

Гидрометеорология и экология. 2025. № 79. С. 261—280.

Hydrometeorology and Ecology. 2025;(79):261—280.

Научная статья

УДК [556.124.3:556.56](470.22)

doi: 10.33933/2713-3001-2025-79-261-280

Таяние снежного покрова и водоотдача из снега на верховых болотах (на примере болот Карельского перешейка и Кольского полуострова)

***Татьяна Викторовна Скороспехова,
Александра Дмитриевна Журавлева, Игорь Леонидович Калюжный***

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия,
tanchiz@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены особенности весеннего снеготаяния на облесенных и открытых участках верховых болот Северо-Западного региона России на примере болот Ламмин-Суо (Карельский перешеек) и Пулозерское (Кольский полуостров). Продолжительность снеготаяния на облесенных участках болот (42—50 дней) длится в 1,5—2 раза дольше, чем на открытых участках (5—39 дней). Интенсивность таяния снега различается в зависимости от условий снеготаяния. При радиационных условиях на открытых участках интенсивность снеготаяния на 9,5% выше, чем на облесенных, тогда как при адвективных условиях интенсивность снеготаяния практически не отличается.

Ключевые слова: верховые болота, болотные микроландшафты, снежный покров, снеготаяние, интенсивность снеготаяния.

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

Original article

Melting of snow cover and water yield from snow in ombrotrophic mires (using the example of bogs of the Karelian Isthmus and the Kola Peninsula)

Tatyana V. Skorospelkhova, Alexandra D. Zhuravleva, Igor L. Kalyuzhny

State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

Summary. This study examines snowmelt processes in the mires of Pulozerskoye (Kola Peninsula) and Lammin-Suo (Karelian Isthmus), along with an site near Apatity meteorological station, revealing critical patterns of microtope and vegetation impacts on snow cover dynamics and meltwater runoff formation. At Pulozerskoye Bog (Kola Peninsula), snowmelt takes up to 30% of the snow cover duration, which averages 190 days. At Lammin-Suo Bog (Karelian Isthmus), this period is about 20% (averaging 29 days

out of 161). The research demonstrates that forested areas experience significantly prolonged snowmelt periods (42—50 days) 1.5—2 times longer than open landscapes (5—39 days) — due to canopy shading effects. The key factors causing differences in snowmelt between open and forested microtopes are the presence of tree cover, canopy closure, and the type of snowmelt (radiation-driven or advection-driven). Melt intensity shows distinct patterns depending on snowmelt type: radiative melting produces 9,5% faster melt rates in open areas (5—6 mm/day), while advective conditions eliminate microtopo differences. Snow density measurements reveal consistent variations, with forested sites maintaining higher densities (0,19—0,45 g/cm³) compared to open areas (0,09—0,37 g/cm³), peaking during late melt stages.

Previously unpublished data from 1986—1992, combined with recent observations (2023—2024), hold methodological value and provide a unique baseline for studying current changes under global warming. The findings can be used to refine hydrological models of peatland watersheds, predict shifts in spring run-off due to climate change, and assess wetland afforestation processes.

Keywords: ombrotrophic mires, microtops, snow cover, snow melting, snow melting intensity.

For citation: Skorospekhova T. V., Zhuravleva A. D., Kalyuzhny I. L. Melting of snow cover and water yield from snow in ombrotrophic mires (using the example of bogs of the Karelian Isthmus and the Kola Peninsula). *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2025;(79):(261—280). doi: 10.33933/2713-3001-2025-79-261-280. (In Russ.).

Введение

Талые воды составляют до 60 % годового стока с олиготрофных болот Северо-Запада [1]. В отличие от минеральных почвогрунтов деятельный слой болот имеет свои теплофизические особенности, влияющие на процесс снеготаяния, водоотдачу и инфильтрацию талой воды в мерзлую залежь. На олиготрофных болотах процессы снегонакопления и снеготаяния проходят неравномерно. Причина неравномерности процессов заключается в том, что олиготрофные болота представляют собой мозаику микроландшафтов, которые отличаются по характеру растительного покрова, микрорельефа поверхности и водно-физическим свойствам. Микроландшафты болот определяют процесс формирования стока с болот в целом, и в частности процессы снегонакопления и снеготаяния [2]. Состав микроландшафтов на болотных массивах постоянно изменяется как в рамках эволюционного процесса, так и под воздействием изменения климата и иных внешних факторов. На многих олиготрофных болотах в последние годы наблюдается активный рост древесного яруса [3, 4]. Процесс облесения верховых болот во многом связан с климатическими изменениями: рост температуры воздуха приводит к увеличению испарения и снижению положения уровня болотных вод, что создает более благоприятные условия для роста корневой системы древесного яруса [5, 6].

Особенности снегонакопления на разных типах болотных микроландшафтов подробно рассмотрены в работах [7—9], однако характеристики снежного покрова, как правило, исследуются в период максимального снегонакопления. Изучение процессов снеготаяния на разных типах микроландшафтов ранее подробно не выполнялось. Такие исследования были выполнены на Пулозерском болоте в период с 1986 г. по 1992 г., однако до настоящего времени полученные результаты не были опубликованы. В рамках данной работы собранные на Пулозерском болоте данные были сопоставлены с результатами наблюдений за снежным покровом, проводившихся в рамках стандартной программы болотной станции Ламмин-Суо,

а также дополнены исследованиями влияния древесного яруса на интенсивность снеготаяния, выполненными на болоте Ламмин-Суо весной 2023 г. и 2024 г.

Результаты данной работы могут быть применены для параметризации моделей по расчету стока с болотных водосборов [10], а также для калибровки и валидации глобальных моделей прогноза погоды [11]. Выявленные особенности процессов снеготаяния и водоотдачи на разных типах болотных микроландшафтов могут быть использованы для моделирования гидрологических процессов и прогнозирования изменений водного баланса в условиях меняющегося климата.

Изучение особенностей образования снежного покрова на разных типах болотных микроландшафтов важно для районов, где болота занимают значительную часть территории, так как изменение растительности на болотных массивах, смена открытых микроландшафтов на облесенные может оказывать влияние на процесс снегонакопления и снеготаяния. В свою очередь это изменяет формирование талых вод, питающих водотоки, берущие начало на болотах. Процесс облесения болота может приводить к временному сдвигу образования волны половодья и изменять объемы весеннего стока болотных водотоков.

Целями настоящей работы являются определение характеристик снеготаяния и водоотдачи со снега для олиготрофных болот Северо-Западного региона (Кольский полуостров и Карельский перешеек) за период с 1986 г. по 1990 г. и оценка влияния древесного яруса на процесс снеготаяния в период с 2023 г. по 2024 г. В ходе исследования решаются следующие задачи:

- определение факторов, обуславливающих неравномерность снегонакопления и снеготаяния на открытых и облесенных микроландшафтах;
- оценка изменчивости физических характеристик снежного покрова;
- оценка влияния древесной растительности на процесс снеготаяния на болотах.

Методы и объекты исследования

Объекты исследования

Болото Пулозеровское (68.323° с.ш., 33.316° в.д.) находится на Кольском полуострове в бассейне реки Кола. Болото относится к периферически-мезоолиготрофному типу карело-финских аапа болот [12]. Форма рельефа болота вогнутая, высота поверхности понижается от центральной части к окрайке. Площадь болотного массива составляет 7,2 км², мощность торфяной залежи возрастает от периферии к центру массива и колеблется от 0,4 м до 3,5 м.

