

doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-476-482



ДИНАМИКА ТОЛЩИНЫ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ГРУНТА И ТЕМПЕРАТУРЫ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ПОРОД НА АРХИПЕЛАГЕ СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ И В ДЕЛЬТЕ РЕКИ ЛЕНЫ

✉ *Большиянов Д.Ю., Макеев В.М., Ёжиков И.С., Коблашов И.Д.,*

ФГБУ «АНИИ», Санкт-Петербург, Россия

✉ *bolshiyarov@aari.ru*

Приведены данные наблюдений за глубиной сезонного протаивания многолетнемёрзлых пород (ММП), температуры в скважинах на ледниках и в толще ММП на архипелаге Северная Земля и в дельте р. Лены. На Северной Земле сравнение толщины деятельного слоя грунта по данным наблюдений 70-х годов XX века с современными исследованиями не показали значительного роста толщины деятельного слоя грунта. Толщина сезонно-талого слоя (СТС) грунта на протяжении периода наблюдений (с 2002 г. в дельте р. Лены и с 2016 г. на Северной Земле) колеблется с периодами в 5-10 лет. Температура ММП на всех горизонтах скважины глубиной 27 м в дельте р. Лены повышается в результате антропогенного влияния из-за накопления снега в пределах станции. В скважине глубиной 66 м, пробуренной вне станции, температуры ММП повышаются значительно менее интенсивно.

Ключевые слова: *многолетнемёрзлые породы, сезонное протаивание, температура, многолетняя динамика, Северная Земля, дельта Лены*

Наблюдения за глубиной протаивания и температурами многолетнемёрзлых пород (ММП) на архипелаге Северная Земля начались в 70-х годах XX столетия, когда на леднике Вавилова (остров Октябрьской Революции) начал работать гляциологический стационар АНИИ, который стал не только станцией по исследованию ледников, но и перигляциальных явлений, а в дальнейшем станцией комплексных исследований природной среды высокоширотной Арктики [Алексеев и др., 2016].

В 1974–1978 гг. мерзлотные наблюдения на о. Октябрьской Революции архипелага Северная Земля были дополнены ценными работами физико-географического отряда (И.М. Симонов, Р.И. Юнак). Данные этих исследований не были опубликованы, но сохранились в рукописях и первичных материалах. Самым информативным документом этих работ оказался нарисованный профиль физико-географического описания на северном берегу озера Фиордового, расположенного в центре о. Октябрьской Революции (рис. 1). Длина профиля от уреза воды в озере до водораздела, на котором располагалась метеоплощадка сезонных наблюдений, составила 650 м. По этому закреплённому на местности колышками профилю были произведены наблюдения за развитием растений, описания почв, измерения температуры почв, глубины протаивания грунта в начале (15–16 июня), в середине (14 июля) и в конце (31 августа) сезона протаивания 1975 г. Результат исследования ценен тем, что толщина СТС измерялась во многих точках профиля в различных условиях развития растительности, увлажнения грунта, экспозиции склонов. Если в начале сезона протаивания грунт оттаивал на 11–20 см, в середине сезона до глубины 17–40 см, то в конце августа до глубины 52–61 см. На сильно увлажнённых склонах толщина СТС в конце сезона достигала лишь 45 см.

Необходимо заметить, что лето 1975 г. было аномально тёплым по сравнению с соседними годами (1974–1978 гг.). Однако по проведённым и в другие годы наблюдениям физико-географического отряда отмечено то, что температура воздуха не являлась основным фактором, повлиявшим на глубину протаивания. Так, в 1975 г. она составляла 0,3–0,65 м в различных ландшафтах острова, а в 1977 году со сравнительно холодным летом составила 0,35–0,75 м на тех же ландшафтах острова. Исследователи отмечали роль в этих изменениях условий увлажнения почв предыдущего сезона, толщину снежного

покрова и др. факторы. Конечно, те далёкие исследования не были массовыми, но базировались именно на повторных замерах в обозначенных точках профилей, что позволяет доверять результатам измерений. Информация тем более ценна ещё и тем, что семидесятые годы прошлого столетия оказались этапом похолодания климата Арктики. Вновь получаемые данные можно сравнивать с теми далёкими теперь уже экспедиционными данными, собранными во время существования гляциологического стационара ААНИИ «Купол Вавилова» на одноименном леднике о. Октябрьской Революции.

