

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

УДК 551.345.2

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-370–380>

Формирование и распространение многолетней мерзлоты и таликов под руслами проток в дельте р. Лена

Г. Т. Максимов¹, М. Н. Григорьев¹, Д. Ю. Большиянов²

¹*Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация*

²*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

✉ maximov@mpi.ysn.ru

Аннотация

Дельты арктических рек являются ареной активного новообразования многолетнемерзлых пород и, в то же время, местом формирования таликовых зон. В связи с широким распространением в арктических дельтах мелководий под промерзающими зимой до дна руслами, площадь распространения новообразованной подводной мерзлоты значительно превышает площадь талых подрусловых массивов. В ходе полевых исследований в дельте р. Лена выявлены особенности и закономерности формирования как новообразованной мерзлоты в пределах проток, так и подрусловых таликов. На основании буровых, геофизических и батиметрических данных, полученных в ходе экспедиционных исследований в 2014–2020 гг., выяснено, что многолетняя мерзлота под руслами проток практически всегда формируется при меженных глубинах менее 2–2,5 м, но может встречаться и на глубинах 3–5 м. Глубина протаивания подводной мерзлоты на мелководьях в летний период составляет от 1 до 3 м. Подрусловые талики повсеместно развиваются под протоками глубиной более 3 м. Установлено, что площадь участков многолетнего промерзания подрусловых грунтов в дельте преобладает над площадью участков, где формируются таликовые зоны. Полученные результаты могут быть использованы специалистами речного флота для уточнения изменений положения речных фарватеров в арктических дельтах.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, подрусловые талики, кровля подводной мерзлоты, новообразованные мерзлые породы, арктические дельты

Финансирование. Исследование выполнено в рамках базового проекта ИМЗ СО РАН «Деградация мерзлоты и трансформация рельефа в береговой зоне и на шельфе арктических морей восточного сектора РФ: динамика, прогноз и риски» (АААА-А20-120111690012-6).

Благодарности. Коллектив авторов благодарит за помощь и техническую поддержку состав научной исследовательской станции «Остров Самойловский».

Для цитирования: Максимов Г.Т., Григорьев М.Н., Большиянов Д.Ю. Формирование и распространение многолетней мерзлоты и таликов под руслами проток в дельте р. Лена. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2022;27(3):370–380. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-370–380>

Formation and distribution of permafrost and taliks under channels of the Lena River Delta

G. T. Maksimov¹, M. N. Grigoriev¹, D. Yu. Bolshiyanov²

¹*Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation*

²*Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation*

✉ maximov@mpi.ysn.ru

Abstract

The Arctic deltas represent the scene for active permafrost formation and, at the same time, the place for talik zones development. Due to the wide distribution of shallow waters in the Arctic deltas under channels freezing to the bottom in winter, the area of newly formed underwater permafrost significantly exceeds the area of thawed under-channel massifs. During the field research in the Lena River Delta we have revealed features and patterns of formation of both

newly formed permafrost within the channels and under-channel taliks. On the basis of drilling, geophysical and bathymetric data obtained in the course of expedition research in 2014–2020, we have found that permafrost under the channels almost always forms at low water depths of less than 2–2.5 m, but can also occur at depths of 3–5 m. The depth of thawing of underwater permafrost in shallow waters in summer reaches from 1 to 3 m. Under-channel taliks develop under channels with a depth of more than 3 m, where talik zones are formed. The results obtained can be used by river fleet specialists to clarify changes in the position of river fairways in the Arctic deltas

Keywords: permafrost, subaquatic taliks, subchannel permafrost table, permafrost aggradation, Arctic delta

Funding. This study was carried out within the Basic Project of Melnikov Permafrost Institute SB RAS (number AAAA-A20-120111690012-6).

Acknowledgements. The authors are grateful for the help and technical support to the staff of the scientific research station «Samoilovsky Island».

For citation: Maksimov G.T., Grigoriev M.N., Bolshiyarov D.Yu. Formation and distribution of permafrost and taliks under channels of the Lena River Delta. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2022;27(3):370–380. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-370-380>

Введение

В устьевых областях рек, впадающих в арктический бассейн, под относительно мелководными водными артериями формируются как многолетнемерзлые породы, так и таликовые зоны. Особенно широко распространены такие формирования в дельтах Восточного сектора Российской Арктики, где глубины проток при прогрессирующих бифуркациях русел по большей части не превышают первых метров. Характер распространения многолетнемерзлых пород и особенности развития таликовых зон под протоками русел в арктических дельтах почти не изучены. Прежде такие исследования проводились лишь на отдельных участках вблизи мор-

ского края дельт рек Яна, Колыма и Маккензи, где влияние морского засоления на формирование подводных многолетнемерзлых пород чрезвычайно велико [1–4].

Работы по изучению субаквальных многолетнемерзлых пород, а также особенностей формирования таликов в дельте р. Лена проводятся Институтом мерзлотоведения СО РАН с 2014 г. Изучение субаквальных мерзлых пород и таликов под руслами проток проводились в центральной части дельты р. Лена преимущественно на Большой Туматской и Оленекской протоках, в приустьевой зоне Быковской протоки, а также в других мелких протоках (рис. 1). Эти участки соответствуют типичным для арктической дельты природным условиям.

