
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОТКЛИКИ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ

Научная статья
УДК 631.436:551.34
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-2-62-73

РЕАКЦИЯ ТОРФЯНИКОВ ЮЖНОЙ КРИОЛИТОЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

© СС ВУ Московченко Д. В.¹, Губарьков А. А.²

¹ Тюменский научный центр СО РАН
625026, г. Тюмень, ул. Малыгина, д. 86, Российская Федерация
e-mail: moskovchenko1965@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6338-7669

² Тюменский научный центр СО РАН
625026, г. Тюмень, ул. Малыгина, д. 86, Российская Федерация
Тюменский индустриальный университет
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38, Российская Федерация
e-mail: agubarkov@rambler.ru; ORCID: 0000-0001-6338-7669

Поступила в редакцию 01.02.2025

После доработки 19.05.2025

Принята к публикации 09.06.2025

Аннотация

Цель. Оценка реакции мёрзлых торфяников в Западной Сибири на современные климатические изменения.

Процедура и методы. Наблюдения за температурным режимом пород в геокриологических скважинах на 2 участках в южной криолитозоне – в районе г. Тарко-Сале (ЯНАО) и на территории природного парка Нумто (ХМАО-Югра). Определение глубины сезонного протаивания по методике циркумполярного мониторинга CALM. Оценка изменения температуры в разных типах торфяников. Анализ метеопоказателей, влияющих на устойчивость многолетнемёрзлых пород (ММП): температура воздуха, мощность снежного покрова, определение трендов их изменений.

Результаты. В южной криолитозоне Западной Сибири в последние десятилетия наблюдается устойчивая тенденция роста температуры атмосферного воздуха и увеличения мощности снежного покрова, что несёт угрозу стабильности ММП. Усиление снегозадержания по мере сукцессионных смен растительности (восстановления древесного яруса) вызывает быстрый рост температуры грунтовой толщи и опускание кровли ММП. Кедровые ерниково-лишайниково-кустарничково-моховые северотаежные леса в настоящее время являются индикатором талых грунтов, в отличие от данных 50-летней давности, когда данный тип растительности индицировал наличие высокотемпературных ММП. На глубине нулевых годовых амплитуд температура ММП на участке Тарко-Сале выросла на 0,2°C за 10-летний период, на участке Нумто – роста температуры ММП за 5 лет наблюдений изменения не отмечено. Таким образом, высокотемпературные ММП медленно реагируют на современное потепление климата. Реакция торфяников зависит от морфологических особенностей болотного массива. Под обширными торфяниками с преобладанием бугров температура ММП относительно стабильна. Близка к точке таяния температура ММП узких торфяных гряд озерково-болотных комплексов, которые первыми будут таять в случае дальнейшего потепления.

Теоретическая и/или практическая значимость. Исследование температурного режима мерзлых грунтов позволяет прогнозировать устойчивость геосистем в условиях меняющегося климата и разработать методы сохранения инженерных сооружений. Полученные результаты расширяют возможности анализа взаимосвязей наземных покровов с геокриологическими условиями.

Ключевые слова: многолетнемёрзлые породы, островная криолитозона, потепление климата, температурный режим, Западная Сибирь

Благодарности. Исследование выполнено в рамках гранта РНФ № 23-27-00366 «Современная динамика мерзлых торфяников на южной границе распространения в Западной Сибири».

Для цитирования:

Московченко Д. В., Губарьков А. А. Реакция торфяников южной криолитозоны Западной Сибири на современные климатические изменения // Географическая среда и живые системы. 2025. № 2. С. 62–73. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-2-62-73

Original Article

RESPONSE OF PEATLANDS IN THE SOUTHERN CRYOLITHOZONE OF WESTERN SIBERIA TO CONTEMPORARY CLIMATIC CHANGES

D. Moskovchenko¹, A. Gubarkov²

¹ Tyumen Scientific Center SB RAS
ul. Malygina 86, Tyumen 625026, Russian Federation
e-mail: moskovchenko1965@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6338-7669

² Tyumen Scientific Center SB RAS
ul. Malygina 86, Tyumen 625026, Russian Federation
Industrial Institute of Tyumen
ul. Volodarskogo 38, Tyumen 625000, Russian Federation
e-mail: agubarkov@rambler.ru; ORCID: 0000-0001-6338-7669

Received 01.02.2025

Revised 19.05.2025

Accepted 09.06.2025

Abstract

Aim. To evaluate the response of frozen peatlands in Western Siberia to modern climatic changes.

Methodology. Soil temperature was measured at two sites in the zone of sporadic permafrost – near the town of Tarko-Sale, YNAO, and in the territory of the Numto Nature Park (Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra). The active layer thickness was measured in accordance with the circumpolar active layer monitoring (CALM) program. Soil temperature changes on different types of peatlands were assessed. Data from meteorological observatories were obtained to determine the dependence of ground temperature on meteorological parameters such as air temperature and snow depth.

Results. In the southern cryolithozone of Western Siberia, there has been a stable trend towards an increase in atmospheric air temperature and an increase in snow cover thickness in recent decades, which poses a threat to permafrost stability. Increased snow retention during successional changes in vegetation (restoration of the tree layer) causes a rapid increase in the temperature of the ground layer and a subsidence of the permafrost table. Coniferous northern taiga forests with dwarf birch-lichen-shrub-moss cover are currently an indicator of thawed soils, in contrast to the data of 50 years ago, when this type of vegetation indicated the presence of high-temperature permafrost. At the depth of zero annual amplitudes, the permafrost temperature in the Tarko-Sale area increased by 0,2°C over a 10-year period, while in the Numto area, no increase in permafrost temperature was noted over 5 years of observations. Thus, warm permafrost slowly responds to contemporary global warming. The response of peatlands depends on the morphological features of the peatlands. Under extensive flat-mound peatlands, the permafrost temperature is relatively stable. The permafrost temperature of narrow peat ridges of lake-bog complexes is close to the melting point; these will be the first to melt in the event of further warming.