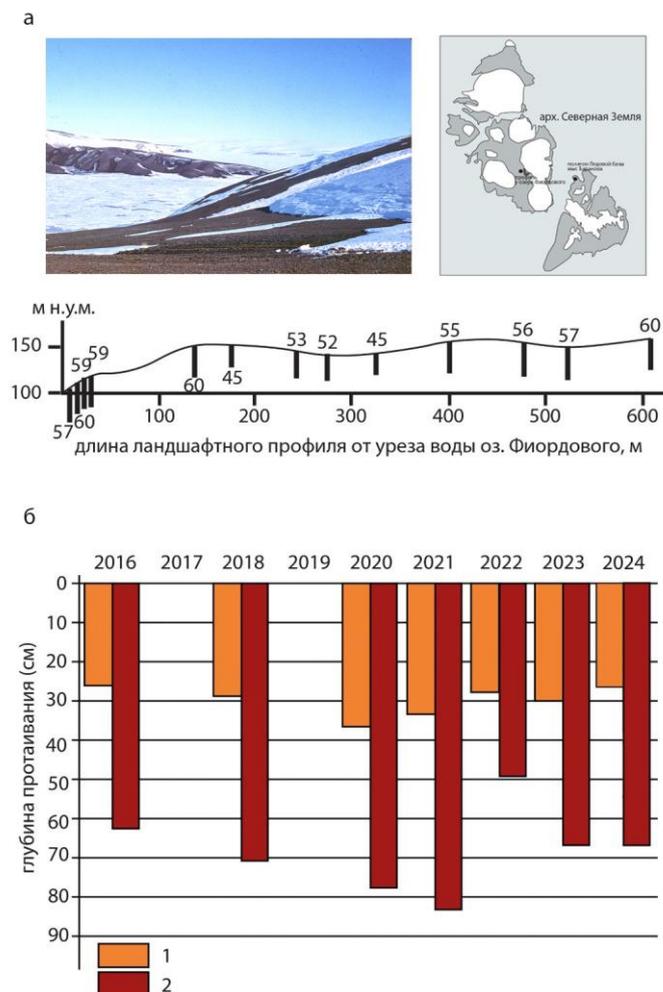


Рис. 1. Глубины деятельного слоя грунта на полигонах архипелага Северная Земля в см: а – на ландшафтном профиле 1975 г. в конце сезона протаивания (31 августа), б – средние и максимальные в конце сезона протаивания на полигоне из 121 точки в 2016-2024 г.г. Условные обозначения: 1 – средняя по полигону глубина деятельного слоя грунта, 2 – максимальная глубина деятельного слоя грунта в конце сезона протаивания.

Новый этап геокриологических исследований начался с организацией в 2013 г. работ «Ледовой базы «Мыс Баранова» ААНИИ на о. Большевик, возобновившей комплексные исследования природной среды архипелага Северная Земля.

Мерзлотные исследования на ледовой базе «Мыс Баранова» (о. Большевик) начались в 2016 г. На полигоне размером 10x10 м по 121 точке в период протаивания с июня по сентябрь проводятся еженедельные измерения толщины деятельного слоя грунта.

Установлено, что максимальные величины протаивания в разные годы приходятся на период времени от первой декады августа до первой декады сентября. Только в аномально тёплом 2020 г., когда даже средняя температура воздуха в сентябре была

положительной, что не наблюдалось никогда, максимальные глубины протаивания держались до конца сентября на глубине 78 см.

Если сравнить данные по полигону на станции «Мыс Баранова» за период 2016–2023 гг. с данными мерзлотного профиля 1975 г. в районе оз. Фиордового, то отмечается несколько большие величины протаивания (на 10-20 см) на первом в тёплые годы периода измерений по сравнению со вторым. В холодные годы (2016, 2023) толщина деятельного слоя грунта была равна или чуть меньше чем в тёплом 1975 г. Это означает, что сравнимые по широте и ландшафтам профиль 1975 г. и полигон 2016–2024 гг. показывают некоторое увеличение СТС (на несколько сантиметров) в настоящее время по сравнению с 1975 г. Конечно, данные по профилю одного года и данные полигона за несколько лет слабо сравнимы, т.к. протаивание грунта заметно изменяется от года к году и есть разница между прямоугольным полигоном и профилем, который к тому же был расположен на высотах более 100 м по сравнению с полигоном на станции. Но всё же измерения по профилю 1975 г. во множестве точек можно грубо сравнивать с современными измерениями на полигоне. Тем более, что других материалов из прошлого для сравнения нет.

