



## РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВОГО МОНИТОРИНГА ТЕРМОЦИРКОВ НА ЦЕНТРАЛЬНОМ ЯМАЛЕ В 2025 г.

✉ Бурдак Д.В.<sup>1</sup>, Хомутов А.В.<sup>2,1</sup>, Данько М.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

<sup>2</sup> Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия

✉ dasha.burdak@mail.ru

Представлены результаты мониторинга термоцирков на Центральном Ямале за период 2019-2025 гг. Основное внимание уделено динамике развития термоцирков, формированию новых форм рельефа и оценке скорости склоновых криогенных процессов на основе данных полевых наблюдений. Прослеживается общая тенденция к увеличению количества и площади термоцирков, связанная с усилением активности термоденудационных процессов, как следствием климатических изменений в Арктическом регионе. Наибольшей динамикой отличаются термоцирки, вскрывающие мощные залежи пластового льда.

**Ключевые слова:** *термоцирки, мониторинг, Центральный Ямал, мерзлые породы, криогенные процессы*

**Введение.** Термоцирки на Центральном Ямале могут рассматриваться как ключевые индикаторы, позволяющие отслеживать динамику деградации многолетнемерзлых пород в результате активности склоновых криогенных процессов и служит индикатором климатических изменений в арктическом регионе. Изучение динамики термоцирков позволяет не только определить степень устойчивости ландшафтов к тепловым воздействиям, но и прогнозировать возможные сценарии трансформации геосистем под влиянием глобального потепления [Бабкина и др., 2019; Хомутов и др., 2024]. Ранее установлено, что с начала 2010-х гг. на Центральном Ямале наблюдается усиление термоденудационных процессов [Бабкина и др., 2019; Хомутов и др., 2024], приводящее к формированию термоцирков и дальнейшему увеличению их площадей. Основным фактором формирования термоцирков является увеличение глубины сезонного протаивания за счет потепления климата и последующее достижение сезонным протаиванием кровли пластового льда на склонах, приводящее к формированию криогенных оползней течения с дальнейшим вытаиванием вскрывшегося пластового льда [Лейбман, Кизяков, 2007; Бабкина и др., 2019].

Исследования показывают, что динамика термоцирков не является равномерной: после периода интенсивного роста (2015–2018 гг.) часть форм перешла в стадию стабилизации, однако начиная с 2020 г. вновь наблюдается рост активности, особенно там где термоцирками вскрываются мощные залежи пластового льда.

**Территория и методы исследования.** Исследования проводятся в районе научного стационара «Васькины Дачи» [Лейбман, Хомутов, 2019], расположенного в центральной части полуострова Ямал (рис. 1). Территория характеризуется типичными для арктической зоны условиями: распространением сплошной многолетней мерзлоты мощностью до нескольких сотен метров, наличием мощных залежей пластового подземного льда и развитием многочисленных криогенных форм рельефа.

Район стационара представляет собой пологоволнистую озерно-аллювиальную равнину, сложенную преимущественно песчано-глинистыми отложениями. Активное развитие термоцирков здесь началось после аномально жаркого лета 2012 г., что сделало этот полигон эталонным для изучения динамики термоденудации. Мониторинг на данной территории проводится сотрудниками Института криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН начиная с 2012 г. [Хомутов et al., 2017] и в настоящий момент может считаться одной из наиболее длительных серий наблюдений за термоцирками в Российской Арктике.

Начиная с 2018 г., основной методикой полевых работ является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для аэрофотосъёмки высокого разрешения. Для фиксации положения бровок проводилась БПЛА-съемка с последующим построением ортофотопланов в программе Agisoft Metashape Pro.

Продолженный в 2020-2021 гг. мониторинг с использованием модуля Digital Shoreline Analysis System (DSAS) в ГИС-пакете ESRI ArcGIS показал существенную скорость отступания бровок термоцирков, находившихся в период с 2017 по 2021 г. в стадии активного роста [Тарасевич и др., 2022].



Рис.1. Местоположение термоцирков, наблюдаемых полевыми методами в 2025 г.

