

НОВЫЕ ДАННЫЕ О МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЕ И КРИОГЕННЫХ ФОРМАХ РЕЛЬЕФА ДАРХАТСКОЙ КОТЛОВИНЫ

На основании температурных исследований в инженерно-геологических скважинах дана характеристика температуры пород в слое годовых изменений температурного режима для различных геоморфологических условий. Установлены особенности и характер распространения многолетнемерзлых пород Дархатской котловины Северной Монголии. Рассмотрены методические вопросы исследования динамики термокарстовых озерных ландшафтов в Дархатской котловине на основе использования результатов дистанционного зондирования и ГИС-технологий.

Ключевые слова: температурный режим; термокарстовые озера; многолетняя мерзлота; динамика; космические снимки.

Криогенные формы рельефа, такие как термокарстовые котловины, многолетние бугры пучения, привлекают внимание ученых всего мира с научной и практической точек зрения. Причины возникновения, геоморфологические особенности и закономерности развития мерзлотных форм рельефа нашли отражение в работах ученых – М.И. Сумгина, С.П. Качурина, П.А. Соловьева, Н.А. Граве, А. Кайе

и др. На территории Монголии в изучение многолетней мерзлоты и криогенных форм рельефа большой вклад внесли Н. Лонжид, Д. Томорбаатар, Н. Шархуу, Д. Лувсандагва, С. Жамсран, Т. Рагчаа, Т. Дорж, Д. Бат-Эрдэнэ, Я. Жамбалжав и др. В настоящее время в связи с глобальным изменением климата весьма актуальным является продолжение этих исследований.

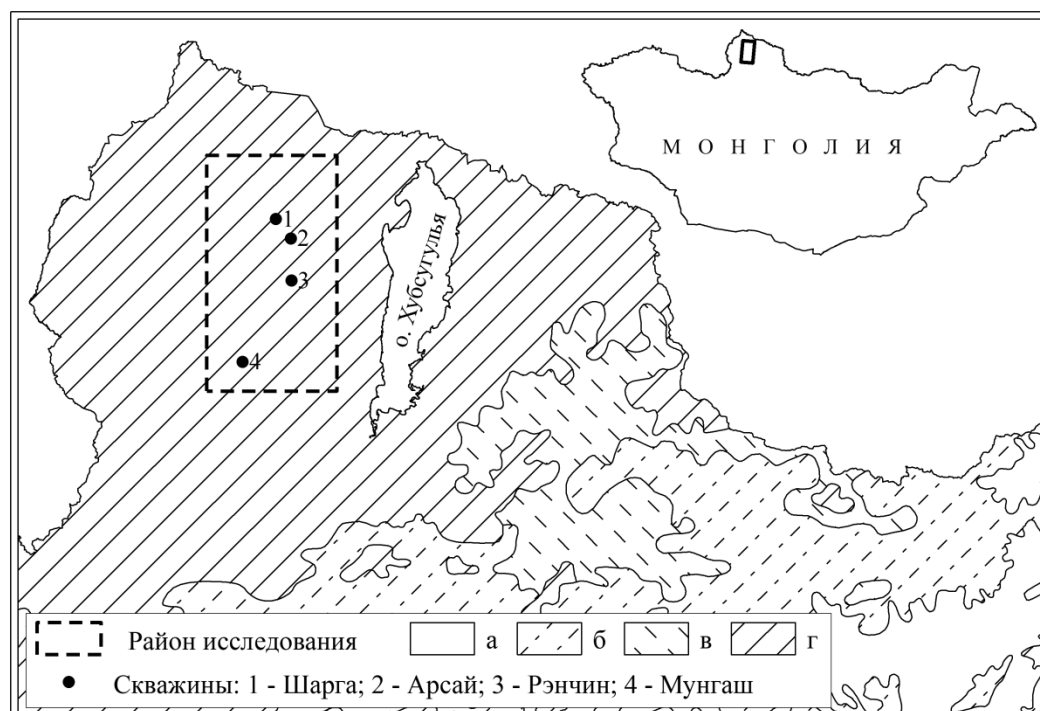


Рис. 1. Распространение многолетнемерзлых горных пород в Монголии [3, 4].
Высотные геокриологические пояса: редкоостровного (а), островного (б), прерывистого (в) и сплошного распространения многолетнемерзлых горных пород (г)