Болото Ламмин-Суо (60.240° с.ш., 29.820° в.д.) представляет собой типичное верховое болото Карельского перешейка. Площадь болота составляет порядка 2 км², средняя мощность торфяной залежи составляет 1,9 м, максимальная — 4,3 м и обнаруживается в генетическом центре болота [13]. Болото занимает межкамовую котловину и имеет выпуклую форму рельефа, с куполом, возвышающимся над окрайками.

Болото Пулозерское расположено на 930 км севернее болота Ламмин-Суо. Снежный покров на болоте Пулозерское в период с 1986 г. по 1992 г. наблюдался

от 185 до 206 суток, на болоте Ламмин-Суо — от 138 до 153 суток. Еще одним объектом исследования был полевой участок (пашня) в районе метеостанции Апатиты. Метеостанция располагается на низменном берегу озера Имандра, в пределах 100 м со всех сторон окружена лесом [14].

Методы исследования

Для детального исследования процессов снеготаяния и водоотдачи из снежного покрова разработан ряд методов непосредственного измерения характеристик этих процессов. Наиболее распространённым и простым методом оценки изменчивости запасов воды в снежном покрове в процессе снеготаяния, являются маршрутные снегомерные съёмки. Однако они не устанавливают количественных характеристик водоотдачи со снега. В системе Росгидромета РФ порядок производства наблюдений над интенсивностью снеготаяния и водоотдачи из снежного покрова изложен в руководящем документе РД 52.08.730-2010 «*Производство наблюдений над интенсивностью снеготаяния и водоотдачей из снежного покрова*». Методика наблюдений является универсальной, так как позволяет проводить наблюдения практически на любых элементах ландшафта.

Измерения за интенсивностью снеготаяния на болоте Пулозерском выполнялись в соответствии с РД 52.08.730-2010 в период с 1986 г. по 1992 г. На выбранных открытых (полевых) и облесенных участках были оборудованы площадки 70×40 м каждая. Полевой участок представлен кустарничково-лишайниковым микроландшафтом, приуроченным к центральной части болота. Облесенный участок располагался на окрайке болотного массива на грядово-мочажинном микроландшафте, сомкнутость крон древесного яруса составляла 0,6—0,7.

На каждой из площадок было установлено 20 стационарных снегомерных реек М-103 на расстоянии 10 м друг от друга. Определение плотности снега производилось на четырех углах площадки весовым снегомером ВС-43, вычисление плотности снега производилось в соответствии с [15] с точностью до сотых долей г/см³. Наблюдения начинали за 10—15 дней до начала весеннего снеготаяния и продолжали до полного схода снега. Высота и плотность снега измерялись с дискретностью от 1 раз в 5 дней или ежедневно. Температура снежного покрова измерялась метеорологическими термометрами ТМ 4. За начало снеготаяния принималась дата установления нулевой температуры по всей толще снежного покрова. Определение характеристик снеготаяния и обработка полученных материалов выполнялась по методике, изложенной в РД 52.08.730-2010.

Измерение водоотдачи с слоя воды: приведенный слой талой воды и водоотдачи и неприведенный слой водоотдачи из снежного покрова.

Для болота Пулозерское в соответствии с методикой РД 52.08.730-2010 были определены приведенный слой талой воды (слой, равномерно распределенный по всей площади болота, включая проталины) и водоотдача со снежного покрова, а также учтено образование проталин (неприведенный слой и водоотдача).

На болоте Ламмин-Суо в период с 1986 г. по 1992 г. наблюдений за снежным покровом в соответствии с РД 52.08.730-2010 не производилось. Однако в этот

период велись входящие в программу наблюдений болотной станции измерения глубины и плотности снега на специально оборудованных площадках, расположенных в разных типах микроландшафтов. Ввиду схожести методов измерений, проводившихся на болотах Ламмин-Суо и Пулозеровском, решено было произвести совмещенный анализ полученных результатов.

За облесенный участок на болоте Ламмин-Суо был принят сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной микроландшафт, расположенный в центральной части болотного массива. За полевой участок принят сфагново-пушицево-кустарничковый, редко облесенный низкорослой сосной с сухостоем микроландшафт, расположенный на склоновой части болота (сомкнутость крон 0,3–0,4 [13]).

Полевая и облесенная площадки размером 50×50 м, были оборудованы снегомерными рейками на расстоянии 10 м. Плотность снега измерялась весовым снегомером ВС-43 на четырех углах площадки. Все измерения выполнялись 1 раз в 10 дней с момента выпадения снега и до полного схода снежного покрова. Ввиду большой дискретности измерений дата начала снеготаяния была достоверно установлена только для облесенной площадки, расположенной в центральной части болота Ламмин-Суо, в непосредственной близости от болотной метеостанции. Начало снеготаяния определялось по данным измерений максимальной суточной температуры воздуха и ежедневных наблюдений за снежным покровом по стационарной снегомерной рейке на болотной метеоплощадке. Так как для полевой площадки точную дату начала снеготаяния определить невозможно, для анализа были использованы данные по максимальному снегонакоплению, атмосферным осадкам, а также максимальная суточная температура воздуха.

Для каждого из объектов исследования были определены года с адвективным и радиационным типом снеготаяния, который определялся на основе данных метеорологических наблюдений, включая облачность, интенсивность и продолжительность снеготаяния. Адвективное снеготаяние представляет собой продолжительный и прерывистый по интенсивности процесс; радиационное, напротив, характеризуется быстрым сходом снежного покрова. В период с 1989 г. по 1992 г. в районе Пулозерского болота адвективный тип снеготаяния наблюдался в 1989 г., радиационный — в 1987 г. На болоте Ламмин-Суо адвективный тип снеготаяния наблюдался в 1988 г., радиационный — в 1990 г. и 1991 г.

В условиях современных климатических изменений [16] в последние десятилетия отмечается облесение верховых болот [4]. Увеличение древесного яруса оказывает влияние на процессы снегонакопления и снеготаяния на верховых болотах. В период с 2023 г. по 2024 г. на болоте Ламмин-Суо были проведены специальные измерения для оценки влияния древесной растительности на процесс снеготаяния. Для этого в период весеннего снеготаяния весной 2023 г. и 2024 г. на облесенных типах микроландшафтов болота были проведены измерения диаметра протаивания снега вокруг стволов деревьев, одновременно с этим для каждого из выбранных деревьев измерялся диаметр ствола на высоте 1,5 м. Всего было обследовано 5 площадок, общее количество измеренных деревьев составило 80 единиц.

Обсуждение полученных результатов наблюдений

Продолжительность снеготаяния

Таяние снежного покрова на болотах Кольского полуострова начинается в первой, второй, иногда третьей декаде апреля. Первые признаки снеготаяния проявляются на открытых, лишенных древесного яруса, микроландшафтах, и с незначительной сдвижкой по времени (1—3 суток), распространяется и на другие, редко облесенные микроландшафты. Продолжительность снеготаяния в микроландшафтах с небольшим облесением колеблется от 5 до 39 суток. Начало снеготаяния в облесенных микроландшафтах происходит со значительной временной сдвижкой. В облесенных микроландшафтах, приуроченных к периферии и окрайкам болот с облесением (сомкнутость крон 0,75—0,85), длительность таяния достигает 42—48 суток. В зависимости от степени облесения разность во времени стаивания снега на разных болотных микроландшафтах составляет порядка 31 суток (табл. 1). Наибольшая продолжительность снеготаяния на Пулозерском болоте достигает 50 суток. Если учесть, что число дней со снежным покровом колеблется от 180 до 200 (в среднем 190), то длительность процесса таяния снега и водоотдачи может занимать до 26—30% от общего времени его существования.

