

УДК 631.436:551.34

DOI: 10.19047/0136-1694-2023-117-23-51



Ссылки для цитирования:

Московченко Д.В., Губарьков А.А. Температурные режимы почв на южной границе зоны мерзлых болот в Западной Сибири // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. Вып. 117. С. 23-51. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-117-23-51

Cite this article as:

Moskovchenko D.V., Gubarkov A.A., Soil temperature regimes on the southern border of the zone of frozen bogs in Western Siberia, Dokuchaev Soil Bulletin, 2023, V. 117, pp. 23-51, DOI: 10.19047/0136-1694-2023-117-23-51

Благодарность:

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 23-27-00366 “Современная динамика мерзлых торфяников на южной границе распространения в Западной Сибири”. Авторы выражают благодарность сотрудникам природного парка Нумто и ПАО “Сургутнефтегаз” за помощь в работе.

Acknowledgments:

The study was supported by Russian Science Foundation grant No. 23-27-00366 “Modern dynamics of frozen peatlands at the southern boundary of distribution in Western Siberia”. The authors are grateful to the staff of the Numto Nature Park and Surgutneftegaz (Public joint-stock company) for their assistance in the work.

Температурные режимы почв на южной границе зоны мерзлых болот в Западной Сибири

© 2023 г. Д. В. Московченко^{1*}, А. А. Губарьков^{2**}

¹Тюменский научный центр СО РАН, Россия,
625026, Тюмень, ул. Малыгина, 86,

* <https://orcid.org/0000-0001-6338-7669>, e-mail:
moskovchenko1965@gmail.com.

²Тюменский индустриальный университет, Россия,
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38,

** e-mail: agubarkov@rambler.ru.

Поступила в редакцию 14.04.2023, после доработки 10.08.2023,
принята к публикации 10.10.2023

Резюме: В течение 2019–2022 гг. на территории природного парк Нумто (Западная Сибирь), где описано одно из самых южных местонахождений мерзлых торфяников, проведены замеры температуры почв с использованием системы автоматического мониторинга. Измерения проводились в мерзлых торфяных олиготрофных деструктивных почвах; для сравнения проведены замеры температуры немерзлого иллювиально-железистого подзола. Среднегодовая температура поверхности почвы была положительная на всех обследованных участках: +0.8 °С – на бугре пучения, +1.3 °С – на плоскобугристом торфянике и +4.5 °С – в подзоле. Низкая температура бугра пучения вызвана малой высотой снежного покрова, из-за чего зимой поверхность почвы охлаждается наиболее сильно. На плоскобугристом торфянике начиная с глубины 0.5 м торф весь год находится в мерзлом состоянии, в то время как на бугре пучения глубина сезонного протаивания составляет 2 м. Зимнее промерзание на бугре пучения не достигает кровли многолетнемерзлых пород, что является признаком их возможной деградации при дальнейшем потеплении климата. В соответствии с классификацией теплового режима почв, почва на бугре пучения относится к длительно-сезоннопромерзающему типу, в отличие от крупнобугристых торфяников в районе Надыма, относящихся к мерзлотному типу. По данным близлежащей метеостанции существует тренд роста температуры воздуха и количества осадков. Анализ температурного режима почв и наблюдения за протеканием экзогенных процессов показали, что деструктивные торфяные почвы крупнобугристых торфяников находятся в неустойчивом состоянии, мерзлота в них сохраняется благодаря малой мощности снежного покрова на вершинах, что способствует зимнему охлаждению. В случае роста высоты снежного покрова здесь вероятно таяние мерзлоты.

Ключевые слова: температура почвы, потепление климата, криолитозона, олиготрофные торфяные почвы, подзолы.

Soil temperature regimes on the southern border of the zone of frozen bogs in Western Siberia

© 2023 D. V. Moskovchenko^{1*}, A. A. Gubarkov^{2**}

¹Tyumen Scientific Centre SB RAS,
86 Malygina Str., Tyumen 625026, Russian Federation,
^{*}<https://orcid.org/0000-0001-6338-7669>, e-mail:
moskovchenko1965@gmail.com.

²*Industrial University of Tyumen,
38 Volodarskogo Str., Tyumen 625000, Russian Federation,
*
**
e-mail: agubarkov@rambler.ru.*

Received 14.04.2023, Revised 10.08.2023, Accepted 10.10.2023

Abstract: Numto Nature Park (Western Siberia) is one of the southernmost locations of frozen peatlands. In 2019–2022, soil temperatures were measured there using an automatic monitoring system. The measurements were carried out for Murshik Hemic Cryic Histosol on flat palsa peatlands and frost mounds. The temperature for Folic Albic Podzol was measured for reference. The average annual temperature of the soil surface was found to be positive in all study areas: + 0.8 °C on the frost mound; +1.3 °C on the flat palsa peatlands; and + 4.5 °C in Folic Albic Podzol. The low temperature on the frost mound is due to the low snow cover, so the soil surface cools down to the minimum in winter. As for flat palsa peatlands, peat remains frozen all year round, starting from a depth of 0.5 m. On the frost mound, at the same time, the depth of seasonal thawing is 2 m. In winter, the frost penetration on the mound doesn't reach the permafrost table, revealing its probable degradation in case of further climate warming. According to the soil thermal regime classification, the soil on the frost mound falls into the category of long-term seasonally frozen soils, while high palsa peatlands nearby Nadym Town belong to the permafrost type. Data from the nearby meteorological station show a trend of rising air temperature and rainfall. An analysis of the soil temperature regime and the course of exogenous processes demonstrate that Murshik Hemic Cryic Histosol on high palsa peatlands is unstable. Permafrost persists there due to the low thickness of the snow cover on the peaks, which facilitates winter cooling. If the snow-cover height increases, permafrost is likely to melt there.

Keywords: soil temperature, climate warming, permafrost, oligotrophic peat soils, podzols.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на севере Западной Сибири наблюдается практически повсеместный рост температуры воздуха, превышающий средние по планете показатели ([Kirpotin, 2014](#)). Мерзлые торфяные почвы, которые преобладают в структуре почвенного покрова, также испытывают климатогенные изменения. В них увеличивается глубина сезонного протаивания, растет температура сезонно-талого слоя (СТС) и многолетнемерзлых пород (ММП) ([Москаленко, 2009, 2012](#); [Каверин и др., 2014](#)). Таяние ММП на

юге зоны вечной мерзлоты в Западной Сибири приводит к увеличению количества болотных просадок и малых озер ([Кирпотин и др., 2021](#); [Толпышева, Шишконова, 2022](#)). Аналогичные исследования зарубежных ученых также свидетельствуют об уязвимости ММП, залегающих под торфяниками. Отмечалось современное ускорение темпов деградации ММП вплоть до полного оттаивания, разрушение торфяных бугров и затопление оттаявших участков ([Jones et al., 2016](#); [Borge et al., 2017](#)).

Неустойчивость ММП в условиях современных климатических изменений делает актуальным выявление закономерностей температурного режима почв и почвообразующих пород криолитозоны, в особенности на тех участках, где мерзлые почвы находятся в состоянии, близком к таянию. Южная мерзлота (массивно-островного и островного распространения) развита преимущественно в торфяниках ([Шполянская и др., 2022](#)). Температурные режимы мерзлых торфяников в зоне островного распространения многолетнемерзлых пород Западной Сибири описаны для небольшого количества участков, расположенных в районе городов Надым ([Гончарова и др., 2015, 2017](#)), Пангоды ([Коронатова и др., 2018](#)), в восточной части Сибирских Увалов ([Коркин, Коркина, 2021](#)). Режим немерзлых торфяных почв был исследован в Томской области ([Дюкарев и др., 2009](#)). Учитывая огромные масштабы заболоченности в регионе, данных о температурном режиме торфяников крайне недостаточно. Примечательно, что тренды климатогенных изменений торфяников оцениваются неоднозначно. Рядом исследователей прогнозируется, что мерзлые торфяники в зоне редкоостровной вечной мерзлоты полностью растают в ближайшие несколько десятилетий ([Bauer, Vitt, 2011](#); [Chasmer, Hopkinson, 2017](#)). Другие исследователи считают, что на юге криолитозоны возможно увеличение площади мерзлоты за счет ее новообразования на талых участках вследствие интенсивного прироста торфяного горизонта и осушения болот, инициированного потеплением климата ([Шполянская и др., 2022](#)).

По схеме районирования болот Западной Сибири ([Болота..., 1976](#)), южная граница зоны крупнобугристых болот, которая соответствует южной границе мерзлых торфяников, проходит в полосе 63–64° с. ш., на северном макросклоне возвышенности Сибирские

Увалы. В пределах этой полосы расположен природный парк Нумто, территория которого сильно заболочена, причем мерзлые болота чередуются с немерзлыми ([Валеева и др., 2008](#)). Предшествующие исследования выявили здесь деградацию торфяников и формирование хасыреев на месте спущенных озер ([Шишконокова и др., 2013, 2016](#)), термоденудацию, которая сопровождается обрушением блоков торфа в озера ([Губарьков и др., 2022а](#)). Активное протекание криогенных процессов вызывает необходимость прогнозирования климатогенных изменений ландшафтов, что невозможно без понимания особенностей температурного режима почв, его сезонной и межгодовой динамики.

