

doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-546-551



СОСТАВ ОТЛОЖЕНИЙ СКЛОНОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ТЕРМОДЕНУДАЦИИ, И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЯМАЛА

✉ Левочкина О.В.¹, Лейбман М.О.¹, Тарасевич И.И.^{1,2}, Факащук Н.Ю.¹, Гинзбург А.П.⁴,
Данько М.М.¹, Мареев В.А.^{1,3}, Бурдак Д.В.³, Ваништейн Б.Г.⁵, Киль А.О.⁵, Семенов П.Б.⁵,
Хомутов А.В.¹.

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

² МГУ М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

⁴ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия

⁵ ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

✉ levochckina@yandex.ru

В рамках полевых работ в августе 2024 г. в районе стационара «Васькины Дачи» на Центральном Ямале производилось криолитологическое описание разрезов и отбор проб для исследования геохимического состава отложений и механизма переноса вещества с подверженных термоденудации берегов в озера. Анализ полученных данных позволит выделить количественные характеристики подверженных сносу отложений и особенности его распределения в прибрежной зоне озер.

Ключевые слова: термоденудация, термоцирк, Центральный Ямал, озера, донные отложения, тяжелые металлы.

В условиях меняющегося климата все большую актуальность приобретает изучение криогенных процессов в Арктике и их влияние на водные экосистемы. Особенно чувствительными к климатическим флуктуациям являются районы с широким распространением сильнольдистых отложений и подземных льдов, залегающих близко к поверхности. Такими условиями характеризуется Центральный Ямал, на территории которого с 2012 г. наблюдается активизация таких процессов как термоденудация и криогенное оползание [Хомутов и др., 2017]. В результате развития этих процессов формируются специфические формы рельефа – термоцирки. На Центральном Ямале термоцирки развиваются преимущественно на побережьях озер, их развитие приводит переносу большого количества материала в озера.

В пределах научно-исследовательского стационара (НИС) «Васькины Дачи» на Центральном Ямале сотрудниками Института криосферы Земли ведется многолетний мониторинг температуры и глубины сезонно-талого слоя [Хомутов и др., 2023], исследование динамики и механизма развития термоцирков [Хомутов и др., 2017; Тарасевич и др., 2022 и др.; Хомутов и др., 2024], исследование геохимического и изотопного состава отложений СТС и подземных льдов [Дворников и др., 2017; Письменюк и др., 2021; Savvichev et al., 2021], мониторинг химического состава озерной воды [Факащук и др., 2023] и др. Исследования последних лет показали, что вместе с активизацией склоновых криогенных процессов меняется состав озерных вод, однако для оценки роли термоденудации как механизма переноса вещества с водоразделов в озера необходимы исследования состава склоновых и донных отложений озер.

Данные по гранулометрическому составу отложений, содержанию растворенного органического углерода, ионному и элементному составу отложений позволят проанализировать латеральные потоки веществ от водораздела к озеру, выделить количественные характеристики подверженного сносу материала и особенности его распределения в прибрежной зоне.

Для этих целей в рамках полевых работ 2023 г. в районе НИС «Васькины Дачи» проводилось криолитологическое описание стенок термоцирков, находящихся на разных стадиях развития, и отбор проб [Левочкина и др., 2023]. Отобранные образцы отложений,

подземных льдов и озерной воды были доставлены в лабораторию ВНИИОкеангеологии (г. Санкт-Петербург) для определения гранулометрического и геохимического состава отложений и химического состава воды. Анализ гранулометрического состава донных отложений озер, отобранных вблизи берега, показал, что донные отложения имеют схожий состав для участков, где термоденудация не развивается или находится на ранней стадии развития. Донные отложения озера, подверженного воздействию сноса в результате интенсивного развития термоденудации, отличаются резким повышением в грансоставе содержания песчаной фракции. Предварительная обработка элементного состава отложений также показала, что содержание тяжелых металлов в отложениях исследуемой территории значительно превышает кларки литосферы и фоновые значения для региона.

