды в снеге на болотном массиве за период наблюдений составил в среднем 130 мм

(наименьший — 83 мм, наибольший — 173 мм). При снеготаянии талые воды полностью заполняют свободную пористую емкость торфяной залежи, образовавшуюся в зимний период. К середине мая уровень болотных вод достигает поверхности топей, создавая условия для начала поверхностного стока. В теплый период года (июнь — август) наблюдается незначительное снижение многолетнего хода уровня воды на 6–8 см, обусловленное испарением с поверхности болота.

На комплексном графике (рис. 6) хорошо прослеживается динамика уровней воды в грядово-мочажинном комплексе и проточной топи во всех фазах гидрологического режима. Видна синхронность хода уровней под влиянием гидрометеорологических факторов, особенно при изменении температуры воздуха и таяния снега. Уровни болотных вод в межбугорных понижениях относительно средней поверхности болота практически всегда выше, чем уров-

ни воды на талом грядово-мочажинном комплексе.

Синхронность в изменениях уровня воды на Ловозерском болоте обусловлена годовым циклом прихода и расхода влаги. В связи с этим существует тесная зависимость между значениями уровня болотных вод для различных микроландшафтов. Полученные связи можно распространять как на однотипные неизученные болотные массивы, так и на отдельные микроландшафты неосвоенные наблюдениями. Наиболее тесная взаимосвязь в холодный и теплый период года наблюдается между ежедневными уровнями воды (см) в проточной ( $Z_{\text{пр}}$ ) и малопроточной топях ( $Z_{\text{мпт}}$ ). Она описывается уравнением:

$$Z_{\text{пр}} = 0,94Z_{\text{мпт}} + 0,42, \quad (1)$$

коэффициент корреляции ( $R$ ) которого, равен 0,97.

Аналогичная взаимосвязь ( $R = 0,92$ ) установлена между уровнями болотных

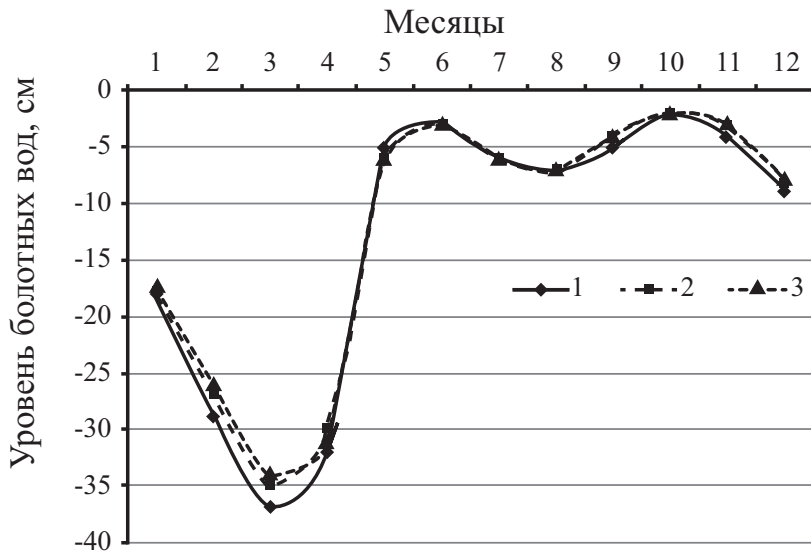


Рис. 5. Многолетний ход уровней болотных вод Ловозерского болота по среднемесячным значениям. Обозначения: 1 — застойная топь (сква. 2), плоскобугристо-топяной микроландшафт; 2 — магистральная топь (сква. 3), плоскобугристо-топяной микроландшафт; 3 — гряда (сква. 4), грядово-мочажинный комплекс

Fig. 5. The long-term course of the monthly average water levels in the Lovozerskoye bog. Designations: 1 — stagnant swamp (borehole 2), flat-hummocky-swampy micro landscape; 2 — trunk swamp (borehole 3), flat-hummocky-swampy micro landscape; 3 — ridge (borehole 4), ridge-hollow complex