Основным аналитическим параметром при мониторинге выступает площадь термоцирка и динамика отступания его бровки. Оценка ежегодного прироста площадей термоцирков после 2019 г. проведена путем совмещения и сравнения ортофотопланов разных лет в ГИС-пакете ESRI ArcGIS. Это позволяет количественно оценить ежегодный прирост площадей и выделить периоды наиболее активного роста. Для обеспечения сопоставимости данных все используемые ортофотопланы за предыдущие годы (2021-2024 гг.), так же, как и материалы мониторинга 2025 г., построены на основе БПЛА-съемок, проводимых во второй половине августа.

**Результаты.** В конце августа 2025 г. в результате полевого мониторинга было обследовано 6 термоцирков, включая как наблюдаемые с 2012-2013 гг., так и более свежие (ТЦ-2m, возникший и обнаруженный в 2020 г., и ТЦ-Э, обнаруженный в 2023 г.). Данные мониторинга за период 2019-2025 гг. представлены в таблице 1. Положение бровок за 2019-2025 гг. показаны на рисунке 2.

Для термоцирков, сформировавшихся в 2012-2013 гг. (ТЦ-2, ТЦ-5), к 2025 г. характерна тенденция к стабилизации (рис. 2г). Наиболее показателен пример ТЦ-2, который к 2025 г. окончательно перешел в стадию зарастания, что свидетельствует о завершении его активной фазы развития (рис. 3).

Табл. 1. Результаты мониторинга термоцирков за период 2019-2025 гг.

Год	Площадь термоцирков (прирост), м <sup>2</sup>					
	ТЦ-2	ТЦ-2м	ТЦ-4,4а	ТЦ-5	ТЦ-5н	ТЦ-Э
2019	7519	-	5068	8296	8864	
2020	7669(+150)	166	5541(+473)	9295(+999)	12191(+3327)	
2021	н.д.	1569(+1403)	5934(+393)	10505(+1210)	16877(+4686)	
2022	7889(+220)	1692(+142)	н.д.	н.д.	н.д.	
2023	н.д.	н.д.	6462(+528)	11456(+951)	25388(+8511)	345
2024	7914(+56)	1819(+127)	6512(+59)	11616(+160)	30596(+5208)	425(+80)
2025	z	1866(+37)	6570(+58)	11927(+311)	34355(+3759)	471(+46)