Основные задачи полевых работ в августе 2024 года в пределах НИС «Васькины Дачи» были сформированы на основе анализа результатов предыдущего года и разделились на три группы:

- мониторинг химического состава воды в озерах;
- изучение гранулометрического состава и геохимического состава отложений термоцирков и донных отложений озер;
- изучение содержания тяжелых металлов в отложениях различного генезиса;

Для выполнения поставленных задач производилось криолитологическое описание разрезов и отбор проб. Было описано 5 разрезов, отобрано 78 образцов, включая 3 монолита льда, и 2 образца озерной воды. Основные участки исследований: побережье озера LK-06, термоцирки ТЦ-2а и ТЦ-5н (рис. 1).



Рис. 1. Расположение точек отбора проб

Термоцирк ТЦ-2а

Расположен на юго-западном склоне котловины оз. LK-15. Основной сток из термоцирка происходит в небольшое озеро, отделяющее термоцирк от оз. LK-15. Термоцирк ориентирован с юго-запада на северо-восток, северо-западный уступ имеет высоту до 6 м, юго-восточный склон – пологий, высотой до 1 м, густо поросший ивой. На северо-западном борту термоцирка была сделана зачистка (зачистка 3) высотой 2,3 м и проведено криолитологическое описание с отбором проб (рис. 2).

Зачистка 3. 70.26401, 68.91292

Слой 1. 0-12 см – Почвенно-растительный покров.

Слой 2. 12-135 см. Супесь охристо-коричневая, талая, в левой части зачистки – слоистая, ожелезненная.

Слой 3. 135-240 см. Суглинок серый, пылеватый, мерзлый, криогенная текстура – массивная. В левой части слоя 3 на глубине 200-240 см встречается линза чистого льда. Лед толщиной от 1 мм до 4 см, угол наклона 45-50°.

Слой 4. Мощность – 10 см. Подстиляет слой 3 по наклону около 50°. Супесь серая, мерзлая, криогенная текстура – линзовидная, тонкошпировая. Толщина шпиров – до 0,5 мм, вытянуты также по углу 45-50°.

В правой части зачистки с глубины 135 см вскрывается пересечение двух жил. Левая (5) – чистая ледяная жила, вскрытая на всю длину, вытянута под углом 50°. Высота 80 см. Лед чистый, прозрачный, с

включением пузырьков воздуха.

Правая (6) – ледогрунтовая жила. Высота – 90 см. Ширина верхней видимой части жилы составляет 61 см, нижней – 90 см. Слоистость вертикальная, ширина прослоев льда и грунта – 3-5 мм.

Слой 7. 3 м ниже слоя 4, 6 м от поверхности – в нижней части борта термоцирка ТЦ-2а вскрыт пластовый лед. Видимая мощность 40 см, ширина – 1 м. Лед полосчатый, со слабым уклоном (20°) на юго-восток. Ледогрунт с содержанием льда 50%, в составе – серые супеси. Прослой чистого льда толщиной до 10 см.

Профиль через ТЦ-2а

Пробы отбирались с юго-запада на северо-восток, параллельно простиранию термоцирка, вдоль старого ручья, в нижней части перекрытого оползнями, сходящими с юго-восточного борта термоцирка (рис. 3). Через каждые 3-5 м делались закопушки глубиной до 30 см, производилось описание, фотографирование и отбор проб. По результатам полевого описания влажность отложений закономерно возрастает сверху вниз от дальнего борта термоцирка

к озеру, состав отложений также меняется, суглинки и супеси в нижней части термоцирка сменяются песками и переслаиванием песков и супесей. Вблизи берега в пределах озера была отобрана колонка донных отложений (до 40 см глубиной) и взяты пробы воды из озера.