Целью представленной работы были определение основных температурных параметров почв парка Нумто, факторов, на них влияющих, и оценка устойчивости ММП.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Район исследований. Парк Нумто (координаты 63°12'–64°18' с. ш., 70°00'–71°35' в. д.) находится в подзоне северной тайги. По схеме геокриологического районирования ([Геокриология..., 1989](#)), он расположен на границе Надым-Пуровской и Сибирско-Увальской областей, для которых характерно островное распространение ММП. Абсолютные отметки высот составляют 70–145 м над уровнем моря. Почвообразующие породы представлены плейстоценовыми водноледниковыми отложениями ([Атлас..., 2004](#)). Климат континентальный с очень холодными зимами. По данным метеостанции Нумто, действовавшей с 1958 по 1991 гг., среднегодовая температура воздуха составляла –6 °С, абсолютный температурный минимум –56 °С, абсолютный максимум +34 °С ([Валеева и др., 2008](#)). Расположение территории исследований представлено на рисунке 1.

Примерно 2/3 территории парка Нумто занято болотами. Отличительной особенностью парка является распространение здесь бугристых мерзлых торфяников тундрового типа ([Валеева и др., 2008](#); [Аветов и др., 2019](#)). Преобладающим типом мерзлых болот являются плоскобугристые болота с кустарничково-лишайниковыми буграми и осоково-гипново-сфагновыми мочажинами. Обычная глубина сезонного протаивания в них составля-

ет 56–64 см ([Губарьков и др., 2022б](#)). Реже встречаются крупнобугристые болота, представляющие собой сочетание мерзлых торфяно-минеральных бугров высотой 4–6 м, покрытых ерниково-кустарничково-лишайниковой растительностью, иногда с отдельными соснами и кедрами на вершинах, и переувлажненных осоково-сфагновых понижений, в которых мерзлота отсутствует.

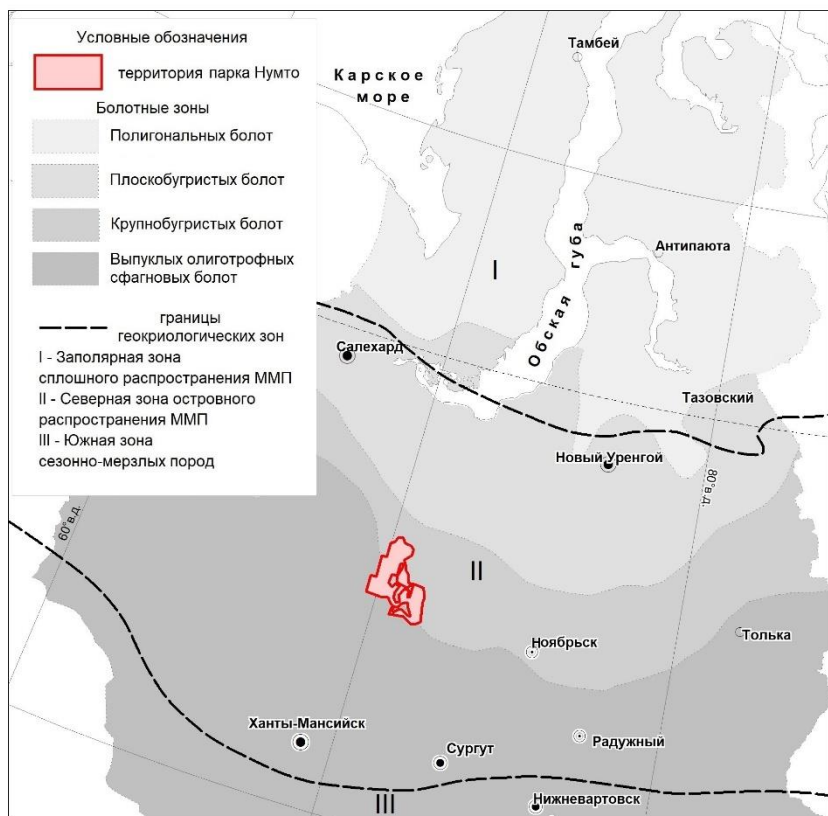


Рис. 1. Расположение района исследований.
Fig. 1. Study area.

Бугристые болота парка относятся к группе регрессивных биогеоценозов, современный растительный покров которых не вполне соответствует поверхностному торфяному горизонту, а сам процесс торфообразования резко замедлен либо прекращен ([Шишконокова, 2016](#); [Аветов и др., 2019](#)). Современная скорость накопления торфа здесь составляет 0.1 мм/год ([Moskovchenko et al., 2022](#)), что является очень низкой величиной по сравнению со средней скоростью накопления торфа в болотах Западной Сибири, составляющей 0.62 мм/год ([Лапшина, 2004](#)).

Среди немерзлых болот распространены сосново-кустарничково-сфагновые рямы, грядово-мочажинные болота с сосново-кустарничково-сфагновой растительностью гряд и осоково-сфагновыми мочажинами, выделены также олиго-мезотрофные и мезотрофные пушицево-осоковые аапа-болота ([Аветов и др., 2021](#)). Леса представлены в основном редкостойными сосняками северотаежного типа с кустарничково-лишайниковым покровом. Темнохвойные кедрово-еловые леса распространены в долинах рек.

Согласно почвенно-географическому районированию России, территория исследований расположена в пределах Нижнеобской провинции болотных почв и таежных глееземов северотаежной подзоны Европейско-Западно-Сибирской таежно-лесной почвенно-биоклиматической области ([Добровольский, Урусевская, 2004](#)). Таежные почвы в парке Нумто представлены ареалами подзолов иллювиально-железистых и мозаиками глеезема и подзола ([Аветов и др., 2022](#)). Структура почвенного покрова немерзлых олиготрофных грядово-мочажинных болот представлена пятнистостями торфяных олиготрофных почв, различающихся по мощности и ботаническому составу торфа. Почвы мерзлых бугров относятся к подтипу деструктивных типа торфяных олиготрофных ([Аветов и др., 2019](#)). В профиле торфяников, возраст которых составляет 7–8 тыс. лет, отчетливо различаются начальная мезотрофная стадия с преобладанием пушицы в ботаническом составе торфа и более поздняя олиготрофная стадия с преобладанием сфагновых мхов ([Moskovchenko et al., 2022](#)).

Активно протекают современные экзогенные процессы. Основной процесс деградации мерзлых бугров – термокарстовое

проседание с последующей гидроморфизацией, формирование трещин-просадок ([Шишконокова и др., 2016](#)). В настоящее время термокарст приобрел пульсирующий характер, резко усиливаясь в годы с теплыми и влажными летними сезонами ([Аветов и др., 2019](#)). На мерзлых буграх отмечены различные ландшафтные признаки деградации мерзлоты: пятна оголенного торфа, совмещенные с локальными просадками; трещины-разрывы полигонального характера, термокарстовые депрессии в виде небольших просадок, воронки разного размера и конфигурации (преимущественно округлой), а также оползневые процессы, сопровождающие разрушение склонов ([Шишконокова и др., 2019](#)). Помимо этого, наблюдаются термоденудация, солифлюкция, мерзлотное пучение, криотурбация, дефляция.

Методы исследований. Для исследования температурного режима было выделено 3 участка в типичных экосистемах парка – два на мерзлых торфяных болотах и один на немерзлых грунтах в сосновом лесу. На площадках были пробурены наблюдательные скважины, установлена обсадка и термодатчики (логгеры).

Термометрическая скважина 1 (координаты 63°42'19" с. ш., 70°24'05" в. д.) расположена на многолетнем бугре пучения (БП). Отдельно стоящий бугор пучения высотой 5 м, диаметром около 20 м, окружен олиготрофными немерзлыми болотами, чередующимися с небольшими массивами мерзлых плоскобугристых торфяников. Растительность бугра ерниково-кустарничково-мохово-лишайниковая с одиночными кедрами высотой 5–8 м. На вершине бугра наблюдаются трещины и пятна, лишенные растительного покрова. Мощность торфа варьирует от 0.2–0.6 м на вершине до 1.0 м на склонах. Плотность торфа 0.2–0.25 г/см³. Торф относится к комплексному верховому виду, его ботанический состав в верхней части разреза преимущественно кустарничковый, в нижней – сфагновый. Резкая смена ботанического состава торфа от сфагнового до кустарничкового произошла приблизительно 3 000 лет назад и, вероятно, была вызвана мерзлотным пучением бугра в этот период ([Московченко, 2022](#)). Минеральное ядро песчано-супесчаного гранулометрического состава. Глубина снежного покрова на вершине бугра в марте 2020 г. составила 21 см. Почва в нижних частях склонов торфяная олиготрофная, на вершине бугра

деструктивная торфяная олиготрофная (Murshic Hemic Cryic Histosol) ([Классификация..., 2004](#); [WRB, 2014](#)) (ГОmd-ГО-ТТ1).