Таяние снежного покрова на болоте Ламмин-Суо в среднем (за 1950—2014 гг.) начинается в третьей декаде марта, наиболее раннее начало снеготаяния было зафиксировано в 1961 г. во второй декаде февраля, самое позднее — в 2013 г. во второй декаде апреля. При анализе снежного покрова за 1986—1992 гг. было выявлено, что на облесенных участках болота снеготаяние более продолжительное (до 10 суток в 1988 г.), чем на открытых участках болотного массива. Средняя продолжительность снеготаяния на болоте Ламмин-Суо составляет 29 дней, при этом среднее количество дней со снежным покровом достигает 161 дня, таким образом, длительность снеготаяния занимает до 20% от общего времени залегания снега.

Основными факторами, обуславливающими неравномерность начала снеготаяния, является древесный ярус растительности и тип снеготаяния: адвективный или радиационный. При неустойчивой погоде с чередующимися оттепелями может наблюдаться смешанный тип снеготаяния.

При радиационном типе максимум снеготаяния в суточном ходе наступает в полдень, что свидетельствует о большой роли суммарной солнечной радиации в этом процессе. В условиях радиационного снеготаяния на облесенных участках продолжительность таяния снега дольше, чем на открытых участках, так как потоки солнечной радиации экранируются произрастающей растительностью и не достигают поверхности снежного покрова [17]. При адвективном типе снеготаяния, который происходит в пасмурные дни, неравномерность таяния снега на открытых и облесенных участках значительно снижается. На рис. 1 приведен типичный ход таяния снега при радиационном и адвективном типе снеготаяния на полевых и облесенных участках по данным болота Пулозерское.

На суходольном полевом участке по данным метеостанции Апатиты (табл. 1) начало снеготаяния наблюдается в первой-второй декаде апреля, на облесенном участке — преимущественно во второй декаде апреля. Продолжительность его



Рис. 1. Продолжительность снеготаяния на полевых (1, 3) и облесенных (2, 4) участках болота Пулозерское при радиационном (1, 2) и адвективном (3, 4) типе в 1987 г. и 1989 г. соответственно.

Fig. 1. Duration of snowmelt in field (1, 3) and forest (2, 4) areas of the Pulozerskoye mire under radiation (1, 2) and advective (3, 4) spring types in 1987 and 1989, respectively.

на облесенных участках достигает 39—47 суток, превышая при этом время снеготаяния на полевом участке на 14—17 суток. Таким образом, процесс снеготаяния практически в 1,5—2 раза больше на болотном массиве по отношению к суходолу. Интенсивность снеготаяния при радиационном типе на полевых участках болота значительно большая, чем при адвективном.

По причине того, что на болоте Ламмин-Суо специальные наблюдения за температурой снежного покрова не проводились, даты начала весеннего снеготаяния для полевого и облесенного участков для каждого отдельного года были приняты идентичными. При этом по данным метеорологических наблюдений и снегомерных съемок удалось определить даты окончания снеготаяния для каждого из участков. Продолжительность таяния снега на облесенных участках болота Ламмин-Суо была выше, чем на открытых, также, как и на болоте Кольского полуострова.

Таблица 1

Продолжительность таяния снежного покрова
на болоте Пулозерское, болоте Ламмин-Суо и суходоле в районе метеостанции Апатиты
Duration of snow cover melting on the Pulozerskoye mire, the Lammin-Suo bog,
and the upland near the Apatity weather station

Годы	Полевой участок			Лесной участок			$P_2 - P_1$	$T_{\text{ср}}$ зимнего периода	Сумма твердых осадков
	$D_{\text{н}}$	$D_{\text{ок}}$	P_1 , сут.	$D_{\text{н}}$	$D_{\text{ок}}$	P_2 , сут.	сутки	°C	мм
Метеостанция Апатиты									
1986	1 апр.	8 мая	30	1 апр.	17 мая	47	17	—	—

Годы	Полевой участок			Лесной участок			$\Pi_2 - \Pi_1$	$T_{\text{ср. зимнего периода}}$	Сумма твердых осадков
	$D_{\text{н}}$	$D_{\text{ок}}$	Π_1 , сут.	$D_{\text{н}}$	$D_{\text{ок}}$	Π_2 , сут.	сутки	°C	мм
1987	16 апр.	30 апр.	21	27 апр.	15 мая	19	3	—	—
1988	2 апр.	11 апр.	10	2 апр.	11 апр.	10	0	—	—
1989	14 апр.	30 апр.	17	14 апр.	6 мая	23	6	—	—
1990	12 апр.	25 апр.	13	12 апр.	30 апр.	18	5	—	—
1991	5 апр.	30 апр.	25	5 апр.	13 мая	39	14	—	—
1992	28 апр.	12 мая	15	—	—	—	—	—	—
Болотная станция Пулозеро									
1986	1 апр.	29 апр.	29	1 апр.	17 мая	47	18	–10,5	147,8
1987	15 апр.	4 мая	20	29 апр.	17 мая	19	–1	–11,8	174,1
1988	2 апр.	9 мая	39	2 апр.	19 мая	48	9	–10,3	139,2
1989	4 апр.	27 апр.	27	8 апр.	7 мая	34	7	–7,4	225,8
1990	4 апр.	15 апр.	12	6 апр.	16 мая	43	31	–7,3	217,3
1991	7 апр.	15 апр.	11	6 апр.	16 мая	42	31	–7,3	174,5
1992	26 апр.	2 мая	5	29 апр.	7 мая	8	3	–8,0	210,0
Болотная станция Ламмин-Суо									
1986	16 мар.	16 апр.	32	16 мар.	19 апр.	35	3	–6,9	229,4
1987	17 мар.	18 апр.	33	17 мар.	18 апр.	33	0	–8,9	209,1
1988	23 мар.	5 апр.	14	23 мар.	15 апр.	24	10	–5,3	168,1
1989	27 фев.	8 апр.	41	27 фев.	12 апр.	45	4	–3,4	188,3
1990	21 фев.	20 мар.	28	21 фев.	25 мар.	33	5	–3,2	203,6
1991	20 мар.	10 апр.	22	20 мар.	12 апр.	24	2	–4,9	148,0
1992	—	—	—	3 мар.	28 апр.	57	—	–2,0	193,6

Примечание. $D_{\text{н}}$ и $D_{\text{ок}}$ — даты начала и окончания снеготаяния, продолжительностью (Π), в сутках. Знак + означает, что снеготаяние на лесном участке длилось дольше, чем на полевом.

Изменение плотности снежного покрова

Наиболее изменчивой физической характеристикой снежного покрова, наряду с его толщиной, является плотность. Плотность снега формируется под действием ряда метеорологических факторов [18]. На рис. 2 представлена временная изменчивость плотности снега на полевых и облесенных участках болот Пулозерское и Ламмин-Суо в зимне-весенний период с 1988 г. по 1989 г. На болоте Пулозерское к началу снеготаяния плотность снега приобретает относительно стабильное значение, которое может быть нарушено кратковременной оттепелью (19 февраля 1989 г.). На протяжении всего зимнего периода плотность снега изменялась в пределах от 0,09 до 0,37 г/см³ на облесенном участке и от 0,19 до 0,45 г/см³ — на полевом. В конце марта — начале апреля 1989 г. на болоте Пулозерское наблюдается адвективный кратковременный принос тепла при среднесуточных температурах ниже 0 °C, что обуславливает увеличение плотности верхних горизонтов снежного покрова. При переходе среднесуточных

