

## Современное оледенение хребта Чихачева (Юго-Восточный Алтай) и его динамика после максимума малого ледникового периода

© 2016 г. Д.А. Ганюшкин<sup>1\*</sup>, К.В. Чистяков<sup>1</sup>, Е.П. Кунаева<sup>2,3</sup>, И.В. Волков<sup>1</sup>, Д.В. Банцев<sup>1</sup>

Санкт-Петербургский государственный университет<sup>1</sup>; Ленинградский государственный университет имени А.С. Пушкина, Санкт-Петербург<sup>2</sup>; Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург<sup>3</sup>  
\*Ganushkinspbgu@mail.ru

### Current glaciation of the Chikhachev ridge (South-Eastern Altai) and its dynamics after maximum of the Little Ice Age

D.A. Ganyushkin<sup>1\*</sup>, K.V. Chistyakov<sup>1</sup>, E.P. Kunaeva<sup>2,3</sup>, I.V. Volkov<sup>1</sup>, D.V. Bantsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia; <sup>2</sup>Pushkin Leningrad State University, St. Petersburg, Russia;  
<sup>3</sup>Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg, Russia  
\*Ganushkinspbgu@mail.ru

Article accepted for publication on November 11, 2015

**Keywords:** arid climate, dynamics of glaciers, glaciers, Little Ice Age, South-Eastern Altai.

#### Summary

Glaciation of the Chikhachev ridge (South-Eastern Altai) remains poorly known: field observations were not performed since the mid-twentieth century, available schemes and estimates of the glaciation and its scale made on the basis of remote sensing cover only a part of the glaciers, reconstructions of the Little Ice Age (LIA) glaciations are absent. This research was based on interpretation of the satellite images: Landsat-4 (1989), Landsat-7 (2001), and Spot-5 (2011), as well as with the use of data of the field season of 2015. Characteristics of glaciations of the Chikhachev ridge as the whole and of its individual centers (Talduir massif, Mongun-Taiga-Minor massif, and southern part of the Chikhachev ridge) were determined for the first time. Recent glaciation is represented by 7 glaciers with their total area of 1.12 km<sup>2</sup> in the Talduir massif, by 5 glaciers with total area of 0.75 km<sup>2</sup> in the Mongun-Taiga-Minor massif, and by 85 glaciers with total area of 29 km<sup>2</sup> in the southern part of the Chikhachev ridge. Since the LIA maximum, areas of glaciers decreased by 61% in the Talduir massif, by 74% in the Mongun-Taiga-Minor massif, by 56% in the southern part of the Chikhachev ridge with simultaneous lifting of the firn line by 50 m, 65 m, and 70 m, respectively.

The largest rates of the glacier contractions were determined for the period 1989–2011. Different mechanisms of the glacier retreats were shown by the example of the glacier complexes Burgastyn-Gol (one-sided retreat and disintegration) and the Grigorjev glacier (gradual retreat of the tongue). Retreat of the Grigorjev glacier has been reconstructed for the period from the LIA maximum until 2015. Average rate of the retreat increased from 1,6 m/year in 1957–1989 up to 11,3 m/year in 2011–2015. The present-day scales of the glaciers and rates of their retreating do not significantly differ from estimations made by other researchers for the nearest centers of glaciation of the Altai arid part. Stabilization of the temperature against the background of increasing precipitation suggests that in future retreating of small glaciers will slow down.

Статья принята к печати 11 ноября 2015 г.

**Ключевые слова:** аридный климат, динамика ледников, ледники, малый ледниковый период, Юго-Восточный Алтай.

На основе дешифрирования космических снимков и полевых исследований составлены каталоги и карты современных ледников малоисследованных центров оледенения Юго-Восточного Алтая: массивов Талдуайр, Монгун-Тайга-малая и южной части хребта Чихачева. Реконструировано оледенение хребта в малую ледниковую эпоху по снимкам 1989, 2001, 2011 гг. и результатам полевых исследований 2015 г.; выявлена динамика оледенения в целом и конкретных ледниковых комплексов.

