

УДК 551.583:910.2(517.3)

**КЛИМАТОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ НИВАЛЬНО-ГЛЯЦИАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ****Волкова Е.С., Мельник М.А., Бородавко П.С.***ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем» Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, e-mail: elevolko@yandex.ru, melnik-m-a@yandex.ru, bor@ggf.tsu.ru*

В данной работе представлены результаты оценки происходящих изменений в региональном температурном режиме Западной Монголии, а также описаны и проанализированы последствия их воздействия на природные и антропогенные системы. В качестве индикаторных объектов, довольно быстро реагирующих на изменение температурного фона и оказывающих влияние на местные природные и антропогенные системы, были выбраны нивально-гляциальные ландшафты Монгольского Алтая. Анализ происходящих изменений проведен с использованием материалов и методов экспедиционных наблюдений и стационарных исследований. На основе многолетних метеоданных выявлены основные тенденции изменения температурного режима в Западной Монголии за 1956–2017 гг. Установлено, что в целом по региону наблюдается рост среднегодовой температуры воздуха: за 60-летний период в среднем он составил 2,3 °С. Полевые исследования, выполненные на тестовых полигонах в пределах горных массивов Сутай и Цамбагарав, выявили причинно-следственные связи необратимых изменений в структуре нивально-гляциальных и криогенных ландшафтов высокогорий Монгольского Алтая. Здесь температурные сдвиги вызвали значительную трансформацию нивально-гляциальных ландшафтов, выражающуюся в устойчивом сокращении оледенения и приповерхностной деградации альпийской мерзлоты. Как следствие, на территории недавно освободившейся от ледникового покрова, активизируются опасные экзогенные процессы, такие как температурное выветривание, солифлюкция, криогенное оползание и термокарст. С другой стороны, заселение первичной растительностью недавно освобожденных ото льда высокогорных территорий приводит к увеличению площадей, пригодных для развития отгонного пастбищного хозяйствования, тем самым улучшая условия природопользования.

**Ключевые слова:** Монгольский Алтай, оледенение, высокогорные ландшафты, температурный режим**CLIMATE-RELATED TRANSFORMATION OF THE NIVAL-GLACIAL LANDSCAPES OF WESTERN MONGOLIA AND THEIR CONSEQUENCES****Volkova E.S., Melnik M.A., Borodavko P.S.***Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, e-mail: elevolko@yandex.ru, melnik-m-a@yandex.ru, bor@ggf.tsu.ru*

The results of the assessment of changes in the regional temperature regime of Western Mongolia are presented, and the consequences of their impact on natural and anthropogenic systems are described and analyzed in this paper. The Nival-glacial landscapes of the Mongolian Altai were chosen as indicator objects that quickly react to temperature changes and have an impact on local natural and anthropogenic systems. The analysis of the changes was made using the materials and methods of expeditionary observations and stationary studies. The main trends in the temperature regime in Western Mongolia for the period 1956-2017 based on long-term meteorological data are revealed. It is established that the average annual temperature increased in the whole region for the 60-year period: the growth is 2.3 °C. Done at test ranges within the mountain ranges of Stay and Tsambagarav field studies determined the cause-and-effect relationships of irreversible changes in the structure of Nival-glacial and cryogenic landscapes of high mountains of the Mongolian Altai. Here, temperature change have caused an impressive transformation of Nival-glacial landscapes, resulting in a stable reduction of glaciation and near-surface degradation of Alpine permafrost. As a result, dangerous exogenous processes, such as temperature weathering, solifluction, cryogenic landslide and thermokarst, are activated in the territory recently freed from the ice cover. On the other hand, the settlement of primary vegetation in the newly liberated high-mountain areas leads to an increase in the areas suitable for the development of pasture farming, thereby improving the conditions of nature management.