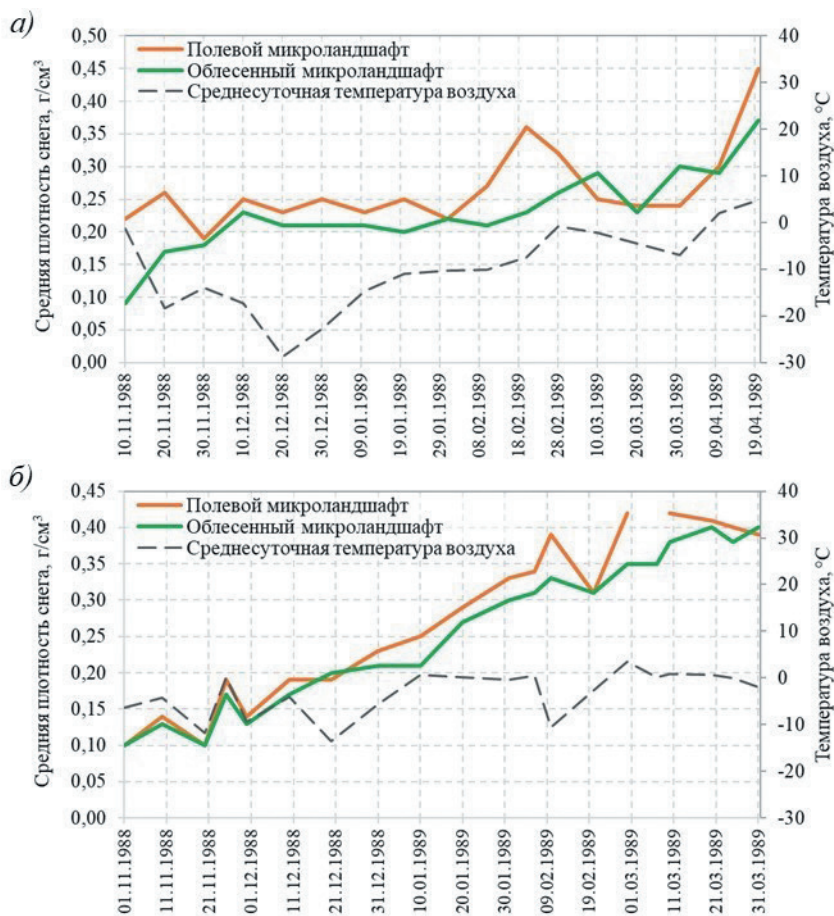


Рис. 2. Изменения плотности снежного покрова на болотах Пулозерское (а) и Ламмин-Суо (б) в зимний период с 1988 г. по 1989 г.

Fig. 2. Changes in snow cover density in the Pulozerskoye (a) and Lammin-Suo (b) mires during the winter period of 1988—1989.

температур выше 0°C , плотность возрастает до величин, определяемых водоудерживающей способностью снега.

На болоте Ламмин-Суо в начале зимы плотность снега на облесенном и полевом участке составляла $0,10\text{ г/см}^3$, наибольшая плотность наблюдалась в конце снеготаяния и составила $0,40\text{ г/см}^3$ на облесенном участке и $0,42\text{ г/см}^3$ на полевом.

Анализ значений плотности снега в начальный период снеготаяния на полевых и облесенных участках за период наблюдений с 1986 г. по 1991 г. (табл. 2) показывает, что на болоте Пулозерское в зимний период устоявшейся снежный покров на полевых участках (кустарничково-лишайниковый микрорландшафт)

к началу снеготаяния имеет плотность в среднем редко превышающую $0,21 \text{ г/см}^3$. На облесенных участках (грядово-мочажинный комплекс) средняя плотность снега соответствует плотности необлесенных участков, превышая ее не более чем на $0,01 \text{ г/см}^3$. На болоте Ламмин-Суо в начале снеготаяния плотность снега на облесенном и полевом участках также практически не отличалась и в зависимости от года составляла от $0,21$ до $0,31 \text{ г/см}^3$. Отсюда можно сделать заключение, что воздействие метеорологических факторов в зимний период на поверхность снежного покрова болот незначительно зависит от строения микроландшафтов.

Таблица 2

Плотность снежного покрова (г/см^3) в начале и при окончании снеготаяния на полевых и облесенных участках по данным наблюдений на метеостанции Апатиты, болоте Пулозерское и болоте Ламмин-Суо

Snowpack density (г/см^3) at the beginning and end of snowmelt period in open and forested areas based on observational data from Apatity Meteorological Station, Pulozerskoye and Lammin-Suo mires

Объект	Участок	Годы						Среднее
		1986	1987	1988	1989	1990	1991	
Плотность в начале снеготаяния								
метеостанция Апатиты	полевой	0,24	0,27	0,23	0,34	0,24	0,24	0,26
	облесенный	0,22	0,28	0,20	0,32	0,20	0,20	0,24
Болото Пулозерское	полевой	0,21	0,2	0,18	0,21	0,24	0,24	0,21
	облесенный	0,22	0,22	0,20	0,28	0,20	0,20	0,22
Болото Ламмин-Суо	полевой	0,29	0,25	0,24	0,31	0,26	0,29	0,27
	облесенный	0,27	0,26	0,21	0,31	0,22	0,28	0,26
Плотность по окончании снеготаяния								
Болото Пулозерское	полевой	0,33	—	0,29	0,45	—	0,38	0,36
	облесенный	0,33	0,31	0,45	0,37	—	0,27	0,35
Болото Ламмин-Суо	полевой	0,34	0,27	0,33	0,39	0,29	0,29	0,32
	облесенный	0,32	0,32	0,37	0,4	0,31	0,43	0,36

На метеорологической станции Апатиты, где полевой участок представлен пашней, средняя плотность снежного покрова в начале снеготаяния на $0,02—0,04 \text{ г/см}^3$ превышала плотность снега на облесенном участке. Такое отличие может быть объяснено ветровым воздействием на полевой участок, что не происходило в условиях леса.

На последней стадии таяния плотность снега достигает наибольших значений, когда он приобретает зернистое строение по всей толще. Для болот Пулозерское и Ламмин-Суо наибольшая плотность снега в конце периода снеготаяния отмечается как на полевых, так и на облесенных участках.

Интенсивность снеготаяния

Результаты наблюдений за интенсивностью снеготаяния в период с 1986 г. по 1990 г. на полевом и облесенном участках болота Пулозерское показали,

что запас воды в снежном покрове полевого участка в среднем уменьшается на 5 мм/сут (табл. 3). На облесенном участке средняя интенсивность таяния на облесенном участке равна 5 мм/сут, что на 9,5% больше, чем на полевом участке. Однако в зависимости от года соотношение интенсивности таяния снега различается, так в 1987 г., 1989 г., 1990 г. на облесенных участках она была выше, чем на полевых, а в 1986 г. и 1989 г. — наоборот.

По данным измерений на болоте Ламмин-Суо средняя интенсивность снеготаяния за период с 1986 г. по 1990 г. на полевом участке (6 мм/сут) была выше, чем на облесенном (4 мм/сут). Такая же ситуация наблюдалась для каждого отдельного года, кроме 1987 г., когда интенсивность снеготаяния на облесенном и полевом участках была одинаковой (5 мм/сут).