Дархатская котловина – одна из крупнейших межгорных котловин байкальского типа в Северной Монголии, её площадь около 3 320 км². В орографическом отношении котловина относится к Западному Прихубсугулю – части Саяно-Гувинского нагорья. В настоящее время происходит интенсивное сельскохозяйственное освоение территории котловины, здесь расположены сомона Цагааннуур, Улаан-Уул, Рэнчинлхумбэ аймака Хубсугульского [1]. Климат Дархатской котловины резко континентальный, с продолжительной холодной сухой зимой и теплым сухим летом. Средняя годовая температура воздуха в –6°C,

средняя годовая температура воздуха в январе –32,0°C, самая низкая температура наблюдается в январе и достигает –50,4°C. Похолодание в Дархатской котловине начинается с 10 августа и длится до середины июня, таким образом, продолжительность холодного и прохладного периода года составляет 290–310 дней. Годовое количество осадков в среднем составляет 260–270 мм [2].

Суровые климатические условия способствуют сохранению вечной мерзлоты. Дархатская котловина расположена в зоне сплошного развития многолетнемерзлых пород (рис. 1). Средняя толщина вечной

мерзлоты в гравийно-суглинистых отложениях Дархатской котловины составляет 83,7–97,8 м, а максимальная достигает 183,7 м [5, 6]. До настоящего времени слабо изучены температурный режим грунтов и криогенные процессы.

Цель данной работы – характеристика температурного режима верхней толщи мерзлоты и криогенных форм рельефа Дархатской котловины.

Авторами статьи в составе отряда Института географии имени Ш. Цэгмид АН Монголии (г. Улан-Батор) был собран обширный материал по морфоло-

гии, морфометрии, геологическому строению бугров пучения, изучались температурные условия криолитозоны. В камеральный период проведены обработка полученных полевых материалов и дешифрирование космических снимков, также привлекались данные предыдущих исследований. В 2012 г. в Дархатской котловине были выполнены мерзлото-геотермические исследования в 4 скважинах (рис. 1, табл. 1), расположенных в бассейне р. Шишхид. Основной целью исследований было получение данных о геотемпературном поле горных пород.

Таблица 1

Скважины Дархатской котловины

№	Название скважины	Координаты		Абс. высота, м	Глубина, м
		X	Y		
1	Шарга	E099° 31'	N51° 22'	1546	15
2	Арсай	E099° 37'	N51° 17'	1562	15
3	Рэнчин	E099° 37'	N51° 06'	1591	10
4	Мунгаш	E099° 17'	N50° 45'	1629	15

Исследования котловин термокарстовых озер проведены авторами на основе полевых исследований и с использованием разновременных космических снимков Landsat за период 1991–2010 гг. Набор космических снимков из Landsat изображений (Landsat-5 TM и Landsat-7 ETM+) взят на следующие даты: 06.08.1991, 17.08.1995, 06.08.2000, 04.08.2005, 25.07.2010. Особенностью отбора снимков является сезон съемки: целесообразно применять снимки, сделанные в конце лета, так как даже после схода снеж-

ного покрова на суше ледовый покров на озерах долго сохраняется, что мешает выделению озер при автоматизированном дешифрировании.

Обработка космических снимков выполнена с использованием стандартных средств геоинформационной системы Erdas Imagine v. 2011.

Проведенные геотермические исследования выявили значительные колебания температур горных пород на поверхности и глубинах от 1 до 15 м (табл. 2).

Таблица 2

Температурный режим горных пород Дархатской котловины по данным 2012 г.

№	Название скважины	Глубина, м	t_f	$t_{\min}$	$t_{\max}$
1	Шарга	0	-4,04	-38,21	37,34
		1	-2,74	-17,21	9,24
		3	-1,68	-3,96	-0,31
2	Арсай	0	-3,77	-35,44	40,89
		1	-2,02	-11,47	6,48
		3	-2,24	-4,50	-0,79
3	Рэнчин	0	-1,79	-22,99	38,06
		1	-0,75	-7,54	6,28
		3	-1,16	-3,57	-0,34
4	Мунгаш	0	-2,15	-32,52	35,74
		1	-2,45	-11,47	2,93
		3	-2,03	-4,80	-0,48

Особенно большие вариации температур пород характерны для поверхности (0 м), где максимальные температуры пород изменяются от +35,74 до +40,89°C. Среднегодовые температуры поверхностного слоя пород колеблются от -1,79 до -4,04°C, наиболее низкие из них характерны для северных частей территории (скв. Рэнчин и Шарга). На рис. 2 отражен режим температуры горных пород по данным 2012 г.