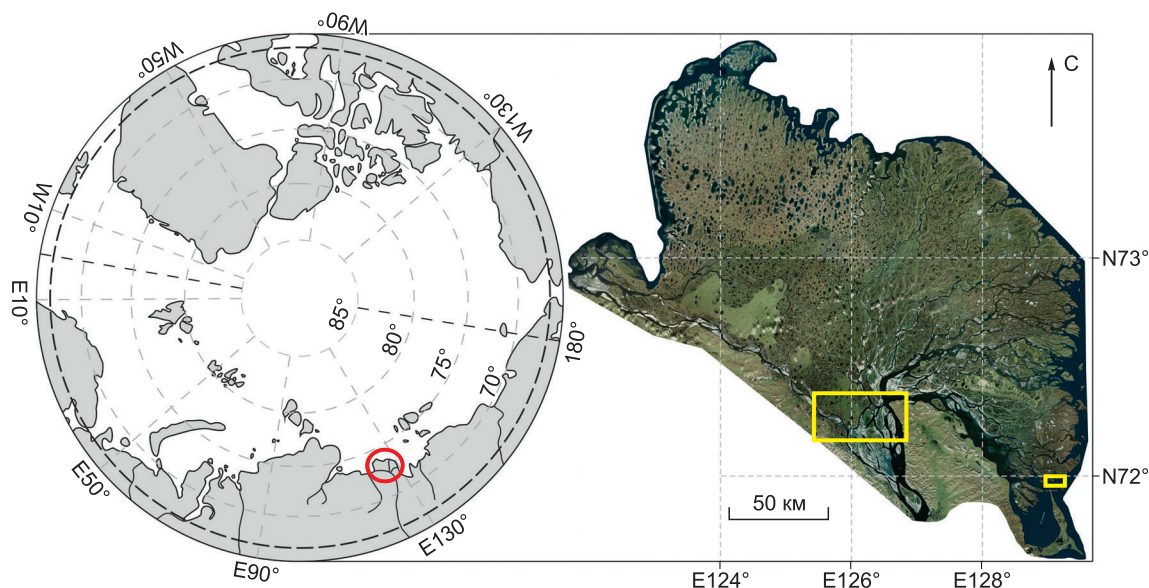


Рис. 1. Расположение района исследований на карте-схеме Арктики. Красный круг – дельта р. Лена; желтые рамки – участки работ.

Fig. 1. Location of the study area on the Arctic circle map. Red circle – Lena River Delta; yellow frames – worksites.

Основная цель настоящих исследований – изучить особенности формирования многолетнемерзлых пород и развития таликовых зон под руслами проток и выявить основные закономерности эволюции субаквальной мерзлоты и подрусловых таликов в пределах дельты Лены.

Район и методика исследований

Характеристика района работ. Дельта р. Лена является крупнейшей дельтой в Арктике и представляет собой в основном аккумулятивное формирование, выступающее в море и состоящее из многочисленных островов, сложенных аллювиально-дельтовыми отложениями, а также останцов позднеплейстоценовой равнины и немногочисленных скальных выступов. Площадь дельты составляет около 30 тыс. км². Климат дельты – арктический континентальный. Среднегодовая температура воздуха –12,5 °С, а годовое количество осадков составляет 230 мм [5].

Река в вершине дельты разделяется на пять основных рукавов, а затем на десятки средних и сотни мелких проток, общая протяженность которых составляет более 6200 км. 70 % стока приходится на Трофимовскую протоку, 15 – на Быковскую, 10 – на Оленекскую и 5 % – на Ту-

матскую протоки [6, 7]. Объем годового стока р. Лена, по данным гидропоста «Кюсюр», составляет около 542 км³ в год, основной объем воды (более 70 %) сбрасывается в летние месяцы, а за зимний период (ноябрь–май) лишь 9 %. Средняя многолетняя мутность воды составляет около 36,5 г/м³ [8]. Сток взвешенных наносов составляет 20,71 млн т в год. Доля влекомых наносов, поступающих в дельту, оценивается примерно в 15 млн т в год [9, 10].

Методика работ. Исследования субаквальных многолетнемерзлых толщ проводились с помощью бурения, выполнявшегося в весеннее время с речного льда колонковым способом с продувкой и без нее. Использовались буровые установки УРБ-4Т, КМБ-3М и УКБ 12/25.

В 2014–2019 гг. были пробурены буровые профили на Большой Туматской и Оленекской протоках (рис. 2). Керновый материал документировался и затем транспортировался в г. Якутск с сохранением талого или мерзлого состояния. Лабораторные определения физических свойств пород и гранулометрический состав выполнялись в Институте мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН [11, 12].