Термометрическая скважина 2 (63°39'03" с. ш., 70°42'12" в. д.) расположена на обширном плоскобугристом торфянике (ПБ). Бугры вытянутые, длиной 20–30 м, превышение над мочажинами высотой 0.5–0.8 м. Растительность ерничково-кустарничково-лишайниковая на буграх, осоково-сфагновая в мочажинах. Бурение показало, что мощность торфа составляет 3.1 м. Плотность торфа варьирует от 0.09 до 0.15 г/см³. Глубина снежного покрова в среднем 36 см. Почва деструктивная торфяная олиготрофная. В районе размещения скважины отмечена активизация криогенных процессов, в том числе криотурбация с формированием на поверхности пятен – медальонов, формирование термокарстовых обводненных просадок диаметром 1–2 м, термоденудация по берегам озер, на вершинах бугров часто встречаются трещины и пятна оголенного торфа.

Термометрическая скважина 3 (63°30'16" с. ш., 70°36'42" в. д.) пробурена в сосновом лесу (С) в талых песках и супесях. Растительный покров представлен сосняком бруснично-лишайниковым. Высота древостоя 12 м, сомкнутость 0.2. Средняя глубина снежного покрова 0.95 м. Почва – подзол иллювиально-железистый (Folic Albic Podzol) ([Классификация..., 2004](#); [WRB, 2014](#)).

Замеры температуры почв проводились с применением системы автоматического мониторинга “САМ-Н” (ИМКЭС СО РАН г. Томск). Датчики были установлены на термокосу с шагом 0.5 м, начиная с поверхности (0–2 см) и до глубины 2 м. Технические характеристики станции измерения температуры: диапазон измерения температуры –50...+50 °С, погрешность калибровки датчиков не более ±0.1 °С. Логгеры были запрограммированы на 4 измерения в сутки. Датчики в скважине 1 были активированы 17.09.2019 г., в скважине 2 – 22.07.2019 г.; в скважине 3 – 19.09.2019 г.

Для оценки факторов, влияющих на температурный режим почв, использовались данные о температуре воздуха, количестве осадков и высоте снежного покрова по ближайшей метеостанции Юульск (<http://www.pogodaiklimat.ru>; <http://www.rp5.ru>).

Для оценки влияния климатических условий на температурное состояние почв были подсчитаны следующие показатели:

Коэффициент морозности воздуха F ([Nelson, Outcalt, 1987](#)):

$$F = \frac{\sqrt{|FDD|}}{\sqrt{|FDD|} + \sqrt{DDT}}, \quad (1)$$

где F – коэффициент морозности воздуха; DDT – сумма положительных среднесуточных температур воздуха; |FDD| – сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха, взятая по модулю.

Температурный индекс поверхности или N-фактор (Lunardini, 1978) – отношение сумм среднесуточных температур на поверхности почвы к аналогичным суммам в воздухе за тот же период:

$$N_t = DDT_{\text{почва}} / DDT_{\text{воздух}}, \quad (2)$$

$$N_f = FDD_{\text{почва}} / FDD_{\text{воздух}}, \quad (3)$$

где N_t – безморозный (летний) N-фактор; N_f – морозный (зимний) N-фактор; DDT – сумма положительных среднесуточных температур (соответственно, поверхности почвы и воздуха); FDD почва – сумма отрицательных среднесуточных температур (поверхности почвы и воздуха).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основные метеорологические показатели. Средняя за период 1969–2021 гг. температура воздуха на метеостанции Юильск была отрицательной (-3.5 °C). Период с отрицательными температурами воздуха длится 175–190 дней, с середины октября до начала мая. В аномально теплый 2020 г. устойчиво положительные температуры воздуха установились со второй декады апреля. Вегетационный период с среднесуточными температурами выше $+10$ °C начинается в середине июня и длится до конца августа. Значение коэффициента морозности воздуха F варьировало от 0.49 (2020 г.) до 0.60 (2006 г.). Годовая сумма осадков в среднем составляет 489 мм. Наибольшее количество осадков выпадает в теплый период года (июль–август), минимум – в феврале. Макси-

мальная за год высота снежного покрова за период 2005–2022 гг. варьировала от 48 см до 92 см (рр5.ru). Наблюдаются отчетливо выраженные тренды роста температуры воздуха и количества осадков, в том числе твердых (рис. 2а, 2б). Динамика метеопараметров территории исследования согласуется с общей тенденцией увеличения температуры атмосферного воздуха и количества осадков на севере Западной Сибири ([Васильев и др., 2020](#)).

Среднегодовая температура поверхностного горизонта почвы, в отличие от среднегодовой температуры воздуха, была положительная на всех обследованных участках: +0.8 °С на бугре пучения, +1.3 °С на плоскобугристом торфянике и +4.5 °С в подзоле. Наиболее “теплый” профиль подзола, по сравнению с торфяными почвами, отмечался ранее для окрестностей Надыма ([Гончарова и др., 2015](#)). Поверхностный горизонт подзола хорошо прогревается в летний период и охлаждается зимой меньше, чем у торфяных почв (рис. 3). Температура подзолов выше температуры торфяных почв почти весь год, за исключением периода август–октябрь, когда вследствие падения притока солнечной радиации и малой влажности температура подзолов падает быстрее, чем у торфяных почв. Самое слабое прогревание летом отмечено для плоскобугристого торфяника. Прогревание крупнобугристого торфяника незначительно уступает подзолу.

Среднегодовые значения и годовой ход температуры почв. Показатели температурного режима почв на разных глубинах (среднегодовая температура, год, сумма среднесуточных температур $> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) представлены в таблице 1.

Зимние температуры в поверхностном слое минимальны в почве бугра пучения, что связано с малой мощностью снежного покрова на вершине бугра (в среднем 21 см), вследствие чего зимой охлаждение здесь идет наиболее сильно. Слабое зимнее промерзание подзолов обусловлено наибольшей (в среднем 95 см) глубиной снежного покрова.

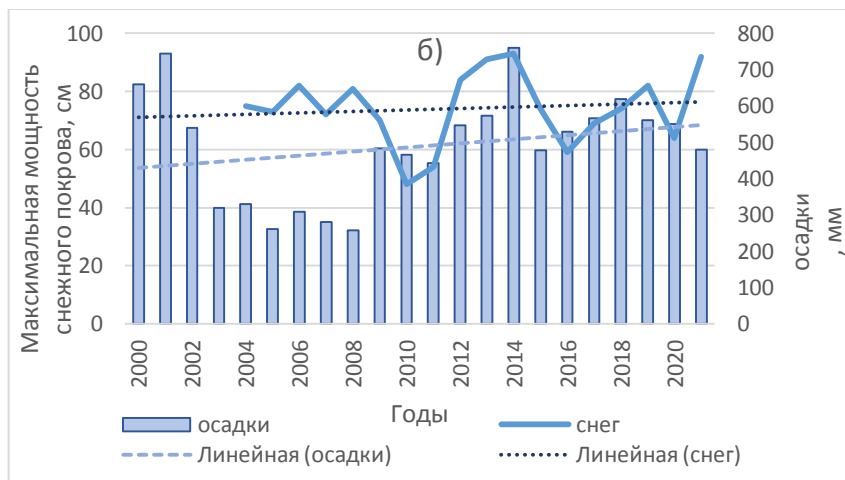
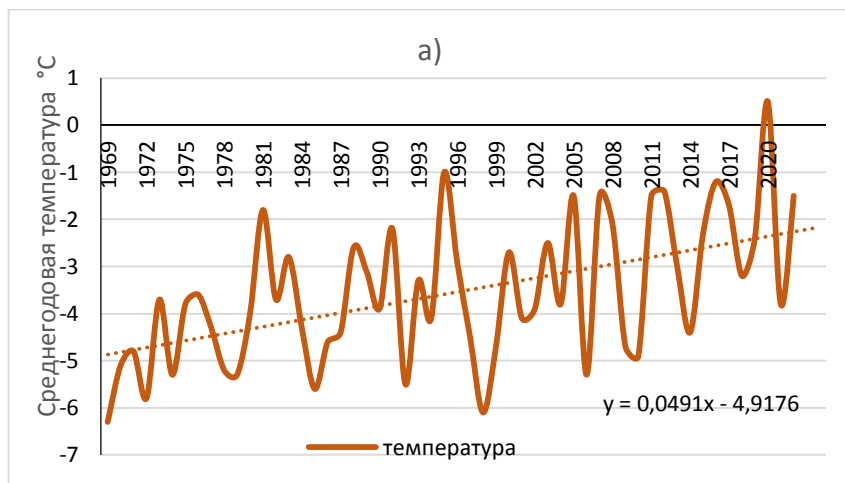


Рис. 2. Среднегодовая температура воздуха (а), количество осадков и максимальная высота снежного покрова (б) по метеостанции Юильск.
Fig. 2. Average annual air temperature (а), amount of precipitation and maximum snow depth (б) according to Yuilsk meteorological station.