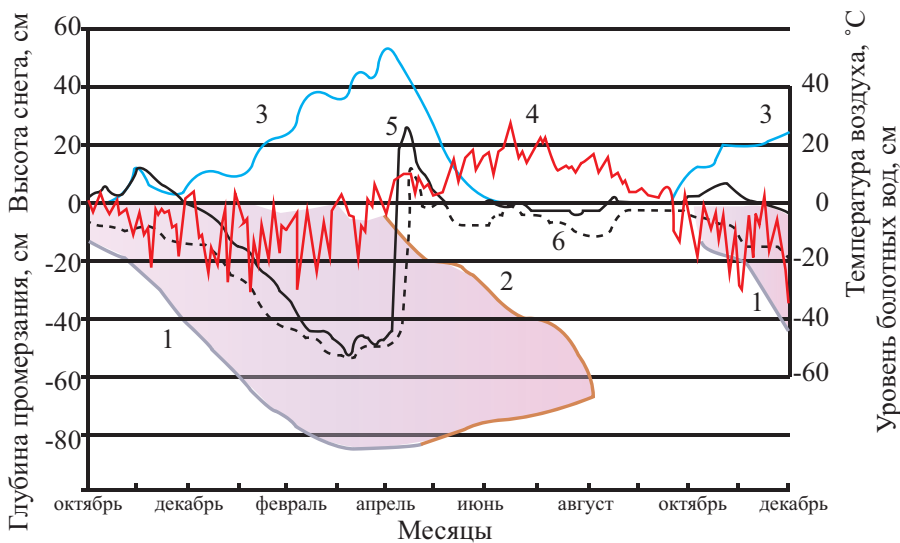


Рис. 6. Изменение характеристик гидрометеорологического режима на Ловозерском болоте по данным наблюдений в 2001–2002 гг.: 1 — глубина промерзания и 2 — оттаивания проточной топи, 3 — высота снежного покрова, 4 — температура воздуха, 5 — уровень болотных вод в проточной топи и на гряде (6) грядово-мочажинного комплекса

Fig. 6. Change in characteristics of the hydrometeorological regime of the Lovozerskoye bog according to observations in 2001–2002: 1 — the depth of freezing and 2 — thawing in a flowing swamp, 3 — the height of the snow cover, 4 — the air temperature, 5 — bog water level in a swamp and ridge at the ridge-pool complex (6)

вод в малопроточной топи и на гряде грядово-мочажинного комплекса ( $Z_{гр}$ ):

$$Z_{гр} = 0,93Z_{мгт} - 6,38, \quad (2)$$

Некоторое уменьшение тесноты связи обусловлено влиянием промерзания

на режим уровней воды на гряде. Большее различие в величинах уровней воды наблюдается при наиболее низких уровнях в зимний межлунный период. Теснота связи существенно возрастает в теплый период года, когда мерзлый слой отсутствует.

Реакция уровня болотных вод многолетнемерзлых и талых болот на выпадающие жидкие атмосферные осадки заметно различается (см. рис. 6). На грядово-мочажинном комплексе, по сравнению с проточными топиями бугристых болот, величина подъема уровня в 3–4 раза больше. Это объясняется более высокой проточностью межбугорных понижений по сравнению с грядово-мочажинным комплексом и более высокой плотностью его торфяной залежи. Соотношение величин реакции уровня болотных вод на конкретные (срочные) суммы жидких атмосферных осадков описывается уравнением

$$Z_{гр} = 1,23Z_{мгт} + 0,69, \quad (3)$$

при  $R = 0,89$ . Откуда относительный подъем уровней болотных вод в результате реакции на конкретный дождь в грядово-мочажинном комплексе лишь на 28–30% больше, чем в топиях бугристого болота.

В табл. 1 приведены средние многолетние характеристики уровней болотных вод Ловозерского болота: среднемесячные уровни, средние максимальные и минимальные их значения. Анализ таблицы показывает высокую синхронность хода этих уровней воды в болотных микроландшафтах во всех фазах гидрологического режима. Характерной особенностью режима уровней воды на топиях является большая месячная амплитуда их изменения (62–87 см) в весенний период, практически в два раза превышающая амплитуду уровней в грядово-мочажинном комплексе (39 см). Это обстоятельство связано с особенностями формирования максимального стока на бугристых болотах [2].

Среднегодовые уровни и их экстремальные величины приведены в табл. 2. В малопроточной аккумуляционной топи и проточной транзитной топи они близки по своим значениям. В грядово-мочажинном комплексе годовые уровни всегда располагаются ниже средней поверхности гряд.

Динамика изменения среднегодовых уровней болотных вод на многолетнемерзлом бугристом комплексе Ловозерского болота (рис. 7) за период наблюдений с 1995 по 2012 годы показывает, что временной тренд, обусловленный климатическими изменениями, в малопроточных топиях не наблюдался, а в проточных топиях он был малозначим. В грядово-мочажинном комплексе, т.е. на талых болотах, наблюдается замет-



**Среднегодовое месячные характеристики уровней болотных вод (см) Ловозерского болотного массива по данным наблюдений за 1994–2012 гг.**  
**Long-term monthly average bog water levels (cm) in the Lovozerskoye bog massif according to the observations for 1994–2012**