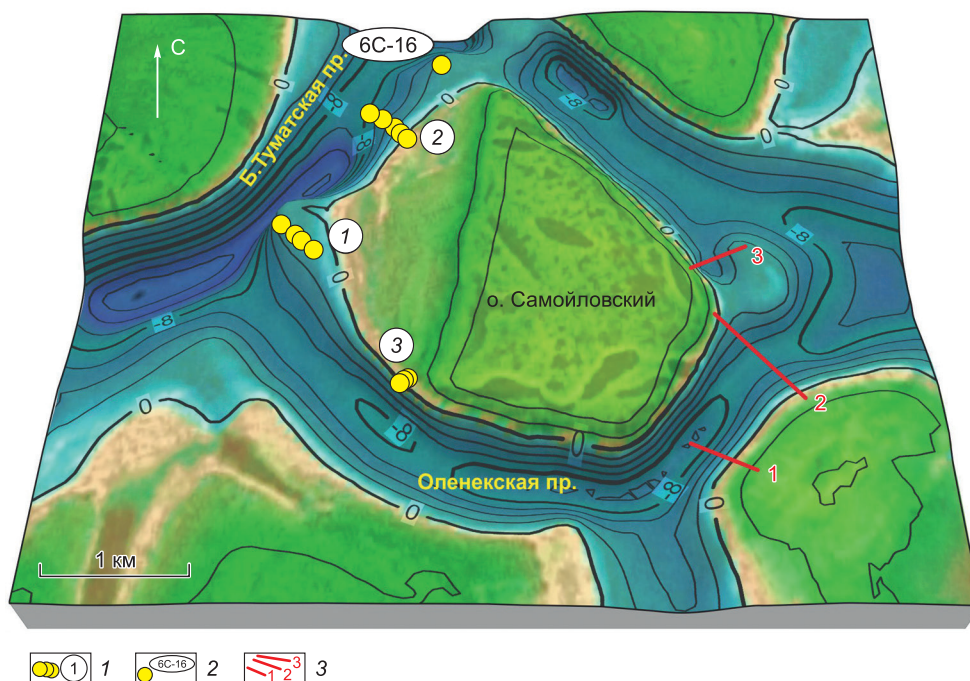


Рис. 2. Результаты батиметрической съемки, интервал между горизонталями 2 м. 1 – буровой профиль; 2 – отдельная скважина; 3 – профили съемки донным щупом.

Fig. 2. Results of bathymetric survey, interval between horizontals 2 m. 1 – drilling profile; 2 – single borehole; 3 – survey profiles with a bottom permafrost probe.

Температурные измерения выполнялись в обсаженных пластиковыми трубами скважинах при помощи логгерной системы ИРС-1 (ОАО «Фундаментпроект», Россия). Пределы допускаемой абсолютной погрешности логгера $\pm 0,1$ °C в диапазоне температур от 0 до -20 °C. Датчики температур устанавливались с шагом 1 м и с интервалом записи 2 ч.

В летние сезоны на протоках дельты с помощью GPS-эхолота (Garmin Echo 550) проводилась батиметрическая съемка, по результатам которой была построена схема глубин в центральном секторе дельты Лены. Также проводилась съемка положения кровли подводной мерзлоты на относительно мелководных протоках. Для ее фиксации на выбранных типовых профилях использовался специальный разборный донный щуп, длиной 10 метров. Такой щуп надежно фиксирует поверхность многолетней подводной мерзлоты под толщей талых донных осадков, в связи с особенностью конструкции нижнего наконечника щупа, представляющей собой лишь слегка заостренный выступ, который при входе в мерзлую толщу на 1–0,5 см передает по донному щупу специфичный «хруст». Это ощущение коренным образом отличается, например, от соприкосновения щупа с каменным или другим очень плотным препятствием в донном грунте.

Результаты работ

Батиметрическая съемка, проведенная на протоках в центральной части дельты Лены, показывает достаточно пестрое чередование глубоких и отмелых участков протоков (см. рис. 2). Наиболее детально исследованы участки вблизи о. Самойловский. Максимальные глубины на фарватерах этого района изменяются от 7 до 12 м. На северном, восточном и на западном мысах о. Самойловский наблюдаются растущие отмели. Площадь мелководий на исследуемом участке сравнительно невелика, так как он расположен в узле разветвления дельты на крупные рукава. В летнее время расход воды в них варьирует в пределах 1700–5000 м³/с. [13].

Литологический состав и температура пород представлена на разрезах по данным бурения трех профилей (рис. 3–5). Скважины бурового профиля 1 вскрывают русловые отложения, представленные чередованием песков различной зернистости и алевроитов, а также слоями древесного детрита, мощностью до 1,8 м. В скважине 1с-14 отмечаются серые пески горизон-

тально- и косослоистые с включениями органических остатков в виде нитевидных корешков, фрагментов древесины и отдельных гнезд гумусированного органического вещества. Подрусловые толщи в большинстве сложены песками, для которых характерна массивная криотекстура. Среднее значение в них весовой влажности составляет 23,5 %. В песках отмечаются тонкие прослой суглинков с тонкошлировой криотекстурой и весовой влажностью 70–100 %. В интервале глубин 5,0–6,5 м в скважине 1с-14, а также в интервале глубин 4,5–5,3 м в скважине 1с-15 отмечается прослой древесного детрита, сцементированный льдом и мелкозернистым песком.

Буровой профиль 2 выполнен в пределах приглубой части протоки Большая Туматская. Скважины 1с-16, 2с-16 и 3с-16 пробурены по талым донным отложениям, а скважины 4с-16 и SAM 2 вскрывают боковой контакт подруслового талика с многолетнемерзлыми породами. По всей толще наблюдаются горизонты древесного детрита мощностью от 2–3 мм до 40–60 см. По завершении бурения скважины 1с-16 после подъема бурового снаряда был зафиксирован длительный (около 30 мин) выброс метана в виде огненного факела из устья скважины (рис. 6). Это явление, по-видимому, связано с бактериальным разложением больших объемов органического материала, выявленного в подрусловой таликовой зоне. При вскрытии бурением придонных илистых горизонтов, препятствующих свободной эмиссии газа в водную среду и атмосферу, метан получает способность к высвобождению. Такие выбросы газа довольно часто встречаются в исследуемом регионе при бурении не только подрусловых толщ, но также подозерных, подлагунных и прибрежно-шельфовых.

Буровой профиль 3 выполнен на юго-западной окраине о. Самойловский, вблизи глубоководной части Оленекской протоки. Отложения представлены пестрым чередованием песка разной зернистости и суглинков, а также отмечаются небольшие прослой торфа. В песках криотекстура массивная, а в прослоях суглинков шлировая.

Анализ результатов бурения всех профилей показал наличие характерных таликовых «карманов», выгнутых в сторону берега, расположенных на глубине 2–10 м ниже уровня протоков, а также существование таких карманов на глубине 15–30 м.