**Keywords:** Mongolian Altai, glaciation, Alpine landscapes, temperature regime

Глобальные климатические изменения, нашедшие свое отражение и в региональном масштабе, не обошли стороной территорию Западной Монголии. Анализ среднегодовой температуры воздуха за период с 1956 по 2016 гг. по метеостанциям Западной Монголии выявил устойчивый рост для большинства станций. Поскольку температура воздуха является основным метеорологическим параметром, то ее пространственно-временная оценка представляет

исключительный интерес. Она дает основу для понимания происходящих климатических изменений и их закономерностей не только на территории Западной Монголии, но и в соседней Северо-Восточной Азии.

Изменение температурного режима вызывает ряд трудно предсказуемых последствий и обуславливает трансформацию многих природных процессов. Наглядным индикатором происходящей трансформации являются, прежде всего, существен-

ные сдвиги в пространственной структуре нивально-гляциальных и криогенных систем высокогорий Монгольского Алтая, выражающиеся в устойчивом сокращении оледенения и приповерхностной деградации альпийской мерзлоты; усилении экзогенных процессов; видовой перестройке растительных сообществ; сдвиге ландшафтных высотных поясов и т.п. Все это накладывает отпечаток на состояние и развитие сферы природопользования, где особенно заметное воздействие испытывает отгонное скотоводство. С этих позиций актуальной научно-практической задачей становится исследование происходящих изменений в региональном температурном режиме Западной Монголии и возможных последствий трансформации нивально-гляциальных ландшафтов, как для природных систем, так и для человека.

#### **Материалы и методы исследования**

Для решения исследовательской задачи были использованы материалы и методы экспедиционных наблюдений и статистического анализа. В результате экспедиционных работ 2016–2017 гг. на тестовых полигонах в высокогорных районах хребтов Сутай, Цамбагарав были собраны и обработаны гляциологические и геоморфологические данные, проведены стационарные метеонаблюдения, а также заложены и описаны геоботанические площадки. Геоинформационное картографирование исследуемых объектов осуществлялось на основе данных дистанционного зондирования, полученных из открытых сетевых порталов и файловых архивов Геологической службы USGS, NASA EOSDIS и Геопортала Роскосмоса. Основным источником инструментальных метеонаблюдений послужил специализированный массив международной базы данных NOAA's National Centers for Environmental Information (NCEI) [1]. Использовались показатели суточной температуры воздуха по 14 метеостанциям Западной Монголии. Максимальный временной период покрытия составил интервал 1956–2017 гг. Достоверность полученных данных подтверждается результатами статистического анализа и сопоставлением с некоторыми схожими по тематике исследованиями [2].

Исследуемые полигоны располагаются на территории Западной Монголии в пределах горных сооружений Монгольского Алтая. Географическое положение почти в центре материковой части Евразии об-

уславливает господство резко континентального климата, с высотой влияние континентальных воздушных масс ослабляется и усиливается роль Атлантики. Горные районы выше 2500 м с преобладанием нивально-гляциальных ландшафтов – основного района полевых исследований уже находятся под влиянием западного переноса, где на наветренных склонах остается большая часть осадков (200–300 мм). Здесь наблюдается инверсия температур; градиент температуры варьирует в зависимости от высоты и времени года. Зимой в горах температура воздуха бывает на 10–15 °С выше, чем на равнинах; в летнее время с подъемом среднесуточные температуры падают в среднем на 0,6 °С/100 м [3].

Под влиянием горного рельефа широтная зональность растительного покрова сменяется вертикальной, поэтому пустыни можно встретить рядом с лесами, залесённые горные склоны соседствуют в южных районах с сухими степями, а пустыни и полупустыни проникают далеко на север [4]. Природно-географические и исторические факторы предопределили основное направление сельского хозяйства этого района – отгонное пастбищное животноводство, особенно развито овцеводство. Последствия климатических изменений довольно наглядно проявляются в районе проводимых полевых работ и отражаются на состоянии нивально-гляциальных систем, растительных сообществ и на развитии пастбищного скотоводства.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Статистическая обработка метеоданных показывает, что среднемноголетняя температура для станций Западной Монголии за исследуемый период в целом имеет отрицательное значение, лишь на станции Ulgi она представлена положительной величиной (+0,74 °С). В целом наблюдается рост среднегодовой температуры воздуха: за период с 1956 по 2017 г. в среднем он составил 2,3 °С, при этом самое высокое значение 3,1 °С характерно для станции Новд, расположенной на средневысотных отметках в центральной части исследуемого района (табл. 1). Самая низкая температура воздуха за исследуемый период по всем станциям наблюдалась в 1984 г., ее значение было ниже среднемноголетнего более чем на 2 °С. Наиболее высокие значения среднегодовых температур зафиксированы в 1998 и в 2007 гг., они превысили среднемноголетние показатели на 2,3 °С.