Таблица 1. Показатели температурного режима почв (средние данные по периоду сентябрь 2019 – август 2022 гг.)

Table 1. Soil temperature regime indicators (average data for the period September, 2019 – August, 2022)

Участки, почвы	Показатели	Глубина, м				
		0	0.5	1.0	1.5	2.0
БП, деструктивная торфяная олиготрофная	Т год, °С	0.8	1.1	1.3	0.9	-0.1
	$\sum T > 0$	1609	1215	837	347	0
	$\sum T < 0$	-1331	-853	-391	-18	-29
ПБ, деструктивная торфяная олиготрофная	Т год, °С	1.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2
	$\sum T > 0$	1040	6	0	0	0
	$\sum T < 0$	-560	-153	-144	-96	-80
С, подзол	Т год, °С	4.5	3.5	2.6	1.7	0.4
	$\sum T > 0$	1854	1204	1057	608	164
	$\sum T < 0$	-1321	-923	-101	0	0

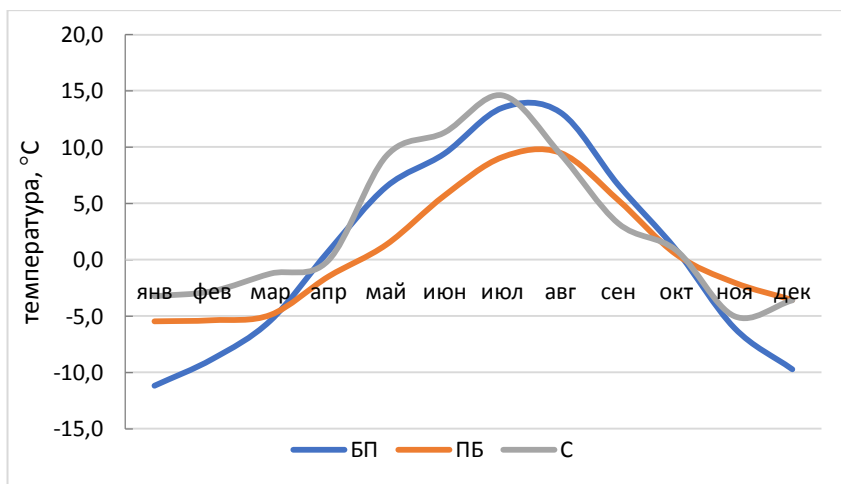


Рис. 3. Годовой ход температуры поверхностного горизонта почв.

Fig. 3. Average monthly temperatures of the surface horizon of soils.

Сроки начала промерзания поверхностного горизонта всех обследованных почв приблизительно одинаковы – переход в отрицательный диапазон наблюдается во второй декаде октября (см. рис. 3). Продвижение волны холода вглубь почвы идет различными темпами. Волна нулевых температур достигала глубины 50 см в плоскобугристом торфянике в конце третьей декады октября, в бугре пучения – в конце первой декады ноября, в подзоле – лишь к концу января. Примечательно, что минимальная температура поверхностного слоя подзола отмечена в ноябре, когда снежный покров еще очень тонок. В декабре, несмотря на снижение температуры воздуха, температура поверхностного слоя подзола увеличивается.

Длительность периода отрицательных температур и глубина промерзания обследованных почв различны. Наиболее длительный период с отрицательными температурами поверхности (202–205 дней, до середины мая) отмечен на плоскобугристом торфянике. Начиная с глубины 0.5 м весь год торф в почвенном профиле находится в мерзлом состоянии, деятельный слой при замерзании смыкается с ММП (сливающаяся мерзлота). На бугре пучения период отрицательных температур поверхностного горизонта длится около 200 дней. На глубине 1.5 м температура не падает ниже $-0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Промерзание не достигает кровли ММП на глубине 2 м, то есть формируется “несливающаяся мерзлота”, когда слой сезонного промерзания отделен от кровли вечной мерзлоты талым горизонтом. Период околонулевых температур на глубинах 0.5, 1.0 и 1.5 м длится почти полгода – с начала ноября по конец июня. Причиной этого является высокая влажность почв и, как следствие, – длительная во времени нулевая или фазовая завеса, обусловленная кристаллизацией воды или таянием льда в процессе промерзания или протаивания, когда фазовый переход между водой и льдом задерживается из-за высвобождения скрытой теплоты (или наоборот). Также влияние оказывает охлаждающий эффект ММП ([Гончарова и др., 2017](#)).

В подзоле сезонное промерзание поверхности длится около 180 дней (до конца апреля), на глубине 0.5 м этот период сокращается до 65 дней (конец января – конец марта), причем температуры весь этот период околонулевые ($0\text{...}-0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$). На глубине 1 м и

глубже подзолы весь год находятся в немерзлом состоянии, температура в течение года варьирует от 0.5 до 8.1 °С.

В теплый период года волна тепла запаздывает относительно воздуха на поверхности почвы примерно на месяц, на глубине 0.5 м – на 1.5–2 месяца. Максимальное прогревание поверхностного горизонта торфяных почв наблюдалось в конце июля – начале августа. На глубине 0.5 м и ниже пик температур приходился на сентябрь. Активные температуры (>10 °С) на поверхности наблюдались менее трех недель, во второй и третьей декадах июля. В подзолах повышение температуры поверхностного слоя выше 10 °С происходило в дневные часы уже в первой декаде июня. Температуры >10 °С в подзолах распространялись до глубины 0.5 м.

Мощность СТС на бугре пучения составляет 2.0 м, на плоскобугристом торфянике – 0.5 м. Глубокое протаивание бугра пучения связано с относительно небольшим слоем торфа, а также с тем, что бугор прогревается летом не только сверху, но и сбоку.

Годовой ход температуры почвы бугра пучения на разных глубинах в сопоставлении с температурой воздуха представлен на рисунке 4.

Годовая амплитуда температуры поверхности почвы меньше амплитуды температуры воздуха на 30–40 градусов. Особенно значительные отличия наблюдались в январе 2021 г., когда разница между температурой воздуха и поверхности почвы составила более 25 °С. По данным метеостанции Юильск, в январе 2021 г. высота снежного покрова составляла 20 см, что значительно меньше среднегодовой нормы. Малая глубина снега вызвала сильное охлаждение почвы в этот период. Таким образом, снег является важнейшим фактором, определяющим температурный режим почв в холодный период года.

Значения N-факторов. Величины N-факторов, в численной форме отражающие различия между температурой воздуха и температурой поверхности почвы, показывают, что летом прогревание плоскобугристого торфяника ослаблено (значения N_t минимальны) (табл. 2). Значения морозного N-фактора наибольшие в почве бугра пучения. Это соответствует отмеченным здесь минимальным значениям мощности снежного покрова.

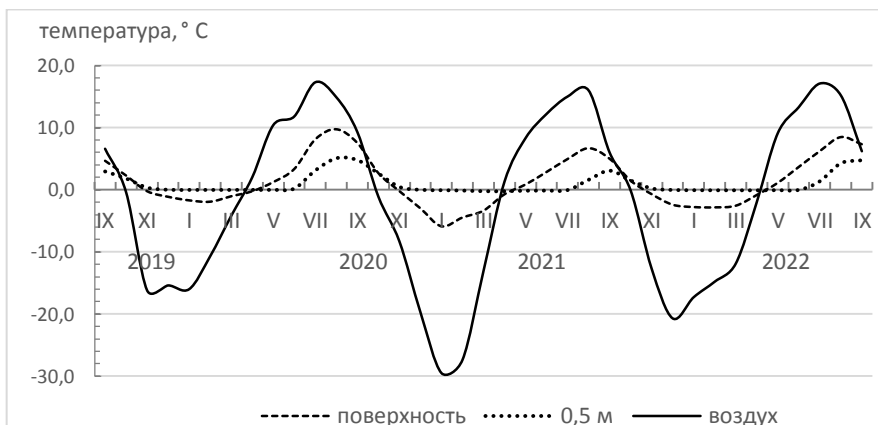


Рис. 4. Температурный режим почв бугра пучения в период с сентября 2019 г. по сентябрь 2022 г. **Примечание.** Кривые хода температур на глубинах 1.0, 1.5 и 2 м практически идентичны кривой хода температур на 0.5 м.

Fig. 4. Temperature regime of the soils of the heaving mound between September 2019 and September 2022. **Note.** Temperature curves at depths of 1.0, 1.5 and 2 m are almost identical to the curve of temperature change at the depth of 0.5 m.