Температуры грунта на глубинах до 3,1 м наблюдались на полигоне с 03.06 2021 по 10.09.2022 гг. Минимальная температура грунта на этой глубине $-15,1$ °C держалась с 29 апреля по 01 мая 2022 г., а максимальная температура грунта на этом горизонте составила $-4,3$ °C 23.10.2021 и $-5,3$ °C 10.09.2022. Промерзание грунта после летне-осеннего максимума температуры грунта на этой глубине начинается в первой декаде ноября.

На глубине 0,7 м положительная температура грунта устанавливалась на 1 (19.08.2021) – 20 дней (09–8.08.2022) в августе 2021 и 2022 гг. соответственно. Температурные данные показывают, что максимальная глубина протаивания грунта в августе сентябре и составляет порядка 70-75 см. На следующей глубине в 1,1 м максимальная температура (-07 °C 19.08.2021 и $-0,9$ °C 18.08–08.09.2022) уже не достигает положительных значений в течение года.

В целом же глубина протаивания грунта значительно изменяется от года к году и, как и на других полигонах изменяется циклически (см. рис. 1).

Важнейшим показателем состояния мёрзлых грунтов архипелага является температура подстилающей поверхности под покровными ледниками архипелага Северная Земля. Её удалось измерить в нескольких скважинах на леднике Вавилова (о. Октябрьской Революции) и леднике Академии Наук (о. Комсомолец) [Большаинов, Макеев, 1995]. Она составляла $-7-10$ °C на ложе ледника Вавилова и -11 °C на дне ледника Академии Наук в 1975-1978 гг. Несмотря на смелые предположения о том, что в связи с потеплением климата и проникновением талых вод по трещинам в ледники и даже к их ложу, что изменяет температурный режим ледников в настоящее время [Бушугева, Глазовский, 2018], в действительности нет данных о заметных изменениях температурного режима ледников Северной Земли. На рисунке 2 представлены температуры льда ледника Мушкетова в 2021-2022 гг. до глубины 10 м и ледника Вавилова в 1978-1979 гг. до глубины 15 м.

Сравнение температурных кривых верхней толщи ледников через сорокалетие показывает, что температурный режим даже верхних 10 метров ледников не изменился с 1978 по 2022 гг. На глубине затухания сезонных колебаний температур их значения лежат в пределах $-10,5-11,5$ °C. В толще ледника Вавилова эта глубина на 5 м больше, и температура примерно на градус ниже по сравнению с ледником Мушкетова. Более высокая температура ледника Мушкетова на глубине затухания сезонных её колебаний объясняется меньшей на 140 м высотой ледника Мушкетова по сравнению с ледником Вавилова. Приведёнными сравнениями температур льда доказано, что никаких значительных сдвигов в термическом режиме ледников Северной Земли в последние годы и десятилетия нет, несмотря на незначительное повышение температур воздуха, что теоретически доказано тогда же – 40 лет назад. Ледники покровного типа имеют инерцию

термического состояния и температуры льда могут измениться лишь в течение десятков и сотен лет после заметных изменений температур воздуха, т.к. масштабы температурных процессов для ледника Вавилова составляют около 5000 лет [Клементьев и др., 1992].