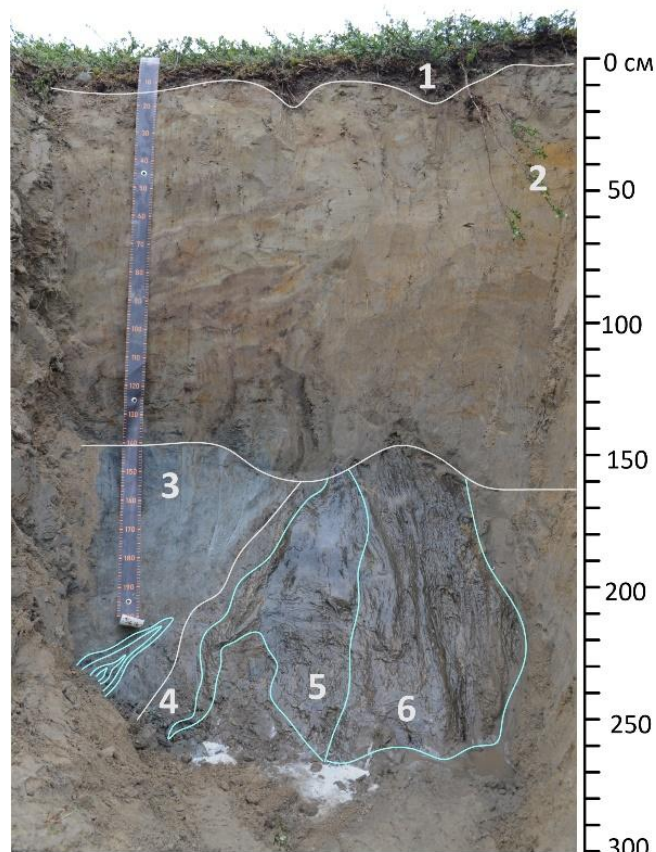


Рис. 2. Зачистка на борту термоцирка ТЦ-2а



Рис. 3.

Схема отбора проб по профилю через термоцирк ТЦ-2а

Шурф 1. 70.2632676, 68.9125427

Расположен на поверхности водораздела в 30 м к юго-востоку от ТЦ-2а. Глубина шурфа - 1 м. Абсолютная высота поверхности – 33 м.

Слой 1. 0-5 см. Почвенно-растительный покров.

Слой 2. 5-1 м. Супесь светло-коричневая, охристая, верхние 20 см – сильно ожелезненные, до 65 см – включения корней растений.

Слой 3. От 1 м. Супесь сизо-серая, мерзлая. Криогенная текстура массивная.

Также были описаны 2 разреза с отбором проб в пределах оз. ЛК-06 в зачистках мощностью до 1.3 м – зачистка 1 в пределах второй террасы озера (озерные отложения), зачистка 2 расположена на водоразделе (склоновые отложения). Криолитологическое описание с отбором проб также проводилось в северной части термоцирка ТЦ-5н. Отобранные образцы талых отложений, подземных льдов и озерной воды были доставлены в лабораторию ВНИИОкеангеологии для определения гранулометрического состава и геохимического состава отложений и химического состава воды.

В результате проведенных работ в августе 2024 г. было получено около 78 образцов породы, воды и льда. Планируется получение данных по гранулометрическому составу, определение концентрации растворенного органического углерода, ионного и элементного состава отложений и других характеристик, которые позволят проанализировать латеральные потоки веществ в системе «водосбор-озеро». Дальнейший статистический анализ состава отложений позволит выделить количественные характеристики подверженных сносу отложений и особенности его распределения в прибрежной зоне озер.

Благодарности. 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 Ямало-Ненецкого автономного округа.

ЛИТЕРАТУРА

Бабкина Е.А., Лейбман М.О., Дворников Ю.А. и др. Активизация криогенных процессов на территории Центрального Ямала как следствие региональных и локальных изменений климата и теплового состояния пород // Метеорология и гидрология. 2019. №4. с. 99-109.