Таблица 3

Интенсивность таяния снега
на полевых и облесенных участках болот Пулозерское и Ламмин-Суо
Intensity of snowmelt in open and forested areas of the Pulozerskoye and Lammin-Suo mires

Месторасположение		Характеристика	Годы					Среднее
			1986	1987	1988	1989	1990	
Болото Пулозерское	Полевой участок	<i>S</i> , мм	92	101	118	141	92	109
		τ , сут	29	20	39	24	17	26
		<i>I</i> , мм/сут	3	5	3	6	5	5
	Облесенный участок	<i>S</i> , мм	116	111	134	218	108	138
		τ , сут	47	19	48	30	17	32
		<i>I</i> , мм/сут	3	6	3	7	6	5
Болото Ламмин-Суо	Полевой участок	<i>S</i> , мм	168	163	146	143	144	153
		τ , сут	32	33	14	41	28	29,6
		<i>I</i> , мм/сут	5	5	10	3	5	6
	Облесенный участок	<i>S</i> , мм	170	169	137	147	100	145
		τ , сут	35	33	24	45	33	34,0
		<i>I</i> , мм/сут	5	5	6	3	3	4

Примечания. *S* — запас воды в снежном покрове; τ — продолжительность снеготаяния; *I* — интенсивность таяния снега. Продолжительность снеготаяния на болоте Ламмин-Суо была определена менее точно ввиду большей дискретности измерений.

Водоотдача из снежного покрова

Для болота Пулозерское в соответствии с методикой РД 52.08.730-2010 были определены приведенный слой талой воды (слой, равномерно распределенный по всей площади болота, включая проталины) и водоотдача со снежного покрова, а также учтено образование проталин (неприведенный слой и водоотдача). Процессы таяния и водоотдачи, согласно этой методике, отличаются на величину разности между содержанием жидкой фазы снежного покрова в начале и конце снеготаяния за вычетом жидких осадков с учетом испарения. Суточные величины интенсивности снеготаяния и водоотдачи при отсутствии осадков слабо отличаются между собой. Разница между ними обусловлена только водоудерживающей

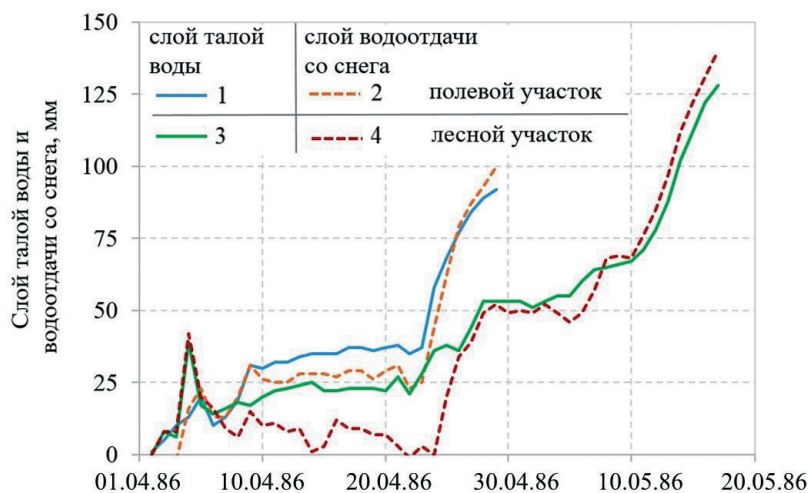


Рис. 3. Приведенный слой талой воды (1, 3) и водоотдачи со снега (2, 4) на полевом (1, 2) и облесенном (3, 4) участках Пулозерского болота по данным наблюдений в 1986 г.

Fig. 3. Normalized layer of melt water (1, 3) and water yield from snow (2, 4) in the field (1, 2) and forest (3, 4) areas of the Pulozerskoye mire according to observation data in 1986.

способностью снежного покрова. В процессе водоотдачи под действием гравитации талая вода расходуется на полуповерхностное стекание и инфильтрацию.

На рис. 3 приведена динамика снеготаяния на полевом и облесенном участках болота весной 1986 г. Первая декада снеготаяния характерна ростом среднесуточных положительных температур воздуха в начале и падением её в конце декады до $-8,7^{\circ}\text{C}$. На полевом участке образовался слой талой воды в 33 мм, на облесенном — 12 мм. В дальнейшем, до 22 апреля среднесуточные температуры постепенно понижались до $-2,6^{\circ}\text{C}$ и слой талой воды достиг 40 мм. Некоторый его рост, вероятно всего, происходит за счет фазовых превращений влаги в мерзлом слое болотного микроландшафта [19]. В отдельных случаях он обусловлен кратковременными положительными температурами воздуха в течение суток. 23 апреля среднесуточная температура воздуха поднялась до $2,4^{\circ}\text{C}$. Начиная с этого момента, наблюдается интенсивный рост среднесуточных температур воздуха и 29 апреля наступает полный сход снега с полевого участка. За эти 7 суток интенсивность стаивания снега составила 8 мм/сут.

На облесенном участке приращение талой влаги, обусловленное фазовыми переходами, наблюдалось до 23 апреля. Затем последовало интенсивное снеготаяния до 16–17 мая, которое было прервано наступившими отрицательными температурами за период с 29 апреля по 5 мая. Процесс снеготаяния на облесенном участке происходил в период с 2 апреля по 17 мая, в течение которого водоотдача воды со снега достигла 140 мм, а слой талой воды составил 131 мм.

Разность между водоотдачей и слоем стаявшей влаги на полевом участке составляет 7 мм, на облесенном — 12 мм. Частично это объясняется неучтенным

испарением со снега, которое весной достигает 6—12 мм, а также подтоплением участков тальми водами.

По данным наблюдений на болоте Пулозерское таяние снежного покрова на облесенных участках завершается спустя некоторое время (до 15—18 суток) после его завершения на полевых участках. По данным измерений на болоте Ламмин-Суо также отмечается более поздний сход снега на облесенном участке, на 3—10 суток позже в сравнении с полевым. Наличие значительного облесения на периферии и окрайках болота увеличивает неравномерность и продолжительность снеготаяния практически до двух раз по отношению к необлесенным участкам.

Для перехода от приведенных к неприведенным величинам слоя талой воды используют данные о покрытии снегом исследуемых участков. Анализ полевого материала показывает, что наступление проталин на полевых участках наступает за 3—4 дня до окончания снеготаяния, на облесенных — до 10 суток. Приведенные и неприведенные суммы снеготаяния совпадают только в первую фазу снеготаяния, в дальнейшем эти суммы отличаются друг от друга тем больше, чем больше вариация снежного покрова перед началом таяния.

В процессе снеготаяния водоотдача начинается спустя некоторое время после заполнения пористой структуры снега тальми водами, когда снег достигает состояния наибольшей водоудерживающей способности. Водоудерживающая способность зависит от структуры пористости и плотности снега, а поскольку в процессе снеготаяния изменяются характеристики снега, то, как следствие, изменяется и его водоудерживающая способность.

Например, в 1990 г. на болоте Пулозерское водоотдача из снега началась через 4 суток после начала весеннего снеготаяния и окончилась на 8 сутки (рис. 4). Приведенный слой талых вод составил 120 мм, водоотдачи — 117 мм. Невязку в 3 мм слоя воды частично возможно объяснить испарением за период стаивания. Интенсивность водоотдачи при снеготаянии составляла в среднем 15 мм/сут.

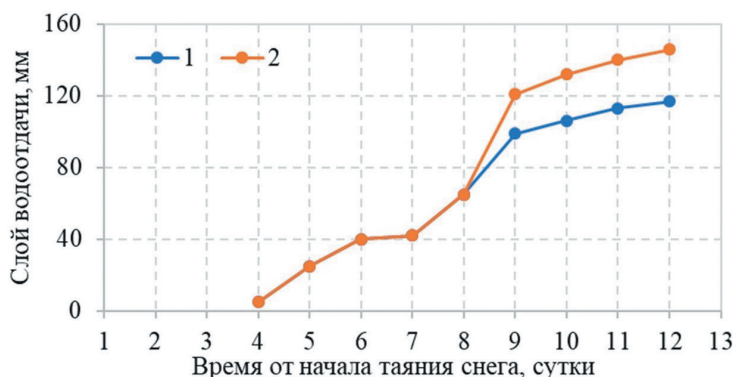


Рис. 4. Приведенные (1) и неприведенные (2) слои водоотдачи со снежного покрова при таянии снега на Пулозерском болоте в 1990 г.