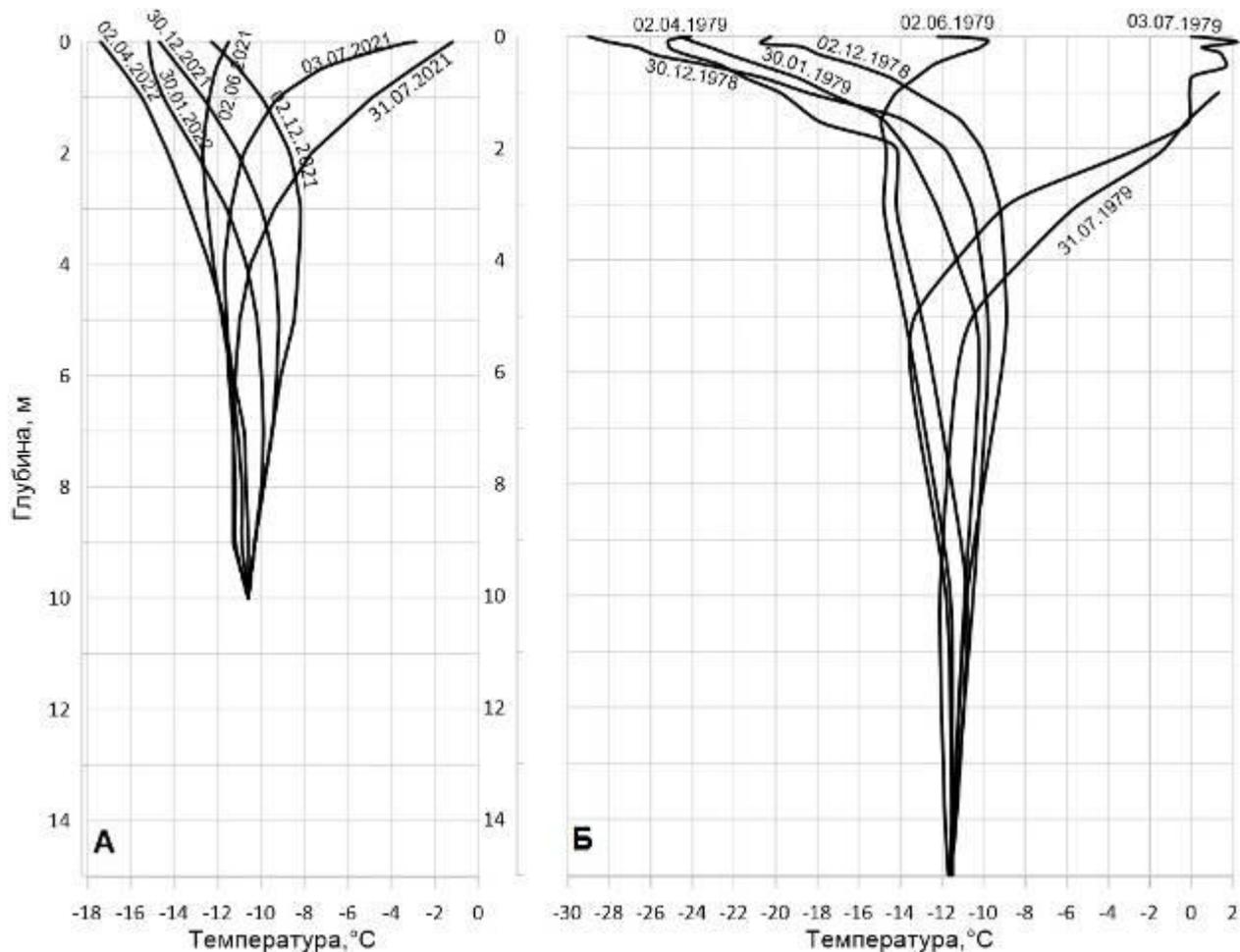


Рис. 2. Ход температур в слое их сезонных колебаний на леднике Мушкетова в 2021-2022 гг. (А) и на леднике Вавилова в 1978-1979 гг. (Б) в одни и те же дни года. Температурные кривые по леднику Вавилова получены М.С. Бугорковым [Отчет о геофизических исследованиях в буровых скважинах на леднике Вавилова Северная Земля в экспедиции А-162 в период с 01.10.78 по 30.10.79 // (Отчет). Арктический и антарктический научно-исследовательский институт. Исполнитель Бугорков М.С. ГОСФОНД АНИИ. Инв. № ц-2606. Л. 1980. 28 с.]

Таким образом ход температур грунтов архипелага Северная Земля на поверхности в настоящее время имеет слабую тенденцию к повышению в связи с чем на несколько сантиметров увеличилась толщины деятельного слоя грунта по сравнению с 70-ми годами прошлого века. Под ледниками грунты остаются промёрзшими до температур $-7-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ и нет никаких причин ожидать их изменений даже при более значительных колебаниях климата по сравнению с современными.