Согласно результатам геофизических работ [14], выполненных вдоль буровых профилей

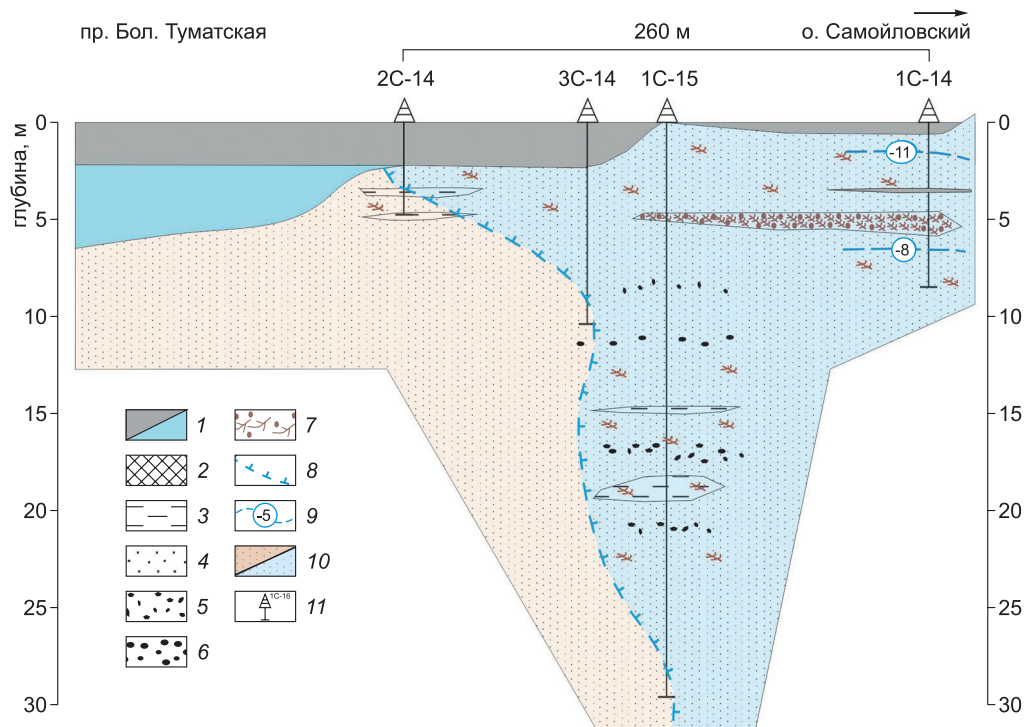


Рис. 3. Схема разреза по буровому профилю 1, мелководная часть протоки Бол. Туматская.

1 – вода/лед; 2 – торф; 3 – алевроит; 4 – песок; 5 – дресва; 6 – галька; 7 – древесный детрит; 8 – граница мерзлых пород; 9 – изотерма; 10 – талые/мерзлые породы; 11 – скважина.

Fig. 3. Schematic section of the drilling profile 1, shallow part of Bolshaya Tumatskaya channel.

1 – water/ice; 2 – peat; 3 – aleurite; 4 – sand; 5 – gruss; 6 – pebbles; 7 – tree detritus; 8 – border of frozen rocks; 9 – isotherm; 10 – thawed/frozen rocks; 11 – well.

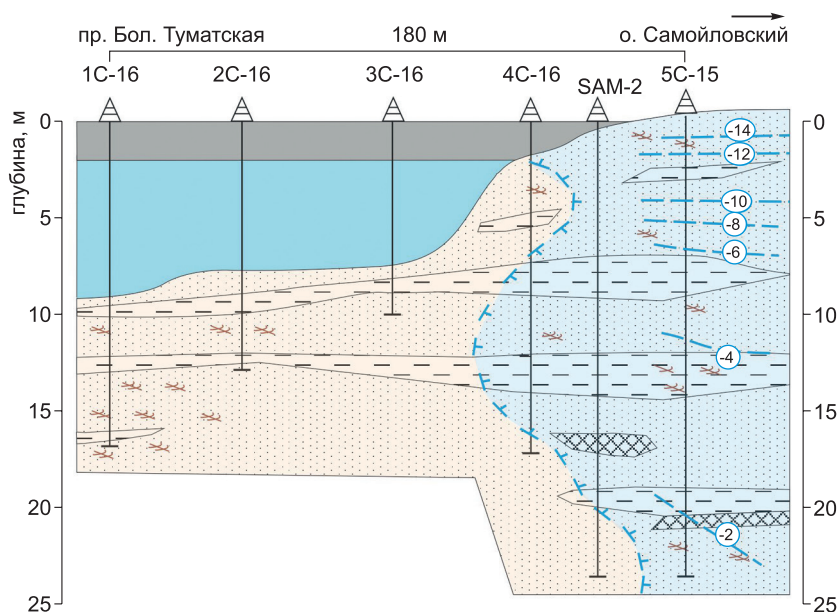


Рис. 4. Схема разреза по буровому профилю 2, приглубая часть протоки Бол. Туматская, условные обозначения приведены на рис. 3.

Fig. 4. Schematic section of the drilling profile 2, the deep part of Bolshaya Tumatskaya channel. Legend is shown in fig. 3.

