

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СОКРАЩЕНИИ ЛЕДНИКОВ ХРЕБТА ЧИХАЧЕВА, АЛТАЙ

Д.А. Ганюшкин¹, С.А. Грига², Е.С. Деркач³, Ю.А. Горбунова⁴
СПбГУ, г. Санкт-Петербург, ¹d.ganyushkin@spbu.ru, ²semyon.griga@yandex.ru,
³katya.d96@bk.ru, ⁴st085052@student.spbu.ru

NEW DATA ABOUT THE REDUCTION OF GLACIERS IN THE CHIKHACHEV RIDGE, ALTAI

D.A. Ganyushkin, S.A. Griga, E.S. Derkach, Yu.A. Gorbunova
Saint-Petersburg state university, St. Petersburg

Аннотация. На основе полевых материалов и дешифрирования космических снимков получены новые данные о сокращении площадей и объема ледников трансграничного хребта юго-восточного Алтая. На фоне в целом быстрого сокращения ледников (до 1,7% / год) выявлено замедление сокращения ледников в последнее десятилетие. Сокращение площади ледников с максимума малого ледникового периода по 2021 г. составило 59,4%.

Ключевые слова: динамика ледников, Алтай, современное сокращение

Введение

Современное глобальное сокращение ледников [12, 13] началось с завершения похолодания Малого Ледникового Периода (МЛП). В последние десятилетия отступление ледников ускоряется [9, 13]. На Алтае этапы сокращения ледников после максимума МЛП пока слабо изучены.

Объекты и методы

Хребет Чихачева располагается в центре Алтае-Саянской горной страны, разделяя Чуйскую котловину на западе, котловине оз. Хиндиктиг-Холь на севере и оз. Ачит-Нур на востоке. В его южной части развит альпийский рельеф с высотой до 4029 м и современными ледниками, здесь по водоразделу проходит граница России и Монголии. Климат засушлив – годовая сумма осадков в высокогорье составляет 300-400 мм.

Отдельные группы ледников ранее исследовались в российской части хребта [2, 7], они были включены в каталоги ледников СССР и России [3, 4]. Оценки оледенения монгольской части хребта даны в работах [1, 10, 14, 15]. Исследование оледенения всего хребта было проведено в работе [8], где были оценены его масштабы на максимум МЛП, 1989, 2000 и 2011 г. За последующие годы произошли значимые изменения ледников хребта, оценить их, а также рассчитать объемы ледников призвана данная работа.

В основу работы были положено дешифрирование снимков Sentinel-2 от 05-09-2021, 07-17-2021 и 23-08-2021, World View-3 от 07/09/2021, Corona 1962 года и полевые материалы авторов 2015 и 2023 годов. При расчетах объема ледников применялась модель GlabTop2 [11] и региональные эмпирические коэффициенты в степенном отношении площади и объема ледника (метод VAS – Volume-Area scaling) [5, 6].

Результаты

В максимум МЛП реконструировано 128 ледников суммарной площадью 65,72 км² (рис. 1). Расчётная средняя высота фирновой границы в МЛП составила 3338 м, (депрессия 86 м). Последующее сокращение ледников, с добавлением новых данных за 2011-2021 гг. указано в таблице 1.