Research implications. The study of the temperature regime of frozen soils allows us to predict the stability of geosystems under the climate warming and to develop methods for preserving engineering constructions. The results obtained expand the possibilities of analyzing the relationships between land covers and geocryological parameters.

Keywords: permafrost, island cryolithozone, global warming, temperature regime, Western Siberia

Acknowledgments: This research was supported by the Russian Science Foundation (RSF), Project no. 23-27-00366 “Contemporary dynamics of permafrost peatlands at the southern boundary of distribution in Western Siberia”.

For citation:

Moskovchenko D. V., Gubarkov A. A. (2025). Response of peatlands in the southern cryolithozone of Western Siberia to contemporary climatic changes. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2, 62–73. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-2-62-73

ВВЕДЕНИЕ

Современное потепление климата в полярных и приполярных районах вызывает интенсивный рост температуры многолетнемерзлых пород (ММП) и увеличение сезонного протаивания [19; 21; 22]. Среднегодовая температура мерзлых пород в западном секторе Российской Арктики, начиная с 1970 г., увеличивалась в южной тундре и лесотундре со скоростью 0,04–0,05°C / год, в северной тайге – 0,035°C / год [7]. Глубина сезонного протаивания в северной тайге в период 2010–2020 гг., по данным стационара Надым, росла в среднем на 6,8 см/год [23]. Деградация мерзлоты благоприятствует активному развитию растительного покрова и перемещению границ биоклиматических зон к северу [7]. Вызванная потеплением активизация экзогенных процессов (термокарста, солифлюкции, термоэрозии) может привести к разрушению инженерных сооружений и вызвать огромный экономический ущерб [17]. Это делает актуальным анализ современной динамики температурного режима мерзлых пород и исследование зависимости геокриологических показателей от природных и антропогенных факторов. Такие исследования особенно важны в южной криолитозоне, вблизи южной границы распространения ММП. Здесь отмечено сокращение площади мерзлых пород, рост глубины сезонного протаивания и увеличение температуры пород сезонно-талого слоя, активизация криогенных процессов,

в особенности термокарстовых просадок [7; 13; 14; 23]. Наибольшее увеличение температуры ММП под влиянием потепления характерно для крупнобугристых мерзлых торфяников [10]. Крупнобугристые болота в северной тайге Западной Сибири представлены изолированными, ограниченными по площади ареалами, причём большинство из них подвержены интенсивному термокарсту [1].

В южной криолитозоне мерзлота встречается преимущественно под плоско- и выпуклобугристыми торфяниками, как правило, высокольдистыми [15]. Прогнозируется, что при современном тренде роста температуры воздуха на уровне 0,05°C мерзлота в северной тайге Западной Сибири будет постепенно таять [20]. Сроки таяния оценены в 50–70 лет [11].

Однако сеть геокриологического мониторинга в настоящее время крайне разрежена. В Западной Сибири регулярные геокриологические наблюдения, позволяющие дать объективный прогноз реакции мерзлых пород на современные изменения климата, проводятся преимущественно на севере криолитозоны. В южной криолитозоне до недавнего времени имелась информация только по 6 наблюдательным скважинам [7]. Основные выводы по динамике температурного режима и устойчивости мерзлых торфяников в южной криолитозоне сделаны по данным одного участка – Надымского стационара [4; 5; 6; 12; 18].

В данной работе обсуждаются геокриологические показатели на 2 участках, расположенных в Западной Сибири в зоне

островного и редкоостровного распространения ММП – в районе г. Тарко-Сале (ЯНАО) и в районе природного парка Нумто (ХМАО-Югра). Целью исследования было определение реакции мёрзлых торфяников на современные климатические изменения.

Участок Тарко-Сале ($65^{\circ}02'$ с.ш., $77^{\circ}30'$ в.д.) (рис. 1) расположен в подзоне северной тайги, на междуречье р. Тьдэотта и р. Хальмигьяха, впадающих в р. Пякупур. Все площадки наблюдений находятся на III надпойменной террасе, относительное превышение над урезом воды р. Пякупур составляет 32–35 м. Слабодренитованная, заболоченная территория с большим количеством больших и малых озёр, относится к озерно-болотному типу местности [9].

Замеры температуры грунта на участке Тарко-Сале проводились в 3 скважинах глубиной 30 м. Скважина 1 пробурена на обширном плоском торфянике, покрытом

кустарничково-лишайниково-моховой растительностью. Разреженный кустарниковый ярус представлен карликовой березкой высотой менее 0,5 м и сомкнутостью 0,1; древесная растительность отсутствует. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса 100%. Замеры снежного покрова показали, что его глубина составляет 30–40 см. Скважина 2 расположена на торфяной гряде, возвышающейся над прилегающими мочажинами на 2–2,5 м. Гряда покрыта кедровым редколесьем с ерничково-кустарничково-лишайниковым напочвенным покровом. Растительность представляет собой позднюю стадию пиогенной сукцессии. В 2005 г., во время бурения скважин, здесь был отмечен единичный подрост кедра высотой не более 0,5 м, высокие кустарники отсутствовали. В настоящее время наблюдается многочисленный подрост деревьев сомкнутостью 0,1–0,2 и высотой до 1 м.