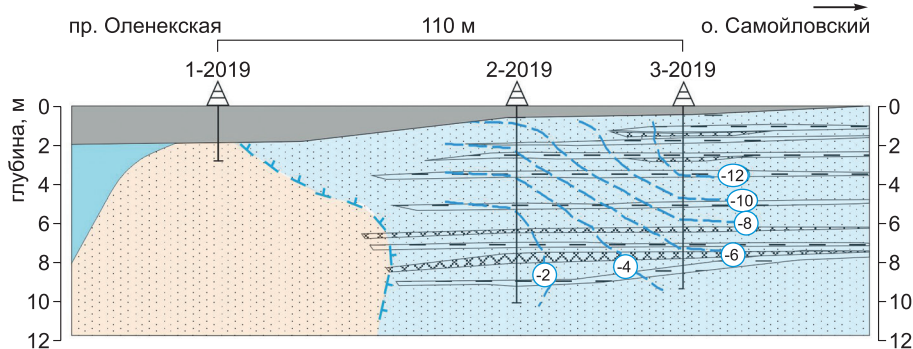


Рис. 5. Схема разреза по буровому профилю 3, мелководная часть Оленекской протоки, условные обозначения приведены на рис. 3.

Fig. 5. Schematic section of the drilling profile 3, shallow part of Olenekskaya channel. Legend is shown in fig. 3.

на Большой Туматской протоке, подрусовой талик под ней несквозной и замыкается на глубине 40–60 м от дна протоки.

Температура многолетнемерзлых пород на прирусловых отмелях варьирует в широком диапазоне в зависимости от мощности речного льда, толщины снежного покрова и теплового влияния реки. В скважине 1с-14 (профиль 1) температура пород на глубине 1,5 м составила -11°C , а на глубине 6,5 м -8°C . В скважине 2-2019 (профиль 3) температура пород сравнительно выше, чем в других скважинах. Это можно объяснить наличием на этом участке плотного снежного покрова толщиной 0,5 м и близким расположением скважины к подрусовому талику. Температура пород в скважине 1с-14 (профиль 1) и 3-2019 (профиль 3) на глубине 6 м варьирует от $-6,5$ до -8°C . Скважина 5с-16, пробуренная на песчаной отмели в 10 м от края ледового покрова русла, несмотря на ее близость к реке, характеризуется весьма низкой температурой от $-16,2$ до $-11,2^{\circ}\text{C}$ в верхней части ее разреза. Это объясняется полным отсутствием здесь снежного покрова из-за ветрового раздува в течение зимнего периода. С глубины 10 м до 25 м температура пород повышается почти линейно от $-5,8$ до $-1,6^{\circ}\text{C}$ по мере приближения к границе подрусового талика, вскрытого скважиной Sam2 (профиль 2) на глубине 20 м. Согласно распределению температур пород на мелководьях, подрусовой талик начинает формироваться только в пределах относительно глубокой части протоки, с глубинами более 2–2,5 м.

Для выявления положения кровли подрусовой многолетней мерзлоты или глубин сезонно-



Рис. 6. Выброс природного газа из скважины 1с-16, поднимающегося из пробуренных талых подрусовых грунтов через толщу речной воды.

Fig. 6. The release of natural gas from the borehole 1с-16 rising from thawed subchannel soils through the river water column.

го протаивания донных отложений под протоками были выполнены измерения толщины талых донных грунтов с помощью ручного донного шупа, которые проводились в период максимального для арктического региона протаивания таких толщ в сентябре. Исследовались участки (рис. 7) протоки Ысы-Хая-Тебюлеге, соединяющейся с крупной Оленекской протокой, небольшая протока Систях-Ары-Уэся, профиль от северного мыса о. Сордох Ары до о. Сасыл-Ары, между о. Систях-Арыта и песками Соболев, несколько профилей у о. Самойловский и профиль на приустьевой части Быковской протоки. По результатам съемки было выявлено, что при глубинах воды 0,5–1,0 м, мощность сезонноталого



Рис. 7. Профили съемки донным щупом, спутниковый снимок Sentinel-2.; *а* – центральная часть дельты Лены; *б* – выход Быковской протоки в море Лаптевых.

Fig. 7. Bottom probe survey profiles, satellite image Sentinel-2. *a* – central part of the Lena Delta; *б* – exit of the Bykovskaya channel to the Laptev Sea.

слоя варьирует от 1,0 до 2,0 м (рис. 8). При глубине воды от 1,5 до 3 м кровля мерзлых пород залегает на 1,0–2,5 м метра ниже дна. В краевых зонах подруслового талика, при глубине воды более 3 м, кровля мерзлых пород фиксируется до глубины 1–5 м ниже дна. Наиболее глубокое залегание кровли многолетней мерзлоты зафиксировано на профиле 5 в середине протоки на донном валу на глубине 4–7 м, при толще воды 3 м. По-видимому, на относительно приглубых участках русел, при глубинах более 3 м, промерзание донного грунта через лед может происходить и на таких глубинах, поскольку уровень воды в протоках центральной части дельты к концу весны падает на 1,5–2 м.

Дискуссия

Промерзание русловых отложений зависит от гидрологической обстановки (уровенный режим и толщина ледяного покрова), поскольку охлаждение донных осадков происходит через слой льда при зимней межени. На исследуемом участке дельты за зимний период (2008–2018 гг.) уровень воды в сравнении со среднелетним падает почти на 2,5 м, а толщина ледового покрова достигает более 2 м. Это обуславливает почти полное промерзание мелких и частичное глубоких протоков (рис. 9), чем объясняется формирование под протоками мерзлых пород до 3–5 м. Мерзлые осередки не успевают деградировать за лет-

ний сезон в связи с тем, что темп оттаивания под водой в арктических условиях невелик и в среднем составляет около 0.2–0.4 м/год [15].

Подрусловой талик на исследуемом участке Большой Туматской протоки является замкнутым, глубиной 40–60 м. Его боковые границы осложнены выгнутыми в сторону берега «карманами», связанными с миграцией русла и последующим смещением таликовой зоны в сторону глубоководной части русла.