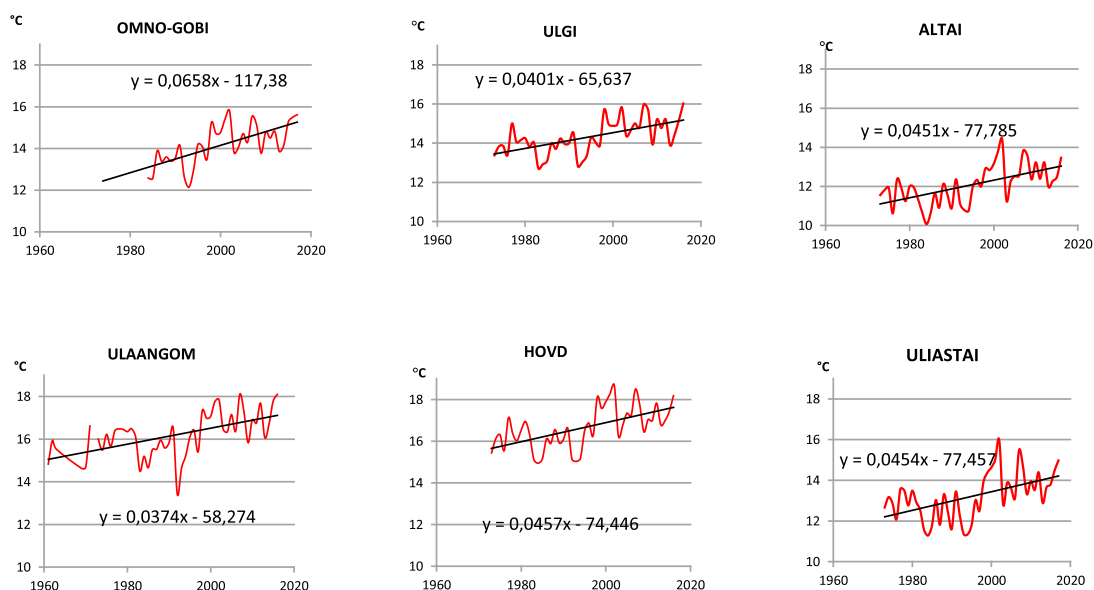
Изменение температуры и количества осадков по метеостанциям, расположенным на территории Западной Монголии, за 1956–2017 гг.