Fig. 4. Normalized (1) and non-normalized (2) layers of water loss from snow cover during snow melting in the Pulozerskoye mire in 1990.

Влияние древесно-кустарничковой растительности на процесс снеготаяния

Особенностью снеготаяния радиационного, а также смешанного типа в олиготрофных микроландшафтах с древесным ярусом и сомкнутостью крон (от незначительной до 0,5) является процесс образования проталин вокруг стволов деревьев [20]. При температурах воздуха, близких к нулю, ствол дерева прогревается до положительных температур. Помимо этого, выпадающие осадки в виде дождя имеют температуру выше 0 °С. Концентрированным потоком стекая по стволу, дождевые осадки растапливают снег вокруг ствола дерева. Площадь протайки возрастает во времени и приближается к проекции кроны на поверхность микроландшафта.

На болоте Ламмин-Суо, в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте, при высоте сосен 1,7—6,5 м и диаметре стволов 3—15 см, диаметр пятна протайки составлял от 25 до 70 см (рис. 5).

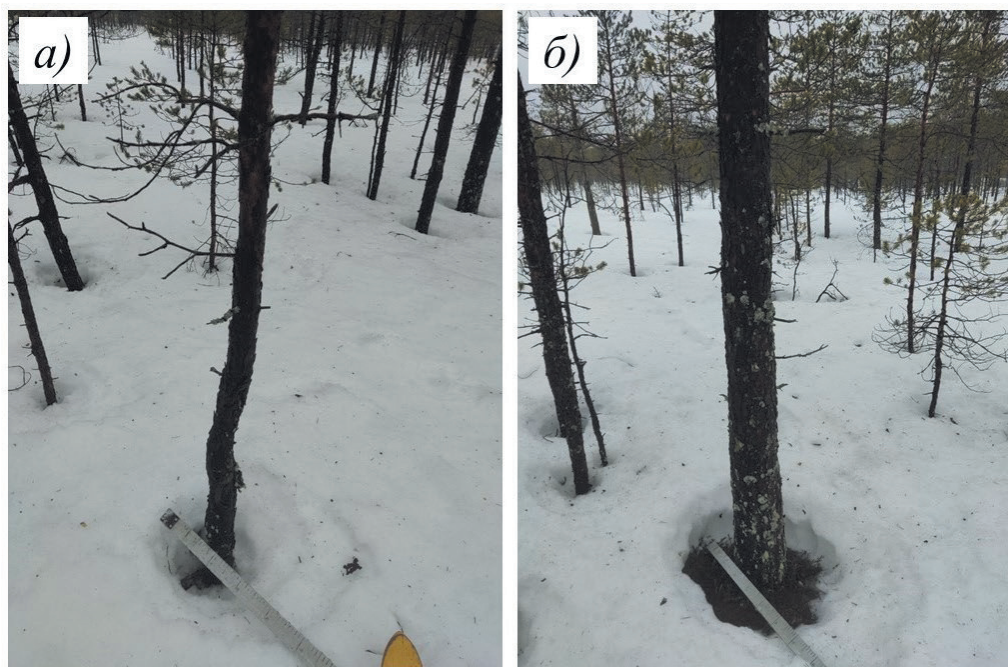


Рис. 5. Протаивание снега вокруг деревьев разного диаметра на сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте на болоте Ламмин-Суо в период весеннего снеготаяния, 15 марта 2024 г.

(a — диаметр ствола 7 см, диаметр пятна протаивания 30 см, высота дерева 4,5 м;

b — диаметр ствола 16 см, диаметр пятна протаивания 70 см, высота дерева 6,5 м)

Fig. 5. Snow melting around trees of different diameters in a sphagnum-shrub-cotton grass, pine-forested microtope during the spring snowmelt period.

(a — tree trunk diameter 7 cm, thaw spot diameter 30 cm;

b — tree trunk diameter 16 cm, thaw spot diameter 70 cm).



Рис. 6. Таяние снежного покрова в сфагново-пушицево-кустарничковом, редко облесенном сосной, микроландшафте на болоте Ламмин-Суо, 25 марта 2024 г. На переднем плане: проталины на высоких кочках с растущими кустарничками.

Fig. 6. Melting of snow cover in the sphagnum-cotton-grass-dwarf shrub microtope, sparsely forested with pine, in the Lammin-Suo mire. In the foreground: thawed patches on high hummocks with growing dwarf shrubs. March 2024.

На фото (рис. 6) показано состояние снежного покрова в сфагново-пушицево-кустарничковом микроландшафте. Характерной особенностью снеготаяния в нем является образование пятна протаивания на высоких кочках с произрастающими кустарничками (багульник и кассандрой, реже вереском). Появление подобных проталин ускоряет сход снега с микроландшафта.

В слабо облесенных грядово-мочажинных комплексах, приуроченных к склонам болотных массивов, также могут наблюдаться проталины под кронами. Однако здесь значительное влияние на процесс снеготаяния оказывает рельеф грядово-мочажинного комплекса. Поверхность гряд и уровень болотных вод под грядой всегда выше, чем на мочажине, поэтому талые воды гряды стекают в мочажины и вследствие капиллярного эффекта увлажняют снег, при этом альbedo снега на мочажине снижается до 0,40—0,45. Возрастает поглощение солнечной радиации на мочажинах по отношению к грядам, где альbedo снега сохраняется на уровне 0,65. Мочажины освобождаются от снега несколько ранее, чем гряды.

При радиационном и смешанных типах снеготаяния из-за затеняющего эффекта древесная растительность снижает приток солнечной энергии к снежному покрову, поэтому таяние на облесенных микроландшафтах всегда будет запаздывать по отношению к открытым участкам.

На микроландшафтах, где древесный ярус отсутствует, таяние происходит равномерно по всей площади и за весь период существования снежного покрова. На последнем этапе снеготаяния при наличии отдельных повышений

с произрастающими кустарничками (багульник, кассандра, вереск) возможно образование локальной проталины.

Таким образом, произрастающая древесная растительность и микрорельеф микроландшафтов обуславливает как временную и пространственную изменчивость снеготаяния, так и водоотдачу со снежного покрова.

Формирование стока талых вод

Начало водоотдачи приводит к увеличению стока с болота. Рассмотрим процесс формирования стока весеннего половодья на примере ручья, вытекающего с болота Пулозеровкое (рис. 7).

Первые положительные температуры воздуха (15 апреля 1987 г.) вызвали активное таяние снежного покрова и спустя два дня (17 апреля) был зафиксирован расход воды в ручье, составивший $0,004 \text{ м}^3/\text{с}$. В дальнейшем водоотдача воды из снега постепенно возросла, что привело к увеличению расхода воды до $0,031 \text{ м}^3/\text{с}$.

Приход тепла в конце апреля обуславливает полное стаивание снега к 4 мая в кустарничково-лишайниковом микроландшафте (полевой участок) и образованию слоя талой влаги в 102 мм. Расход воды в ручье на дату схода снега на полевом участке достигает $0,39 \text{ м}^3/\text{с}$. На облесенном участке снеготаяние наблюдается при положительных температурах, начиная с 30 апреля до 10 мая. При резком падении температуры воздуха 11 и 12 мая ($-0,7$ и $-0,2 \text{ }^\circ\text{C}$) происходит уменьшение расхода воды в ручье до $0,17 \text{ м}^3/\text{с}$. Последующий подъем температуры до $17 \text{ }^\circ\text{C}$ привел к полному сходу снега на облесенных участках и вызвал второй пик половодья. 17 мая расход воды в ручье достиг наибольшего значения и составил $0,77 \text{ м}^3/\text{с}$.

