



МОНИТОРИНГ ГЛУБИНЫ СЕЗОННОГО ПРОТАИВАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В 2024 Г.

✉ Хомутов А.В.¹, Бабкина Е.А.¹, Бурдак Д.В.², Данько М.М.¹, Мареев В.А.^{1,2},
Факацук Н.Ю.¹

¹ Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия;

² Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

✉ artcryo@ya.ru

В 2024 г. был продолжен мониторинг глубины сезонного протаивания и температуры многолетнемерзлых пород на нескольких стационарных участках севера Западной Сибири: научно-исследовательском стационаре «Васькины Дачи», полянах «Газовский», «Антипаюта» и «Гыда». Продление рядов наблюдений за глубиной протаивания и температурой верхней части многолетнемерзлых пород позволяет отслеживать многолетние тренды изменения состояния верхней части криолитозоны.

Ключевые слова: глубина протаивания, температура пород, многолетнемерзлые породы, мониторинг, сезонно-таль слой, север Западной Сибири

Введение. Продолжающиеся длительные ряды наблюдений за глубиной протаивания и температурой верхней части многолетнемерзлых пород (ММП) позволяет отслеживать многолетние тренды изменения состояния верхней части криолитозоны, а новые точки наблюдений необходимы для дифференциации получаемых закономерностей исходя из различий природных условий в пределах севера Западной Сибири.

Участки мониторинга. В 2024 г. мониторинг глубины сезонного протаивания и температуры верхней части ММП на севере Западной Сибири проводился авторами на базе 4 стационаров: научно-исследовательского стационара (НИС) «Васькины Дачи» [Лейбман, Хомутов, 2019] в центральной части полуострова Ямал, полигонов «Газовский» [Хомутов и др., 2019] на севере Пур-Тазовского междуречья, «Гыда» [Тихонравова и др., 2019] на севере Гыданского полуострова и «Антипаюта» в центральной части Гыданского полуострова на побережье Тазовской губы (рис. 1). Основу наблюдательной сети за глубиной протаивания составляют площадки, оборудованные либо в соответствии с [Brown et al., 2000], либо с обоснованными отклонениями от принятого протокола CALM.

На стационаре «Васькины Дачи» таких площадок – пять, характеризующихся различными ландшафтными условиями. Действующая с 1993 г. «классическая» площадка CALM размером 100 на 100 м (121 точка) расположена в пределах вершины и юго-восточного склона III аллювиально-морской равнины с песками и супесями на вершине и преобладанием суглинков с участием засоленных глин на склоне. На вершинной поверхности развиты полигональные дренированные травяно-кустарничково-мохово-лишайниковые тундры в сочетании с песчаными раздувами, а на склоне – кустарниковая тундра [Мельников и др., 2005], в том числе с участками высоких ивняков и переработанными термоэрзией поверхностями скольжения криогенных оползней. Площадки ВД-1, ВД-2, ВД-3 размером 50 на 50 м (55 точек каждая) были заложены в 2007 г. в рамках работ вдоль трансекты «Ямал» [Лейбман и др., 2011] в однородных условиях на характерных ландшафтах. Площадки ВД-1 и ВД-2 находятся на субгоризонтальной вершинной поверхности IV прибрежно-морской и III аллювиально-морской равнин, соответственно, с песчано-глинистыми породами сезонноталого слоя (СТС). Площадка ВД-3 расположена на II-й надпойменной террасе с песчаными породами СТС. Площадка ВД-Торфяник размером 6 на 6 м (49 точек) выбрана и организована в 2014 г. вблизи

площадки ВД-1 на поверхности небольшого полигонального торфяника. Небольшой размер площадки и минимальное расстояние между точками измерения (1 м) обусловлены необходимостью максимально корректно охарактеризовать условия торфяного массива с размерами полигонов, не превышающими 6-10 м.



Рис. 1. Участки мониторинга

К 2024 г. сеть термометрических скважин стационара составляет пять скважин глубиной 7 м (LGT, с 2010 г.), 10 м (CALM_10m, с 2011 г.), 15 м (ВД-2, ВД-Торфяник и LK-06, с 2021 г.). Первые две скважины оборудованы на месте существовавших в 90-е гг. ХХ в. скважин глубиной 30 и 10 м. соответственно, а три новые скважины оборудованы вблизи площадок мониторинга глубины протаивания ВД-2 (скв. ВД-2), ВД-Торфяник (скв. ВД-Торфяник) и на границе дренированной аллювиальной террасы озера LK-06 [Дворников и др., 2017] и слабодренированной склоновой поверхности в древнем хасыре (скв. LK-06).

На полигоне «Тазовский» с 2016-2017 гг. действовало 2 площадки мониторинга глубины протаивания на участках полигональных торфяников и 1 профиль (TransectTaz), организованный по ландшафтному принципу. Особенностью этих площадок мониторинга на торфяниках на этом полигоне является отсутствие унифицированной сетки, точки измерения расположены в разных фациальных условиях. Одна из площадок (1PeatTaz, с 2016 г.) расположена на торфянике с деградирующим в результате комплекса факторов повторно-жильным льдом (ПЖЛ) [Бабкин и др., 2022], а вторая (2PeatTaz, с 2017 г.) – на фоновом торфянике, в аналогичных условиях, но без значительного вытаивания ПЖЛ. В целом, полигональные торфяники с ПЖЛ являются основными объектами комплексных геокриологических исследований на севере Пур-Тазовского междуречья, проводящихся с 2016 г. [Хомутов и др., 2019]. Профиль TransectTaz длиной 360 м был заложен в 2016 г. в районе первой оборудованной в это же время скважины с-1 глубиной 8,7 м для наблюдения за температурой верхней части ММП. Профиль был оборудован так, чтобы охарактеризовать условия формирования СТС на водораздельной типичной для полигона поверхности на разных экспозициях склонов при примерно одинаковой литологии разреза.