Характеристика	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Плоскобугристо-топяной микроландшафт. Малопроточная топь (скважина 2)</i>												
Средний	-7	-18	-30	-25	-1	0	-1	0	2	3	3	0
Наибольший	5	4	-2	2	8	5	5	4	5	5	-4	8
Наименьший	-23	-45	-64	-52	-10	-4	-12	-11	-6	-3	11	-6
Амплитуда	28	49	62	50	18	9	17	15	11	8	15	14
<i>Плоскобугристо-топяной микроландшафт. Проточная топь (скважина 3)</i>												
Средний	-6	-19	-34	-30	-5	1	0	0	1	2	5	2
Наибольший	5	3	-8	-3	8	4	4	4	4	6	16	12
Наименьший	-19	-57	-83	-90	-27	-2	-6	-5	-3	-1	-1	-3
Амплитуда	24	60	75	87	35	6	10	9	7	7	17	15
<i>Грядово-мочажинный комплекс. Гряда (скважина 4)</i>												
Средний	-19	-32	-40	-34	-7	-3	-6	-6	-4	-2	-3	-8
Наибольший	-7	-10	-17	-13	4	3	0	-1	-1	1	3	-1
Наименьший	-34	-48	-55	-52	-30	-6	-22	-21	-16	-10	-10	-17
Амплитуда	27	38	38	39	34	9	22	20	15	11	13	16

ный тренд этих изменений, определяемый уравнением следующего вида:

$$Z = 0,4644\tau - 944,3, \quad (4)$$

где  $Z$  — уровень болотных вод, см;  $\tau$  — год наблюдений, начиная с 1995 года. Коэффициент корреляции равен 0,59. Из уравнения (4) следует, что уровень болотных вод на талых болотах района наблюдений в этот период повышался с интенсивностью 0,44 см/год. Значимость тренда оценена по методике, изложенной в документе 2010 г. «Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным», что позволило установить его 95% уровень надежности. На болотах севера и северо-запада России, обусловленный климатическими изменениями, аналогичный тренд уровней болотных вод наблюдается с рубежа 1979–1980 годов [10].

#### Режим промерзания болота

Главными факторами, определяющими промерзания болотного массива, являются температура внешней среды (т.е. воздуха) и теплоизолирующие свойства снежного покрова. С понижением температуры глубина промерзания уве-

**Средний, наибольший и наименьший годовой уровень (см) болотных вод по данным наблюдений на Ловозерском болоте за период 1994–2012 гг.**  
**Annual average, maximum and minimum water levels in the Lovozerskoye bog according to observations for 1994–2012**

Характеристика	Микроландшафты		
	Малопроточная топь	Проточная топь	Гряда грядово-мочажинного комплекса
Средний	-6	-7	-14
Наибольший	0	2	-7
Наименьший	-15	-20	-23

личивается, а с увеличением высоты снежного покрова — интенсивность промерзания уменьшается. На рис. 8 приведена динамика глубины промерзания за зимний период, а также факторов, воздействующих на процесс промерзания: среднесуточной температуры воздуха и высоты снежного покрова. Воздействие этих факторов разнонаправлено. Поскольку они действуют одновременно, то мы наблюдаем только воздействие более значительного фактора. Так, в 2010 г. мощность снежного покрова возросла до 58 см, что должно было способствовать уменьшению глубины промерзания. Но она возросла до 78–82 см, так как среднесуточная тем-

пература упала до  $-18^{\circ}\text{C}$ . Т.е., воздействие температуры оказало более значительное влияние, чем мощность снежного покрова.

На рис. 8 хорошо выражен климатический тренд лишь высоты снежного покрова ( $H_{\text{сн}}$ ), который описывается уравнением вида:

$$H_{\text{сн}} = 1,1228\tau - 2217,8, \quad (5)$$

где  $\tau$  — календарный год, начиная с 1995 г. Коэффициент корреляции равен 0,50. Согласно тренду, высота снежного покрова возрастает с интенсивностью 1,12 см/год, и, как следствие, должна уменьшаться глубина промерзания тор-