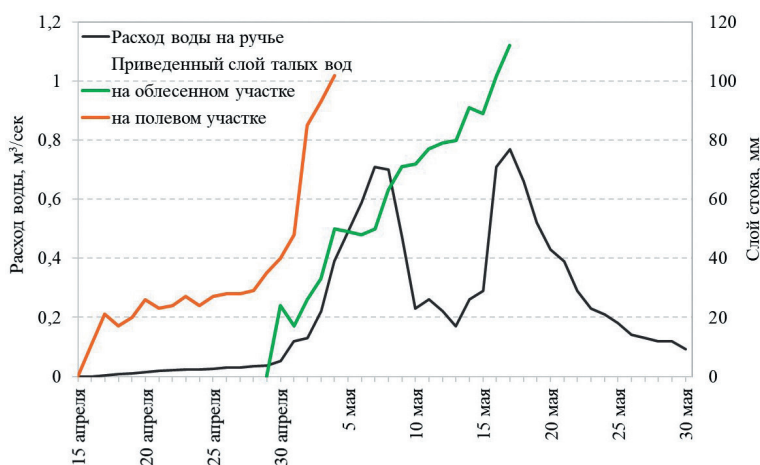


Рис. 7. Гидрограф формирования слоев стока весеннего половодья в бассейне ручья на Пулозерском болоте в период с 15 апреля по 30 мая 1987 г.

Fig. 7. Hydrograph of the runoff layers formation of the spring flood in the stream basin on the Pulozerskoe mire in the period from April 15 to May 30, 1987.

После чего пополнение запасов воды в деятельном слое болота талыми водами прекратилось, что привело к постепенному спаду стока и сокращению расхода воды в ручье до 0,092 м³/с.

Стоит отметить, что данный анализ интенсивности снеготаяния и его влияния на сток болотного водотока не учитывает влияние жидких осадков, которые могут оказывать влияние на скорость снеготаяния.

Заключение

Исследование процессов снеготаяния на верховых болотах (Пулозерское, Ламмин-Суо) и суходольном участке в районе метеостанции Апатиты позволило выявить ключевые закономерности влияния микроландшафтов и древесной растительности на динамику таяния снежного покрова. На открытых участках верховых болот таяние снега начинается раньше и длится 5—39 дней, тогда как в облесенных микроландшафтах процесс затягивается до 42—50 дней из-за затенения и меньшего притока солнечной радиации. На Пулозерском болоте (Кольский полуостров) снеготаяние занимает до 30 % времени залегания снега, составляющего в среднем 190 дней, на болоте Ламмин-Суо (Карельский перешеек) — около 20 % (в среднем 29 дней из 161).

Основными факторами, обуславливающими различия в снеготаянии между открытыми и облесенными микроландшафтами, являются наличие и характеристики древесного яруса, а также тип снеготаяния (радиационный или адвективный). Наличие древесного яруса увеличивает продолжительность снеготаяния в 1,5—2 раза по сравнению с открытыми участками. В зависимости от степени облесения (высоты древесного яруса и сомкнутости крон) разность в продолжительности снеготаяния на облесенных и открытых участках болот может достигать 31 суток.

При радиационном типе снеготаяния потоки солнечной радиации экранируются древесным ярусом, что приводит к задержке таяния снега на облесенных участках по сравнению с открытыми участками. Установлено, что интенсивность снеготаяния при радиационном типе весны на открытых участках в среднем на 9,5 % выше (5—6 мм/сут), чем на облесенных (4—5 мм/сут). При адвективном типе, который наблюдается в пасмурные дни, различия между интенсивностью таяния снега на открытых и облесенных микроландшафтах отсутствуют.

Плотность снежного покрова в период весеннего снеготаяния на облесенных участках, как правило, выше, чем на открытых, и оставляет 0,19—0,45 и 0,09—0,37 г/см³, соответственно. В конце периода весеннего снеготаяния плотность снега достигает максимума.

Не публиковавшиеся ранее данные с 1986 г. по 1992 г., дополненные современными наблюдениями за 2023—2024 гг., представляют методологическую ценность и являются временной точкой отсчета для изучения современных изменений в условиях глобального потепления. Полученные результаты могут быть использованы для уточнения параметров гидрологических моделей болотных водосборов, прогнозирования изменений весеннего стока в условиях климатических изменений и облесения болот.

Список литературы

1. Калюжный И. Л. Сток с болотных массивов Кольского полуострова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 4. С. 22—37. doi: 10.35567/19994508_2022_4_2.
2. Дубровская Л. И., Инишев Н. Г., Инишева Л. И. Формирование водного режима верхового болота (на примере южно-таежной подзоны Западной Сибири) // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования. Материалы юбилейной международной научно-практической конференции (Костяковские чтения). М.: Изд. ВНИИА, 2007. Том II. С. 104—110.
3. Rydin H., Jeglum J. K. The Biology of Peatlands. 2nd edition. Oxford: Oxford University Press. 2013. 432 p.
4. Егоров К. П., Медведева М. А., Галанина О. В. Динамика облесенности верховых болотных массивов южной тайги на примере Западнотомского лесоболотного стационара (Тверская область) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2024. Том 69 (3). С. 1—29. doi: 10.21638/spbu07.2024.308.
5. van Bellen S., Magnan G., Davies L., et al. Testate amoebae records indicate regional 20th-century lowering of water tables in ombrotrophic peatlands in central-northern Alberta // Canada. Global Change Biology. 2018. Vol. 24(7). С. 2758—2774. doi: 10.1111/gcb.14143.
6. Swindles G. T., Morris P. J., Mullan D. J., et al. Widespread drying of European peatlands in recent centuries // Nature Geoscience. 2019. 12(11). С. 922—928. doi: 10.1038/s41561-019-0462-z.
7. Бураков Д. А. Некоторые особенности залегания снежного покрова в условиях Васюганья / Вопросы географии Сибири. 1966. С. 164—168.
8. Евсеева Н. С., Синюткина А. А., Харанжевская Ю. А. и др. Ландшафты болот Томской области. Томск: Издательство научно-технической литературы, 2012. 399 с.
9. Инишева Л. И., Смирнов О. Н., Инишев Н. Г. Некоторые гидрологические характеристики олиготрофных болот // Вестник АГАУ. 2013. № 3 (101). С. 28—32.
10. Kuchment L. S., Romanov P. Yu., Gelfan A. N., Demidov V. N. Use of satellite-derived data for characterization of snow cover and simulation of snowmelt runoff through a distributed physically based model of runoff generation // Hydrology and Earth system science. 2010. Vol. 14 (2). P. 339—350. doi: 10.5194/hess-14-339-2010.
11. Пьянков С. В., Шихов А. Н., Михайлюкова П. Г. Моделирование снегонакопления и снеготаяния в бассейне р. Кама с применением данных глобальных моделей прогноза погоды // Лёд и снег. 2019. Т. 59. № 4. С. 494—508. doi: 10.15356/2076-6734-2019-4-423.
12. Калюжный И. Л. Гидрохимический режим и химический состав вод мезоолиготрофных болотных массивов Кольского полуострова // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 3 (26). С. 114—125.
13. Новиков С. М., Батуев В. И. Гидрометеорологический режим и водный баланс верховых болот Северо-Запада России. СПб: Свое Издательство. 2019. 448 с.
14. Балабин Ю. В., Гвоздевский Б. Б., Германенко А. В. и др. Суточная и сезонная вариации мягкого гамма-излучения в нижней атмосфере // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2019. Том 83. № 5. С. 655—658. doi: 10.1134/S0367676519050089.
15. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 2. Часть I. Метеорологические наблюдения на постах. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. 111 с.
16. Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A. et al. IPCC Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, Switzerland, 39 p. doi: 10.1017/9781009157896.
17. Калюжный И. Л. Особенности испарения со снега при снегонакоплении и снеготаянии // Гидрометеорология и экология. 2022. № 68. С. 422—434. doi: 10.33933/2713-3001-2022-68-422-434.
18. Кузьмин П. П. Процесс таяния снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 345 с.
19. Калюжный И. Л. Содержание незамерзшей влаги в сезонно мерзлом деятельном слое болот Кольского полуострова // Вестник Кольского научного центра РАН. 2019. № 3 (11). С. 55—64. doi: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.3.55-64.
20. Минин А. А., Ананин А. А., Буйволов Ю. А. и др. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России // Заповедная наука. 2020. Т. 5, № 4. С. 89—110. doi: 10.24189/ncr.2020.060.