Детальные работы, начатые в 2021 г. на нескольких участках полигональных торфяников, примыкающих к озерам, потребовали оборудования нескольких площадок мониторинга, включающих в себя наблюдения за глубиной сезонного протаивания. В 2021 г. оборудовано три таких площадки, в 2022 – четыре. Эти площадки имеют квадратную или прямоугольную форму в плане, различаются по размерам (от 35 до 84 м²)

и насчитывают от 47 до 104 точек, размеченных по ландшафтному (фациальному) принципу.

В 2022 г. в соответствии с протоколом CALM оборудована и детально описана площадка мониторинга глубины сезонного протаивания 100 на 100 м (121 точка) в ландшафтно-геоморфологических условиях максимально приближенных к существовавшим на месте нынешней территории застройки пос. Тазовский для сопоставления в перспективе с результатами геотехнического мониторинга зданий и сооружений этой активно развивающейся застройки.

К 2024 г. сеть термометрических скважин полигона составляет 8 скважин глубиной 7 м (с-4, с 2020 г.), 8,7 м (с-1, с 2016 г.), 12 м (с-5 и с-6, с 2021 г.), 13 м (с-3, с 2020 г.), 15 м (с-7, с 2021 г., с-9 и с-10, с 2022 г.).

Скважины с-3 и с-4 оборудованы в 2020 г. на одном из участков мониторинга торфяного массива (1PeatTaz) непосредственно на участке деградации ПЖЛ вблизи автодороги с ее юго-восточной стороны (с-3) и на относительно стабильном участке на удалении от автодороги с ее северо-западной стороны (с-4) в связи с продолжением комплексных исследований полигональных торфяников на севере Пур-Тазовского междуречья.

Скважины с-5, с-6 и с-7 оборудованы в торфяных массивах, первые две вблизи автодороги Заполярное-Тазовский на разных ее участках, а третья – на удалении от дороги в том же крупном торфяном массиве близ с. Газ-Сале, где расположены скважины с-3 и с-4, но в другой его части. В 2022 г. для увеличения охвата наблюдениями других геоморфологических уровней, в том числе с минеральными породами в разрезе, пробурены две скважины на поверхности I и II морских террас и одна скважина на участке полигонального торфяника на поверхности III морской террасы. Скважина с-8 вскрывает отложения I морской террасы, представленные слоистыми песками и супесями с прослойями намытой органики, с-9 – отложения II морской террасы, представленные косослоистыми песками и супесями с прослойями намытой органики, с-10 – торфяные отложения мощностью 1,8 м с линзовидными, шлировыми и корковыми криогенными текстурами, подстилаемые озерно-аллювиальными отложениями, представленными переслаиванием сильнольдистых суглинков, супесей и песков разной зернистости. В 2023 г. скважина с-8 попала под отсыпку строящегося промышленного объекта и сохранить ее не удалось.

На полигоне «Гыда» с 2016 г. постепенно на разных поверхностях организуются площадки и профили мониторинга: площадка Gyda-1 и профиль Transect Gyda с 2016 г., площадка Gyda-2 с 2017 г. и площадка Gyda-3 с 2019 г. При этом, площадки организованы по аналогичному с площадками трансекты «Ямал» [Лейбман и др., 2011] принципу единобразности условий внутри площадки, но только площадка Gyda-1 имеет размер 50 на 50 м, но с уменьшением интервала между профилями (10 м вместо 12,5 и 66 точек вместо 55), а две другие площадки имеют размеры 25 на 25 м (по 36 точек каждая). Измерения на Transect Gyda проводятся на участке длиной 700 м через каждые 10 м. Наблюдения за температурой пород на полигоне «Гыда» были ограничены единственной 1,5-метровой скважиной, заложенной на площадке Gyda-1 в 2016 г. и просуществовавшей до 2021 г.

В связи с недостаточной густотой сети наблюдений в северо-восточной части Западной Сибири, а также необычным местоположением с. Антипаута в южной части Гыданского полуострова в 2022 г. было принято решение организовать здесь стационарную точку наблюдений – полигон «Антипаута». В результате на слабодренированной плоскополигонально-мочажинной поверхности поймы р. Анти-Паётаяха в связи с тем, что территория с. Антипаута полностью расположена в пойме, была оборудована и детально описана площадка мониторинга глубины сезонного протаивания 100 на 100 м (121 точка) в соответствии с протоколом CALM на участке

ограниченном с запада, севера и востока стариичным озером, соединяющимся узкой протокой с основным руслом реки.

В 2023 г. для корректного районирования глубины протаивания ММП проведено обустройство ландшафтных профилей мониторинга на всех вышеупомянутых участках мониторинга. Точки профилей выбраны по ландшафтно-геоморфологическому принципу для охвата наибольшего количества выделяемых на изучаемой территории каждого стационара ландшафтно-геоморфологических единиц или природно-территориальных комплексов.