#### Введение

Хребет Чихачева — это субмеридиональное возвышение между перевалом Ташанты и оз. Джулу-куль, отделяющее Чуйскую котловину на западе от относящейся к бассейну внутреннего стока котловины оз. Ачит-Нур на востоке. К северу от перевала Асхату-Даба хр. Чихачева в водораздельной части имеет характер высокого

плато с ровной или слабовсхолмлённой поверхностью и средней высотой около 3000 м. Современное оледенение здесь отсутствует. Исключение — примыкающий с запада ромбовидный в плане Талдуайрский горный массив (3505,7 м) шириной и длиной около 25 км [10], а также смещённый к востоку относительно водораздела хр. Чихачева высокогорный участок с наивысшей точкой 3717,6 м — массив Монгун-Тай-

га-малая. К югу от перевала Асхату-Даба развит альпийский рельеф с преобладающими высотами 3400–3800 м (максимальная высота 4029 м) и существенным современным оледенением. Таким образом, на территории хр. Чихачева находятся три относительно изолированных высокогорных участка, с которыми связаны очаги современного оледенения. Климатические условия неблагоприятны для существования ледников – годовая сумма осадков в предгорьях близка к 100 мм (ГМС Кош-Агач), а в высокогорье не превышает 300–400 мм [5].

### Постановка проблемы

В 1928 г. Л.И. Семихатовой в массиве Талдуайр было обнаружено четыре висячих ледника в верховьях р. Большой Сайлюгем и левых притоков р. Янтау в бассейне р. Бугузун [14]. Однако каких-либо описаний, схем или численных характеристик этих ледников приведено не было. Оледенение массива Монгун-Тайга-малая ранее никем не изучалось, не указано оно и в Каталоге ледников СССР.

Белки и скопления снега в южной части хр. Чихачева отмечались Г.Н. Потаниным [12] и В.В. Сапожниковым [13], но фактическим первооткрывателем оледенения хр. Чихачева была Л.И. Семихатова [14], обнаружившая ледники в верховьях рек Бар-Бургазы и Асхатты (Асгатын-Гол), а также с водораздела рек Левый Богуты и Кату (Бага-Хатугийн-Гол); она описала и несколько ледников на территории Монголии. Всего Л.И. Семихатова выделила 13 ледников общей площадью 5 км<sup>2</sup>. Данные Л.И. Семихатовой позднее были уточнены при составлении Каталога ледников [7]. Всего на западном склоне хр. Чихачева выделено 16 ледников общей площадью 4,4 км<sup>2</sup>. В 1957–1958 гг. на единственном долинном леднике западного макросклона – леднике Григорьева работал Л.Н. Ивановский, зафиксировавший высоту конца ледника на 2900 м, его отступление за 30 лет – на 50 м, а положение снеговой линии – на высоте 3150–3200 м [6].

Позже по материалам аэрофотосъёмки Е.И. Селиванов и Ж. Бямба [1] отметили в районе Тургэни-Эхни-Ула (гора Турген-Ула, 4029 м) около 20 небольших ледников длиной до 2–3 км. Они оценили суммарную площадь сплошных фирновых

полей в 30 км<sup>2</sup>. Известны также оценки площади ледников хр. Чихачева на территории Монголии (Ikh Turgen), сделанные для 1940-х годов по топокарте масштаба 1:100 000 [22], другим топокартам и аэрофотоснимкам [18]. Американские исследователи по результатам дешифрирования космических снимков Landsat за 2010 г. в монгольской части хр. Чихачева (Ikh Turgen) выделили 60 ледников площадью 26,9 км<sup>2</sup> [21]. В настоящее время информация о современном оледенении всего хр. Чихачева отсутствует, нет и реконструкций оледенения малого ледникового периода (далее МЛП) для этого района.

### Материалы и методы

Работа основана на результатах дешифрирования космических снимков, а также полевых работ летом 2015 г. в бассейне р. Кара-Оюк и на леднике Григорьева. Проводилось дешифрирование снимков Landsat-4 (разрешение 30 м, дата съёмки 19 сентября 1989 г.), Landsat-7 (разрешение 15 м, дата съёмки 4 сентября 2001 г.), SPOT-5 (разрешение 2,5 м, дата съёмки 4 сентября 2011 г.). Для получения первичных данных со снимков и проведения по ним предварительных расчётов снимки были радиометрически нормализованы и географически привязаны по орбитальным данным в формате NoRad Tie. Выполнена автоматическая систематическая геометрическая коррекция растровых данных по математической модели, описывающей углы ориентации спутника и камеры в момент съёмки (строгая модель). Определена и установлена проекция UTM WGS 84 с автоматическим определением зоны (45). Затем они были ортотрансформированы по ЦМР ASTER GDEM v. 2 (30 м), использовался умеренно-подчёркивающий фильтр.