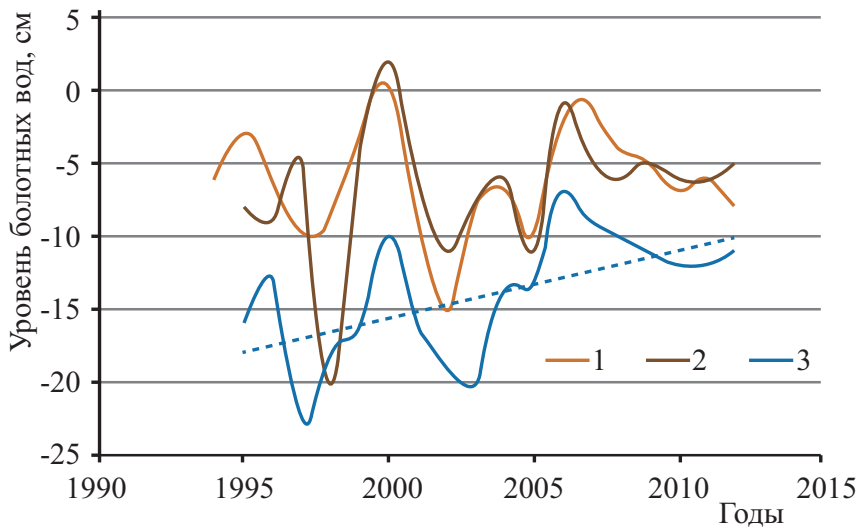


Рис. 7. Динамика среднегодовых уровней болотных вод на Ловозерском болоте за период наблюдений 1994–2012 гг.: 1 — уровень воды в малопроточной топи; 2 — уровень воды в проточной топи; 3 — уровень воды и его тренд в грядово-мочажинном комплексе

Fig. 7. Dynamics of the annual average water level in the Lovozerskoye bog for the observation period of 1994–2012: 1 — level in a semi-flowing swamp; 2 — level in a flowing swamp; 3 — level and its trend at the ridge-pool complex

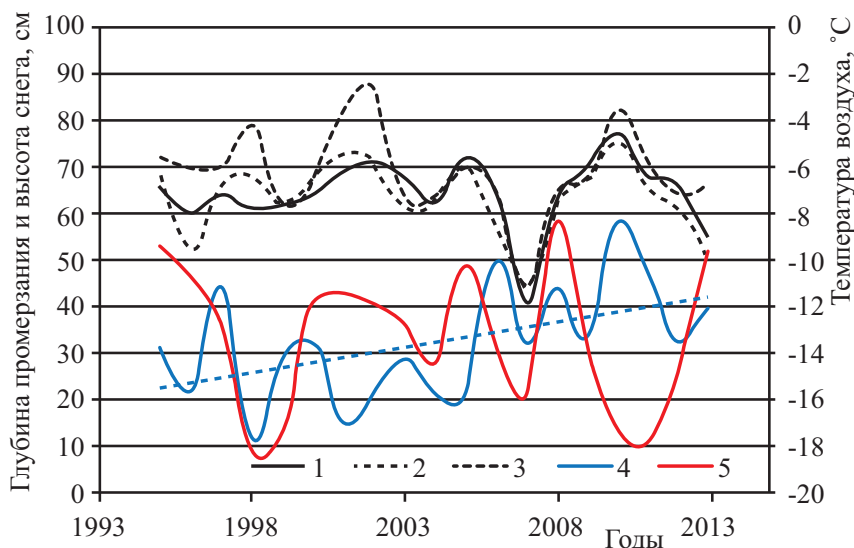


Рис. 8. Временное изменение глубины промерзания Ловозерского болота за период наблюдений 1995–2013 гг.: 1 — бугор, 2 — проточная топь, 3 — малопроточная топь, 4 — высота снежного покрова и ее тренд, 5 — средняя температура воздуха за период январь — февраль

Fig. 8. Temporal change in freezing depth in the Lovozerskoye bog for the observation period of 1995–2013: 1 — hummock, 2 — flowing swamp, 3 — semi-flowing swamp, 4 — snow depth and its trend, 5 — daily average air temperature for January — February

фной залежи. Но это не наблюдается, так как промерзание при этой мощности снежного покрова в основном зависит от температуры воздуха в приземном слое.

На бугристом болоте начало промерзания талого слоя бугров приходится на вторую половину октября (рис. 9). На топях (см. рис. 6) устойчивый слой промерзания формируется на 5–8 суток позже. Сезонный слой от-

таивания на буграх, который в среднем составляет 63 см, полностью промерзает и смыкается с многолетней мерзлотой. В это время топи еще продолжают промерзать в среднем до глубины 68 см. Смыкания промерзшего слоя на топях с многолетней мерзлотой не происходит, поскольку последняя расположена значительно ниже. Соответственные глубины промерзания (см) бугров ( $h_{\text{буг}}$ ), до смыкания их с много-

летней мерзлотой и проточных топей ( $h_{\text{топи}}$ ) определяются по следующей зависимости ( $R = 0,98$ ):

$$h_{\text{топи}} = 0,97h_{\text{буг}} + 0,64, \quad (6)$$

Из приведенной зависимости следует, что интенсивности промерзания бугров и топей близки между собой.