В ходе исследований автором проведен сравнительный анализ данных по температурному режиму горных пород за март 1987 г. и март 2012 г. до глубины 15 м (рис. 3). Выявлено, что к 2012 г. температуры горных пород на глубинах от 1 до 4 м стали ниже, а на глубинах более 5 м отмечается их повышение.

Анализ рис. 2, 3 показывает, что высокие температуры поверхностного слоя горных пород в теплый период года (до +40°C) приводят к протаиванию мно-

голетнемерзлых пород и развитию криогенных процессов – термокарста, бугров пучения.

В данной работе рассмотрена динамика развития котловин термокарстовых озер.

Для её исследования в 1991–2010 гг. автором в пределах Дархатской котловины выполнены сравнительный анализ космических снимков и статистическая обработка данных по изменению площадей термокарстовых озер, полученных по спутниковым измерениям. В результате выявлено (табл. 3):

1. Площадь зеркала малых (5–10 га) термокарстовых озер за исследуемый период изменялась и в 2010 г. составила 663,1 га, увеличившись на 100,4 га.

2. Площадь озер (10–50 га) также испытывала колебания, но в 2010 г. в целом уменьшилась на 229 га, а суммарное зеркало озер площадью более 100 га увеличилось на 360,8 га. Наименьший прирост зеркала озер отмечался для озер площадью 50–100 га – 10,4 га.

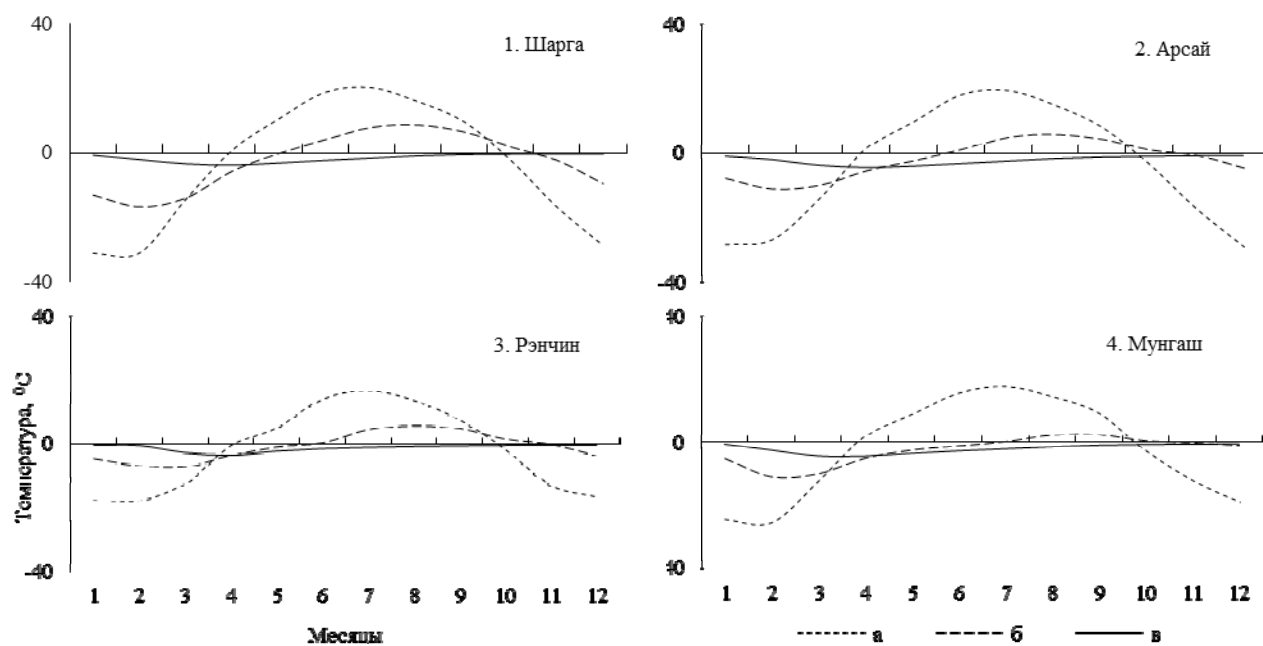


Рис. 2. Режим температуры скважины, 2012 г.: а – поверхность; на глубинах: б – 1 м; в – 3 м