Примечание: н.д. – нет данных, z – признан заросшим

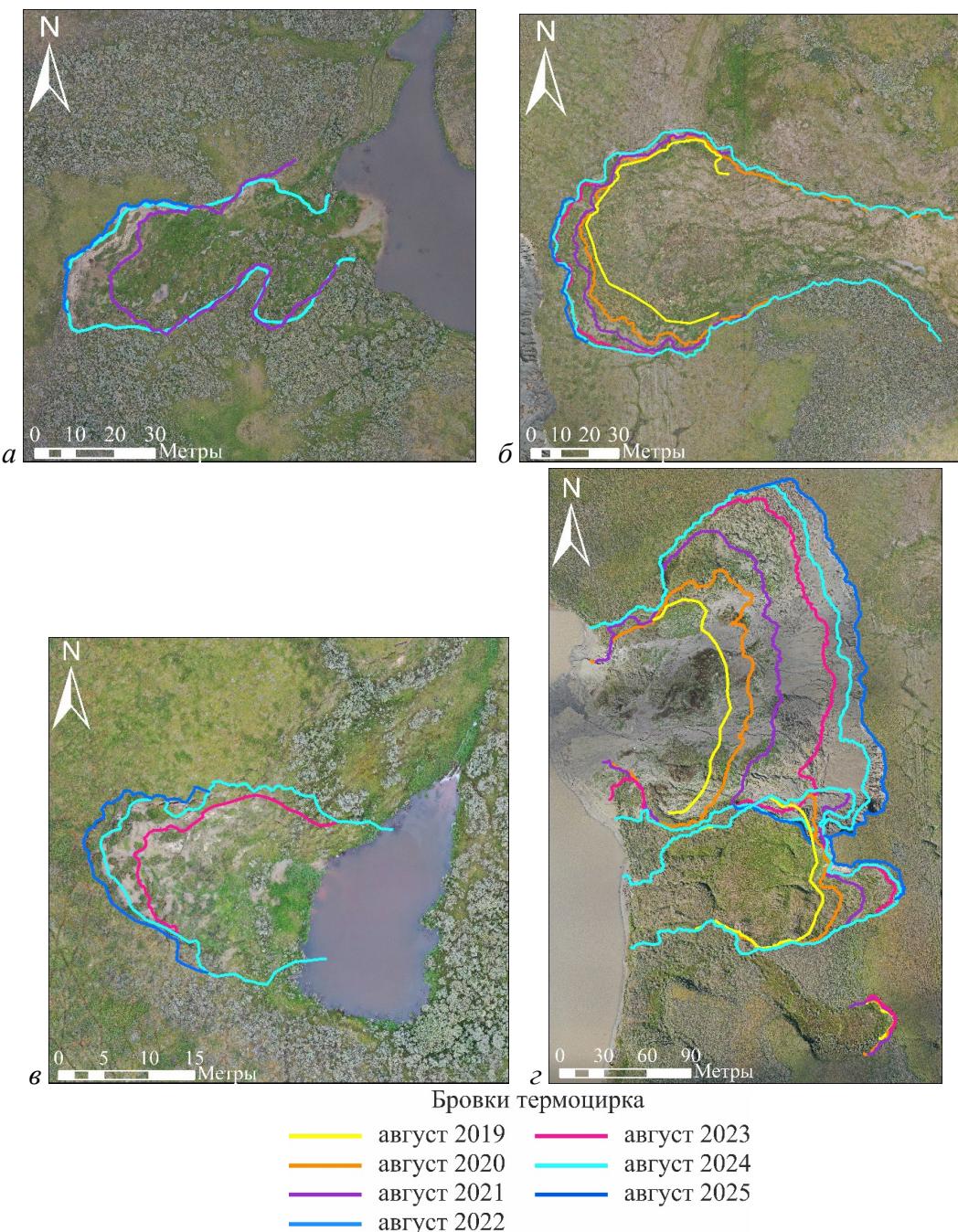


Рис. 2. Изменение положения отступающей бровки термоцирков: а. ТЦ-2м.; б. ТЦ-4,4а; в. ТЦ-Э; г. ТЦ-5н (вверху), ТЦ-5 (по центру) и ТЦ-5м (внизу). В качестве подложек использованы актуальные ортофотопланы на основе БПЛА-съемки в 2025 г.

Термоцирк ТЦ-5п сохраняет максимальные среди всех наблюдаемых в настоящее время термоцирков темпы роста (рис. 4). К 2025 г. его площадь достигла 34,3 тыс. м<sup>2</sup>. Ключевым индикатором активности является состояние ледяной стенки: в 2024–2025 гг. её протяженность превышала 600 м. Указанные данные подтверждают продолжающуюся активную деградацию мощных залежей пластового льда.

ТЦ-2м и ТЦ-Э продолжают развитие, но темпы умеренные, особенно по сравнению с ТЦ-5п.



Рис. 3. Обзорное БПЛА-фото заросшего ТЦ-2



Рис. 4. Обзорное БПЛА-фото активного ТЦ-5п

**Заключение.** По итогам мониторинга 2025 г. и результатам анализа данных предыдущих лет, можно сделать вывод, что процессы термоденудации на Центральном Ямале остаются активными и пространственно неоднородными, как в связи с климатическими колебаниями, так и в связи с ландшафтно-геоморфологическими условиями района исследований. На фоне общего замедления роста старых термоцирков за счет заглубления кровли пластового льда наблюдается активный рост отдельных форм рельефа, таких как, например ТЦ-5п (рис. 4), вскрывшего мощную залежь пластового льда, верхняя часть которой отчасти вытаяла в стабилизирующемся ТЦ-5, и продолжается формирование новых на тех склонах, где сезонное протаивание только достигло кровли

пластового льда. Это подчеркивает необходимость дальнейших ежегодных исследований с целью прогнозирования динамики склоновых криогенных процессов региона.