Наибольшая глубина промерзания топей достигает 82–87 см. На промерзание в значительной мере оказывает влияние высота снежного покрова. Под влиянием метелевого переноса снег с бугра переносится и накапливается в межбугорных понижениях. Поэтому на топях высота снега в два раза больше, чем на буграх. Интенсивность промерзания бугров составляет около 0,46 см/сут, топей — 0,40 см/сут. Оттаивают бугры на глубину 59–63 см к концу сентября, топи — в конце июля, начале августа. Таяние мерзлого слоя на буграх (см. рис. 9) происходит только со стороны поверхности болота с интенсивностью 0,51 см/сут. На топях оттаивание происходит как со стороны поверхности болота, так и от нижней границы мерзлого слоя (см. рис. 6). Последнее осуществляется за счет тепла, аккумулированного в талой зоне. Интенсивность оттаивания в среднем составляет 0,70–0,75 см/сут.

Среднеголетняя глубина промерзания, а также наибольшее и наименьшее ее значение приведено в табл. 3. Согласно полученным результатам следует, что в среднем топи промерзают на 5 см больше, чем бугры.

Структура деятельного слоя торфяной залежи представляет собой крупнопористый субстрат, поэтому жидкие осадки не могут накапливаться в нем выше уровня болотных вод. Под действием сил гравитации они стекают вниз, формируя при этом в зоне аэрации по вертикальному разрезу равновесное содержание влаги. Отсюда между глубиной промерзания и приведенным слоем (содержанием влаги в мерзлом слое) существует тесная зависимость, оцениваемая коэффициентом корреляции, который приближается к единице. В табл. 4 приведены уравнения регрессии этой зависимости для плоскобугристого комплекса Ловозерского болота.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что во всем реальном диапазоне глубин промерзания приведенный слой промерзания на буграх на 23–25% меньше, чем в межбугорных понижениях.

**Выводы**

На основании многолетних наблюдений Росгидромета на Ловозерском болотном массиве впервые дана объективная оценка гидрологического режима и промерзания типичного бугристого болота Севера европейской территории России. Показана общая закономерность формирования гидрологического режима: интенсивное падение уровня в конце ноября — начале декабря и до конца марта — начала апреля, подъем уровня весной в период снеготаяния, незначительное летнее снижение и осенний подъем, вызванный осадками. Но в отличие от олиготрофных болот северо-запада и севера, крупнобугристые болота имеют свои особенности, обусловленные строением бугра и наличием многолетней мерзлоты. Вследствие значительных склонов бугров, гравитационные воды, образовавшиеся при снеготаянии или атмосферных осадках, скатываются по мерзлому слою в топи. На буграх уровень болотных вод практически не наблюдается.

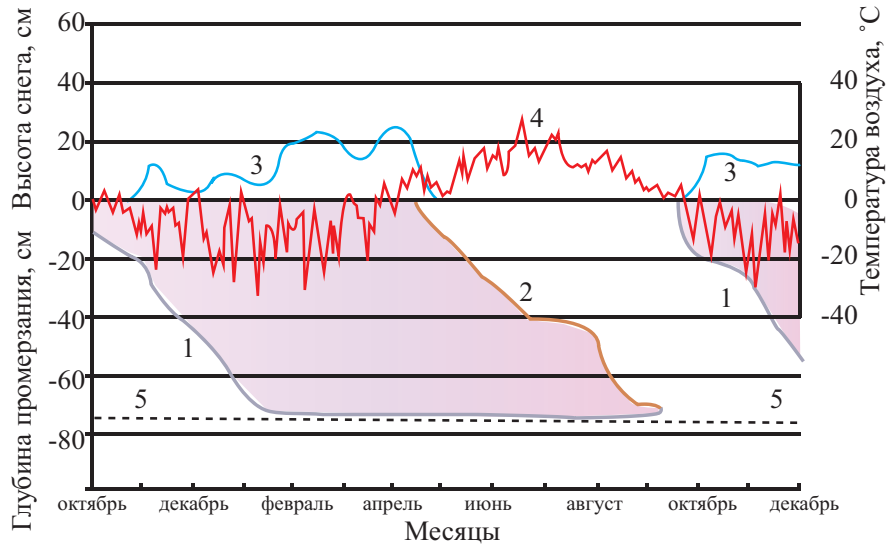
При снеготаянии, в апреле — мае, наблюдается интенсивный подъем уровня до поверхности топей. Величина подъема достигает в среднем 60–80 см.

Начиная с ноября месяца, по мере промерзания болота и прекращения его питания атмосферными осадками, происходит зимнее падение уровня, обусловленное стоком болотных вод в дренарующие водоприемники и оттоком в грунт. В транзитных топях уровень воды наблюдается в апреле и может достигать 90 см. В то же время на грядах грядово-мочажинного комплекса — до 55 см. На болоте существует полная синхронность в колебаниях уровней болотных вод. Среднегодовые уровни воды в топях не поднимаются выше 7 см, в грядово-мочажинном комплексе — за пределы 14 см.