При создании Каталогов ледников использовались результаты картометрических измерений (на основе топографических карт масштаба 1:100 000), а также GPS-привязки, полученные в результате маршрутных полевых наблюдений в 2015 г. Ледники в МЛП реконструировали на основе дешифрирования окаймляющих ледники незадернованных морен. Положение фирновой границы на реконструированных ледниках рассчитывалось по методу Куровского.

Таблица 1. Каталог ледников массива Талдуайр и Монгун-Тайга-малая\*

№	Бассейн реки	Морфологический тип	<i>S</i>	<i>L</i>	<i>Z1</i>	<i>Z2</i>	<i>Zf</i>	<i>A1, A2**</i>
<i>Массив Талдуайр (по состоянию на 2001 г.). Бассейн р. Обь, Северный Ледовитый океан</i>								
1	Приток р. Янтау	Карово-висячий	0,07	0,32	3320	3120	3220	СВ
2		Висячий	0,05	0,3	3530	3360	3445	
3			0,04	0,4	3530	3220	3375	
4		Каровый	0,36	0,65	3300	3080	3190	
5	Р. Сайлюгем	Карово-висячий	0,38	0,8	3500	3160	3330	С
6		Висячий	0,04	0,58	3430	3080	3255	СЗ
7			0,18	0,66	3400	3030	3215	С
<i>Сумма или среднее</i>			1,12	0,53	3430	3150	3265	
<i>Массив Монгун-Тайга-малая (по состоянию на 2011 г.). Бассейн р. Кобдо, оз. Хиргис-Нур (область внутреннего стока)</i>								
1	Р. Дзуту-Сай	Каровый	0,15	0,62	3350	3080	3215	СВ
2		Висячий	0,12	0,71	3510	3150	3330	С
3	Р. Цзенге-Сай	Склоновый	0,2	0,74	3680	3320	3500	С
4	Р. Чинге-Сай	Висячий	0,04	0,29	3480	3270	3375	С
5	Приток р. Аспайты	Каровый	0,24	0,61	3405	3260	3332,5	СВ
<i>Сумма или среднее</i>			0,75	0,59	3485	3216	3355	

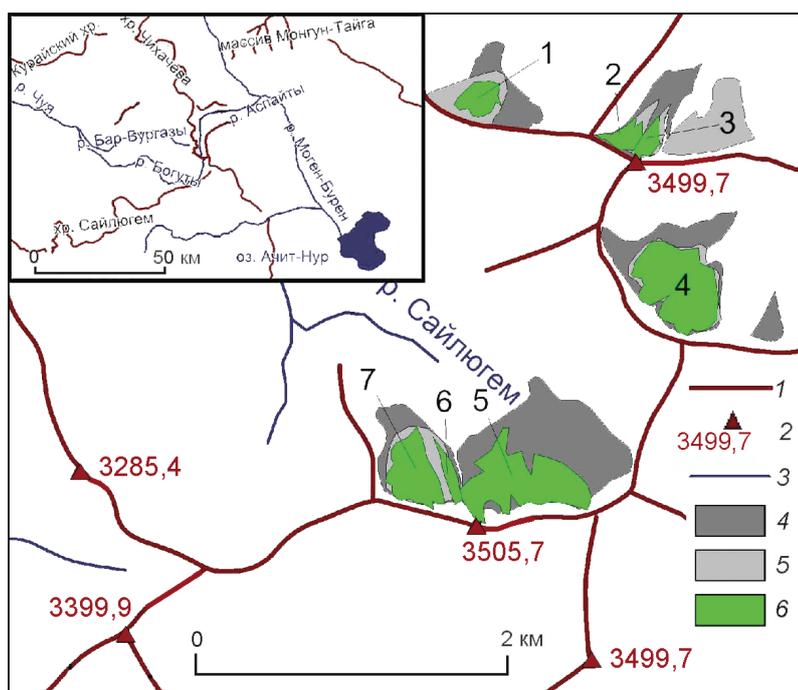
\* *S* – площадь ледника, км<sup>2</sup>; *L* – наибольшая длина ледника, км; *Z1* – высота нижней точки ледника, м; *Z2* – высота верхней точки ледника, м; *Zf* – высота фирновой границы, м; *A1* – экспозиция области аккумуляции; *A2* – экспозиция области абляции.

\*\* Если дана одна экспозиция, то экспозиции областей аккумуляции и абляции совпадают; если дано две экспозиции (табл. 2), то первая экспозиция относится к области аккумуляции, а вторая – к области абляции.