Методы исследований. Глубина протаивания и на площадках, и на профилях измеряется механическим способом металлическим щупом длиной преимущественно 2 м. Применение щупа такой длины на площадках, организованных на полигональных торфяниках не целесообразно, так как глубина протаивания в условиях торфяных пород не превышает 1 м. На таких площадках применяются щупы длиной 1 м.

Непрерывные наблюдения за температурой пород в скважинах проводятся с применением в подавляющем большинстве скважин оборудования KrioLab (<https://kriolab.ru>).

Для оценки динамики и особенностей состояния ММП проведен анализ и сопоставление данных по глубине протаивания и температуре пород, полученных в 2024 г. с более ранними результатами мониторинга.

Оценка особенностей изменения глубины сезонного протаивания.

Научно-исследовательский стационар «Васькины Дачи».

Средние значения глубины протаивания по анализируемым объектам мониторинга приведены в таблице 1.

Поскольку исследуемая территория характеризуется значительной расчлененностью рельефа с широким диапазоном ландшафтов различных геоморфологических уровней, глубина сезонного протаивания существенно варьируется в зависимости от типа местности.

Данные мониторинга показывают, что средние значения глубины сезонного протаивания на всех площадках в 2024 г. ниже на 8-23% относительно средних значений в 2023 г.

Таблица 1. Статистическая обработка значений глубины протаивания по данным мониторинга на НИС «Васькины Дачи» в 2024 г.

Площадка/ профиль мониторинга	Глубина протаивания, см			Количество измерений	Среднеквадр. отклонение
	Среднее значение	Минимум	Максимум		
ВД CALM (R5)	91	60	152	102	19
ВД-1 (R5a)	70	51	93	55	9
ВД-2 (R5b)	70	46	109	55	14
ВД-3 (R5c)	116	90	140	55	12
ВД-Торфяник (R5d)	43	30	54	49	5
IR5 (R5plus)	76	38	152	41	28
IIR5 (R5-R5a-R5d)	65	31	119	29	20
IIIR5 (R5-R5b)	73	37	149	24	25
IVR5 (R5b-R5c)	74	32	157	36	29

Для геокриологических профилей, заложенных в 2023 г., выделяются несколько основных поверхностей: 1) слабозадернованная вершинная поверхность с песчаными породами в СТС; 2) относительно задернованная вершинная поверхность с супесчаными породами в СТС; 3) слабозадернованная склоновая поверхность с песчаными и супесчаными породами в СТС; 4) сильнозадернованная склоновая поверхность с

суглинистыми породами в СТС; 5) поверхность торфяника; 6) оползневые склоны с поверхностями скольжения с засоленными глинами в СТС; 7) вогнутые поверхности с оторfovанными супесчаными и суглинистыми породами в СТС; 8) поверхности хасыреев с оторfovанными суглинистыми породами в СТС.

Все выделенные на территории НИС «Васькины Дачи» поверхности отличаются более низкими значениями глубины сезонного протаивания в 2024 г. по сравнению со значениями 2023 г. (рис. 2). Наибольшая разница наблюдается на оползневых склонах с засоленными глинами в СТС и на поверхностях хасыреев с оторfovанными суглинистыми породами (ниже на 22-31% в 2024 г.).

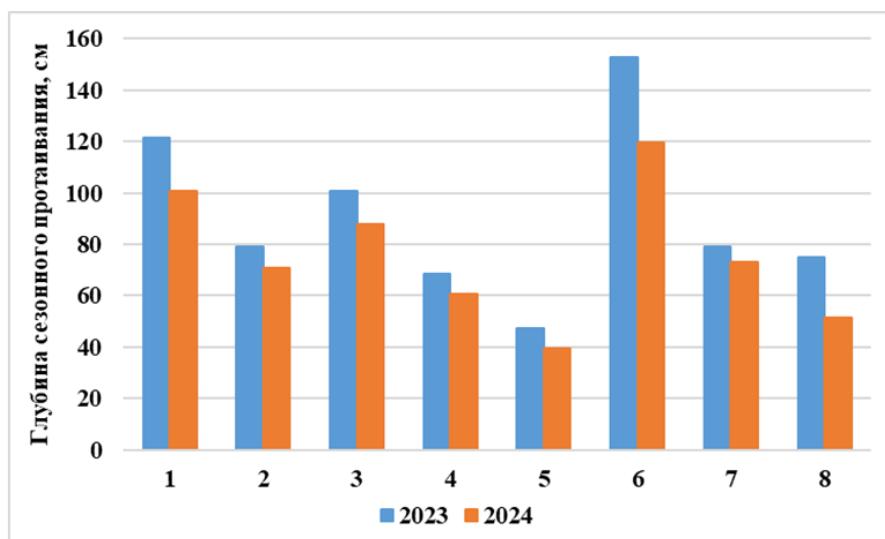


Рис. 2. Глубина сезонного протаивания по выделенным поверхностям для геокриологических профилей в 2023 и 2024 гг.

Значения глубины сезонного протаивания на площадках мониторинга с длительным рядом наблюдений (с 1993 и 2007 гг.) в 2024 г. ниже на 6-15% значений 2023 г. (рис. 3). Наиболее существенная разница отмечается для поверхности торфяника и вершинной поверхности с песчаными породами в СТС (13-15%).