По данным наблюдений с 1994 по 2012 год тренд временных изменений в малопроточных и транзитных топях, обусловленный климатическими изменениями, не наблюдается. В грядово-мочажинном комплексе установлен временной тренд этих изменений с 95% уровнем надежности.

На грядово-мочажинном комплексе подъем уровней при выпадающих дождевых осадках, по сравнению с проточными топями бугристых болот, в 3–4 раза больше. Последнее объясняется более высокой проточностью межбугорных понижений, по сравнению с комплексным микроландшафтом.

Многолетние наблюдения за промерзанием Ловозерского болота позволили



**Рис. 9. Ход промерзания и оттаивания бугра плоскобугристо-топяного микроландшафта Ловозерского болота в 2001–2002 гг.: 1 — промерзание сезонно талого и 2 — оттаивание сезонно мерзлого слоя на бугре, 3 — высота снежного покрова на бугре, 4 — среднесуточная температура воздуха, 5 — граница многолетней мерзлоты**

Fig. 9. Freezing and thawing of a hummock at the flat-hummocky-swampy micro landscape in the Lovozerskoye bog, 2001–2002: 1 — freezing of the active layer, 2 — thawing of the active layer in the hummock, 3 — snow depth on the hummock, 4 — daily average temperature, 5 — permafrost boundary

Таблица 3  
Table 3

**Глубина промерзания плоскобугристого комплекса Ловозерского болота по данным наблюдений 1991–2013 гг.**  
Freezing depth of the flat-hummocky complex in the Lovozerskoye bog, observational data 1991–2013

Микроландшафт, форма микрорельефа	Глубина промерзания, см		
	средняя	наибольшая	наименьшая
Плоскобугристо-топяной, топь	69	87	53
Плоскобугристо-топяной, бугор	64	77	55

Таблица 4  
Table 4

**Зависимости приведенного слоя (M, см) от глубины промерзания (h, см) микроландшафтов Ловозерского болота**  
Relationships between corrected layer (M, cm) and freezing depth (h, cm) at micro landscapes in the Lovozerskoye bog

Микроландшафт, форма микрорельефа	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Плоскобугристо-топяной, бугор	$M = 0,720h - 0,01$	0,99
Плоскобугристо-топяной, топь	$M = 0,942h - 0,13$	0,99

установить характеристики глубин промерзания, а также главные факторы, обуславливающие этот процесс. Теплоизолирующие свойства снега при наблюдаемой высоте снежного покрова и его возрастающего тренда в 1,12 см/год не приводят к существенному уменьшению глубины промерзания. Установлено, что глубина промерзания в основном зависит от температуры воздуха.

Начало промерзания бугров происходит в 2–3-й декаде октября, топей — на 5–8 суток позже. Показано, что сезонное промерзания бугра происходит до смыкания с многолетней мерзлотой на глубине 63 см от его поверхности. Топи промерзают в среднем до глубины 68 см. Смыкания промерзшего слоя на топях с многолетней мерзлотой не наблюдается.

Оттаивают бугры в конце сентября, топи — в 3-ей декаде июля — 1-ой декаде августа. В отличие от топей, таяние мерзлого слоя на буграх происходит только со стороны поверхности болота с интенсивностью ~ 0,51 см/сутки. На топях оттаивание со стороны поверхно-

сти болота составляет близко к 75% от общей глубины оттаивания. 🌐

*Авторы выражают благодарность ведущему гидрологу ГМЦ ФГБУ «Мурманское УГМС» Светлане Борисовне Ноженковой и сотрудникам гидрометеорологи-*

*ческой станции Ловозеро за подготовку материалов наблюдений по болотному посту Ловозеро, а также научному сотруднику ФГБУ «Государственный гидрологический институт» Людмиле Ивановне Усовой за предоставленные данные по типологии болотного массива.*