Таблица 2. Средние значения N-факторов (в скобках – min, max)

Table 2. Average values of N-factors (min, max in brackets)

Участки	Nt	Nf
БП	0.67 (0.64–0.69)	0.58 (0.56–0.61)
ПБ	0.43 (0.36–0.50)	0.29 (0.27–0.31)
С	0.79 (0.77–0.82)	0.28 (0.27–0.29)

Отепляющее действие снега сильнее всего проявляется в подзолах, где мощность снега максимальна. Зимние N-факторы имеют меньшие значения, чем летние, разница температур воздуха и почвы зимой выражена сильнее. Таким образом, снег оказывает сильное изолирующее влияние, и тренд роста высоты снежного покрова угрожает сохранению ММП.

Классификация теплового режима. Исследованные нами торфяные почвы, в соответствии с классификацией теплового режима ([Димо, 1971](#)), относятся к разным категориям. Почвы плоскобугристого торфяника относятся к мерзлотному типу: для них характерна сливающаяся мерзлота и отрицательная среднегодовая температура (за исключением поверхностного слоя). Почва бугра пучения относится к длительно-сезоннопромерзающему типу: мерзлота в ней несливающаяся, среднегодовая температура в верхних 50 см положительная. Стремительное расширение площади участков с несливающейся мерзлотой в XXI в. является характерной реакцией торфяников на современные изменения климата ([Дроздов и др., 2021](#)). Немерзлые подзолы также относятся к длительно-сезоннопромерзающему типу. Переход почв бугров пучения в категорию длительно-сезоннопромерзающих отличает исследованные нами почвы от более северных районов, где все торфяники, как крупно-, так и плоскобугристые, были отнесены к мерзлотному очень холодному типу ([Гончарова и др., 2017](#)). По зарубежной классификации термических режимов почв ([Soil Taxonomy, 1999](#)), почвы ПБ торфяников относятся к температурному классу Subgelic (среднегодовая температура на глубине 50 см от +1 до -4 °C), почвы бугра пучения и подзолы – к классу Frigid (+1 ... +8 °C).

Сравнение с сопредельными участками. В литературных источниках ([Гончарова и др., 2015](#), [2017](#)) приводятся данные о температурном режиме почв Надымского стационара, очень близких по типологии, но расположенных в 180–190 км севернее. Показатели температурного режима обследованных почв, по сравнению с почвами аналогичных торфяных массивов в районе Надыма, приведены в таблице 3.

Сопоставление показывает, что в парке Нумто температура поверхности плоскобугристого торфяника и подзола ожидаемо выше температуры аналогичных почв Надымского стационара, где среднегодовые температуры поверхности составляют соответственно +0.8 °C и +2.1 °C, а температурный режим оценен как неустойчивый, переходный ([Гончарова и др., 2017](#)). Таким образом, плоскобугристые торфяники Нумто следует признать еще более

неустойчивыми к потеплению, что вполне очевидно, учитывая их местоположение на южном пределе распространения мерзлых болот.

Таблица 3. Показатели температурного режима почв различных участков островной криолитозоны

Table 3. Indicators of the temperature regime of soils in different parts of the sporadic permafrost zone

Участки Показатель	Нумто			Надым (Гончарова и др., 2015)		
	БП	ПБ	С	БП	ПБ	С
Среднегодовая температура поверхности, °С	0.8	1.3	4.5	1.7	0.8	2.1
Nf	0.58	0.29	0.28	0.28	0.32	0.11

Среднегодовая температура поверхности бугра пучения в парке Нумто оказалась несколько ниже крупнобугристого торфяника Надымского стационара (соответственно +0.8 и +1.7 °С). Вероятно, сказывается сильное зимнее охлаждение поверхности из-за малой мощности снежного покрова на вершине. Однако на глубине 50 см наблюдается противоположная картина – если в более северном районе возле Надыма среднегодовая температура отрицательная, то на территории Нумто она устойчиво положительная большую часть года. Глубина сезонного протаивания в бугре пучения парка Нумто (2 м) значительно больше, чем в крупнобугристых торфяниках Надымского стационара, где мощность СТС оценивается величинами от 50 см ([Гончарова и др., 2015](#)) до 160–180 см ([Дроздов и др., 2021](#)).

Оценка устойчивости ММП. Данные многолетних наблюдений показывают, что тренд роста температуры воздуха в тундре и тайге Западной Сибири соответствующим образом проявляется и в росте температур почвы. На стационаре Тарко-Сале среднегодовая температура ММП на бугре пучения в период 2006–2019 гг.

повысилась с -1.9 до -1.6 °С ([Васильев и др., 2020](#)). На Сибирских Увалах выявлен рост среднегодовых температур почвы ([Коркин, Коркина, 2021](#)). В районе Надыма повышается температура пород в слое годовых теплооборотов ([Дроздов и др., 2021](#)).

В районе исследований в последние десятилетия отмечается рост температуры атмосферного воздуха и высоты снежного покрова. Рост высоты снежного покрова однозначно признается всеми исследователями фактором, ослабляющим зимнее промерзание и усиливающим риск деградации ММП ([Шерстюков, 2008](#); [Десяткин и др., 2012](#); [Каверин и др., 2014](#); [Гончарова и др., 2017](#)). Влияние температуры воздуха не столь однозначно. Высказывалось мнение, что с потеплением воздуха связан интенсивный прирост торфяного горизонта, который изолирует грунты от теплой атмосферы, что вызывает новообразование ММП ([Шполянская и др., 2022](#)). Однако современная скорость торфонакопления в болотах парка Нумто очень низкая, порядка 0.1 мм/год, и влияние климатических изменений через усиление торфонакопления будет охватывать период, исчисляемый десятилетиями. Наблюдения за криогенными процессами дают однозначную картину деградации ММП: формируются термокарстовые просадки, на поверхности торфяников часто встречаются пятна оголенного торфа и трещины. Выявлены случаи повышения уровня грунтовых вод, вызывающие подтопление и гибель древесной растительности, наблюдается падение опор линий электропередач, что говорит об опускании кровли ММП.

Неустойчивое состояние мерзлоты характеризуется переходом среднегодовой температуры пород в верхней части разреза в область положительных значений, опусканием кровли мерзлоты и оттаиванием промежуточного слоя ([Васильев и др., 2020](#)). В крупнобугристом торфянике парка Нумто вплоть до 2 м температура почвы положительная, мощность СТС существенно выше, чем на плоскобугристом торфянике. Таким образом, ММП находятся в неустойчивом состоянии. О неустойчивости мерзлоты на территории Нумто свидетельствуют и коэффициенты морозности воздуха. С применением этого индекса можно определить южную границу распространения ММП: если $F < 0.5$, мерзлота исчезает ([Nelson, Outcalt, 1987](#)). На обследованной территории значения F изменя-

лись в период 2019–2022 гг. от 0.49 до 0.60 (в среднем 0.53). Таким образом, значения F близки к пороговому уровню деградации ММП, а в наиболее теплые годы переходят его. Мерзлота замедленно реагирует на климатические изменения и сохраняется некоторое время при изменении и метеопараметров, но длительное воздействие потепления неизбежно приведет к ее деградации.