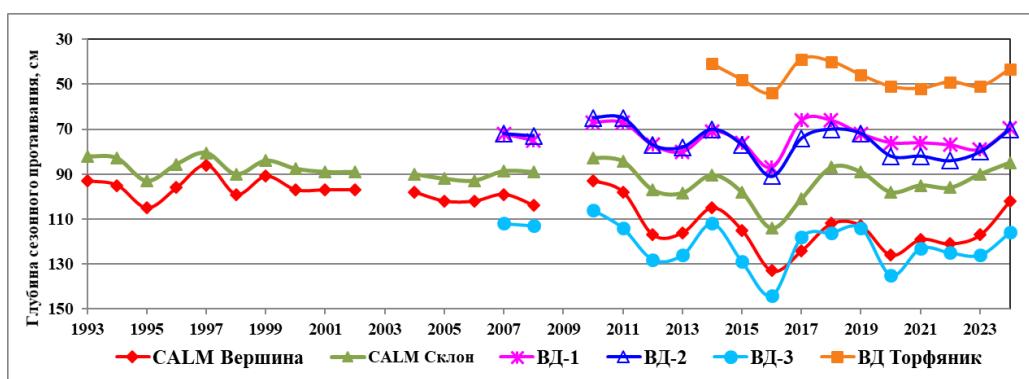


Рис. 3. Глубина сезонного протаивания на мониторинговых площадках

CALM Вершина – слабозадернованная вершинная поверхность с песчаными породами в СТС, CALM Склон – относительно задернованная склоновая поверхность с супесчаными породами в СТС, ВД-1 и ВД-2 – сильнозадернованные вершинные поверхности с супесчано-суглинистыми породами в СТС, ВД-3 – оголенная и слабозадернованная вершинная поверхность с песчаными породами в СТС, ВД-торфяник – торфяник

Глубина сезонного протаивания в значительной степени определяется суммой положительных температур воздуха. Для ключевого участка сумма положительных температур рассчитана по м/с Марре-Сале до даты измерений. Ряд наблюдений с 1993 г.

характеризуется наиболее холодным периодом 1993-2011 гг. (среднее значение суммы положительных температур – 568 градусодней) и более теплым периодом 2012-2023 гг. (среднее значение суммы положительных температур – 750 градусодней). В 2024 г. сумма положительных температур воздуха составила 522 градусодня, что сопоставимо с показателями холодного периода 1993-2011 гг. и ниже на 30% теплого периода 2012-2023 гг. (рис. 4). Значения глубины сезонного протаивания сопоставимы со значениями, наблюдаемыми в более холодный период ($\pm 1\text{-}5\%$ для разных поверхностей), и ниже значений, наблюдаемых в более теплый период (ниже на 7-13%). Различие в реакции на изменение суммы положительных температур у различных поверхностей также обусловлено влиянием и других факторов (летние осадки, снежный покров, литология, растительный покров и др.).

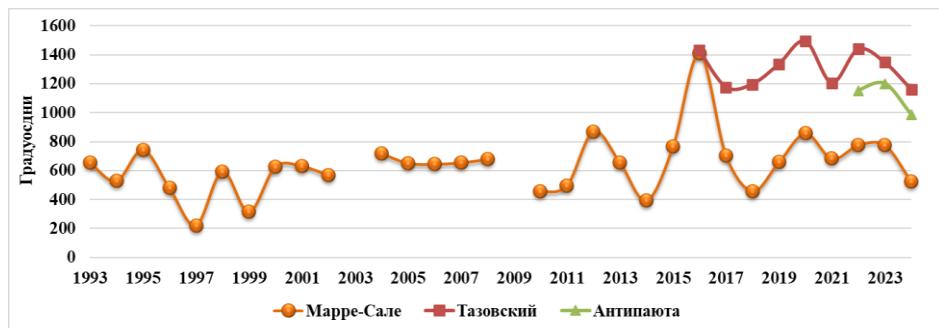


Рис. 4. Суммы положительных температур воздуха по м/с Mappe-Sale, Тазовский и Антипаюта (рассчитана до даты полевых измерений глубины протаивания) за период мониторинга глубины сезонного протаивания и температуры ММП Полигон «Тазовский».

Значения глубины сезонного протаивания на всех площадках мониторинга на полигоне «Тазовский» в 2024 г. незначительно ниже (на 2-8%) значений 2023 г. (рис. 5а). При этом сумма положительных температур в 2024 г. по м/с Тазовский ниже на 14% относительно 2023 г. (рис.4).