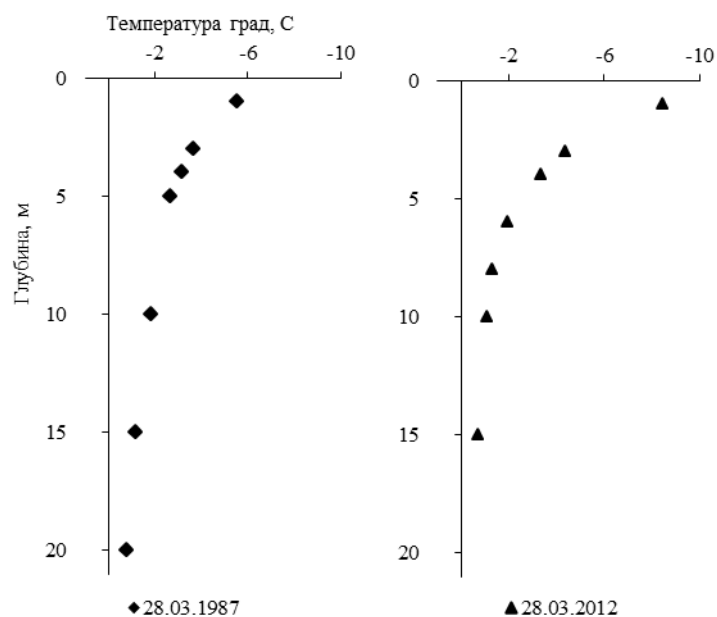


Рис. 3. Сравнительный анализ температур горных пород за март 1987 г. [7] и март 2012 г.

Динамика площадей термокарстовых озер Дархатской котловины в 1991–2010 гг.

Таблица 3

Площадь, га	1991 г.	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2010 г.
5–10	562,7	520,2	544,2	514,0	663,1
10–50	1969,7	1951,9	1883,9	1804,8	1740,7
50–100	878,6	906,5	809,3	771,5	889,0
Более 100	2528,7	3030,5	2487,6	2718,9	2899,5

Таким образом, для Дархатской котловины в настоящее время характерны понижение температуры поверхностного слоя литосферы и достаточно интенсивное развитие термокарстовых озер в есте-

ственных ландшафтах. Хозяйственное освоение будет способствовать развитию термокарста, особенно в районах сплошного развития многолетне-мерзлых пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нямхуу М. Рельеф Дархатской котловины // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 356. С. 179–182.
2. Шархуу Ц., Баяржаргал Э. Дархадын хотгорын уур амьсгал, тууний оорчлолт // Сэрүүн бус нутгийн уур амьсгалын оорчлолт: усны нооц ба цэвдэг мандал. Улаанбаатар, 2011. С. 191–194. (Климат Дархатской котловины и ее изменение // Прохладный региональный изменения климата: водные ресурсы и вечная мерзлота) [на монг. яз.].
3. Геокриологические условия Монгольской Народной Республики. М. : Наука, 1974. 200 с.
4. Sharkhuu N. Permafrost mapping in Mongolia // International symposium on mountain and arid land permafrost. Ulaanbaatar. 2001. С. 63–67. (Отображение вечной мерзлоты в Монголии // Международный симпозиум по горе и аридных земель мерзлоты) [на англ. яз.].
5. Томорбаатар Д. Дархадын хотгор, Хатгал орчим тархсан олон жилийн цэвдэг чулуулгийг судалсан дүнгээс // Монгол орны газарзүйн асуудлууд. Улаанбаатар. 1979. № 19. С. 97–101. (Некоторые результаты исследований многолетнемерзлых пород Дархатской котловины и Хатгала // Вопросы географии Монголии) [на монг. яз.].
6. Tumurbaatar D. Permafrost in the Darkhad depression of Khuvsgul // International symposium on mountain and arid land permafrost. Ulaanbaatar. 2001. С. 79–81. (Вечная мерзлота Дархатской котловины // Международный симпозиум по горе и аридных земель мерзлоты) [на англ. яз.].
7. Бат-Эрдэнэ Д. Тепловой поток горных пород на территории Монголии и его влияние на многолетнемерзлую толщу : дис. ... канд. геогр. наук. Улаанбаатар, 1995. 95 с. [на рус. яз.].

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 11 июня 2014 г.

NEW DATA ON PERMAFROST AND CRYOGENIC LANDFORMS OF THE DARKHAD DEPRESSION

Tomsk State University Journal. No. 387 (2014), 253-256. DOI: 10.17223/15617793/387/37

Nyamkhuu Myanganbuu. Institute of Geography, Mongolian Academy of Science (Ulaanbaatar, Mongolia), Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: nyamkhuu.m@mail.ru; nyamkhuu.m@gmail.com

Jambaljav Yamkhin. Institute of Geography, Mongolian Academy of Science (Ulaanbaatar, Mongolia). E-mail: jambaljav@gmail.com

Keywords: temperature regime; thermokarst lakes; permafrost; dynamics; satellite images.