Площадь проток дельты Лены составляет около 7500 км², т. е. примерно 25 % ее общей площади. Анализ батиметрических характеристик судовых проток в дельте р. Лена, согласно данным лоции [16], показывает, что даже крупные протоки характеризуются большим числом мелководий, со среднелетними глубинами до 2 м, под которыми донные грунты гарантированно промерзают в зимне-весеннее время (см. таблицу).

В целом площадь мелководных участков, под которыми происходит формирование подрусловых таликовых зон, значительно превышает площадь относительно глубоких речных акваторий.

Заключение

Результаты исследований подрусловых многолетнемерзлых и талых пород показывают, что многолетняя мерзлота под протоками распространена чрезвычайно широко, занимая большую

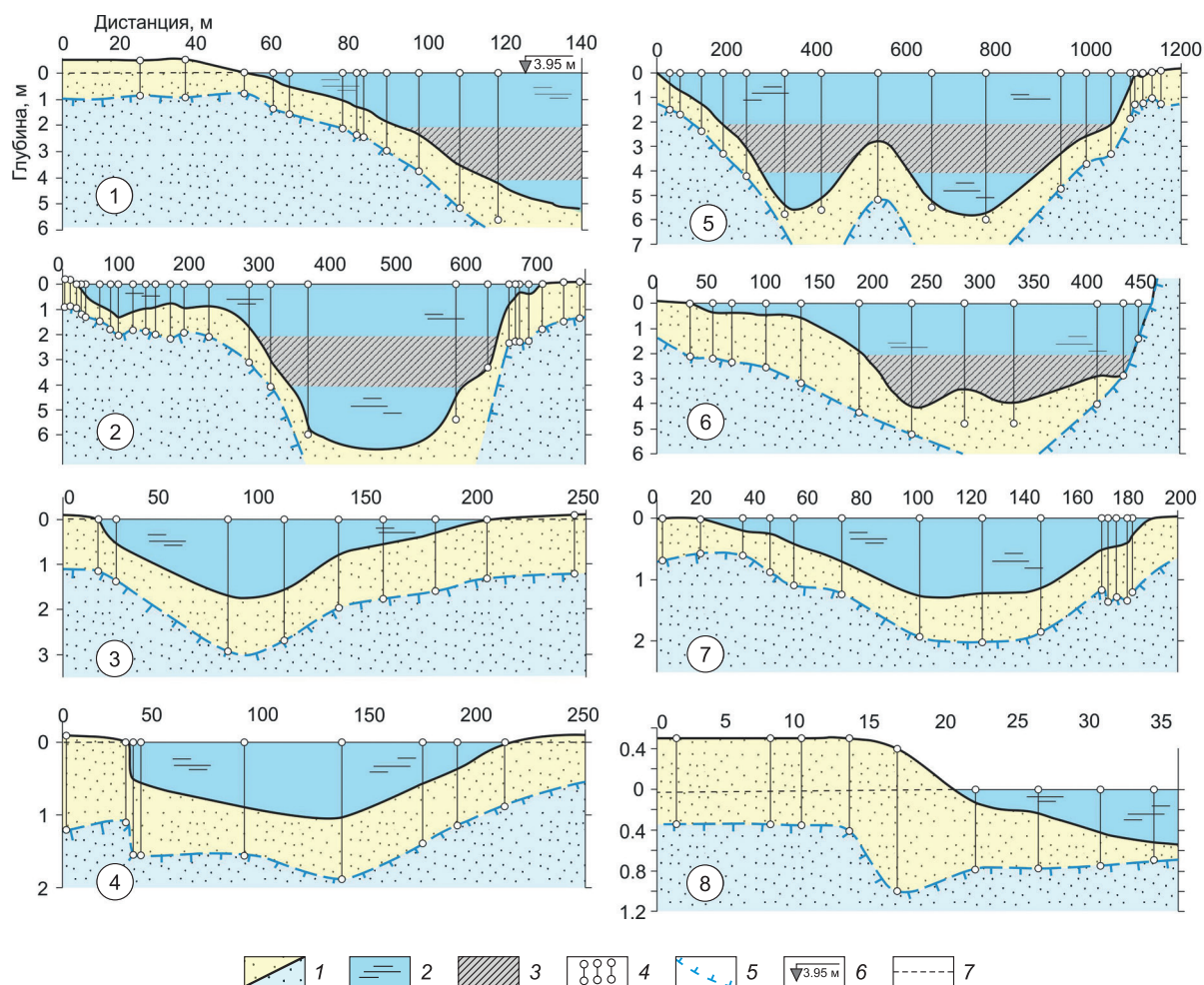


Рис. 8. Результаты съемки мерзлотным шупом на протоках до кровли мерзлых пород. 1 – талые/мерзлые породы; 2 – вода; 3 – мощность речного льда при средней многолетней зимней межени; 4 – место измерения шупом; 5 – кровля ММП; 6 – уровень реки на момент выполнения работ (август–сентябрь); 7 – уровень надмерзлотных вод. Профили: 1 – расположен на берегу безымянного песчаного острова на юго-восток от о. Самойловский; 2 – проложен от восточного мыса о. Самойловский через Оленекскую протоку; 3 – расположен от восточного мыса о. Самойловский до песков Эбе-Кумага; 4 – проложен на небольшой протоке, выходящей в протоку Сисях-Ары-Уэся, рядом с островами Сордох-Ары; 5 – проложен между островами Сасыл-Ары и Сордох-Ары; 6 – проложен от южного мыса о. Сисях-Арыта до песков Соболя; 7 – проложен на выходе протоки Ысы-Хая-Тебюлеге в Оленекскую протоку, участок Чай-Тумус; 8 – расположен на выходе Быковской протоки, на южном мысе о. Зимовьялах.