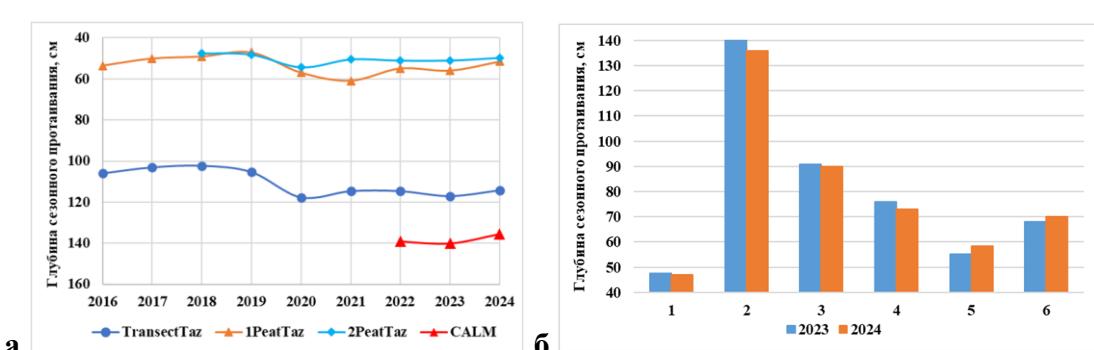


Рис. 5. Глубина сезонного протаивания на полигоне «Тазовский» на площадках мониторинга (а), где TransectTaz – склоновая поверхность с супесчано-суглинистыми породами; 1PeatTaz – полигональный торфяник с вытапивающим ПЖЛ, 2PeatTaz – полигональный торфяник без вытапивания ПЖЛ, CALM – слабозадернованная вершинная поверхность с песчаными породами; и по выделенным поверхностям для геокриологических профилей в 2023 и 2024 гг. (б), где 1) полигональный торфяник; 2) слабозадернованная вершинная поверхность с песчаными породами в СТС; 3) задернованная склоновая поверхность с супесчано-суглинистыми породами в СТС; 4) сильнозадернованная склоновая поверхность с оторфованными супесчаными породами в СТС; 5) слабонаклонная сильнозадернованная поверхность с суглинистыми породами в СТС; 6) поверхность хасырея с оторфованными супесчано-суглинистыми породами в СТС

Значения глубины сезонного протаивания на различных поверхностях геокриологических профилей в 2024 г. сходны со значениями 2023 г. Средние значения уменьшились на 1% на поверхностях полигонального торфяника и склоновой поверхности с супесчано-суглинистыми породами, на 3-4% – на вершинной поверхности с

песчаными породами и склоновой поверхности с супесчано-суглинистыми породами и увеличились на 3-6% на слабонаклонной поверхности с суглинистыми породами и поверхности хасырея с оторfovанными супесчано-суглинистыми породами.

Полигон «Гыда».

Значения глубины сезонного протаивания на всех площадках мониторинга на полигоне «Гыда» в 2024 г. ниже на 1-4% относительно значений 2023 г. (рис. 6а).

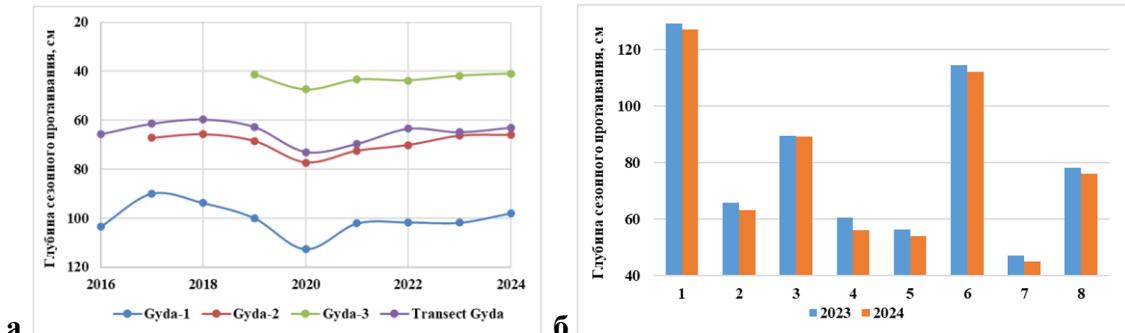


Рис. 6 Глубина сезонного протаивания на полигоне «Гыда» на площадках мониторинга (а) где Gyda-1 – слабозадернованная вершинная поверхность с супесчаными породами в СТС, Gyda-2 – относительно задернованная вершинная поверхность с суглинистыми породами в СТС, Gyda-3 – торфяник с мощностью торфа более 0,5 м, Transect Gyda – обводненный сильнозамишленный хасырея; и по выделенным поверхностям для геокриологических профилей в 2023 и 2024 гг. (б), где 1) относительно задернованная вершинная поверхность с песчаными породами в СТС; 2) сильнозадернованная вершинная поверхность с оторfovанными супесчано-суглинистыми породами в СТС; 3) сильнозадернованная склоновая поверхность с супесчаными породами в СТС; 4) слабонаклонная поверхность с глинистыми породами в СТС; 5) поверхности хасырея и низкой озерной террасы с торфом и оторfovанными супесчано-суглинистыми породами в СТС; 6) сильнозадернованная склоновая поверхность с засоленными суглинисто-глинистыми породами в СТС; 7) поверхность торфяника; 8) ложбина стока с суглинисто-глинистыми породами в СТС

Значения глубины сезонного протаивания на всех выделенных поверхностях на полигоне «Гыда» отличаются меньшими значениями глубины сезонного протаивания в 2024 г. по сравнению со значениями 2023 г. (рис. 6б). На 4-7 % уменьшились значения в 2024 г. на поверхностях с глинистыми и органическими породами, на 1-3% - на поверхностях с песчаными и супесчаными породами.