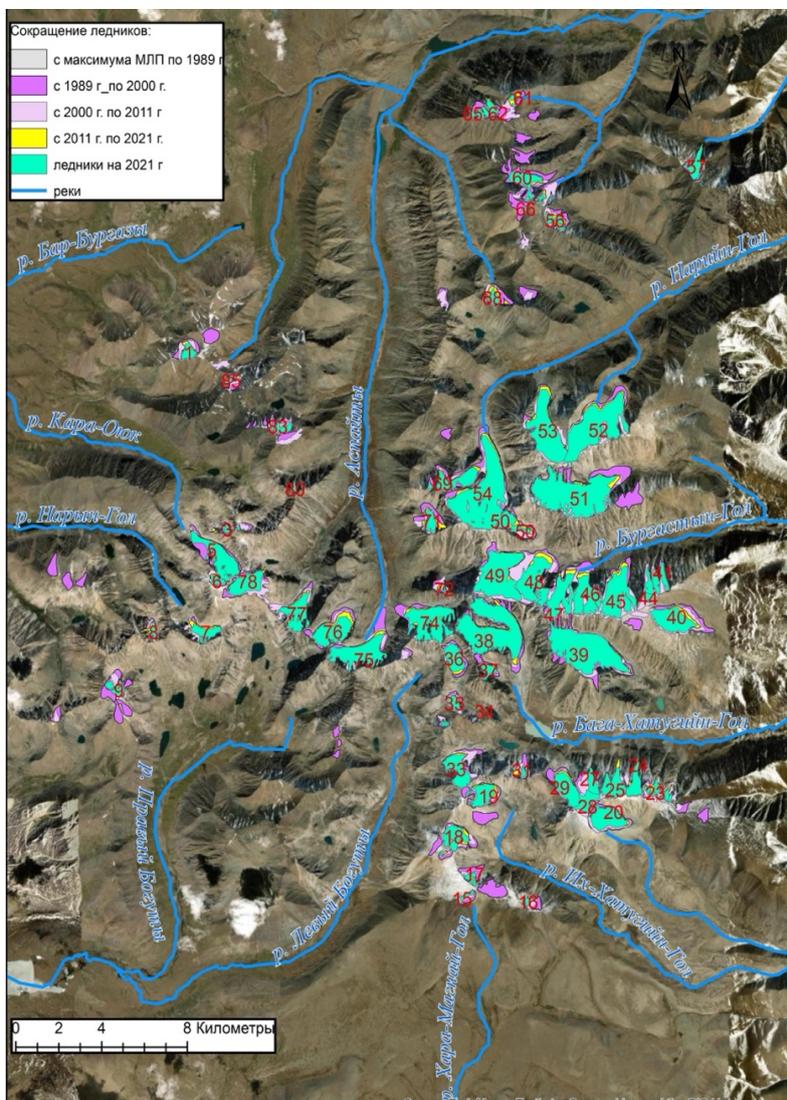


Рис. 1. Сокращение ледников хр. Чихачева с максимума МЛП по 2021 г.

Таблица 1. Сокращение ледников хр. Чихачева после максимума МЛП

Характеристики	Период, годы			
	1850 - 1899	1899 - 2001	2001 - 2011	2011 - 2021
Сокращение площади оледенения, км ²	23,25	8,4	4,74	3,32
Средняя скорость сокращения площади оледенения, км ² /год	0,17	0,7	0,47	0,33
Средняя относительная скорость сокращения площади оледенения, %/год	0,26	1,65	1,40	1,14

С максимума МЛП по 2021 г. площадь оледенения уменьшилась примерно на 59,4%, быстрее всего сокращение шло в период 1989-2011 гг. В восточной и центральной частях хребта преобладал распад долинных ледников или их трансформация в карово-долинные, на северной и западной периферии исчезло большое число малых, преимущественно каровых ледников. Несмотря на исчезновение 17 висячих ледников, возросла доля их числа и площади (табл. 2), что связано с распадом более крупных ледников. Выросла и доля числа и площади долинных ледников. В первом случае это процесс связан с распадом сложных долинных ледников, во втором – с сокращением и уменьшением доли других типов ледников, в первую очередь склоновых и плосковершинных.

Относительное количество и площадь ледников северной экспозиции увеличились за счёт сокращения доли ледников северо-восточной, восточной и юго-восточной экспозиций (табл. 2). Значительная часть ледников восточных экспозиций в МЛП была приурочена к сниженным субмеридиональным горным гребням на севере района. Ледники северных склонов, приуроченные к более высоким субширотным гребням, были более устойчивы. Возросла экспозиционная контрастность распределения ледников.

Таблица 2. Изменения морфологического и экспозиционного распределения ледников хр. Чихачева в период с максимума МЛП по 2021 г.

Характеристики ледников	Группы	Доля от общего числа, %		Доля от общей площади, %	
		МЛП	2021 г.	МЛП	2021 г.
<i>Морфологический тип:</i>	висячие	30	46	10	12
	карово-висячие	4	5	4	4
	каровые	24	19	10	12
	карово-долинные	15	7	17	16
	долинные	13	14	51	54
	плосковершинные	10	6	7	2
	склоновые	4	2	2	< 1
	присклоновые	0	1	0	< 1
<i>Экспозиция:</i>	С	30	59	28	58
	СВ	28	20	33	23
	В	11	8	13	13
	ЮВ	10	2	8	<1
	Ю	3	4	1	1
	ЮЗ	3	<1	2	<1
	З	2	1	1	<1
	СЗ	13	6	14	4

Сокращение объема ледников хребта Чихачева (табл. 3), согласно нашим расчетам, было выше, чем сокращение их площадей и составило 63-70%.