Обследованный нами бугор пучения отличается большей глубиной протаивания по сравнению с плоскобугристым торфяником, а относительно низкая температура его поверхности связана с малой мощностью снежного покрова. Тенденция к увеличению высоты снега, равно как и возможное увеличение фитомассы кустарников и кустарничков, способствующее снегозадержанию, делают неблагоприятным прогноз сохранности здесь ММП. Вероятно, именно под крупнобугристыми торфяниками и буграми пучения ММП исчезнут первыми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что в 2019–2022 гг. среднегодовая температура поверхности мерзлотных почв была выше 0 °С, что является признаком их неустойчивости. Плоскобугристые торфяники отличаются относительно неглубоким оттаиванием (0.5 м), длительным периодом с отрицательными температурами поверхности (202–205 дней), низкими величинами летнего N -фактора, и обладают высокой буферностью к климатическим изменениям. Почвы бугра пучения, по сравнению с плоскобугристым торфяником, отличаются большей глубиной сезонного протаивания (2 м) и более высокой температурой в течение летнего сезона вследствие лучшей теплообеспеченности. В них сильнее идет зимнее охлаждение поверхностного слоя, что связано с малой мощностью снежного покрова на вершине бугра. Однако зимнее промерзание не достигает кровли ММП, то есть мерзлота несливающаяся и находится в неустойчивом состоянии. По сравнению с аналогичными почвами Надымского стационара, мерзлотные почвы парка Нумто отличаются более высокой температурой и более глубоким сезонным протаиванием, а, следовательно, они менее устойчивы к потеплению. Сохранение ММП на буграх пучения возможно при малой мощности снежного покрова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аветов Н.А., Кузнецов О.Л., Шишконокова Е.А.* Опыт использования классификации и диагностики почв России в систематике торфяных почв биогеоценозов олиготрофных болот северотаежной подзоны Западной Сибири // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2019. № 4. С. 37–47.
2. *Аветов Н.А., Кузнецов О.Л., Шишконокова Е.А.* Почвы олиго-мезотрофных и мезотрофных болот бореального пояса Западной Сибири: возможности геоботанической диагностики в рамках типа торфяных мезотрофных почв // Почвоведение. 2021. № 5. С. 568–581.
3. *Аветов Н.А., Шишконокова Е.А., Кинжаев Р.Р., Арзамазова А.В.* Структура почвенного покрова заболоченной равнины северо-таежной подзоны Западной Сибири (бассейн р. Казым) // Почвоведение. 2022. № 2. С. 208–218.
4. *Атлас Ханты–Мансийского автономного округа – Югры.* Том II. Природа. Экология. Ханты-Мансийск. Москва: ООО НПФ “Талка – ТДВ”, 2004. 152 с.
5. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим // Под ред. *К.Е. Иванова, С.М. Новикова.* Л.: Гидрометеиздат, 1976. 447 с.
6. *Васильев А.А., Гравис А.Г., Губарьков А.А. и др.* Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе Российской Арктики // Криосфера Земли. 2020. Т. XXIV. № 2. С. 15–30.
7. *Валеева Э.И., Московченко Д.В., Арефьев С.П.* Природный комплекс парка “Нумто”. Новосибирск: Наука, 2008. 280 с.
8. Геокриология СССР. Западная Сибирь. М.: Недра, 1989. 457 с.
9. *Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Бобрик А.А., Москаленко Н.Г., Пономарева О.Е.* Температурные режимы северотаежных почв Западной Сибири в условиях островного распространения многолетнемерзлых пород // Почвоведение. 2015. № 12. С. 1462–1473.
10. *Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Бобрик А.А., Петров Д.Г., Тархов М.О., Удовенко М.М.* Вклад климатических факторов в формирование температурных режимов почв прерывистой криолитозоны северной тайги Западной Сибири // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2017. № 87. С 39–54. DOI: [10.19047/0136-1694-2017-87-39-54](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-87-39-54).
11. *Губарьков А.А., Московченко Д.В., Гравис А.Г., Акчулпанов А.М., Мадеев М.А.* Геокриологические условия природного парка “Нумто” // Современное состояние и перспектива развития сети особо охраняемых природных территорий в промышленно развитых регионах. Материалы II Всероссийской конференции, посвященной 25-летию природного парка “Нумто”. Екатеринбург, 2022а. С. 151–156.

12. Губарьков А.А., Московченко Д.В., Бабкин Е.М., Пожитков Р.Ю., Иваков Г.С. Эколого-геокриологический мониторинг природного парка “Нумто” // Современное состояние и перспектива развития сети особо охраняемых природных территорий в промышленно развитых регионах. Материалы II Всероссийской конференции, посвященной 25-летию природного парка “Нумто”. Екатеринбург, 2022б. С. 157–162.
13. Десяткин Р.В., Десяткин А.Р., Федоров П.П. Температурный режим мерзлотно-таежных почв центральной Якутии // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. № 2. С. 70–78.
14. Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. М., 1971. 31 с.
15. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М.: Издательство МГУ, 2004. 460 с.
16. Дроздов Д.С., Бердников Н.М., Гравис А.Г. и др. Особенности современного состояния криогенных ландшафтов Западной Сибири в зоне островного и прерывистого распространения мерзлоты // Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике. Сборник трудов конференции. Салехард, 2021. С. 121–124.
17. Дюкарев Е.А., Головацкая Е.А., Дучков А.Д. и др. Экспериментальное исследование температурного режима торфяной залежи Бакчарского болота (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 6. С. 745–754.
18. Каверин Д.А., Пастухов А.В., Мажитова Г.Г. Температурный режим тундровых почв и подстилающих многолетнемерзлых пород (европейский северо-восток России) // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII. № 3. С. 23–32.
19. Каверин Д.А., Пастухов А.В., Новаковский А.Б., Биязи К., Марущак М., Елсаков В.В. Влияние ландшафтных и климатических факторов на глубину сезонного протаивания в почвах бугристых торфяников (на примере площадки CALM R52) // Криосфера Земли. 2019. Т. XXIII. № 2. С. 62–71.
20. Кирпотин С.Н., Березин А.Е., Семенова Н.М., Шадуйко О.М., Перегон А.М., Антошкина О.А., Покровский О.С., Йостен Х. Западная Сибирь как природный коллаيدر: климаторегулирующая функция водно-болотных угодий // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее. Материалы Шестого Международного симпозиума. Томск, 2021. С. 23–26.
21. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

22. *Коркин С.Е., Коркина Е.А.* Анализ температурного мониторинга болотных ландшафтов Аганско-Пуровского междуречья и Вахско-Аганской подпровинции // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее. Материалы Шестого Международного полевого симпозиума. Томск, 2021. С. 27–29.
23. *Корнатовая Н.Г., Миронычева-Токарева Н.П., Соломин Я.Р.* Температурный режим торфяной залежи бугров и топей плоскобугристых болотных комплексов Западной Сибири // Криосфера Земли. 2018. Т. XXII. № 6. С. 16–25.
24. *Лапишина Е.Д.* Болота юго-востока Западной Сибири (ботаническое разнообразие, история развития и динамика накопления углерода в голоцене): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Томск, 2004. 23 с.
25. *Москаленко Н.Г.* Изменение температуры пород и растительности под влиянием меняющегося климата и техногенеза в Надымском районе Западной Сибири // Криосфера Земли. 2009. Т. XIII. № 4. С. 18–23.
26. *Москаленко Н.Г.* Изменения криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. № 2. С. 38–42.
27. *Московченко Д.В.* История развития и накопление химических элементов в верховых торфяниках парка Нумто // Современное состояние и перспектива развития сети особо охраняемых природных территорий в промышленно развитых регионах. Материалы II Всероссийской конференции, посвященной 25-летию природного парка “Нумто”. Екатеринбург, 2022. С. 83–86.
28. *Толышева Т.Ю., Шишконокова Е.А.* Итоги и перспективы изучения лишайников природного парка “Нумто” // Современное состояние и перспектива развития сети особо охраняемых природных территорий в промышленно развитых регионах. Материалы II Всероссийской конференции, посвященной 25-летию природного парка “Нумто”. Екатеринбург, 2022. С. 116–124.
29. *Шерстюков А.Б.* Корреляция температуры почвогрунтов с температурой воздуха и высотой снежного покрова на территории России // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 1. С. 79–87.
30. *Шишконокова Е.А., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Толышева Т.Ю., Шведчикова Н.К.* Болота котловины хасыряя Ай-Надымтыйлор (природный парк Нумто, Ханты-Мансийский Автономный Округ – Югра) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2013. Т. 118. № 2. С. 48–56.
31. *Шишконокова Е.А., Аветов Н.А., Березина Н.А., Толышева Т.Ю., Шведчикова Н.К.* Проявления регрессивных процессов на болотах южной части природного парка Нумто (Ханты-Мансийский автономный округ –

Югра) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2016. Т. 121. № 3. С. 39–50.

32. *Шишконокова Е.А., Аветов Н.А., Толышева Т.Ю., Тарлинская А.А.* Растительная индикация термокарстовых образований бугристых болот в южной части парка Нумто (Западная Сибирь) // Социально-экологические технологии. 2019. Т. 9. № 1. С. 27–57.

33. *Шполянская Н.А., Осадчая Г.Г., Малкова Г.В.* Современное изменение климата и реакция криолитозоны (на примере Западной Сибири и Европейского Севера России) // Географическая среда и живые системы. 2022. № 1. С. 6–30.

34. *Bauer I.E., Vitt D.H.* Peatland dynamics in a complex landscape: development of a fen-bog complex in the sporadic discontinuous permafrost zone of northern Alberta, Canada // *Boreas*. 2011. Vol 40. No. 4. P. 714–726. DOI: [10.1111/j.1502-3885.2011.00210.x](https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2011.00210.x).

35. *Borge A.F., Westermann S., Solheim I., Etzelmüller B.* Strong degradation of palsas and peat plateaus in northern Norway during the last 60 years // *The Cryosphere*. 2017. Vol. 11. P. 1–16. DOI: [10.5194/tc-11-1-2017](https://doi.org/10.5194/tc-11-1-2017).

36. *Chasmer L., Hopkinson C.* Threshold loss of discontinuous permafrost and landscape evolution // *Glob Chang Biol*. 2017. Vol. 23. P. 2672–2686. DOI: [10.1111/gcb.13537](https://doi.org/10.1111/gcb.13537).

37. *Kirpotin S.N.* Western Siberia in a changing climate // *International Journal of Environmental Studies*. 2014. Vol. 71. No. 5. P. 591–594. DOI: [10.1080/00207233.2014.945695](https://doi.org/10.1080/00207233.2014.945695).