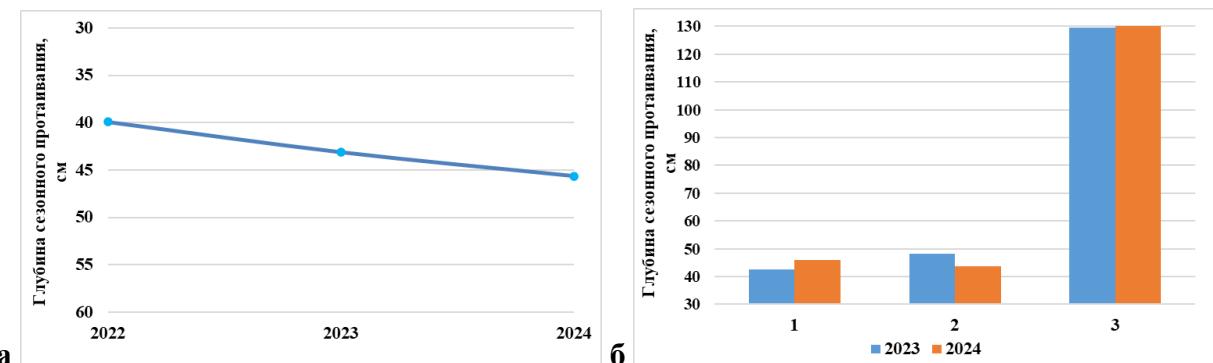


Рис. 7. Глубина сезонного протаивания на площадке CALM (а) и по выделенным поверхностям для геокриологических профилей (б) полигона «Антипаюта», где 1) плоской пойменной поверхностью, заболоченной с оторfovанными песчаными и супесчаными породами в СТС профиль пересекает 2) слабонаклонную пойменную поверхность с песчаными, супесчаными породами и оторfovанным и оглеенным аллювием и 3) прирусловую поверхность с аллювием

Полигон «Антипаюта».

Средние значения глубины протаивания на площадке CALM на 6% выше средних значений 2023 г. и на 14% – 2022 г. (рис. 7а). На пойменной, заболоченной и прирусловой

поверхностях геокриологических профилей в 2024 г. по сравнению с 2023 г. также характерно увеличение значений глубины сезонного протаивания на 1-8%, для слабонаклонной пойменной поверхности наблюдается уменьшение на 10%. (рис. 7б). Сумма положительных температур воздуха в 2024 г. по м/с Антипаута на 17% ниже, чем в 2023 г. (рис. 4).

Оценка особенностей изменения температуры ММП.

Научно-исследовательский стационар «Васькины Дачи».

Результаты мониторинга температуры многолетнемерзлых пород в 2024 г. показывают, что минимальные значения среднегодовой температуры пород были зафиксированы на задернованной вершинной супесчаной поверхности в скважине ВД-2 и незадернованной вершинной песчаной поверхности в скважине CALM, а максимальные – на склоновой поверхности с торфом в скважине LK-06 и слабозадернованной суглинистой вершинной поверхности в скважине LGT (рис. 8а).

По длительному ряду наблюдений в скважинах LGT и CALM10m наблюдается рост средней годовой температуры пород на глубине 10 м (для скважины LGT – 7 м) (рис. 8б) со скоростью 0,8-0,12 °C/год. За период с 2022 по 2024 г. также наблюдается рост средней годовой температуры пород в скважинах ВД-2 и LK-06 на глубине 10 м.

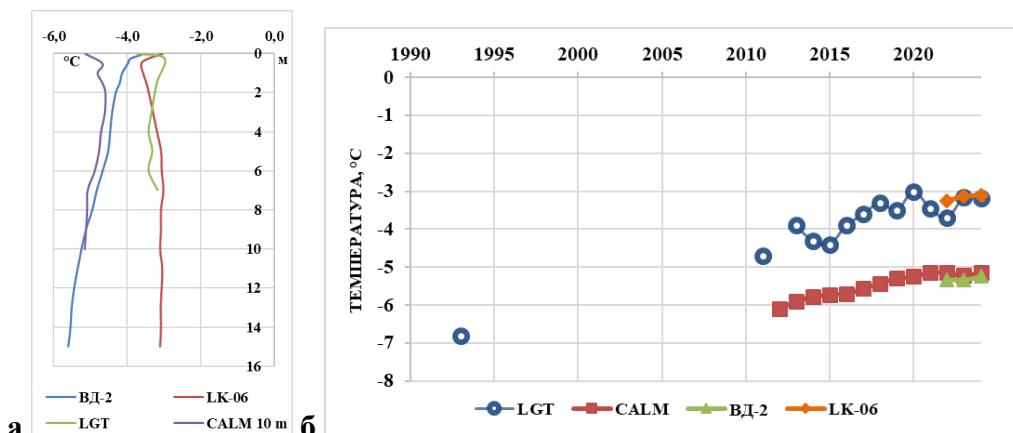


Рис. 8. Средняя годовая температура пород в скважинах (а), где ВД-2 – задернованная вершинная поверхность с супесчано-глинистыми породами; LK-06 – слабодренированная склоновая поверхность с мощностью торфа с прослойями песков 1,3 м; CALM10m – незадернованная вершинная песчаная поверхность; LGT – слабозадернованная суглинистая вершинная поверхность; средняя годовая температура в скважинах на глубине 10 м (б) (для скв. LGT – 7 м) НИС «Васькины Дачи».

Средняя годовая температура пород тесно связана со средней годовой температурой воздуха, которая демонстрирует тенденцию к повышению за последние 31 год (скорость роста составляет 0,11 °C/год) (рис. 9). При этом среднегодовая температура воздуха в 2024 г. по м/с Марресале ниже предыдущих двух лет.