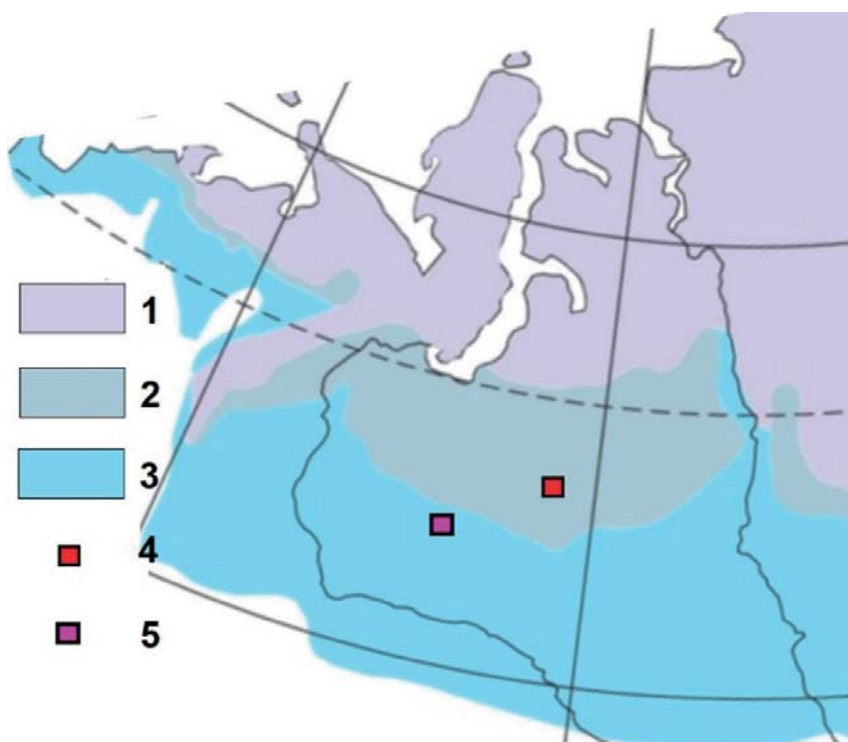


Рис. 1 / Fig. 1. Схема участков опробования. Геокриологические зоны: 1 – сплошного распространения ММП; 2 – прерывистого; 3 – островного и редкоостровного; участки наблюдений: 4 – Тарко-Сале; 5 – Нумто / Study area. Permafrost zones: 1 – Continuous; 2 – Discontinuous; 3 – Sporadic and island; Study sites: 4 – Tarko-Sale; 5 – Numto

Источник: участки исследований выделены авторами, геокриологические зоны отмечены по: Геокриологическая карта СССР масштаба 1:2 500 000 / под ред. Э. Д. Ершова, К. А. Кондратьевой. М.: 1991. использована Геокриологическая карта СССР (1991), участки исследований выделены авторами

Скважина 3 расположена в краевой части надпойменной террасы, вблизи долины р. Пур, в среднесомкнутом темнохвойном лиственнично-елово-кедровом лесу с ерничково-лишайничково-кустарничково-моховым покровом.

Массивы пород в разрезах скважин 1 и 2 сложены с поверхности торфом мощностью 1,1 м. Под торфом залегают суглинки, подстилаемые песками и супесями, а с глубины 18–20 м – глинами. Разрез скважины 3 до глубины 14 м представлен пере-слаивающимися песками, супесями и суглинками, с преобладанием песков. Глубже 14 м разрез сложен мелкими песками.

Второй участок (природный парк Нумто, координаты 63°10'–64°20' с.ш., 70°00'–71°35' в.д.) расположен в северной части ХМАО-Югры, в северотаёжной подзоне. На участке пробурено 10 скважин, 9 из которых расположены на мёрзлых торфяниках (плоско- и выпуклобугристых), 1 – в сосновом лесу, где мерзлота отсутствует. Плоскобугристые торфяники представляет собой сочетание бугров высотой около 1 м, покрытых ерничково-кустарничково-лишайниковой растительностью и мочажин различной степени обводненности с осоково-сфагновыми, пушицево-сфагновыми сообществами. Мощность торфа составляет 1,0–2,5 м. Две скважины пробурены в торфяниках, образовавшихся в результате мерзлотного пучения – на одиночном бугре пучения высотой 5 м с деградирующим слоем торфа на вершине и на бугре высотой 3,5 м, расположенном в пределах крупнобугристого болотного массива и сложенном сильнольдистым торфом мощностью 3,1 м. Минеральные породы, подстилающие торф, представлены льдистыми и сильнольдистыми песками и супесями, реже суглинками. Замеры температуры были начаты в 2019–2021 гг. Определение температуры грунта проводилось с применением системы автоматического мониторинга «САМ-Н» (ИМКЭС СО РАН г. Томск).

Измерения сезонноталого слоя проводились по методике CALM (*Circumpolar Active Layer Monitoring*) [16], для чего на площадке 100Ч100 м через каждые 10 м проводились замеры СТС с использованием стального щупа. Для оценки клима-

тических показателей, влияющих на температурный режим грунтов (температура воздуха, мощность снежного покрова), были проанализированы данные, полученные на ближайших к участкам опробования метеостанциях Тарко-Сале и Юильск¹.

РЕАКЦИЯ ТОРФЯНИКОВ НА СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Метеопоказатели

На обследованных участках наблюдается отчётливо выраженный тренд роста приземной температуры воздуха. По данным метеостанции Тарко-Сале, за период 1996–2023 гг. среднегодовая температура составила $-4,5^{\circ}\text{C}$, повышаясь в среднем на $0,13^{\circ}\text{C}$ / год. На метеостанции Юильск, ближайшей к участку Нумто, среднегодовая температура росла со скоростью $0,096^{\circ}\text{C}$ / год. В аномально тёплом 2020 г. среднегодовая температура вышла в положительный диапазон (рис. 2).

Максимальная мощность снежного покрова на участке Тарко-Сале варьировала от 60 до 104 см, на участке Нумто – от 48 до 94 см (рис. 3). Тренд положительный, в особенности на участке Тарко-Сале, где мощность снежного покрова росла в среднем на 0,65 см за год.

Температурный режим грунтов

Участок Тарко-Сале. В скважине 1, расположенной на безлесном плоскобугристом торфянике, температура пород на глубине нулевых годовых теплооборотов составляла $-1,7^{\circ}\text{C}$ и не менялась за время наблюдений. Однако ближе к поверхности температура значительно выросла. Максимальный рост (на $1,8^{\circ}\text{C}$) отмечен на глубине 5 м (рис. 4а). При этом глубина сезонного протаивания была относительно стабильной и составила в среднем 47 см.