Станции	Период наблюдений	$h_{abs}, m$	$\bar{t}, ^\circ C$	$\Delta t, ^\circ C$	$k$	$\sigma, ^\circ C$
Altai	1956–2017	2181	-1,01	+2,07	+0,037	0,96
Uliastai		1759	-1,85	+1,53	+0,026	1,01
Ulgi		1715	+0,74	+2,22	+0,039	1,24
Hovd		1405	-0,96	+3,07	+0,053	1,37
Ulaangom		939	-2,53	+2,03	+0,037	1,19
Altai	1984–2017	2181	-0,77	+1,54	+0,048	0,99
Uliastai		1759	-1,62	+1,41	+0,044	1,06
Ulgi		1715	1,02	+1,82	+0,057	1,18
Hovd		1405	1,19	+1,89	+0,059	1,27
Ulaangom		939	-2,19	+1,60	+0,050	1,14
Omno-Gobi		1590	-0,53	+1,29	+0,030	1,14
Baruunturuun		1232	-3,01	+1,66	+0,052	1,20
Baitag	1186	2,84	+1,53	+0,048	1,16	
Altai	2000–2017	2181	-0,46	+0,27	+0,017	0,77
Uliastai		1759	-1,30	+0,30	+0,019	0,86
Ulgi		1715	1,46	+0,30	+0,019	0,79
Hovd		1405	1,52	+0,27	+0,017	1,03
Ulaangom		939	-1,94	+0,21	+0,013	0,97
Omno-Gobi		1590	-0,38	+0,36	+0,021	1,34
Baruunturuun		1232	-2,71	-0,21	-0,013	1,01
Baitag		1186	3,12	+1,23	+0,077	1,01
Erdeni		2417	5,82	+1,90	+0,163	1,19
Tolbo		2101	-2,42	+0,67	+0,043	0,74
Tonhil		2095	0,12	+0,74	+0,053	0,71
Nogoonnur		1480	0,65	+0,04	+0,126	0,68
Urgamal		1263	0,88	+1,89	+0,135	1,40
Hunhataortoo		1051	1,00	+1,20	+0,083	1,05

Примечание:  $h_{abs}$  – абсолютная высота над уровнем моря,  $\bar{t}$  – среднегодовая температура,  $\Delta t$  – изменение среднегодовой температуры,  $k$  – коэффициент тренда,  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение.

Анализ данных за 30-летний период наблюдений (таблица) также показал положительный тренд с угловыми коэффициентами от 0,03 до 0,06. В этот отрезок времени рост температур меньше, чем за 60-летний период – среднее потепление составляет 1,6 °C и наблюдаются незначительные межрегиональные различия в увеличении среднегодовых температур по метеостанциям. С 2000 по 2017 г. метеоданные представлены для большей сети станций, которая достаточно равномерно покрывает исследуемую территорию. Проанализированный ряд показателей термического режима выявил дальнейший устойчивый рост среднегодовых температур – около 0,6 °C, наибольшие значения 1,9 °C характерны для станции Erdeni, имеющей самые большие отметки абсолютной высоты.

Для понимания последствий влияния температурных изменений на таяние ледников и состояние криолитозоны дополнительно проведен анализ динамики средней температуры абляционного периода. На рисунке на примере нескольких станций с самым продолжительным периодом наблюдений показан устойчивый положительный тренд температур летнего периода. Анализируя ход среднегодовых температур для территории Западной Монголии, можно выделить основные периоды потепления: 1997–1999 гг. и период с 2013 г. по настоящее время. Первый период характеризуется резким увеличением как среднегодовой, так и средней летней температуры; в течение трех лет значение среднегодовой температуры превысило значение среднемноголетней более чем на 1,4 °C, а для станции Hovd даже на 2,3 °C.



*Динамика средней температуры абляционного периода для метеостанций Западной Монголии*

При исследовании причин устойчивого сокращения оледенения и приповерхностной деградации альпийской мерзлоты наряду с изменениями температурного режима нужно учитывать и количество осадков. За последний сорокалетний период на территории Западной Монголии наблюдается незначительное (менее 25 мм) увеличение этого показателя [5]. При этом изменение количества осадков в зимний период, оказывающих наибольшее влияние на нивально-гляциальные ландшафты и криолитозону высокогорных областей, носит колебательный характер по годам наблюдений и не выявляет четкой направленности в сторону увеличения и отличается территориальной неоднородностью.

Таким образом, изменение температуры воздуха является главным фактором, который способствует существенным и необратимым трансформациям в пространственной структуре нивально-гляциальных и криогенных систем высокогорий Монгольского Алтая. Эти трансформации выражаются, прежде всего, в устойчивом сокращении площади оледенения и приповерхностной деградации альпийской мерзлоты [6, 7]. По нашим расчетам наибольшие значения среднегодовых температур воздуха в 1997–1999 гг. были более чем на 2 °C выше среднеголетних; в этот период наблюдалось также повышение летних

температур. Трехлетний период увеличения температурного режима нашел свое отражение в активном пике ледниковой регрессии. Следующий период повышения температуры зафиксирован с 2012 по 2016 г., при этом в 2012, 2015 и 2016 гг. летние температуры были также выше среднеголетних значений. И это также коррелирует с периодами активных процессов таяния ледников.