На о. Самойловском наблюдения за глубиной сезонного протаивания ММП начались в 2002 г. (рис. 3) во время работы в дельте р. Лены и на побережье моря Лаптевых российско-германской экспедиции «Лена».

На приведённых графиках видно, что многолетний ход протаивания грунта и в дельте р. Лены не имеет ярко выраженного тренда к увеличению СТС, но происходит циклически с периодами в 5-10 лет.

Другим важным аспектом динамики ММП являются температуры грунта в скважинах. На о. Самойловском пробурены 2 скважины, в которых установлены температурные датчики. В 2006 г. пробурена скважина глубиной 27 м, которая в 2012 г.

оказалась на территории построенной в 2012 г. новой станции. В 2018 г. на удалении 0,6 км к с-в от станции пробурена скважина глубиной 66 м.

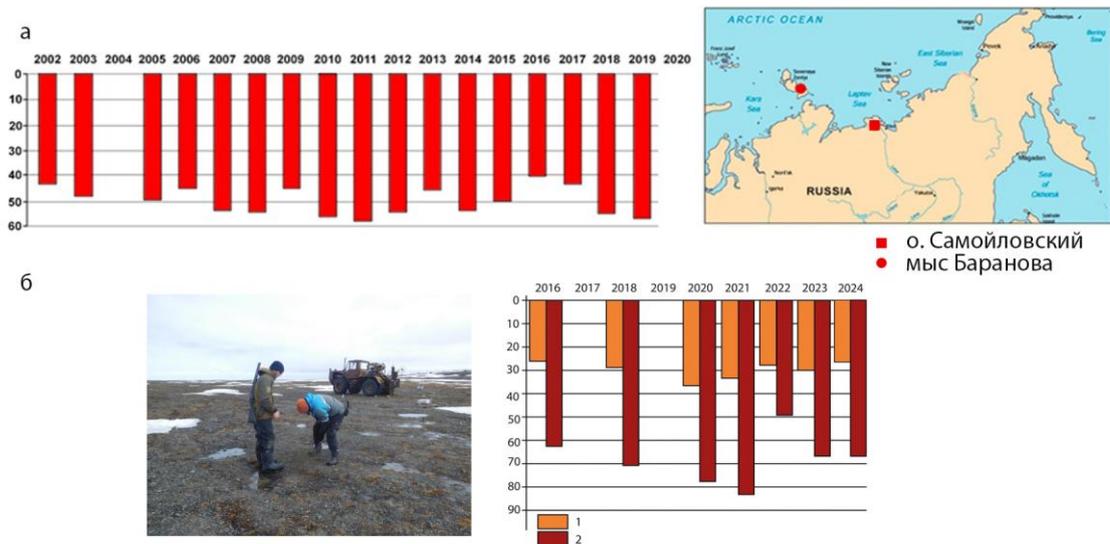


Рис. 3. Сезонное протаивание ММП: а - на о. Самойловском в дельте р. Лены (среднее по полигону в конце периода протаивания); б - на полигоне «Ледовой базы Мыс Баранова» на о. Большевик (архипелаг Северная Земля).
Условные обозначения см. на рис. 1.