В скважине 2, расположенной в торфяной гряде, глубина сезонного протаивания и температура верхней толщи ММП были больше, чем на плоском торфянике. Мощность СТС, замеренная по методике CALM, составила в среднем 62 см, что на 30% выше значений 2007 г. Температура

¹ www.meteo.ru, rp5.ru

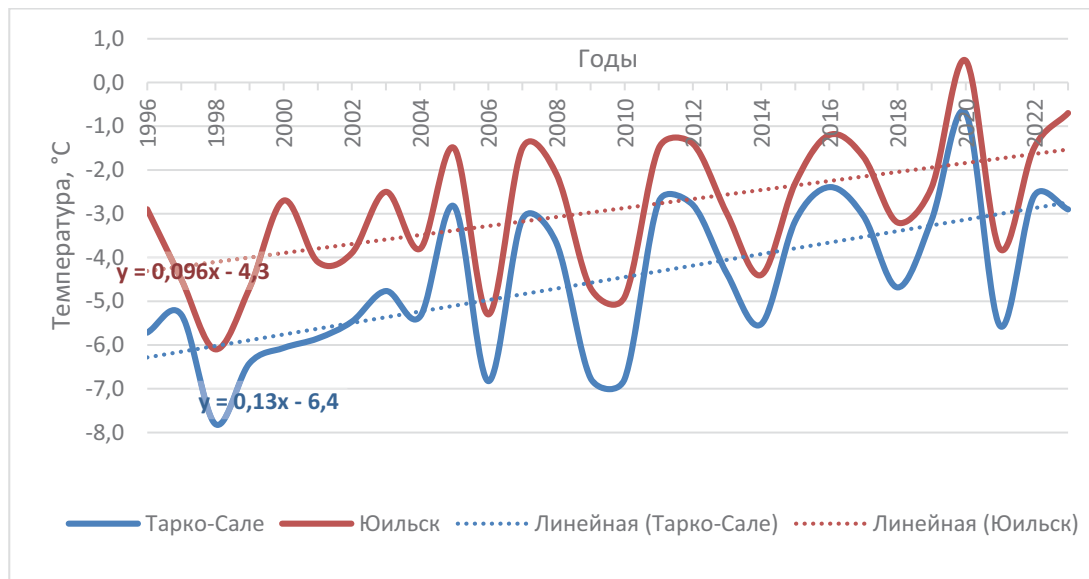


Рис. 2 / Fig. 2. Среднегодовая температура воздуха по данным метеостанций Тарко-Сале и Юильск / Time series of air temperature (data from Tarko-Sale and Yuilsk Meteorological Observatories)

Источник: составлено авторами

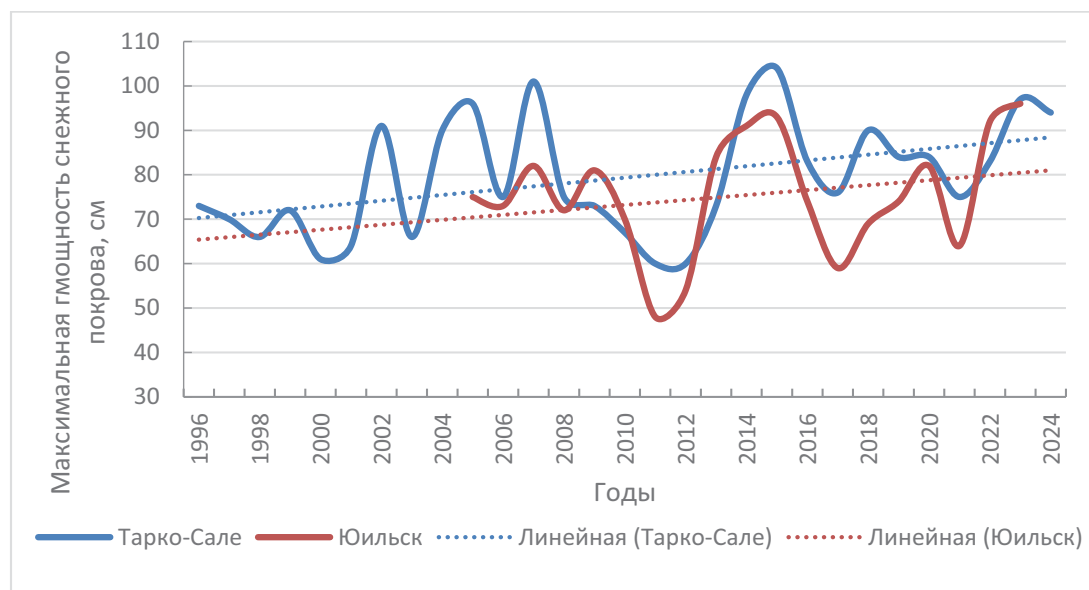


Рис. 3 / Fig. 3. Максимальная мощность снежного покрова по данным метеостанций Тарко-Сале и Юильск / Average annual amount maximum snow depth according to records from Tarko-Sale and Yuilsk Meteorological Observatories

Источник: составлено авторами

ММП на глубине 10 м составляла $-0,4^{\circ}\text{C}$, на глубине 30 м — была близка к точке таяния ($-0,1^{\circ}\text{C}$), что свидетельствует о промерзании с поверхности в недавнем прошлом. В 2018 г. температура ММП на глубине 10 м повысилась на $0,2^{\circ}\text{C}$ (рис. 4б). Рост температур привёл к оттаиванию мёрзлых пород до глубины 5 м.

В скважине 3, расположенной в тем-нохвойном лесу, температура пород была положительной во все годы наблюдений (рис. 4в). На глубине нулевых теплообор-тов температура составила $+0,8^{\circ}\text{C}$. Увели-чение температуры талых пород отмечено в верхних 3 м и на глубине 10–20 м, при-чём максимальный рост температур, почти