38. *Jones B.M., Baughman C.A., Romanovsky V.E., Parsekian A.D., Babcock E.L., Stephani E., Jones M.C., Grosse G., Berg E.E.* Presence of rapidly degrading permafrost plateaus in south-central Alaska // *The Cryosphere*. 2016. Vol. 10. Iss. 6. P. 2673–2692. DOI: [10.5194/tc-10-2673-2016](https://doi.org/10.5194/tc-10-2673-2016).

39. *Lunardini V.J.* Theory of N-factors and correlation of data // Proc. 3rd International Conf. on Permafrost, Edmonton, Alberta, National Research Council of Canada. Ottawa, 1978. No. 1. P. 40–46.

40. *Moskovchenko D.V., Afonin A.S., Pozhitkov R.Yu.* Development history and composition of peatland in the Numto natural park in Western Siberia, Russia // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. Vol. 1093. 012010. DOI: [10.1088/1755-1315/1093/1/012010](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1093/1/012010).

41. *Nelson F.E., Outcalt S.I.* A computational method for prediction and regionalization of permafrost // *Arctic Alp. Res*. 1987. Vol. 19. No. 3. P. 279–288.

42. Soil Taxonomy. By Soil Survey Staff. 2nd ed. New York, U.S. Department of Agriculture, Nat. Resour. Conserv. Service. *Agricult. Handbook*, 1999. No. 436. 869 p.

43. Word Reference Base for Soil Resources. 106. Food and agriculture organisation of the United Nations. Rome, 2014. 89 p.

REFERENCES

1. Avetov N.A., Kuznetsov O.L., Shishkonakova E.A., Opyt ispol'zovaniya klassifikatsii i diagnostiki pochv Rossii v sistematike torfyanykh pochv biogeotsenozov oligotrofnikh bolot severotaezhnoi podzony Zapadnoi Sibiri (The experience in the use of classification and diagnostics of russian soils in the systematics of peat soils of biogeocenoses of oligotrophic bogs of the north taiga subzone of Western Siberia), *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 17. Pochvovedenie*, 2019, No. 4, pp. 37–47.
2. Avetov N.A., Kuznetsov O.L., Shishkonakova E.A., Soils of oligomesotrophic and mesotrophic bogs in the boreal zone of West Siberia: possibilities of botanical diagnostics within the framework of the type of mesotrophic peat soils, *Eurasian Soil Science*, 2021, Vol. 54, No. 5, pp. 689–701, DOI: [10.1134/S1064229321030029](https://doi.org/10.1134/S1064229321030029).
3. Avetov N.A., Shishkonakova E.A., Kinzhaev R.R., Arzamazova A.V., Soil cover pattern of the mire plain of the north taiga subzone in West Siberia (the Kazym River basin), *Eurasian Soil Science*, 2022, Vol. 55, No. 2, pp. 182–190, DOI: [10.1134/S1064229322020041](https://doi.org/10.1134/S1064229322020041).
4. *Atlas Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga – Yugry*. Tom II. Priroda. Ekologiya (Atlas of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra. Volume II. Nature. Ecology), Khanty-Mansiisk, Moscow: OOO NPF “Talka – TDV”, 2004, 152 p.
5. Ivanov K.E., Novikov S.M. (Eds), *Bolota Zapadnoi Sibiri, ikh stroenie i gidrologicheskii rezhim* (Bogs of Western Siberia, their structure and hydrological regime), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976, 447 p.
6. Vasil'ev A.A., Gravis A.G., Gubar'kov A.A. et al., Degradatsiya merzloty: rezul'taty mnogoletnego geokriologicheskogo monitoringa v zapadnom sektore Rossiiskoi Arktiki (Permafrost degradation: results of the long-term geocryological monitoring in the western sector of Russian Arctic), *Kriosfera Zemli*, 2020, Vol. XXIV, No. 2, pp. 15–30, DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-2(15-30).
7. Valeeva E.I., Moskovchenko D.V., Aref'ev S.P., *Prirodnyi kompleks parka Numto* (Nature of the Numto Park), Novosibirsk: Nauka, 2008, 280 p.
8. *Geokriologiya SSSR. Zapadnaya Sibir'* (Geocryology of the USSR. Western Siberia), Moscow: Nedra, 1989, 457 p.
9. Goncharova O.Yu., Matyshak G.V., Bobrik A.A., Moskalenko N.G., Ponomareva O.E., Temperature regimes of northern taiga soils in the isolated

permafrost zone of Western Siberia, *Eurasian Soil Science*, 2015, Vol. 48, No. 12, pp. 1329–1340, DOI: [10.1134/S1064229315100038](https://doi.org/10.1134/S1064229315100038).

10. Goncharova O.Yu., Matyshak G.V., Bobrik A.A., Petrov D.G., Tarkhov M.O., Udovenko M.M., The Input of the Climatic Factors in the Temperature Regime of Soils of Discontinuous Permafrost of Northern Taiga of Western Siberia, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2017, Vol. 87, pp. 39–54, DOI: [10.19047/0136-1694-2017-87-39-54](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-87-39-54).

11. Gubarkov A.A., Moskovchenko D.V., Gravis A.G., Akchulpanov A.M., Madeev M.A., Geokriologicheskie usloviya prirodnogo parka “Numto” (Geocryological conditions of the Numto Nature Park), In: *Sovremennoe sostoyanie i perspektiva razvitiya seti osobo okhranyaemykh prirodnikh territorii v promyshlenno razvitykh regionakh* (Proc. II all-Russian Conf.), Ekaterinburg, 2022a, pp. 151–156.

12. Gubarkov A.A., Moskovchenko D.V., Babkin E.M., Pozhitkov R.Yu., Ivakov G.S., Ekologo-geokriologicheskii monitoring prirodnogo parka “Numto” (Ecological and geocryological monitoring of the natural park “Numto”), In: *Sovremennoe sostoyanie i perspektiva razvitiya seti osobo okhranyaemykh prirodnikh territorii v promyshlenno razvitykh regionakh* (Proc. II all-Russian Conf.), Ekaterinburg, 2022b, pp. 157–162.

13. Desyatkin R.V., Desyatkin A.R., Fedorov P.P., Temperaturnyi rezhim merzlotno-taezhnykh pochv tsentral'noi Yakutii (Temperature regime of the forest soils, central Yakutia), *Kriosfera Zemli*, 2012, Vol. XVI, No. 2, pp. 70–78.

14. Dimo V.N., *Teplivoi rezhim pochv SSSR: Diss ... dokt. s.-kh. nauk* (Thermal regime of soils in the USSR, Extended abstract of Dr. Agric. Sci. thesis), Moscow, 1971, 31 p.

15. Dobrovol'skii G.V., Urusevskaya I.S., *Geografiya pochv* (Soil geography), Moscow: Izdatel'stvo MSU, 2004, 460 p.

16. Drozdov D.S., Berdnikov N.M., Gravis A.G. et al., Osobennosti sovremennogo sostoyaniya kriogennykh landshaftov Zapadnoi Sibiri v zone ostrovnogo i preryvistogo rasprostraneniya merzloty (Features of the current state of cryogenic landscapes of Western Siberia in the zones of discontinuous and sporadic permafrost distribution), *Sovremennye issledovaniya transformatsii kriosfery i voprosy geotekhnicheskoi bezopasnosti sooruzhenii v Arktike* (Proc. Conf.), Salekhard, 2021, pp. 121–124.

17. Dyukarev E.A., Golovatskaya E.A., Duchkov A.D. et al., Eksperimental'noe issledovanie temperaturnogo rezhima torfyanoi zalezhi Bakcharskogo bolota (Zapadnaya Sibir) (Temperature monitoring in bakchar bog (West Siberia)), *Russian Geology and Geophysics*, 2009, Vol. 50, No.6, pp. 579–586.