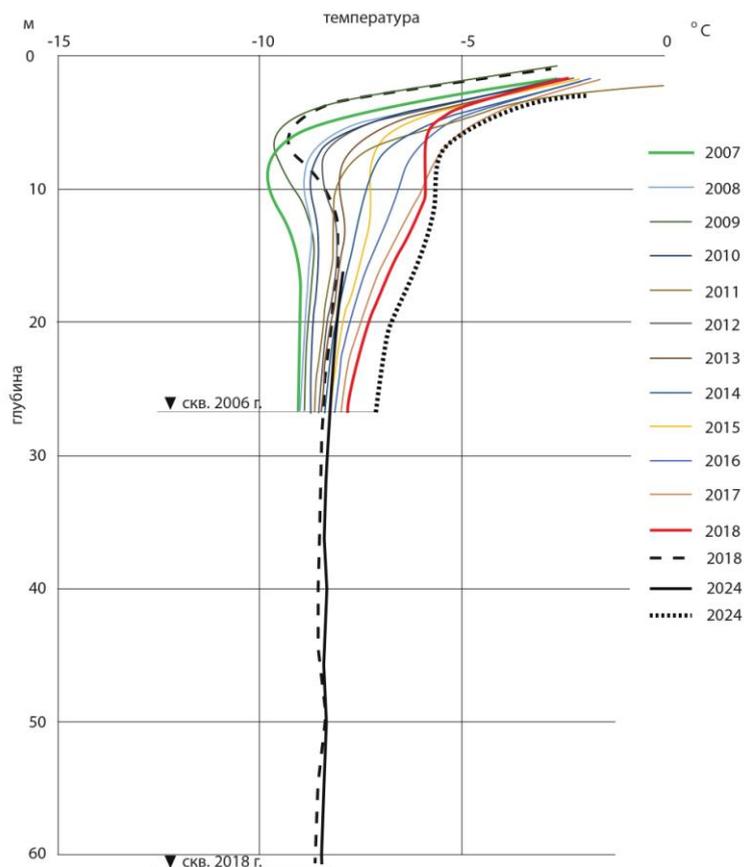


Рис. 4. Температуры в скважинах глубиной 26 м (2007-2024 г.г.) и в скважине глубиной 66 м (2018-2024 г.г.) на станции «Остров Самойловский» (12 августа каждого года).

На рис. 4 представлены результаты измерений температур в скважинах до 2024 г. Немецкие коллеги считают, что явно проявляющееся увеличение температур ММП в скважине глубиной 27 м свидетельствует о растеплении мерзлоты (более чем 1°C) с 2007

по 2012 г.г. и объясняют это явление таянием ММП во всей северной полярной области благодаря изменениям климата [Boike *et al.*, 2013, 2019]. Последние данные по температуре из скважины глубиной 66 м, пробуренной в естественных природных условиях опровергают это утверждение и доказывают антропогенное влияние на увеличение температур ММП на всех горизонтах измерений скважины глубиной 27 м благодаря тому, что устье скважины ежегодно перекрывается на станции достаточно толстым слоем снега.

Тренд увеличения температур на глубине 26,75 м с 2007 по 2024 г.г. в мелкой скважине составил 0,14°C/год. А в скважине, удалённой от станции на этой же глубине с 2028 по 2024 г.г. всего 0,06°C/год, а на глубине 65 м – 0,03°C/год.

Таким образом, общепринятое, особенно на западе, мнение об активном таянии ММП, также как и о направленном увеличении глубины СТС в высоких широтах северного полушария не подтверждается натурными данными, полученными на архипелаге Северная Земля и в дельте р. Лены.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев Г.В., Большианов Д.Ю., Радионов В.Ф., Фролов С.В. 95 лет исследований климата и криосферы в ААНИИ // *Лёд и снег* 2016. Т. 56. № 3. С. 358-368. doi: 10.15356/2076-6734-2015-4-127-140

Большианов Д.Ю., Макеев В.М. Архипелаг Северная Земля. Оледенение, история развития природной среды. СПб: Гидрометеиздат. 1995. 217 с.

Бушueva И.С., Глазовский А.Ф., Носенко Г.А. Развитие подвижки в западной части ледникового купола Вавилова на Северной Земле в 1963–2017 гг. // *Лёд и снег*. 2018. Т. 58. 3. С. 293-306. doi: 10.15356/2076-6734-2018-3-293-306

Клементьев О. Л., Николаев В.И., Потапенко В.Ю., Саватюгиг Л.М. Внутреннее строение и термодинамическое состояние ледников Северной Земли // *Материалы гляциологических исследований*. 1992. Т. 73. С. 103-109.

Boike J., Kattenstroth B., Abramova K., Bornemann N., Chetverova A., Fedorova I., Fröb K., Grigoriev M., Grüber M., Kutzbach L., Langer M., Minke M., Muster S., Piel K., Pfeiffer E.-M., Stoof G., Westermann S., Wischnewski K., Wille C., Hubberten H.-W. Baseline characteristics of climate, permafrost and land cover from a new permafrost observatory in the Lena River Delta, Siberia // *Biogeosciences*. Vol. 10. Is. 3. P. 2105–2128. 2013. doi:10.5194/bg-10-2105-2013