Fig. 8. Results of surveying with a permafrost probe on channels till permafrost table. 1 – thawed/frozen sediments; 2 – river water; 3 – thickness of river ice at an average long-term winter low water; 4 – place of measurement with a probe; 5 – permafrost boundary; 6 – river level at the time of work (August–September); 7 – level of groundwater. Profiles: 1 – the profile is located on the shore of a nameless sandy island to the southeast of Samoilovskiy Island; 2 – the profile is laid from the eastern cape of Samoilovskiy Island through the Olenek channel; 3 – the profile is located from the eastern cape of Samoilovskiy Island to the sands of Ebe-Kumaga; 4 – the profile is laid on a small channel that goes into the Sistakh-Ary-Uesya channel, next to the Sordokh-Ary Islands; 5 – The profile is laid between the islands of Sasyal-Ary and Sordokh-Ary; 6 – the profile is laid from the southern cape of the Sistakh-Aryta Island to the Sobol sands; 7 – the profile was laid at the exit of the Ysy-Khaya-Tebyulege channel into the Olenek channel, the Chai-Tumus section; Profile 8 is located at the exit of the Bykovskaya channel, on the southern cape of Zimovielakh Island.

часть профиля как глубоких, так и почти целиком мелких проток. Всесезонный подрусловый талик формируется лишь в пределах относительно глубокого фарватера с глубиной более 2,5–3 м. Талик обычно имеет сложную боковую границу с выступами в сторону берега, связанную с те-

пловым боковым потоком, а также со смещением берегов. Распределение температур по исследуемым профилям показывает, что донные отложения на мелководных частях русел устойчиво промерзают на значительные глубины, а температура на глубине 8 м достигает $-8 \div -6^\circ\text{C}$.

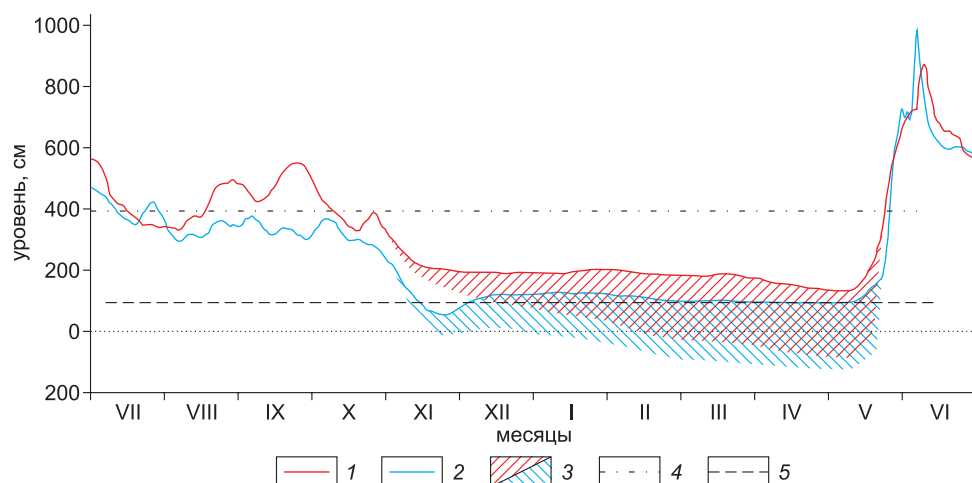


Рис. 9. График изменения среднего уровня воды в течении года и речного льда в зимний период.
1 – уровень воды в период 07.2008–06.2009 г.; 2 – уровень воды в период 07.2014–06.2015 г.; 3 – речной лед; 4 – среднелетний уровень воды; 5 – зимний минимальный уровень воды. (по данным метеостанции им. Хабарово).

Fig. 9. Graph of changes in the average water level throughout the year and river ice in winter.
1 – water level in the period 07.2008–06.2009; 2 – water level in the period 07.2014–06.2015; 3 – river ice; 4 – average annual water level; 5 – winter minimum water level. (according to the Met.st. Khabarovo).

Площадные параметры проток

Areal parameters of the channels

Водоток/ Channel	Общая площадь/ Total area	Площадь фарватера/ Fairway area		Площадь мелководий/ Shallow area	
	км ²	км ²	%	км ²	%
Протока Быковская	311,7	127,3	41	184,4	59
Протока Оленекская	640,2	285,2	44,5	355	55,5

Список литературы / References

1. Григорьев Н.Ф. Многолетнемерзлые породы приморской зоны Якутии. М.: Наука; 1966. 181 с.
[Grigorev N.F. *Permafrost rocks of the primorsky zone of Yakutia*. Moskva: Nauka; 1966. (In Russ.)]
2. Hollingshead G.W., Skjolingstad L., Rundquist L.A. Permafrost beneath channels in the Mackenzie Delta, N.W.T., Canada. *Proceedings of the Third International Conference on Permafrost*. 1978;1:406–412.
3. Коняхин М.А., Карташова Г.Г., Шубина Л.А., Недешева Г.Н. Криолитологическое строение субаквальных дельтовых отложений р. Колымы (по результатам колонкового бурения). *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 1989;(3):48–53.
[Konyakhin M.A., Kartashova G.G., Shubina L.A., Nedesheva G.N. Cryolithological structure of subaqueous delta deposits of the Kolyma River (based on the results of core drilling). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 1989;(3):48–53 (In Russ.)]

4. Solomon S.M., Taylor A.E., Stevens C.W. Near-shore ground temperatures, seasonal ice bonding, and permafrost formation within the bottom- Fast Ice Zone, Mackenzie Delta, NWT. *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost*. 2008; 2:1675–1680.