18. Kaverin D.A., Pastukhov A.V., Mazhitova G.G., *Temperaturnyi rezhim tundrovyykh pochv i podstilayushchikh mnogoletnemerzlykh porod (evropeiskii severo-vostok Rossii) (Temperature regime of tundra soils and underlying permafrost rocks (European Northeast of Russia))*, *Kriosfera Zemli*, 2014, Vol. XVIII, No. 3, pp. 23–32.
19. Kaverin D.A., Pastukhov A.V., Novakovskii A.B., Biazhi K., Marushchak M., Elsakov V.V., *Vliyanie landshaftnykh i klimaticheskikh faktorov na glubinu sezonnogo protaivaniya v pochvakh bugristykh torfyanikov (na primere ploshchadki CALM R52) (Landscape and climatic factors impacting the thaw depth in soils of permafrost peat plateaus (on the example of CALM R52 site))*, *Kriosfera Zemli*, 2019, Vol. 23, No. 2, pp. 62–71, DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2019-2(62-71).
20. Kirpotin S.N., Berezin A.E., Semenova N.M., Shaduiko O.M., Peregon A.M., Antoshkina O.A., Pokrovskii O.S., Iosten Kh., *Zapadnaya Sibir' kak prirodnyi kollaid: klimatoreguliruyushchaya funktsiya vodno-bolotnykh ugodii (Western Siberia as a natural collider: climate-regulating function of wetlands)*, In: *Zapadno-Sibirskie torfyaniki i tsikl ugleroda: proshloe i nastoyashchee (Proc. of the Sixth International Field Symposium)*, Tomsk, 2021, pp. 23–26.
21. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii (Classification and diagnostics of soils of Russia)*, Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
22. Korkin S.E., Korkina E.A., *Analiz temperaturnogo monitoringa bolotnykh landshaftov agansko-purovskogo mezhdurech'ya i Vakhsko-Aganskoj podprovintsii (Analysis of temperature monitoring of swamp landscapes of the Agansk-Purovsky interfluve and the Vakh-Afghan subprovincion)*, In: *Zapadno-Sibirskie torfyaniki i tsikl ugleroda: proshloe i nastoyashchee (Proc. of the Sixth International Field Symposium)*, Tomsk, 2021, pp. 27–29.
23. Koronatova N.G., Mironycheva-Tokareva N.P., Solomin Ya.R., *Temperaturnyi rezhim torfyanoi zalezhi bugrov i topei ploskobugristykh bolotnykh kompleksov Zapadnoi Sibiri (Thermal regime of peat deposits of palsas and hollows of peat plateaus in Western Siberia)*, *Kriosfera Zemli*, 2018, Vol. XXII, No. 6, pp. 16–25, DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-6(16-25).
24. Lapshina E.D., *Bolota yugo-vostoka Zapadnoi Sibiri (botanicheskoe raznoobrazie, istoriya razvitiya i dinamika nakopleniya ugleroda v golotsene): Avtoref. diss. ... dokt. biol. nauk (Swamps of the South-East of Western Siberia (botanical diversity, history of development and dynamics of carbon accumulation in the Holocene), Dr. Boil. Sci. thesis)*, Tomsk, 2004, 23 p.
25. Moskalenko N.G., *Izmeneniya kriogennykh landshaftov severnoi taigi Zapadnoi Sibiri v usloviyakh menyayushchegosya klimata i tekhnogeneza (Cryogenic landscape changes in the West Siberian northern taiga in the*

conditions of climate change and human-induced disturbances), *Kriosfera Zemli*, 2012, Vol. XVI, No. 2, pp. 38–42.

26. Moskalenko N.G., *Izmenenie temperatury porod i rastitel'nosti pod vliyaniem menyayushchegosya klimata i tekhnogeneza v Nadymskom raione Zapadnoi Sibiri* (Changes in the temperature of rocks and vegetation under the influence of a changing climate and technogenesis in the nadym region of Western Siberia), *Kriosfera Zemli*, 2009, Vol. XIII, No. 4, pp. 18–23.

27. Moskovchenko D.V., *Istoriya razvitiya i nakoplenie khimicheskikh elementov v verkhovykh torfyanikakh parka Numto* (History of development and accumulation of chemical elements in the top peatlands of Numto Park), In: *Sovremennoe sostoyanie i perspektiva razvitiya seti osobo okhranyae-mykh prirodnykh territorii v promyshlennno razvitykh regionakh* (Proc. II all-Russian Conf.), Ekaterinburg, 2022, pp. 83–86.

28. Tolpysheva T.Yu., Shishkonakova E.A., *Itogi i perspektivy izucheniya lishainikov prirodnogo parka "Numto"* (Results and prospects of studying lichens of the Numto Nature Park), In: *Sovremennoe sostoyanie i perspektiva razvitiya seti osobo okhranyae-mykh prirodnykh territorii v promyshlennno razvitykh regionakh* (Proc. II all-Russian Conf.), Ekaterinburg, 2022, pp. 116–124.

29. Sherstyukov A.B., *Korrelyatsiya temperatury pochvogruntov s temperaturoi vozdukhа i vysotoi snezhnogo pokrova na territorii Rossii* (Correlation between soil temperature and air temperature and snow depth in Russia), *Kriosfera Zemli*, 2008, Vol. XII, No. 1, pp. 79–87.

30. Shishkonakova E.A., Abramova L.I., Avetov N.A., Tolpysheva T.Yu., Shvedchikova N.K., *Bolota kotloviny khasyreya Ai-Nadymtylor (prirodnyi park Numto, Khanty-Mansiiskii Avtonomnyi Okrug – Yugra)* (Wetlands formed on the former ai-nadymtylor lake bed (Numto nature park, Khanty-Mansi autonomous okrug)), *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdel biologicheskii*, 2013, Vol. 118, No. 2, pp. 48–56.

31. Shishkonakova E.A., Avetov N.A., Berezina N.A., Tolpysheva T.Yu., Shvedchikova N.K., *Proyavleniya regressivnykh protsessov na bolotakh yuzhnoi chasti prirodnogo parka Numto (Khanty-Mansiiskii avtonomnyi okrug – Yugra)* (Manifestation of regressive processes in mires of south part of Numto nature park (Khanty-Mansi autonomous okrug – Yugra)), *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdel biologicheskii*, 2016, Vol. 121, No. 3, pp. 39–50.

32. Shishkonakova E.A., Avetov N.A., Tolpysheva T.Yu., Tarlinskaya A.A., *Rastitel'naya indikatsiya termokarstovykh obrazovaniy bugristykh bolot v yuzhnoi chasti parka Numto (Zapadnaya Sibir')* (Plant indication of thermocarst forms in palsa mires in the south of nature park Numto (West Siberia)), *Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii*, 2019, Vol. 9, No. 1, pp. 27–57.

33. Shpolyanskaya N.A., Osadchaya G.G., Malkova G.V., *Sovremennoe izmenenie klimata i reaktsiya kriolitozony (na primere Zapadnoi Sibiri i Evropeiskogo Severa Rossii) (Modern climate change and permafrost reaction (on the example of Western Siberia and the European North of Russia), Geograficheskaya sreda i zhivye sistemy*, 2022, No. 1, pp. 6–30, DOI: [10.18384/2712-7621-2022-1-6-30](https://doi.org/10.18384/2712-7621-2022-1-6-30).
34. Bauer I.E., Vitt D.H., Peatland dynamics in a complex landscape: development of a fen-bog complex in the sporadic discontinuous permafrost zone of northern Alberta, Canada, *Boreas*, 2011, Vol. 40, No. 4, pp. 714–726, DOI: [10.1111/j.1502-3885.2011.00210.x](https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2011.00210.x).
35. Borge A.F., Westermann S., Solheim I., Etzelmüller B., Strong degradation of palsas and peat plateaus in northern Norway during the last 60 years, *The Cryosphere*, 2017, Vol. 11, pp. 1–16, DOI: [10.5194/tc-11-1-2017](https://doi.org/10.5194/tc-11-1-2017).
36. Chasmer L., Hopkinson C., Threshold loss of discontinuous permafrost and landscape evolution, *Glob Chang Biol.*, 2017, Vol. 23, pp. 2672–2686, DOI: [10.1111/gcb.13537](https://doi.org/10.1111/gcb.13537).
37. Kirpotin S.N., Western Siberia in a changing climate, *International Journal of Environmental Studies*, 2014, Vol. 71, No. 5, pp. 591–594, DOI: [10.1080/00207233.2014.945695](https://doi.org/10.1080/00207233.2014.945695).
38. Jones B.M., Baughman C.A., Romanovsky V.E., Parsekian A.D., Babcock E.L., Stephani E., Jones M.C., Grosse G., Berg E.E., Presence of rapidly degrading permafrost plateaus in south-central Alaska, *The Cryosphere*, 2016, Vol. 10, Iss. 6, pp. 2673–2692, DOI: [10.5194/tc-10-2673-2016](https://doi.org/10.5194/tc-10-2673-2016), 2016.
39. Lunardini V.J., Theory of N-factors and correlation of data, *Proc. 3rd International Conf. on Permafrost, Edmonton, Alberta, National Research Council of Canada, Ottawa*, 1978, No. 1, pp. 40–46.
40. Moskovchenko D.V., Afonin A.S., Pozhitkov R.Yu., Development history and composition of peatland in the Numto natural park in Western Siberia, Russia, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2022, Vol. 1093, 012010, DOI: [10.1088/1755-1315/1093/1/012010](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1093/1/012010).
41. Nelson F.E., Outcalt S.I., A computational method for prediction and regionalization of permafrost, *Arctic Alp. Res.*, 1987, Vol. 19, No. 3, pp. 279–288.
42. *Soil Taxonomy.*, By Soil Survey Staff. 2nd ed., New York, U.S. Department of Agriculture, Nat. Resour. Conserv. Service. Agricult. Handbook, 1999, No. 436, 869 p.
43. *Word Reference Base for Soil Resources*. 106, Food and agriculture organisation of the United Nations. Rome, 2014, 89 p.