The Darkhad depression is one of the largest intermountain depressions, like Baikal, in northern Mongolia covering an area of about 3320 km². The Darkhad depression climate is extreme continental, with lasting cold dry winters and warm dry summers. The average annual temperature is negative, -6 °C, the mean annual air temperature in January is negative, -32,0 °C, the lowest temperature is observed in January and reaches -50.4 °C. Cooling in the Darkhad depression starts from the 10th of August and lasts until mid-June, so duration of the cold and cool period of the year is 290-310 days. Annual precipitation on average is 260-270 mm. Harsh climatic conditions contribute to the preservation of permafrost. The Darkhad depression is located in the developmental zone of continuous permafrost rocks. The average thickness of permafrost in sediments in the Darkhad depression is between 83.7-97.8 m and the maximum reaches 183.7 m. But soil temperature regime and cryogenic processes have been poorly studied so far. The aim of the work is the characteristics of temperature regime of the permafrost top part and cryogenic landforms. Extensive data on morphology, morphometry and geologic structure of frost swelling mound was collected by the author when participating in the group of the Institute of Geography named after Sh. Tsegmid of Mongolian Academy of Sciences. Cryolithozone temperature conditions were studied. In the laboratory period the collected field data processing and interpretation of space photographs were carried out as well as data from previous studies were involved. The conducted geometrical studies revealed significant fluctuations in temperature of rocks on the surface and in the depth of 1 to 15 m. Especially, large variations in temperature of rocks are typical for the surface, where the maximum temperature of the rocks vary from +35.74 °C to +40.89 °C. The average annual temperature of the surface layer of rocks ranges from -1.79 °C to 4.04 °C, the lowest of which is typical for the northern parts of the territory. In order to study the dynamics of thermokarst lakes in 1991-2010 within the Darkhad depression the author made a comparative analysis of space photographs and statistical data processing to modify areas of thermokarst lakes derived from the satellite measurements. As a result, during the study period the surface area of small (5-10 ha) thermokarst lakes varied and amounted to 663.1 ha, increased by 100.4 ha, lakes area (10-50 ha) also experienced fluctuations, but as a whole, in 2010 decreased by 229 ha and the total surface of lakes with the area over 100 ha, increased by 360.8 ha. The smallest increment of lake surface is observed for the lake with the area of 50-100 ha – 10.4 ha. Thus, a decrease in the temperature of the surface layer of the lithosphere and development of thermokarst lakes in natural landscapes currently characterizes the Darkhad depression. Economic development will contribute to the development of thermokarst, particularly in the areas of continuous development of permafrost rocks.

REFERENCES

1. Nyamkhuu M. Relief of the Darkhat depression. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*, 2012, no. 356, pp. 179-182. (In Russian).
2. Sharkhuu Ts., Bayarzhargal E. *Climate of the Darkhat depression and its change*. In: *Cool regional climate change: water and permafrost*. Ulaanbaatar, 2011, pp. 191-194. (In Mongolian).
3. Mel'nikov P.I. (ed.) *Geokriologicheskie usloviya Mongol'skoy Narodnoy Respubliki* [The permafrost conditions of the Mongolian People's Republic]. Moscow: Nauka Publ., 1974. 200 p.
4. Sharkhuu N. *Permafrost mapping in Mongolia*. In: *International symposium on mountain and arid land permafrost*. Ulaanbaatar, 2001, pp. 63-67.
5. Tomorbaatar D. Some results of permafrost investigations of the Darkhat depression and Hatgal. *Geography of Mongolia*, 1979, no. 19, pp. 97-101. (In Mongolian).
6. Tumurbaatar D. *Permafrost in the Darkhad depression of Khuvsgul*. In: *International symposium on mountain and arid land permafrost*. Ulaanbaatar, 2001, pp. 79-81.
7. Bat-Erdene D. *Teplovoi potok gornyx porod na territorii Mongolii i ego vliyaniye na mnogoletnemerzlyuyu tolshchu*: dis. kand. geogr. nauk [The heat flow of rocks on the territory of Mongolia and its impact on permafrost. Geography Cand. Diss.]. Ulaanbaatar, 1995. 95 p.

Received: 11 June 2014