5. Архив метеоданных на о-ве Столб (21721), Булунский район, Якутия. *Справочно-информационный портал «Расписание погоды»*; 2022. URL: http://gr5.ru/Архив_погоды_на_о_Столб (дата обращения: 30 марта 2022)

[Archive of meteorological data on Stolb Island (21721), Bulunsky district, Yakutia. *Reference and information portal «Расписание погоды»*; 2022. URL: http://gr5.ru/Архив_погоды_на_о_Столб (accessed: March 30, 2022)]

6. Антонов В.С. Дельта реки Лены (краткий гидрологический очерк). *Изучение устьев рек*. М.: АН СССР; 1960;VI:25–34.

[Antonov V.S. Lena River Delta (a brief hydrological sketch). *Study of river mouths*. Moskva: AN SSSR; 1960; Vol.VI:25–34. (In Russ.)]

7. Залогин Б.С., Родионов Н.А. Устьевые области рек СССР. М.: Мысль; 1969. 312 с.

[Zalogin B.S., Rodionov N.A. *Estuaries of the rivers in the USSR*. Moskva: Mysl'; 1969. (In Russ.)]

8. Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Айбулатов Д.Н. Особенности и оценки пространственно-временной изменчивости речного стока в многорукавной дельте р. Лены. *Меняющийся климат и социально-экономический потенциал Российской Арктики*. М.: Лига-Вент; 2016;2:65–95.

[Alekseevskiy N.I., Magritskiy D.V., Aybulatov D.N. Features and estimates of the spatial-temporal variability of river flow in the multi-arm delta of the Lena River. *Changing climate and socio-economic potential of the Russian Arctic*. Moskva: Liga-Vent; 2016;2:65–95. (In Russ.)]

9. Тананаев Н.И., Анисимова Л.А. Оценка годового стока влекомых наносов рек севера Сибири и Дальнего Востока. *География и природные ресурсы*. 2013;(1):148–156.

[Tananaev N.I., Anisimova L.A. Evaluating the Annual Runoff of Traction Load on the Rivers in the North of Siberia and the Far East. *Geography and Natural Resources*. 2013;(1):148–156. (In Russ.)]

10. Тананаев Н. И. Оценка годового стока взвешенных наносов рек севера Сибири и Дальнего Востока. *Океанология*. 2014;54(5):694–703.

[Tananaev N.I. Estimation of the Annual Discharge of Suspended Matter by the Rivers of North Siberia and the Far East. *Oceanology*. 2014;54(5):694–703. (In Russ.)]

11. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ; 2019. 19 с.

[*Interstate Standard. GOST 12536-2014 Soils. Methods of laboratory granulometric (grain-size) and micro-aggregate distribution*. Moscow: Standartinform; 2019. 19 p. (In Russ.)]

12. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Стандартинформ; 2019. 19 с.

[*Interstate standard. GOST 5180-2015 Soils. Laboratory methods for determination of physical characteristics*. Moscow: Standartinform; 2019. 19 p. (In Russ.)]

13. Большианов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г. Происхождение дельты реки Лены. СПб.: РЕНОВА; 2013. 268 с.

[Bolshiyarov D.Yu., Makarov A.S., Shnayder V., Shtof G. *The origin of the Lena River Delta*. Sankt-Peterburg: RENOVA; 2013. (In Russ.)]

14. Bobrov N., Titov A., Krekhov A. Delineation of underbed talik in the Lena River delta with the use of geophysics — results of GPR, TEM and ERT measurements. *Proceedings of International youth scientific conference on the polar geodesy, glaciology, hydrology and geophysics*. St. Petersburg; 2018:6068.

15. Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС; 1995. 600 с.

[*Waterways of the Lena basin*. Moskva: MIKIS; 1995. (In Russ.)]

16. Лоцманская карта реки Лена. От селения Жиганск до устья. Якутск: ГлавВодПуть; 1975. 47 л.

[*Pilot map of the Lena River. From the village of Zhigansk to the mouth*. Yakutsk: GlavVodPut; 1975. (In Russ.)]

Об авторах

¹МАКСИМОВ Георгий Тимофеевич, младший научный сотрудник, лаборатория общей геокриологии, Author ID: 57189391401, <https://orcid.org/0000-0001-6747-8621>, e-mail: maximov@mpi.ysn.ru

¹ГРИГОРЬЕВ Михаил Николаевич, доктор географических наук, главный научный сотрудник, лаборатория общей геокриологии, Researcher ID: J-7655-2016? <https://orcid.org/0000-0003-1997-9506>, e-mail: grigoriev@mpi.ysn.ru

²БОЛЬШИЯНОВ Дмитрий Юрьевич, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, отдел географии полярных стран, <https://orcid.org/0000-0001-6974-3150>, e-mail: bolshiyarov@aari.ru

Аффилиация

¹Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Российская Федерация.

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, 199397, г. Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38, Российская Федерация.

About the authors

¹MAKSIMOV, Georgii Timofeevich, Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-6747-8621>, Author ID: 57189391401, e-mail: maximov@mpi.ysn.ru

¹GRIGORIEV, Mikhail Nikolaevich, Dr. Sci. (Geography), Principal Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-1997-9506>, Researcher ID: J-7655-2016, e-mail: grigoriev@mpi.ysn.ru

²BOLSHIYANOV, Dmitriy Yurievich, Dr. Sci. (Geography), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-6974-3150>, e-mail: bolshiyarov@aari.ru

Affiliation

¹Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk 677010, Russian Federation

²Arctic and Antarctic Research Institute, Beringov str., 38, Saint-Petersburg 199397, Russian Federation.

Поступила в редакцию / Submitted 27.05.2022

Поступила после рецензирования / Revised 23.06.2022

Принята к публикации / Accepted 27.07.2022