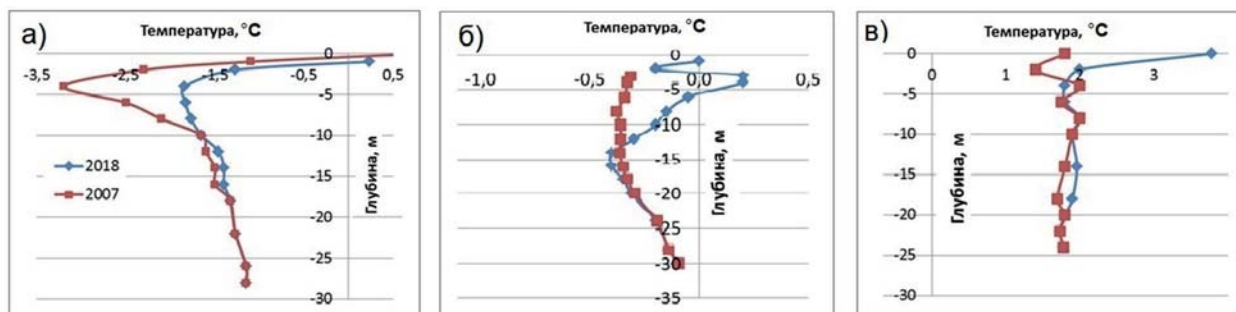


Рис. 4 / Fig. 4. Температура грунтов в термометрических скважинах участка Тарко-Сале в 2007–2018 гг.: а) скважина 1 (плоскобугристый торфяник); б) скважина 2 (торфяная гряда с подростом кедра); в) скважина 3 (темнохвойных лес) / Ground temperature in thermometric boreholes of the Tarko-Sale site in 2007–2018: a) borehole 1 (flat-mound peatland); b) borehole 2 (string palsa with cedar regrows); c) borehole 3 (dark coniferous forest)

Источник: составлено авторами

на 2°C, отмечен в поверхностном метровом слое.

Участок Нумто. Температура пород на глубине нулевых теплооборотов (10 м) под торфяниками на разных участках варьировала от -0,5 до -0,1°C. Минимальная температура -0,5°C отмечена на крупнобугристом торфянике. Поскольку на высоких буграх слой снега относительно невелик (по данным снегомерных съёмок, он составляет 20–30 см), зимнее охлаждение грунта здесь происходит значительно сильнее, чем на плоскобугристых торфяниках, что приводит к снижению температуры ММП. Температура, близкая к точке таяния (-0,1°C), отмечена на низкой деградирующей торфяной гряде. Таким образом, узкие торфяные гряды, в отличие

от обширных массивов плоскобугристых торфяников, отличаются более высокой температурой ММП. В период наблюдений (2019–2024 гг.) температура ММП на глубине нулевых теплооборотов практически не менялась, наблюдались лишь незначительные разнонаправленные флуктуации, не превышающие 0,1°C (рис. 5). В сезонно-мёрзлых грунтах под сосновым лесом температура на глубине 10 м в период максимального прогревания (начало сентября) была положительной и варьировала от +4,9 до +5,3°C.

Поскольку период наблюдений был невелик (2019–2024 гг.), нам не удалось зафиксировать устойчивый тренд роста температур ММП и верхнего сезонно-мёрзлого слоя. Исключение составил оди-

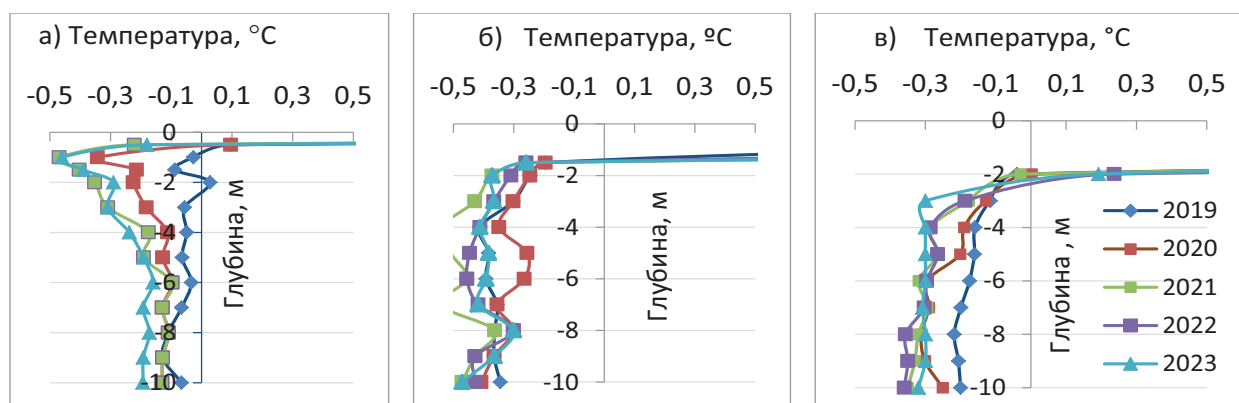


Рис. 5 / Fig. 5. Температура грунтов в термометрических скважинах участка Нумто в 2019–2024 гг.: а) плоскобугристый торфяник; б) крупнобугристый торфяной массив; в) одиночный бугор пучения / Ground temperature in thermometric boreholes of the Numto site in 2019–2024: a) flat-mound peatland; б) high-mound peatland; в) pingo

Источник: составлено авторами

ночный бугор пучения, где температура постепенно возрастала, а кровля ММП снизилась с 2 до 2,5 м (рис. 5в).

Средняя глубина протаивания на участке варьировалась год от года в зависимости от метеоусловий. Максимальная глубина (74 см) была отмечена в 2023 г., что на 25% больше, чем в холодном 2021 г.

Данные метеонаблюдений показывают, что в южной криолитозоне Западной Сибири наблюдается устойчивые тренды роста температуры воздуха и мощности снежного покрова. Рост температур атмосферного воздуха в южной криолитозоне Западной Сибири происходит значительно быстрее, чем в целом на территории России. Среднероссийский тренд среднегодовой температуры приземного слоя воздуха составляет $+0,049^{\circ}\text{C} / \text{год}$ [8]. Это в 2,0 и 2,6 раза меньше, чем в районе размещения метеостанций Юильск и Тарко-Сале, соответственно.

Обследованные ММП относятся к высокотемпературным ($t=0\dots-2^{\circ}\text{C}$). Известно, что высокотемпературные ММП отличаются замедленной реакцией на изменения климата по сравнению с более северными низкотемпературными мёрзлыми породами [7]. Если в арктических районах зачастую фиксируется потепление низкотемпературной мерзлоты со скоростью 1°C , то высокотемпературные ММП в Субарктике теплеет со скоростью менее $0,3^{\circ}\text{C}$ [24].