По мнению монгольских ученых, процесс дегляциации протекает достаточно быстро и интенсивно за последние десятилетия, и при этих темпах большинство современных ледниковых массивов (например, хребтов Сутай, Цамбагарав и Мунххайрхан) может практически исчезнуть уже к 2100 г. [8]. Наши исследования на тестовых гляциологических полигонах показали, что в максимум трансгрессивной стадии ледниковые ландшафты занимали 16 км<sup>2</sup> территории Сутая и 99 км<sup>2</sup> в пределах хребта Цамбагарав. К августу 2015 г. суммарная площадь оледенения Сутая сократилась почти на 5 км<sup>2</sup>, а хребта Цамбагарав почти на треть. Вследствие увеличения среднегодовой температуры воздуха в районе отступления ледников субгляциальные отложения переформировались в субэральные, на молодой литогенной основе стали образовываться новейшие перигляциальные ландшафты.

К числу наиболее значимых процессов, принимающих участие в их формировании, относятся температурное выветривание, солифлюкция, криогенное оползание и термокарст.

В течение последних 25 лет изменение геотермического режима альпийской мерзлоты сопровождается увеличением мощности слоя сезонного протаивания на 24%. Аналитическая обработка данных дистанционного зондирования за период с 1962 по 2016 г. показала повсеместное и устойчивое увеличение числа и площади озер термокарстового генезиса в пределах моренных комплексов Малой ледниковой эпохи массива Цамбагарав.

Поскольку ледники в горах Монголии обеспечивают примерно 11% от общего объема водных ресурсов страны, то последствия их сокращения оказывают прямое и косвенное воздействие на многие стороны хозяйственной деятельности. Происходящие трансформации нивально-гляциальных и криогенных ландшафтов увеличивают риски природопользования в горных областях, где, как отмечалось выше, идет интенсивный выпас скота. Соответственно, с сокращением площади оледенения наблюдается закономерный процесс появления новых пастбищных площадей, что, с одной стороны, ведет к возможностям увеличения поголовья скота, но, с другой стороны, способно нарушить существующее геоэкологическое равновесие [9]. Кроме того, процессы солифлюкции повышают опасность развития селей и камнепадов; протаивание грунтов ведет к деформациям дорожного полотна, уменьшая и без того низкую степень транспортной доступности, и т.п. На более низких гипсометрических уровнях, в поясе прерывистого залегания многолетнемерзлых пород, отмечена тенденция обмеления и сокращения акваторий «зрелых» термокарстовых водоемов. В долине р. Хух Гол (район хребта Сутай) площадь термокарстовых озер с 1966 по 2017 г. сократилась на 35%, а в пределах Эхэн-Нурской впадины на 27%.

### Заключение

Проведенный в ходе исследования анализ показывает изменение температурного режима на территории Западной Монголии в сторону роста среднегодовых температур. Быструю индикаторную реакцию на этот процесс со стороны геосистем можно хорошо наблюдать на примере достаточно

динамичных ледниковых и криогенных комплексов, расположенных на территории Западной Монголии. Так, температурные изменения последних десятилетий привели к перестройке пространственной структуры нивально-гляциальных ландшафтов Монгольского Алтая, при этом произошел рост среднегодовой температуры криолитозоны и уменьшение площади деятельного слоя в горных районах. При этом субгляциальные отложения перешли в разряд субэдральных, т.е. освобожденных ото льда и активно подвергающихся действию экзогенных процессов. На молодых участках морен в поясе дегляциации начинается формироваться первичная растительность.