### Список литературы

1. Батуев В.И., 2010. Классификация первичной гидрографической сети бугристых болот. Вестник Томского государственного педагогического университета, Вып. 3(93), с. 70–77.
2. Батуев В.И., 2012. Формирование стока с бугристых болот (на примере Западной Сибири). Вестник Томского государственного педагогического университета, Вып. 7(122), с. 146–152.
3. Боброва А.И., Качурин М.Х., 1936. Очерк растительности Монче-Тундры. Материалы по растительности центральной и западной частей Кольского полуострова. Труды СОПС АН СССР, Серия Кольская, Вып. 11, с. 95–121.
4. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н., 2008. Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов, под редакцией Ю.К. Васильчука. Изд-во Московского университета, Москва.
5. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н., 2011. Миграционные бугры пучения на Европейском Севере России — южный и северный пределы ареала и современная динамика. Инженерная геология, № 2, с. 56–72.
6. Городков Б.Н., 1935. Растительность тундровой зоны СССР. В сб. статей, Растительность СССР, Том 1, с. 297–354.
7. Елина Г.А., Арсланов Х.А., Климанов В.А., Усова Л.И., 1995. Растительность и климатохронология голоцена Ловозерской равнины Кольского полуострова (по спорово-пыльцевым диаграммам бугристо-топяного болота). Ботанический журнал. Т. 80. № 3. с. 1–16.
8. Елина Г.А., Филимонова Л.В., Грабовик С.И., Костина В.И., 2005. Болота Кольского полуострова. Труды Карельского научного центра РАН, Вып. 8, с. 94–111.
9. Иванов К.Е., 1957. Основы гидрологии болот лесной зоны. Гидрометеиздат, Ленинград.
10. Калюжный И.Л., Романюк К.Д., 2010. Изменения водного режима болот севера и северо-запада России под влиянием климатических факторов. Метеорология и гидрология, № 7, с. 85–98.
11. Калюжный И.Л., 2018. Гидрологический режим болот Кольского полуострова. Вестник Кольского научного центра РАН, № 1 (10), с. 118–132.
12. Кац Н.Я., 1948. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. ОГИЗ-Географгиз, Москва.
13. Кац Н.Я., 1971. Болота Земного шара. Наука, Москва.
14. Копцева Е.М., Нацваладзе Н.Ю., Журавлева Е.Н., 2016. Трансформация растительности крупнобугристого болота на Кольском полуострове под влиянием климатических изменений. Ботанический журнал, Том 101, № 5, с. 537–547.
15. Москвин Ю.П., 1979. К вопросу изучения уровня режима вод бугристых болот. Труды ГГИ, Вып. 261, с. 27–37.
16. Москвин Ю.П., 1983. Расчет глубины оттаивания и влагосодержания талого слоя бугристых болот. Труды ГГИ, Вып. 303, с. 27–33.
17. Москвин Ю.П., 1983. Методика расчета температурного режима торфяной залежи бугристых болот. Труды ГГИ, Вып. 303, с. 21–27.
18. Москвин Ю.П., Батуев В.И., Трофимов С.М., 2014. Водно-тепловой режим болот зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Deutschland.
19. Новиков С.М. (ред.), 2009. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири. ВВМ, Санкт-Петербург.
20. Новиков С.М., Котова Л.В., 1979. Методика расчета уровней воды бугристых болот по метеорологическим данным. Труды ГГИ, Вып. 261, с. 38–49.
21. Пьявченко Н.И., 1955. Бугристые торфяники. Изд-во АН СССР, Москва.
22. Романенко Ф.А., Гаранкина Е.В. 2012. Формирование и строение многолетнемерзлых пород у южной границы криолитозоны на Кольском полуострове. Криосфера Земли, Том XVI, № 3, с. 72–80.
23. Усова Л.И., 2009. Практическое пособие по ландшафтному дешифрированию аэрофотоснимков различных типов болот Западной Сибири. Нестор-История, Санкт-Петербург.
24. Цинзерлинг Ю., 1935. Материалы по растительности северо-востока Кольского полуострова. Труды СОПС АН СССР, Серия Кольская, Вып. 10, с. 35–93.
25. Barcan V.Sh., 2010. Stability of palsa at the southern margin of its distribution on the Kola Peninsula. Polar Science, Vol. 4, Issue 3, pp. 489–495.