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)

Левочкина О.В., Лейбман М.О., Тарасевич И.И. и др. Воздействие склоновых криогенных процессов на водные экосистемы Центрального Ямала // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-запада России. 2023. № 10. С. 175-180. doi:10.24412/2687-1092-2023-10-175-180

Письменюк А.А., Семенов П.Б., Тарасевич И.И., Лейбман М.О., Бабкин Е.М., Нестерова Н.Б., Малышев С.А., Стрелецкая И.Д., Шатрова Е.В., Хомутов А.В. Исследования четвертичных отложений и подземных льдов центрального Ямала // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2021. Выпуск 8. С. 173-176. doi: 10.24412/2687-1092-2021-8-173-176.

Тарасевич И. И. и др. Динамика термоденудации на Центральном Ямале за 2017-2021 гг. по данным ежегодного мониторинга // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2022. №. 9. С. 253-257. doi: 10.24412/2687-1092-2022-9-253-257

Факашчук Н. Ю., Дворников Ю.А., Опокина О.Л., Хомутов А.В. Влияние процессов термоденудации на ионный состав малых озер Центрального Ямала // Криосфера Земли. 2023. Т. 27. № 4. С. 14-23. doi: 10.15372/KZ20230402

Хомутов А.В., Бабкина Е.А., Хайруллин Р.Р., Дворников Ю.А. Факторы активизации термоденудации и активность термоцирков на Центральном Ямале в 2010–2018 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2024. Т. 70. № 2. С. 222-237. doi: 10.30758/0555-2648-2024-70-2-222-237

Хомутов А. В., Бабкина Е. А., Мареев В. А., Факашчук Н. Ю. Мониторинг и районирование глубины сезонного протаивания на ландшафтно-геоморфологической основе на Центральном Ямале // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2023. № 10. С. 283-291. doi: 10.24412/2687-1092-2023-10-283-291

Хомутов А.В., Дворников Ю.А., Бабкина Е.А., Лейбман М.О., Губарьков А.А., Хайруллин Р.Р. Мониторинг термоденудационных процессов на полуострове Ямал полевыми и дистанционными методами // Современные проблемы географии и геологии. 2017. С. 190-194.

Savvichev A., Rusanov I., Dvornikov Y., Kadnikov V., Kallistova A., Veslopolova E., Chetverova A., Leibman M., Sigalevich P.A., Pimenov N., Ravin N., Khomutov A. The water column of the Yamal tundra lakes as a microbial filter preventing methane emission // Biogeosciences. 2021. Vol. 18. P. 2791–2807. doi:10.5194/bg-18-2791-2021

SEDIMENT COMPOSITION ON SLOPES AFFECTED BY THERMO-DENUDATION AND ITS INFLUENCE ON THE FRESHWATER ECOSYSTEMS OF CENTRAL YAMAL

Levochkina O.V.¹, Leibman M.O.¹, Tarasevich I.I.^{1,2}, Fakashchuk N.Yu.¹, Ginzburg A.P.⁴,
Danko M.M.¹, Mareev V.A.^{1,3}, Burdak D.V.³, Vainshtein B.G.⁵, Kil A.O.⁵, Semenov P.B.⁵,
Khomutov A.V.¹

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

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

³Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

⁴Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science RAS, Pushchino, Russia

⁵VNIIOkeangeologia, Saint-Petersburg, Russia

During the fieldwork in August 2024 (research station Vaskiny Dachi), we have made cryolithological descriptions of sections and collected samples for geochemical composition analysis and assessment of the mechanisms of matter transport to lakes from catchments impacted by thermos-denudation. These data will help in determining quantitative characteristics of transitional sediments and their re-distribution within areas adjacent to lakes.