Последствия изменений температурного режима в целом могут носить разнородный характер и отразиться на многих аспектах сферы природопользования. Например, с сокращением площади оледенения наблюдается закономерный процесс появления новых пастбищных площадей, что ведет к возможностям увеличения поголовья скота [9]. В то же время усиливаются опасные криогенные рельефообразующие процессы: температурное выветривание, солифлюкция, криогенное оползание и термокарст.

### Список литературы / References

1. NOAA's National Centers for Environmental information (NCEI). URL: <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/gsoad> (date of access: 12.09.2018).
2. Mongolia Second Assessment Report on Climate Change (MARCC-2014). Ulanbataar, Ministry of Environment and Green Development of Mongolia. 2014. 302 p. URL: <http://www.jcm-mongolia.com/wp-content/uploads/2015/10/MARCC-Final-Bk-2014-book-1st.9.17-ilovepdf-compressed.pdf> (date of access: 11.08.2018).
3. Чистяков К.В., Селивестров Ю.П. Региональная экология малоизмененных ландшафтов: Северо-Запад Внутренней Азии. СПб.: Изд-во С-Петербург. ун-та, 1999. 264 с.  
Chistyakov K.V., Selivestrov Yu.P. Regional ecology of little-changed landscapes: North-West of Inner Asia. SPb.: Izd-vo S-Peterb. un-ta, 1999. 264 p. (in Russian).
4. Амортаргал Аюурдана. Исследование химического состава эфирных масел отдельных видов полыни в Монголии // Сохранение разнообразия растительного мира Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии: материалы I международной конференции. Кызыл: Изд-во ТувИКОПР СО РАН, 2016. С. 59–60.  
Amortargal Ayuurdana. Investigation of the chemical composition of essential oils of certain types of wormwood in Mongolia // Maintaining variety of flora of Tuva and adjacent regions of Central Asia: materials I of the international conference. Kyzyl: Izd-vo TuvIKOPR SO RAN, 2016. P. 59–60 (in Russian).
5. Batima P., Natsagdorj L., Gombluudev P., Erdenetsetseg B. Observed climate change in Mongolia AIASS// Working Paper No. 12 June 2005. URL: Observed climate change in Mongolia AIASS (date of access: 23.10.2018).
6. Отгонбаяр Дэмбэрэл. Морфометрическая и ресурсная характеристика современного оледенения Монгольского

Алтая (горный узел Цамбагарав, хребты Мунххайрхан и Су-тай) // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 367. С. 183–185.

Otgonbayar Dehmbehrel. Modern glaciers of mountain range Tsambagarav (Mongolian Altai) // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. № 367. P. 183–185 (in Russian).

7. Kamp U., Pan C.G. Inventory of glaciers in Mongolia, derived from Landsat imagery from 1989 to 2011. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. 2015. Vol. 97. Issue 4. P. 653–669. DOI: 10.1111/geoa.12105.

8. Ганюшкин Д.А., Отгонбаяр Д., Чистяков К.В., Кунаева Е.П., Волков И.В. Современное оледенение хребта Цамбагарав (Северо-Западная Монголия) и его изменение с максимума малого ледникового периода // Лед и снег. 2016. Т. 56. № 4. С. 437–452.

Ganyushkin D.A., Otgonbayar D., Chistyakov K.V., Kunaeva E.P., Volkov I.V. Recent glacierization of the Tsambagarav ridge (North-Western Mongolia) and its changes since the Little Ice Age maximum // *Led i sneg*. 2016. T. 56. № 4. P. 437–452 (in Russian).

9. Волкова Е.С., Тимошок Е.Е., Отгонбаяр Демберел. Влияние климатических изменений и антропогенной деятельности на трансформацию растительного покрова в долине р. Хушуут // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 117–122.

Volkova E.S., Timoshok E.E., Otgonbayar Demberel. Transformation of plant covers in the Hushuut valley under the influence of changing climate and human activity // *Advances in current natural sciences*. 2017. № 12. P. 117–122 (in Russian).