Исследование подтвердило медленную реакцию мерзлоты в южной криолитозоне на потепление. Под торфяниками, где моховой покров и верхние слои торфа препятствуют теплообмену, температура поверхностных горизонтов слабо подвержена влиянию климатических изменений. Исключение составляют узкие торфяные гряды бугристо-мочажинных и бугристо-озерковых комплексов, где температура ММП в настоящее время приблизилась к 0°C , а также участки, где на температурный режим пород влияют такие факторы, как мощность снежного покрова. На глубине нулевых теплооборотов отчётливый рост температуры отмечен только на одной площадке, расположенной на торфяной гряде, на которой происходит послепожарное восстановление растительности

(участок Тарко-Сале). Здесь улучшение лесорастительных условий, выражающееся в росте температур верхнего слоя грунтов, улучшении минерального питания и общем росте температур воздуха, привело к формированию обильного кедрового подроста. Изменение растительности, в свою очередь, вызвало улучшение условий снегонакопления. Известно, что основным регулирующим фактором теплового состояния грунтов мерзлотных ландшафтов являются колебания режима снегонакопления [3].

Усиление накопления снега при формировании древесного яруса ослабило промерзание верхней толщи грунтов, привело к оттаиванию и опусканию кровли мерзлоты до глубины 5 м, росту температуры на глубине нулевых теплооборотов на $0,2^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. Однако даже в этих условиях темпы потепления ММП остаются невысокими по сравнению с другими участками криолитозоны.

Потепление поверхностных горизонтов почв отчетливо проявляется на лесопокрытых территориях, где многолетнемёрзлые породы в настоящее время отсутствуют. Так, в районе Тарко-Сале рост температур грунтов под темнохвойным лесом составил около $2^{\circ}\text{C} / 10$ лет. Примечательно, что 50 лет назад, под северотаёжными кедровыми моховыми лесами ММП были широко распространены, а температура грунтов варьировала от $-0,2$ до $+0,1^{\circ}\text{C}$ [2]. В настоящее время ММП полностью отсутствуют, температура на глубине нулевых теплооборотов положительная ($+0,8^{\circ}\text{C}$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В южной криолитозоне Западной Сибири в последние десятилетия наблюдается устойчивая тенденция роста температуры атмосферного воздуха и увеличения мощности снежного покрова, что несёт угрозу стабильности ММП. В настоящее время мерзлота в подзоне северной тайги развита исключительно под торфяниками.

Проведённые наблюдения за температурой ММП, сезонноталым слоем и мощностью снежного покрова показали, что изменение одного из компонентов ландшафта

шафта может существенно повлиять на исходное состояние множества ландшафтно-геокриологических характеристик. Так, усиление снегозадержания по мере сукцессионных смен растительности (восстановления древесного яруса) вызывает быстрый рост температуры грунтовой толщи и опускание кровли ММП. На глубине нулевых годовых амплитуд температура ММП на участке Тарко-Сале выросла на 0,2°C за 10-летний период, на участке Нумто роста температуры ММП за 5 лет наблюдений изменения не отмечено.

Таким образом, высокотемпературные ММП медленно реагируют на современное потепление климата. Рост температуры грунтов на лесных участках, где ММП

отсутствуют, происходит значительно быстрее, чем под мерзлыми торфяниками. Кедровые ерниково-лишайниково-кустарничково-моховые северотаежные леса в настоящее время являются индикатором талых грунтов, в отличие от данных 50-летней давности, когда данный тип растительности индицировал наличие высокотемпературных ММП. Реакция торфяников зависит от морфологических особенностей болотного массива. Под обширными торфяниками с преобладанием бугров температура ММП относительно стабильна. Близка к точке таяния температура ММП узких торфяных гряд озерково-болотных комплексов, которые первыми будут таять в случае дальнейшего потепления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аветов Н. А., Кузнецов О. Л., Шишконова Е. А. Опыт использования классификации и диагностики почв России в систематике торфяных почв биогеоценозов олиготрофных болот северотаежной подзоны Западной Сибири // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2019. № 4. С. 37–47.
2. Аралова Н. С. Растительность – индикатор состава и свойств грунтов северной тайги Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол.наук. М., 1971. 26 с.
3. Варламов С. П., Скачков Ю. Б., Скрыбин П. Н. Результаты 35-летних мониторинговых исследований криолитозоны на стационаре «Чабыда» (Центральная Якутия) // Наука и образование. 2017. № 2. С. 34–40.
4. Взаимосвязь геокриологических условий и гидротермических параметров почв плоскобугристых торфяников севера Западной Сибири (стационар Надым) / А. А. Бобрик, О. Ю. Гончарова, Г. В. Матышак, И. М. Рыжова и др. // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX. № 4. С. 31–38.
5. Вклад климатических факторов в формирование температурных режимов почв прерывистой криолитозоны северной тайги Западной Сибири / О. Ю. Гончарова, Г. В. Матышак, А. А. Бобрик, Д. Г. Петров и др. // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2017. № 87. С. 39–54. DOI: 10.19047/0136-1694-2017-87-39-54
6. Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Бобрик А.А. Температурный режим северотаежных почв Западной Сибири в условиях островного распространения многолетнемерзлых пород // Почвоведение. 2015. № 12. С. 1462–1473. DOI: 10.1134/S1064229315100038
7. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе Российской Арктики / А. А. Васильев, А. Г. Гравис, А. А. Губарьков, Д. С. Дроздов и др. // Криосфера Земли. 2020. Т. XXIV. № 2. С. 15–30. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-2(15-30)
8. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М.: Государственный гидрологический институт Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации, 2023. 104 с.
9. Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции / Е. С. Мельников, Л. И. Вейсман, Н. Г. Москаленко и др. Новосибирск: Наука, 1983. 164 с.
10. 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.
11. Московченко Д. В., Губарьков А. А., Фахретдинов А. В. Температурный режим торфяников Западной Сибири вблизи южной границы распространения многолетнемерзлых пород // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2024. Т. 335. № 9. С. 160–168. DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4456
12. Основные результаты мониторинга мощности деятельного слоя на площадках CALM Надымского стационара / А. Г. Гра-