Boike, J., Nitzbon, J., Anders, K., Grigoriev, M., Bolshiyarov, D., Langer, M., Lange, S., Bornemann, N., Morgenstern, A., Schreiber, P., Wille, C., Chadburn, S., Gouttevin, I., Kutzbach, L. A 16-year record (2002–2017) of permafrost, active layer, and meteorological conditions at the Samoylov Island Arctic permafrost research site, Lena River Delta, northern Siberia: an opportunity to validate remote sensing data and land surface, snow, and permafrost models // *Earth System Science Data*. 2019. Vol. 11. Is 1. P. 261-299. doi: 10.5194/essd-11-261-2019

DYNAMIC OF ACTIVE LAYER THICKNESS AND PERMAFROST TEMPERATURE ON THE SEVERNAYA ZEMLYA ARCHIPELAGO AND IN THE LENA RIVER DELTA

Bolshiyarov D.Yu., Makeev V.M., Yozhikov I.S., Koblashov I.D.

Arctic and Antarctic Research Institute, St.Petersburg, Russia

The results of observation of the active layer thickness and permafrost temperature in boreholes on the Severnaya Zemlya Archipelago and in the Lena River Delta are presented. There is no significant rise of active layer thickness today by comparison with 50 year in the past. Active layer thickness varies with a period of 5-10 years during measurement time (on the Severnaya Zemlya since 2016, in the Lena River Delta since 2002). Permafrost temperature on all depths of 27

m deep borehole, drilled in 2006, rise because this borehole is situated in the center of Polar Station “Samoylovskii Island”, where snow accumulation is high. In the 66 m deep borehole, drilled at the place, situated 600 m to the north-east from the Station in 2018, temperatures rises very slow with trends of 0,03°C/year on the depth of 60 m and 0,06°C/year on the depth of 27 m.

Keywords: *permafrost, active layer thickness, temperatures in boreholes, many years dynamic, Severnaya Zemlya Archipelago, Lena River Delta*

REFERENCES:

Alexeev G.V., Bolshiyarov D.Yu., Radionov V.F., Frolov S.V. 95 years of the climate and cryosphere investigations of the Arctic and Antarctic Research Institute // *Ice and snow*. 2016. Vol. 56. No. 3. P. 358-368. doi: 10.15356/2076-6734-2015-4-127-140

Bolshiyarov D.Yu., Makeev V.M. Severnaya Zemlya Archipelago. Glaciation, environmental history. St.Petersburg: AARI. 1995. 217 p.p.

Bushueva I.S., Glazovsky A.F., Nosenko G.A. Surge development in the western sector of the Vavilov Ice Cap, Severnaya Zemlya, 1963–2017 // *Ice and snow*. 2016. Vol. 58. No. 3. P. 293-306. doi: 10.15356/2076-6734-2018-3-293-306

Klementiev O.L., Nikolaev V.I., Potapenko V.Yu., Savatyugin L.M. Internal construction and thermodynamic state of Severnaya Zemlya glaciers // *Data of glaciological studies*. 1992. Vol. 73. P. 103-109.

Boike J., Kattenstroth B., Abramova K., Bornemann N., Chetverova A., Fedorova I., Fröb K., Grigoriev M., Gruber M., Kutzbach L., Langer M., Minke M., Muster S., Piel K., Pfeiffer E.-M., Stoof G., Westermann S., Wischniewski K., Wille C., Hubberten H.-W. Baseline characteristics of climate, permafrost and land cover from a new permafrost observatory in the Lena River Delta, Siberia // *Biogeosciences*. Vol. 10. Is. 3. P. 2105–2128. 2013. doi:10.5194/bg-10-2105-2013

Boike, J., Nitzbon, J., Anders, K., Grigoriev, M., Bolshiyarov, D., Langer, M., Lange, S., Bornemann, N., Morgenstern, A., Schreiber, P., Wille, C., Chadburn, S., Gouttevin, I., Kutzbach, L. A 16-year record (2002–2017) of permafrost, active layer, and meteorological conditions at the Samoylov Island Arctic permafrost research site, Lena River Delta, northern Siberia: an opportunity to validate remote sensing data and land surface, snow, and permafrost models // *Earth System Science Data*. 2019. Vol. 11. Is 1. P. 261-299. doi: 10.5194/essd-11-261-2019