Keywords: *thermo-denudation, thermocirque, Central Yamal, lakes, bottom sediments, heavy metals*

REFERENCES:

Babkina E.A., Lejbman M.O., Dvornikov Yu.A. *et al.* Activation of Cryogenic Processes in Central Yamal as a Result of Regional and Local Change in Climate and Thermal State of Permafrost // Meteorologiya i gidrologiya. 2019. № 4. pp. 99-109. (In Russ)

Dvornikov Yu.A., Lejbman M.O., Hajm B., Khomutov A.V., Ryossler S., Gubar'kov A.A. Thermodenudation on Yamal peninsula as a source of the dissolved organic matter increase in thaw lakes // Earth's Cryosphere, 2017, Vol. XXI, No. 2, p. 28-37. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2017-2(33-42)

Levochkina O.V., Leibman M.O., Tarasevich I.I., Fakashchuk N.Yu., Mareev V.A., Khomutov A.V. Impact of slope cryogenic processes on aquatic ecosystems of the Central Yamal Peninsula // Relief and Quaternary deposits of the Arctic, Subarctic and North-West Russia. 2023. Issue 10. P. 175-180. doi: 10.24412/2687-1092-2023-10-175-180

Pismeniuk A.A., Semenov P.B., Tarasevich I.I., Leibman M.O., Babkin E.M., Nesterova N.B., Malyshev S.A., Streletskaia I.D., Shatrova E.V., Khomutov A.V. Research of Quaternary sediments and ground ice in central Yamal. Relief and Quaternary deposits of the Arctic, Subarctic and North-West Russia. 2021. Issue 8. P. 173-176. doi: 10.24412/2687-1092-2021-8-173-176

Tarasevich I.I., Kizyakov A.I., Leibman M.O., Pismeniuk A.A., Nesterova N.B., Khairullin R.R., Khomutov A.V. Dynamics of thermal denudation on central Yamal for the period of 2017-2021 according to the data of annual monitoring // Relief and Quaternary deposits of the Arctic, Subarctic and North-West Russia. 2022. Issue 9. P. 253-257. doi: 10.24412/2687-1092-2022-9-253-257

Fakashchuk N.Yu., Dvornikov Yu.A., Opokina O.L., Khomutov A.V. The impact of the processes of thermal denudation on the ionic composition of small lakes in Central Yamal // Earth's Cryosphere. 2022. Vol. 27, No. 4. P. 14-23. doi: 10.15372/KZ20230402 (In Russ)

Khomutov A.V., Babkina E.A., Khairullin R.R., Dvornikov Yu.A. Factors of thermal denudation activation and thermocirques activity on central Yamal in 2010–2018 // Arctic and Antarctic Research. 2024. Vol. 70. Is. 2. P. 222-237. doi: 10.30758/0555-2648-2024-70-2-222-237 (In Russ.)

Khomutov A. V., Babkina E. A., Mareev V. A., Fakashchuk N. Yu. Monitoring and zoning of active layer depth on a landscape-geomorphological basis on Central Yamal // Rel'ef i chetvertichnye obrazovaniya Arktiki, Subarktiki i Severo-Zapada Rossii. 2023. Vol. 10. – pp. 283-291. – DOI 10.24412/2687-1092-2023-10-283-291. – EDN BUXNMD. (In Russ)

Khomutov A.V., Babkina E.A., Mareev V.A., Fakashuk N.Yu. Monitoring and zoning of active layer depth on a landscape-geomorphological basis on Central Yamal // Relief and Quaternary deposits of the Arctic, Subarctic and North-West Russia. 2023. Issue 10. P. 283-291. doi: 10.24412/2687-1092-2023-10-283-291

Savvichev A., Rusanov I., Dvornikov Y., Kadnikov V., Kallistova A., Veslopolova E., Chetverova A., Leibman M., Sigalevich P.A., Pimenov N., Ravin N., Khomutov A. The water column of the Yamal tundra lakes as a microbial filter preventing methane emission // Biogeosciences. 2021. Vol. 18. P. 2791–2807. doi:10.5194/bg-18-2791-2021