**Благодарности.** Авторы выражают признательность Л.П. Кузякину, Е.С. Николаевой (МГУ им. М.В. Ломоносова) и Е.М. Лиманскому (ТИУ) за помощь в проведении полевых исследований. Полевые исследования в 2025 г. организованы и проведены при участии ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» и НП «Центр освоения Арктики» при поддержке студенческих практик Правительством ЯНАО.

## ЛИТЕРАТУРА

*Бабкина Е.А., Лейбман М.О., Дворников Ю.А., Факашук Н.Ю., Хайруллин Р.Р., Хомутов А.В. 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. doi: 10.3103/S1068373919040083*

*Лейбман М.О., Кизяков А.И. Криогенные оползни Ямала и Югорского полуострова. М.: Институт криосферы земли СО РАН; 2007. 206 с.*

*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/KZ15607496-2019-1(91-95)*

*Тарасевич И.И., Кизяков А.И., Лейбман М.О., Письменюк А.А., Нестерова Н.Б., Хайруллин Р.Р., Хомутов А.В. Динамика термоденудации на центральном Ямале за 2017-2021 гг. по данным ежегодного мониторинга // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2022. Выпуск 9. С. 253-257. doi: 10.24412/2687-1092-2022-9-253-257*

*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*

*Khomutov A., Leibman M., Dvornikov Yu., Gubarkov A., Mullanurov D., Khairullin R. Activation of Cryogenic Earth Flows and Formation of Thermocirques on Central Yamal as a Result of Climate Fluctuations, in: Advancing Culture of Living with Landslides, Proceedings of World Landslide Forum 4, Vol. 5, Landslides in Different Environments, 29 May–2 June 2017, Ljubljana, Slovenia. 2017. P. 209–216. doi:10.1007/978-3-319-53483-1\_24*

## RESULTS OF FIELD MONITORING OF THERMOCIRQUES ON CENTRAL YAMAL PENINSULA IN 2025

*Burdak D.V.<sup>1</sup>, Khomutov A.V.<sup>2,1</sup>, Danko M.M.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>2</sup> Earth Cryosphere Institute Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, Russia

The results of monitoring of thermocirques on Central Yamal Peninsula for the period 2019-2025 are presented. The main attention is paid to the dynamics of the development of thermocirques, the formation of new landforms and the assessment of the rate of slope cryogenic processes based on field observations. There is a general trend towards an increase in the number and area of thermocirques associated with increased activity of thermal denudation processes because of climate change in the Arctic. Thermocirques exposing massive tabular ground ice are characterized by the greatest dynamics.

Keywords: *thermocirques, monitoring, Central Yamal, permafrost, cryogenic processes*

## REFERENSES:

*Babkina E.A., Leibman M.O., Dvornikov Yu.A., Fakashuk N.Yu, Khairullin R.R., Khomutov A.V. Activation of cryogenic processes in Central Yamal as a result of Regional and Local change in climate and thermal state of permafrost // Russian Meteorology and Hydrology. 2019. Vol.44. № 4. P. 283-290.*

doi: 10.3103/S1068373919040083

*Leibman M.O., Kizyakov A.I.* Cryogenic landslides of Yamal and the Yugorsky Peninsula. Moscow: Earth Cryosphere Institute SB RAS; 2007. 206 p.

*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)

*Tarasevich I.I., Kizyakov A.I., Leibman M.O., Pismaniuk 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

*Khomutov A.V., Babkina E.A., Khairullin R.R., Dvornikov Yu.A.* Factors of thermal denudation activation and thermicirques 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

*Khomutov A., Leibman M., Dvornikov Yu., Gubarkov A., Mullanurov D., Khairullin R.* Activation of Cryogenic Earth Flows and Formation of Thermocirques on Central Yamal as a Result of Climate Fluctuations, in: Advancing Culture of Living with Landslides, Proceedings of World Landslide Forum 4, Vol. 5, Landslides in Different Environments, 29 May–2 June 2017, Ljubljana, Slovenia. 2017. P. 209–216. doi:10.1007/978-3-319-53483-1\_24