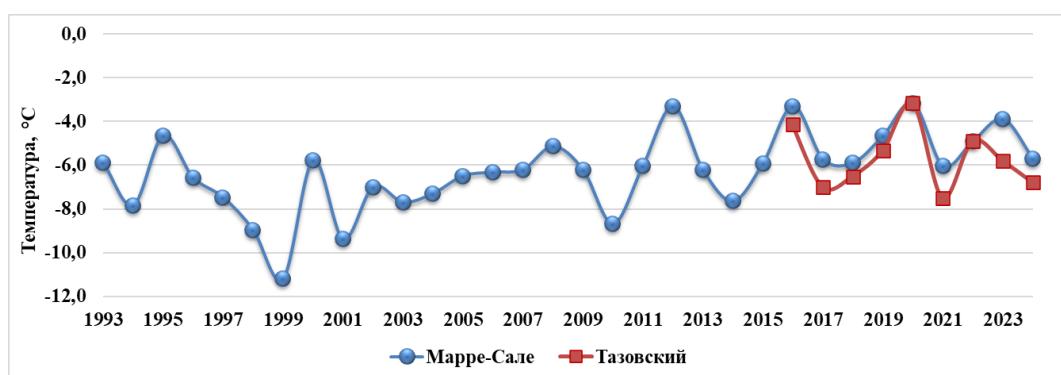


Рис. 9. Средняя годовая температура воздуха (по данным м/с Марресале и Тазовский)

Полигон «Тазовский».

Наименьшие значения температуры ММП наблюдаются в скв. с-10, заложенной на поверхности торфяника с мощностью торфа 2 м, а самые высокие значения наблюдаются в скв. с-6 на поверхности торфяника, расположенном южнее на 15-30 км остальных исследуемых торфяников, фактически на границе с лесотундрой (рис. 10а).

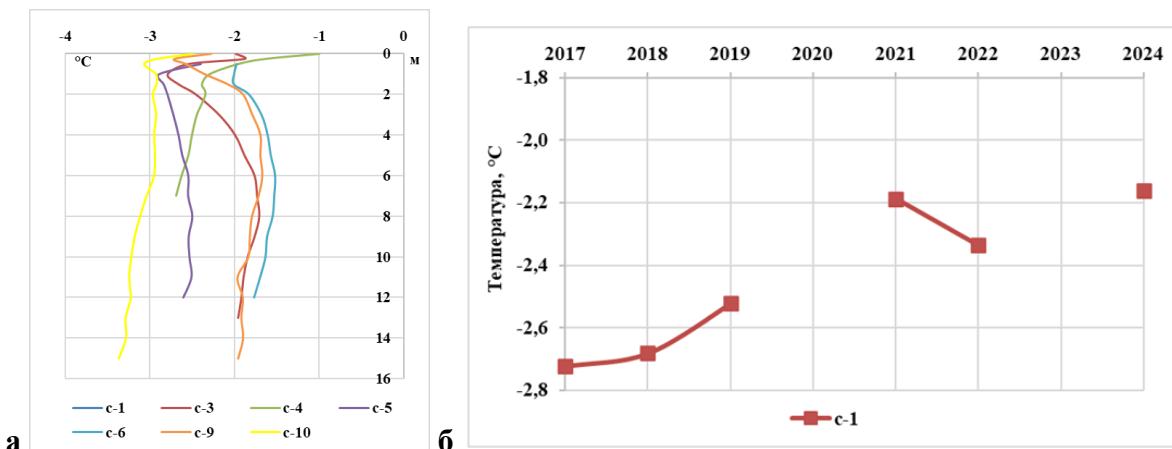


Рис. 10. Температура пород в скважинах полигона «Тазовский» в 2024 г. (а) и средняя годовая температура пород в скв. с-1 на глубине 8,7 м (б)

Наиболее длительный ряд в подзоне южной тундры на ключевом участке «Тазовский» имеет скв. с-1 глубиной 8,7 м, расположенная на задернованной вершинной поверхности с супесчано-суглинистыми породами (рис. 10б). Температура пород за весь период наблюдений выросла на 0,6 °С.

Заключение. Благодаря проведению работ на Центральном Ямале и на 3 полигонах в северо-восточной части Западной Сибири удалось продолжить значительный (с 1993 г.) ряд наблюдений в центральной части полуострова Ямал и еще не столь длительный (с 2016 г.), но постоянно наращивающийся, ряд наблюдений за состоянием ММП на севере Пур-Тазовского междуречья и Гыданском полуострове при текущих колебаниях климатических условий и постоянно возрастающим техногенным влиянием в связи с продолжающимся освоением и обустройством нефтегазовых месторождений.

Благодарности. В 2024 г. работа выполнена ИКЗ ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0012). Полевые исследования на НИС «Васькины Дачи» проведены при частичной поддержке Правительства Ямalo-Ненецкого автономного округа.

ЛИТЕРАТУРА

Бабкин Е.М., Бабкина Е.А., Лейбман М.О., Хайруллин Р.Р., Хомутов А.В. Мониторинг изменений рельефа полигональных торфяников, примыкающих к автодороге Заполярное – Тазовский // Проблемы Арктики и Антарктики. 2022. Т. 68ю № 4. С. 384-405. doi: 10.30758/0555-2648-2022-68-4-384-405

Дворников Ю.А., Лейбман М.О., Хайм Б., Хомутов А.В., Рёсслер С., Губарьков А.А. Термоденудация на Ямале – источник увеличения концентрации растворенного органического вещества в озерах // Криосфера Земли. 2017. Т. 21. №2. С. 33-42. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2017-2(33-42)

Лейбман М.О., Москаленко Н.Г., Орехов П.Т. и др. Взаимодействие криогенных и биотических компонент геосистем в криолитозоне Западной Сибири на трансекте "Ямал". Полярная криосфера и воды суши. Гл.ред. В.М.Котляков, члены редколлегии Д.А.