Таблица 3. Результаты расчетов суммарного объема ледников (км³)

Метод определения объема	МЛП	2000	2021
VAS	2,91	1,40	1,06
GlabTop2	-	1,14	0,88

Единственный долинный ледник российской части хр. Чихачева, ледник *Григорьева*, расположен на западном склоне хребта в истоках р. Кара-Оюк в трогее северо-западной ориентации длиной около 3,3 км. Борты долины, относительной высотой до 400-450 м, отвесно возвышаются над ледником, вызывая его сильное затенение и обильное поступление лавинного и осыпного материала на поверхность. Язык ледника, развернутый на север сильно загрязнен моренным материалом.

В 1928 г. край ледника упирался в моренный вал МЛП [8], к 1957 г. край ледника отступил на 50 м, а у края ледника сформировалось озеро [3]. Все это время ледник отступал очень медленно (табл. 4). К 1962 г. нами установлено резкое ускорение отступления за счет выхода края ледника на участок с малым уклоном. В последующем в отступании ледника чередовались интервалы относительно низких и высоких скоростей на фоне общего тренда к замедлению отступления. В 2023 г. ледник заканчивался на высоте около 2890 м.

Таблица 4. Динамика отступления ледника Григорьева

Годы	1850-1928	1928-1957	1957-1962	1962-1987	1987-2001	2001-2011	2011-2015	2015-2023
Отступление, всего, м	159	50	90	215	188	68	45	43,5
Средняя скорость отступления, м/год	2,0	1,7	18,0	8,6	13,4	6,8	11,25	5,4

Снижение скоростей отступления ледника было связано с ростом затененности, повышенного лавинного питания и малой абляции языка за счёт моренного бронирования при приближении поверхности отступления его нижнего края к крутому склону северной экспозиции, и ростом уклона (сейчас средняя крутизна поверхности ледника 28,9°). Снижение толщины ледника и ослабление притока льда из цирка, отмеченное при полевых исследованиях дает основание ожидать в ближайшем будущем превращение языка в массив мертвого льда и скачкообразное сокращение ледника.

Обсуждение результатов

С 1989 года ледники хребта Чихачева быстро сокращаются, растет экспозиционная контрастность их распределения, что соответствует общемировой и региональной тенденции, однако в последнее десятилетие сокращение несколько замедлилось. Этому может быть следующие объяснения. Во-первых, преобладающие на территории хребта малые ледники быстро реагируют на изменения климата. По данным мст. Кош-Агач средние летние температуры слабо менялись до 1990-х, в 1990-е повысились на 1,5-2°С, затем

стабилизировались на высоком уровне. Последнее могло сказаться и на состоянии ледников. Во-вторых, с сокращением ледников они могли отступить в пределы цирков и прийти в относительное соответствие с вмещающими формами рельефа, что показано выше на примере ледника Григорьева.

Благодарности

При поддержке РФФ, проект 22-67-00020.