- вис, Е. В. Устинова, О. Е. Пономарева, Д. С. Дроздов и др. // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2024. Т. 27. № 1. С. 39–51. DOI: 10.21443/1560-9278-2024-27-1-39-51
13. Особенности современного состояния криогенных ландшафтов Западной Сибири в зоне островного и прерывистого распространения мерзлоты / Д. С. Дроздов, Н. М. Бердников, А. Г. Гравис, А. А. Губарьков, и др. // Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике: мат-лы конф. / под ред. В. П. Мельникова, М. Р. Садуртдинова. Салехард, 2021. С. 121–124.
 14. Проявления регрессивных процессов на болотах южной части природного парка Нумто (Ханты-Мансийский автономный округ – Югра) / Е. А. Шишконокова, Н. А. Аветов, Н. А. Березина, Т. Ю. Толпышева и др. // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2016. Т. 121. № 3. С. 39–50.
 15. 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. DOI: 10.18384/2712-7621-2022-1-6-30
 16. Brown J., Hinkel K. M., Nelson F. E. The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) program: historical perspectives and initial results // Polar Geography. 2000. Vol. 24. P. 165–258.
 17. Climate warming and permafrost thaw in the Russian Arctic: potential economic impacts on public infrastructure by 2050 / V. P. Melnikov, V. I. Osipov, A. V. Brouchkov, et al. // Natural Hazards. 2022. Vol. 112. P. 231–251. DOI: 10.1007/s11069-021-05179-6
 18. Contrasting soil thermal regimes in the Forest-tundra transition near Nadym, West Siberia, Russia / G. V. Matyshak, O. Y. Goncharova, N. G. Moskalenko, D. A. Walker, et al. // Permafrost and Periglacial Processes. 2017. Vol. 28. P. 108–118. DOI: 10.1002/ppp.1882
 19. Gutiérrez J. M., Jones R. G., Narisma G. T., et al. Climate change: the physical science basis contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change // Cambridge University Press. 2021. P. 1927–2058. DOI: 10.1017/9781009157896.021
 20. Observations and modelling of ground temperature evolution in the discontinuous permafrost zone in Nadym, north-west Siberia / E. Kukkonen, E. Suhonen, E. Ezhova, H. Lappalainen, et al. // Permafrost and Periglacial Processes. 2020. Vol. 31. № 2. P. 64–280. DOI: 10.1002/ppp.2040
 21. Permafrost is warming at a global scale / B. K. Biskaborn, S. L. Smith, J. Noetzli, H. Matthes, et al. // Nature Communications. 2019. Vol. 10. DOI: 10.1038/s41467-018-08240-4
 22. Permafrost Thaw in Northern Peatlands: Rapid Changes in Ecosystem and Landscape Functions / D. Olefeldt, L. Heffernan, M. C. Jones, A. B. K. Sannel, et al. In: Ecosystem Collapse and Climate Change. Ecological Studies / J. G. Canadell, R. B. Jackson, eds. Cham: Springer, 2021. P. 27–67.
 23. Spatial and Temporal Variability of Permafrost in the Western Part of the Russian Arctic / G. Malkova, D. Drozdov, A. Vasiliev, A. Gravis, et al. // Energies. 2022. Vol. 15. № 7. DOI: 10.3390/en15072311
 24. The changing thermal state of permafrost / S. L. Smith, H. B. O'Neill, K. Isaksen, J. Noetzli, V. E. Romanovsky // Nature reviews. 2022. Vol. 3. P. 10–23. DOI: 10.1038/s43017-021-00240-1

REFERENCES

1. Avetov N. A., Kuznetsov O. L., Shishkonakova E. A. [Experience of using the classification and diagnostics of Russian soils in the systematics of peat soils of biogeocenoses of oligotrophic bogs of the northern taiga subzone of Western Siberia]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedeniye* [Bulletin of Moscow University. Series 17: Soil Science], 2019, no. 4, pp. 37–47.
2. Aralova N. S. *Rastitel'nost – indikator sostava i svoystv gruntov severnoy taygi Sibiri: avtoref. dis. ... kand. biol.nauk* [Vegetation as an indicator of the composition and properties of soils of the northern taiga of Western Siberia: abstract of Cand. Sci. thesis in Biological Sciences]. Moscow, 1971. 26 p.
3. Varlamov S. P., Skachkov Yu. B., Skryabin P. N. [Results of 35-year monitoring studies of the cryolithozone at the Chabyda station (Central Yakutia)]. In: *Nauka i obrazovaniye* [Science and Education], 2017, no. 2, pp. 34–40.
4. Bobrik A. A., Goncharova O. Yu., Matyshak G. V., Ryzhova I. M., et al. [The relationship between geocryological conditions and hydrothermal parameters of flat-hummocky peatland soils in the north of Western Siberia (Nadym station)]. In: *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2015, vol. XIX, no. 4, pp. 31–38.