## References

1. Batuev V.I., 2010. Classification of original hydrographic networks of hummocky bogs. Tomsk State Pedagogical University Bulletin, Issue 3 (93), pp. 70–77. (in Russian)
2. Batuev V.I., 2012. Formation of runoff from hummocky bogs (case study Western Siberia). Tomsk State Pedagogical University Bulletin, Issue 3 (122), pp. 146–152. (in Russian)
3. Bobrova A.I., Kachurin M.Kh., 1936. Study on the vegetation of the Monche-Tundra. Materials on the vegetation of the central and western parts of the Kola Peninsula. Proceedings of SOPS of AS USSR, Series Kol'skaya, Issue 11, pp. 95–121. (in Russian)
4. Vasilchuk Yu.K., Vasilchuk A.C., Budantseva N.A., Chizhova Ju.N., 2008. Palsa of frozen peat mires, Yu.K. Vasilchuk (ed.). Publishing house of the Moscow University, Moscow. (in Russian)
5. Vasilchuk Yu.K., Vasilchuk A.C., Budantseva N.A., Chizhova Ju.N., 2011. Palsas in the European North of Russia the southern and northern limits of the areal and the modern dynamic. Engineering Geology, No. 2, pp. 56–72. (in Russian)
6. Gorodkov B.N., 1935. Vegetation of the tundra in the USSR. In the collection of articles, Vegetation of the USSR, Vol. 1, pp. 297–354. (in Russian)
7. Elina G.A., Arslanov Kh.A., Klimanov V.A., Usova L.I., 1995. Vegetation and climate chronology in the Holocene of the Lovozerskaya plain the Kola Peninsula (according to spore-pollen diagrams of palsa mire). Botanical Journal, Vol. 80, No. 3, pp. 1–16. (in Russian)
8. Elina G.A., Philimonova L.V., Grabovik S.I., Kostina V.I., 2005. Bogs of the Kola Peninsula. Proceedings of the Karelian Research Center of the RAS, Issue 8, pp. 94–111. (in Russian)
9. Ivanov K.Ye., 1957. Basics of hydrology of wetlands in the forest zone. Hydrometeoizdat, Leningrad. (in Russian)
10. Kalyuzhnyi I.L., Romanyuk K.D., Variations of the water regime of bogs in the northern and northwestern Russia under influence of climatic factors. Meteorology and Hydrology, 2010, No. 7, pp. 85–98. (in Russian)
11. Kalyuzhnyi I.L., 2018. Hydrological regime of bogs of the Kola Peninsula. Bulletin of the Kolsky Research Center of the RAS, № 1 (10), pp. 118–132. (in Russian)
12. Kats N.Ya., 1948. Types of bogs in the USSR and Western Europe and their geographical range. OGIZ-Geographgiz, Moscow. (in Russian)
13. Kats N.Ya., 1971. Earth's bogs. Nauka, Moscow. (in Russian)
14. Koptseva Ye.M., Natsvaladze N.Yu., Zhuravleva Ye.N., 2016. Climate change induced transformation of the vegetation at the high-hummocky bog in the Kola Peninsula. Botanical Journal, Vol. 101, No. 5, pp. 537–547. (in Russian)
15. Moskvina Yu.P., 1979. On studying the water level regime of hummocky bogs. Proceedings of the SHI, Issue 261, pp. 27–37. (in Russian)
16. Moskvina Yu.P., 1983. Calculation of the active layer thickness and water content in the melting layer of hummocky bogs. Proceedings of the SHI, Issue 303, pp. 27–33. (in Russian)
17. Moskvina Yu.P., 1983. Methods for calculation of the thermal regime of peat deposits at hummocky bogs. Proceedings of the SHI, Issue 303, pp. 21–27. (in Russian)
18. Moskvina Yu.P., Batuev V.I., Trofimov S.M., 2014. Water-thermal regime of bogs in the permafrost zone in Western Siberia. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Deutschland. (in Russian)
19. Novikov S.M. (ed.), 2009. Hydrology of wetlands in the permafrost zone of Western Siberia. VVM, Saint-Petersburg. (in Russian)
20. Novikov S.M., Kotova L.V., 1979. Method for calculating water levels in hummocky bogs using meteorological data. Proceedings of the SHI, Issue 261, pp. 38–49. (in Russian)
21. Pyavchenko N.I., 1955. Hummocky peatlands. Publishing house of the AS of the USSR, Moscow. (in Russian)
22. Romanenko F.A., Garankina Ye.V., 2012. Formation and structure of permafrost at the southern border of the permafrost zone in the Kola Peninsula. Earth's Cryosphere, Vol. XVI, No. 3, pp. 72–80. (in Russian)
23. Usova L.I., 2009. Practical guide for landscape interpretation of aerial photographs of various bogs in Western Siberia. Nestor-Istoria, Saint-Petersburg. (in Russian)
24. Zinserling Yu., 1935. Materials on the vegetation in North-East of the Kola Peninsula. Proceedings of SOPS of the AS USSR, Series Kol'skaya, Vol. 10, pp. 35–93. (in Russian)
25. Barcan V.Sh., 2010. Stability of palsa at the southern margin of its distribution on the Kola Peninsula. Polar Science, Vol. 4, Issue 3, pp. 489–495.

## Информация об авторах

**БАТУЕВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ**

Старший научный сотрудник лаборатории экспериментальной гидрологии ФГБУ «Государственный гидрологический институт», г. Санкт-Петербург, Россия

**КАЛЮЖНЫЙ ИГОРЬ ЛЕОНИДОВИЧ**

Заведующий лабораторией гидрофизики ФГБУ «Государственный гидрологический институт», к.т.н., г. Санкт-Петербург, Россия

## Information about the authors

**VLADIMIR I. BATUEV**

Senior research scientist of the Laboratory of Experimental Hydrology, «State Hydrological Institute» FSBI, Saint-Petersburg, Russia

**IGOR L. KALYUZHNY**

Head of the Laboratory of Hydrophysics, «State Hydrological Institute» FSBI, PhD (Candidate of Science in Technics), Saint-Petersburg, Russia