Литература

- [1] *Бямба Ж.* Современное оледенение Монголии / Ж. Бямба, Е.И. Селиванов // Известия ВГО. 1971. Т. 103. № 3. С. 249-254.
- [2] *Ивановский Л.Н.* Вопросы сопоставления конечных морен на Алтае / Л.Н. Ивановский // Гляциология Алтая. 1965. № 4. С. 49-69.
- [3] Каталог. ледников СССР. Ч. 6. / Каталог. 1974. Т. 15. Вып. 1. С. 50.
- [4] Ледники в горах России (Кавказ, Алтай, Камчатка) в первой четверти XXI века. / В.М. Котляков и др. // Лёд И Снег. 2023. Т. 63. № 2. С. 157-173.
- [5] *Никитин С.А.* Закономерности распределения ледниковых льдов в Русском Алтае, оценка их запасов и динамики / С.А. Никитин // Материалы гляциологических исследований. 2009. № 107. С. 87-96.
- [6] Об оценке объёма льда горных ледников / Ю.Я. Мачерет и др. // Лёд и Снег. 2013. Т. 53. № 1. С. 5-15.
- [7] *Семихатова Л.И.* Современное оледенение в Юго-Восточном Алтае / Л.И. Семихатова // Советская Азия. 1930. № 3-4. С. 221-236.
- [8] Современное оледенение хребта Чихачева (Юго-Восточный Алтай) и его динамика после максимума малого ледникового периода / Д.А. Ганюшкин и др. // Лёд и снег. 2016. Т. 56. № 1. С. 29-42.
- [9] Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century / R. Hugonnet и др. // Nature. 2021. Т. 592. № 7856. С. 726-731.
- [10] *Dashdeleg N.* Modern glaciers of Mongolia / N. Dashdeleg // National Atlas of the Peoples Republic of Mongolia. Moscow, Ulaanbaatar: In Academy of Sciences of Mongolia and Academy of Sciences of USSR, 1990. С. 60.
- [11] Estimating the volume of glaciers in the Himalayan-Karakoram region using different methods / H. Frey et al. // The Cryosphere. 2014. Т. 8. № 6. С. 2313-2333.
- [12] Glacier fluctuations during the past 2000 years / O.N. Solomina et al. // Quaternary Science Reviews. 2016. Т. 149. С. 61-90.
- [13] Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century / M. Zemp [и др.] // Journal of Glaciology. 2015. Т. 61. № 228. С. 745-762.
- [14] *Kamp U.* Inventory of glaciers in Mongolia, derived from Landsat imagery from 1989 to 2011 / U. Kamp, C.G. Pan // Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography. 2015. Т. 97. № 4. С. 653-669.
- [15] *Klinge M.* Glacial-geomorphologic Investigations in the Mongolian Altai: a Contribution to the Late Quaternary Landscape and Climate History of Western Mongolia / M. Klinge. Aachen: Aachener Geographische Arbeiten, 2001. 135 с.

S u m m a r y. Based on field materials and interpretation of satellite images, new data have been obtained on the reduction in the area and volume of glaciers in the transboundary ridge of southeastern Altai. Against the background of a generally rapid reduction of glaciers (up to 1.7% /year), a

slowdown in the reduction of glaciers in the last decade has been revealed. The reduction in the area of glaciers from the maximum of the Little Ice Age to 2021 was 59.4%.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЙ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ЛАНДШАФТАХ ЮГО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА НЕЙРОННОЙ СЕТИ

А.Б. Глебова, И.С. Сергеев, А.С. Капкина, Е.М. Паутова
*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
a_glebova@mail.ru, igorsergeev.spb@gmail.com*

PREDICTING THE LOCATIONS OF ARCHAEOLOGICAL OBJECTS IN THE LANDSCAPES OF SOUTH-EASTERN ALTAI BASED ON A NEURAL NETWORK ALGORITHM

A.B. Glebova, I.S. Sergeev, A.S. Kapkina, E.M. Pautova
St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg

Аннотация. Статья посвящена построению нейросетевой модели возможного местонахождения неисследованных археологических памятников, расположенных в ландшафтах Юго-Восточного Алтая. Для этого проводится геоинформационный анализ распределения археологических памятников по восьми ландшафтными признакам, определяется важность ландшафтных признаков, которые учитывали люди, жившие в разные исторические периоды. На основе полученных данных обучается нейронная сеть и строится прогнозная карта. Точность прогнозной модели на этапе обучения составила порядка 85%.

Ключевые слова: ГИС, нейронные сети, ландшафты, археологические памятники, Юго-Восточный Алтай

Введение

В ландшафтах Юго-Восточного Алтая сосредоточено большое количество археологических памятников. Все они относятся к разным историческим эпохам начиная с каменного века и заканчивая этнографическим временем. Многие памятники изучены и включены в государственный реестр, но часть объектов до сих пор не изучены и не учтены. Для поиска расположения новых археологических объектов необходимо проводить: геоинформационный анализ учтённых археологических памятников, который позволит выявить ряд ландшафтных параметров их расположения; на основе полученных данных обучить нейронную сеть и построить модель возможного местонахождения еще не исследованных памятников. Полученные данные в дальнейшем позволят выявить пространственно-временные закономерности расселения людей в ландшафтах Юго-Восточного Алтая в историческом прошлом.

Регион исследования, объекты и методы

Регион исследования Юго-Восточный Алтай, расположен в Республики Алтай и представляет собой горную область, включающую горные хребты (Табын-Богдо-Ола, Шапшальский, Сайлюгем, Чихачева), межгорные котловины, расположенные на разных гипсометрических уровнях (Курайская, Чуйская) и плоскогорье Укок. Абсолютные высоты в пределах исследуемой территории от 1500 м до 4356 м.