5. Goncharova O. Yu., Matyshak G. V., Bobrik A. A., Petrov D. G., et al. [The contribution of climatic factors to the formation of temperature regimes in soils of the discontinuous cryolithozone of the northern taiga of Western Siberia]. In: *Byulleten Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchayeva* [Bulletin of the Dokuchaev Soil Science Institute], 2017, no. 87, pp. 39–54. DOI: 10.19047/0136-1694-2017-87-39-54
6. Goncharova O. Yu., Matyshak G. V., Bobrik A. A. [Temperature regime of northern taiga soils of Western Siberia under conditions of island distribution of permafrost]. In: *Pochvovedeniye* [Soil Science], 2015, no. 12, pp. 1462–1473. DOI: 10.1134/S1064229315100038
7. Vasiliev A. A., Gravis A. G., Gubarkov A. A., Drozdov D. S., et al. [Permafrost degradation: results of long-term geocryological monitoring in the western sector of the Russian Arctic]. In: *Kriosfera Zemli* [Cryosphere of the Earth], 2020, vol. XXIV, no. 2, pp. 15–30. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-2(15-30)
8. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii na 2022 god.* [Report on the climate features in the territory of the Russian Federation for 2022]. Moscow, State Hydrological Institute of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of the Russian Federation Publ., 2023. 104 p.
9. Melnikov E. S., Veisman L. I., Moskalenko N. G., et al. *Landshafty kriolitozony Zapadno-Sibirskoy gazonosnoy provintsii* [Landscapes of the cryolithozone of the West Siberian gas province]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1983. 164 p.
10. Moskalenko N. G. [Change in the temperature of rocks and vegetation under the influence of changing climate and technogenesis in the Nadym region of Western Siberia]. In: *Kriosfera Zemli* [Cryosphere of the Earth], 2009, vol. XIII, no. 4, pp. 18–23.
11. Moskovchenko D. V., Gubarkov A. A., Fakhretdinov A. V. [Temperature regime of peatlands in Western Siberia near the southern boundary of permafrost distribution]. In: *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering], 2024, vol. 335, no. 9, pp. 160–168. DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4456
12. Gravis A. G., Ustinova E. V., Ponomareva O. E., Drozdov D. S., et al. [Main results of monitoring the active layer thickness at the CALM sites of the Nadym stationary site]. In: *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Moscow State Technical University. Transactions of Murmansk State Technical University], 2024, vol. 27, no. 1, pp. 39–51. DOI: 10.21443/1560-9278-2024-27-1-39-51
13. Drozdov D. S., Berdnikov N. M., Gravis A. G., Gubarkov A. A., et al. [Features of the current state of cryogenic landscapes of Western Siberia in the zone of island and discontinuous permafrost distribution]. In: Melnikov V.P., Sadurtdinov M. R., eds. *Sovremennyye issledovaniya transformatsii kriosfery i voprosy geotekhnicheskoy bezopasnosti ob'yektov v Arktike* [Modern studies of the transformation of the cryosphere and issues of geotechnical safety of structures in the Arctic]. Salekhard, 2021, pp. 121–124.
14. Shishkonakova E. A., Avetov N. A., Berezhina N. A., Tolpysheva T. Yu., et al. [Manifestations of regressive processes in the swamps of the southern part of the Numto Nature Park (Khanty-Mansi Autonomous Okrug - Yugra)]. In: *Byulleten Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskoy* [Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Biological Department], 2016, vol. 121, no. 3, pp. 39–50.
15. Shpolyanskaya N. A., Osadchaya G. G., Malkova G. V. [Modern climate change and the reaction of the cryolithozone (on the example of Western Siberia and the European North of Russia)]. In: *Geograficheskaya sreda i zhivyye sistemy* [Geographical environment and living systems], 2022, no. 1, pp. 6–30. DOI: 10.18384/2712-7621-2022-1-6-30
16. Brown J., Hinkel K. M., Nelson F. E. The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) program: historical perspectives and initial results. In: *Polar Geography*, 2000, vol. 24, pp. 165–258.
17. Melnikov V. P., Osipov V. I., Brouchkov A. V., et al. Climate warming and permafrost thaw in the Russian Arctic: potential economic impacts on public infrastructure by 2050. In: *Natural Hazards*, 2022, vol. 112, pp. 231–251. DOI: 10.1007/s11069-021-05179-6
18. Matyshak G. V., Goncharova O. Y., Moskalenko N. G., Walker D. A., et al. Contrasting soil thermal regimes in the Forest-tundra transition near Nadym, West Siberia, Russia. In: *Permafrost and Periglacial Processes*, 2017, vol. 28, pp. 108–118. DOI: 10.1002/ppp.1882
19. Gutiérrez J. M., Jones R. G., Narisma G. T., et al. Climate change: the physical science basis contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. In: *Cambridge University Press*, 2021, pp. 1927–2058. DOI: 10.1017/9781009157896.021

20. Kukkonen E., Suhonen E., Ezhova E., Lappalainen H., et al. Observations and modelling of ground temperature evolution in the discontinuous permafrost zone in Nadym, north-west Siberia. In: *Permafrost and Periglacial Processes*, 2020, vol. 31, no. 2, pp. 64–280. DOI: 10.1002/ppp.2040
 21. Permafrost is warming at a global scale / B. K. Biskaborn, S. L. Smith, J. Noetzli, H. Matthes, et al. In: *Nature Communications*, 2019, vol. 10. DOI: 10.1038/s41467-018-08240-4
 22. Olefeldt D., Heffernan L., Jones M. C., Sannel A. B. K., et al. Permafrost Thaw in Northern Peatlands: Rapid Changes in Ecosystem and Landscape Functions. In: Canadell J. G., Jackson R. B., eds. *Ecosystem Collapse and Climate Change. Ecological Studies*. Cham: Springer, 2021. P. 27–67.
 23. Malkova G., Drozdov D., Vasiliev A., Gravis A., et al. Spatial and Temporal Variability of Permafrost in the Western Part of the Russian Arctic. In: *Energies*, 2022, vol. 15, no. 7. DOI: 10.3390/en15072311
 24. Smith S. L., O’Neill H. B., Isaksen K., Noetzli J., Romanovsky V. E. The changing thermal state of permafrost. In: *Nature reviews*, 2022, vol. 3, pp. 10–23. DOI: 10.1038/s43017-021-00240-1
-

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Московченко Дмитрий Валерьевич – доктор географических наук, главный научный сотрудник Института проблем освоения Севера Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук;
e-mail: moskovchenko1965@gmail.com

Губарьков Анатолий Анатольевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Тюменского индустриального университета;
e-mail: agubarkov@rambler.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry V. Moskovchenko – Dr. Sci. (Geography), Principal investigator, Institute of the problems of Northern development, Tyumen Scientific Centre, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
e-mail: moskovchenko1965@gmail.com

Anatoly A. Gubarkov – PhD (Technical), Senior researcher, Industrial University of Tyumen;
e-mail: agubarkov@rambler.ru