References

1. Kalyuzhny I. L. Runoff from the marshlands of the Kola Peninsula. *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye* = *Water management of Russia: problems, technologies, management*. 2022; (4): (22—37). (In Russ.). doi: 10.35567/19994508_2022_4_2.
2. Dubrovskaya L. I., Inishev N. G., Inisheva L. I. Formation of the water regime of a raised bog (on the example of the southern taiga subzone of Western Siberia). *Problemy ustoychivogo razvitiya melioratsii i ratsional'nogo prirodopol'zovaniya* = *Problems of sustainable development of land reclamation and rational nature management*. Proceedings of the jubilee international scientific-practical conference (Kostyakov readings). 2007; (2): (104—110). (In Russ.).
3. Rydin H., Jeglum J. K. The Biology of Peatlands. 2nd edition. Oxford: Oxford University Press. 2013: 432 p.
4. Egorov, K. P., Medvedeva, M. A. and Galanina, O. V. Dynamics of the forest cover of raised bogs in southern taiga: Zapadnaya Dvina forest peatland station as an example (Tver region). *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle* = *Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences*. 2024; Vol. 69 (3): (1—29). doi: 10.21638/spbu07.2024.308. (In Russ.).
5. van Bellen S., Magnan G., Davies L. et al. Testate amoebarecords indicate regional 20th-century lowering of water tables in ombrotrophic peatlands in central-northern Alberta. *Canada. Global Change Biology*. 2018; 24(7): 2758—2774. doi: 10.1111/gcb.14143.
6. Swindles G. T., Morris P. J., Mullan D. J. et al. Widespread drying of European peatlands in recent centuries. *Nature Geoscience*. 2019; 12(11): 922—928. doi:10.1038/s41561-019-0462-z.
7. Burakov D. A. Some features of snow cover occurrence in the conditions of Vasyugan. *Questions of the geography of Siberia*. Tomsk: National Research Tomsk State University, 1966; 164—168. (In Russ.).
8. Evseeva N. S., Sinyutkina A. A., Kharanjevskaya Yu. A. et al. *Landshafty bolot Tomskoj oblasti* = *Landscapes of swamps of the Tomsk region*. Tomsk: Scientific and Technical Literature Publishing House, 2012: 399 p. (In Russ.).
9. Inisheva L. I., Smirnov O. N., Inishev N. G. Some hydrological characteristics of oligotrophic swamps. *Vestnik AGAU* = *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2013; (3): (28—32). (In Russ.).
10. Kuchment L. S., Romanov P. Yu., Gelfan A. N., Demidov V. N. Use of satellite-derived data for characterization of snow cover and simulation of snowmelt runoff through a distributed physically based model of runoff generation. *Hydrology and Earth system science*. 2010; 14 (2): 339—350. doi: 10.5194/hess-14-339-2010.
11. Pyankov S. V., Shikhov A. N., Mikhailyukova P. G. Modeling of snow accumulation and snowmelt in the Kama River basin using data from global weather forecast models. *Lod i sneg* = *Ice and Snow*. 2019; 59 (4): (494—508). (In Russ.). doi: 10.15356/2076-6734-2019-4-423.
12. Kalyuzhny I. L. Hydrochemical regime and chemical composition of waters of mesooligotrophic bog massifs of the Kola Peninsula. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN* = *Bulletin of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016; 3 (26): (101—131). (In Russ.).
13. Novikov S. M., Batuev V. I. *Gidrometeorologicheskiiy rezhim i vodnyy balans verkhovykh bolot Severo-Zapada Rossii* = *Hydrometeorological regime and water balance of the raised bogs of the North-West of Russia*. SPb: Svoe Izdatelstvo, 2019, 448 p. (In Russ.).
14. Balabin Yu. V., Gvozdevskiy B. B., Germanenko A. V. et al. Diurnal and seasonal variations of soft gamma radiation in the lower atmosphere. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya fizicheskaya* = *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physical Series*. 2019; 83 (5): (655—658). doi: 10.1134/S0367676519050089. (In Russ.).
15. *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stancyam i postam. Vypusk 2. Chast' I. Meteorologicheskie nablyudeniya na postah* = *Instructions for hydrometeorological stations and posts. Issue 2. Part I. Meteorological observations at posts*. Leningrad: Gidrometizdat, 1985: 111 p. (In Russ.).
16. Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A. et al. IPCC Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Geneva, Switzerland, 39 p. doi: 10.1017/9781009157896.
17. Kalyuzhny I. L. Features of release from snow during snow accumulation and snowmelt. *Gidrometeorologiya i ekologiya*. = *Hydrometeorology and Ecology*. 2022; (68): (422—434). (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2022-68-422-434.

18. Kuzmin P. P. *Protsess tayaniya snezhnogo pokrova = The process of snow cover melting*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1961: 345 p. (In Russ.).
19. Kalyuzhny I. L. The content of unfrozen moisture in the seasonally frozen active layer of the Kola Peninsula mires. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN = Bulletin of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences*. 2019; 3 (11): (55—64). doi: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.3.55-64. (In Russ.).
20. Minin A. A., Ananin A. A., Buivolov Yu. A. et al. Recommendations for the unification of phenological observations in Russia. *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka = Nature Conservation Research. Reserve science*. 2020; 5 (4): (89—110). doi: 10.24189/ncr.2020.060. (In Russ.).

Информация об авторах

Скороспехова Татьяна Викторовна, научный сотрудник, Государственный гидрологический институт (г. Санкт-Петербург), tanchiz@gmail.com.

Журавлева Александра Дмитриевна, научный сотрудник, Государственный гидрологический институт (г. Санкт-Петербург), a.d.zhuravleva@gmail.com.

Калюжный Игорь Леонидович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лаборатории гидрофизики, Государственный гидрологический институт (г. Санкт-Петербург), hfl@mail.ru.

Information about authors

Skorospekhova Tatiana Viktorovna, State Hydrological Institute (St.Petersburg, Russia), research assistant.

Zhuravleva Alexandra Dmitrievna, State Hydrological Institute (St.Petersburg, Russia), research assistant.

Kalyuzhny Igor Leonidovich, State Hydrological Institute (St.Petersburg, Russia), senior research assistant.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 27.01.2025

Принята к печати после доработки 05.05.2025

The article was received on 27.01.2025

The article was accepted after revision on 05.05.2025