Гиличинский, В.Г. Дмитриев, Д.С.Дроздов, В.Я.Липенков, М.Ю.Москалевский, И.А.Шикломанов - М.: Paulsen. 2011. С. 171-192.

Лейбман М.О., Хомутов А.В. Стационар «Васькины Дачи» на Центральном Ямале: 30 лет исследований // Криосфера Земли. 2019. Т. 23. № 1. С. 91-95. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2019-1(91-95)

Мельников Е.С., Васильев А.А., Лейбман М.О., Москаленко Н.Г. Динамика сезонноталого слоя в Западной Сибири // Криосфера Земли. 2005. Т. 9. № 2. С. 23-32.

Тихонравова Я.В., Лупачев А.В., Слагода Е.А. и др. Строение и формирование ледогрунтовых жил второй озерно-аллювиальной террасы на севере Гыдана в позднем неоплейстоцене-голоцене // Лед и снег. 2019. Т. 59. № 4. С. 557-570. doi: 10.15356/2076-6734-2019-4-367

Хомутов А.В., Бабкин Е.М., Тихонравова Я.В. и др. Комплексные исследования криолитозоны северо-восточной части Пур-Тазовского междуречья // Научный вестник Ямalo-Ненецкого АО. 2019. 1(102). С. 53-64. doi: 10.26110/ARCTIC.2019.102.1.008

Brown J., Hinkel K.M., Nelson F.E. The circumpolar active layer monitoring (CALM) program: Research designs and initial results // Polar Geography. 2000. Vol. 24. № 3. P. 166-258. doi: 10.1080/10889370009377698

MONITORING OF ACTIVE LAYER DEPTH AND GROUND TEMPERATURE ON THE NORTH OF WEST SIBERIA IN 2024

Khomutov A.V.¹, Babkina E.A.¹, Burdak D.V.², Danko M.M.¹, Mareev V.A.^{1,2}, Fakashuk N.Yu.¹

¹ Earth Cryosphere Institute Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, Russia;

² Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

In 2024, monitoring of active layer depth and ground temperature was continued at several field sites in the north of West Siberia: Vaskiny Dachi research station, Tazovsky, Antipyuta and Gyda polygons. Extending the series of observations of active layer depth and ground temperature makes it possible to track long-term trends in changes of the upper cryolithozone state.

Keywords: *active layer depth, ground temperature, permafrost, monitoring, active layer, West Siberia north*

REFERENCES:

Babkin E.M., Babkina E.A., Leibman M.O., Khayrullin R.R., Khomutov A.V. Monitoring of the relief changes in polygonal peat plateaus adjacent to the highway Zapolyarnoe - Tazovsky // Arctic and Antarctic Research. 2022. Vol. 68. Is. 4. P. 384-405. doi: 10.30758/0555-2648-2022-68-4-384-405 (in Russ.)

Dvornikov Yu.A., Leibman M.O., Heim B., Khomutov A.V., Roessler S., Gubarkov A.A. Thermodenudation on Yamal peninsula as a source of the dissolved organic matter increase in thaw lakes // Earth's Cryosphere. 2017. Vol. 21. No. 2. P. 28-37. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2017-2(33-42)

Khomutov A.V., Babkin E.M., Tikhonravova et al. Complex studies of the cryolithozone of the north-eastern part of the Pur-Taz interfluve // Scientific Herald of Yamal-Nenets Autonomous District. 2019. 1(102). P. 53-64. doi: 10.26110/ARCTIC.2019.102.1.008 (in Russ.)

Leibman M.O., Khomutov A.V. Research station “Vaskiny Dachi” at Central Yamal: 30 years of study // Earth's Cryosphere. 2019. Vol. 23. No. 1. P. 78-82. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2019-1(91-95)

Leibman M.O., Moskalenko N.G., Orekhov P.T. et al. Interaction of cryogenic and biotic components of geosystems in the cryolithozone of Western Siberia on the transect "Yamal". Polar cryosphere and Earth water. Editor-in-chief V.M.Kotlyakov, members of the editorial board D.A.

Gilichinsky, V.G. Dmitriev, D.S.Drozdov, V.Ya.Lipenkov, M.Yu.Moskalevsky, I.A.Shiklomanov. - M.: Paulsen. 2011. P. 171-192. (In Russ.)

Melnikov E.S., Vasiliev A.A., Leibman M.O., Moskalenko N.G. Active-layer dynamics in West Siberia // Earth's Cryosphere. 2005. Vol. 9. No. 2. P. 23-32 (In Russ.)

Tikhonravova Y.V., Lupachev A.V., Slagoda E.A. et al. Structure and formation of ice-ground veins of the second lake-alluvial terrace in the North of Gydan in the late Neopleistocene–Holocene // Ice and Snow. 2019. Vol. 59. Is. 4. P. 557-570. doi: 10.15356/2076-6734-2019-4-367

Brown J., Hinkel K.M., Nelson F.E. The circumpolar active layer monitoring (CALM) program: Research designs and initial results // Polar Geography. 2000. Vol. 24. No 3. P. 166-258. doi: 10.1080/10889370009377698