## Результаты

**Массив Талдуайр.** На основе дешифрирования космических снимков Landsat-7 2001 г. выделено семь малых ледников суммарной пло-

щадью 1,12 км<sup>2</sup> (табл. 1, рис. 1). Оледенение массива относится к бассейнам рек Янтау и Сайлюгем (притоки р. Бугузун), сток с ледников направляется в Чуйскую котловину и принадлежит водосборному бассейну Северного Ле-

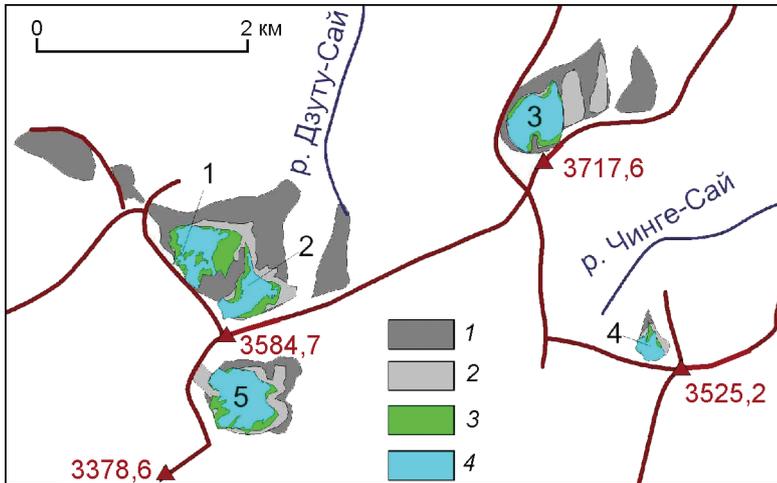


**Рис. 1.** Современное и реконструированное оледенение массива Талдуайр.

1 – горные хребты; 2 – горные вершины; 3 – реки; 4 – ледники в максимум малого ледникового периода; 5 – ледники в 1989 г.; 6 – ледники на 2001 г. (с указанием номеров по табл. 1)

**Fig. 1.** Present and reconstructed glaciations of Talduair massif.

1 – mountain ridges; 2 – mountain tops; 3 – rivers; 4 – glaciers in the Little Ice Age maximum; 5 – glaciers in 1989; 6 – present glaciers (with numbers from Table 1)



**Рис. 2.** Изменение оледенения массива Монгун-Тайга-малая после максимума малого ледникового периода.

1 – сокращение ледников с максимума малого ледникового периода по 1989 г.; 2 – сокращение ледников с 1989 по 2001 г.; 3 – сокращение ледников с 2001 по 2011 г. (с указанием номеров по табл. 1); 4 – ледники в 2011 г. (с указанием номеров по табл. 1); остальные условные обозначения см. рис. 1

**Fig. 2.** Changes of the glaciations of Mongun-Taiga-Minor massif after the Little Ice Age maximum.

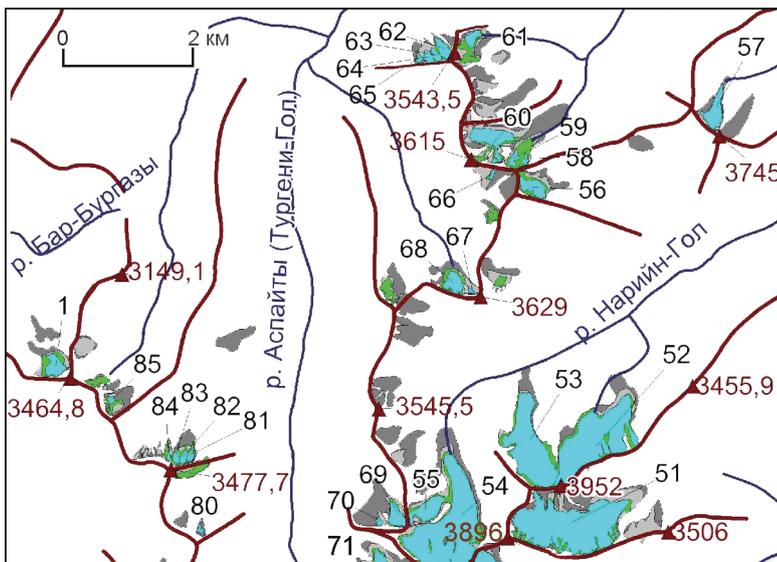
1 – reduction of the glaciers from the Little Ice Age maximum to 1989; 2 – reduction of the glaciers from 1989 to 2001; 3 – reduction of the glaciers from 2001 to 2011; 4 – glaciers in 2011 (with numbers from Table 1); others legend see Fig. 1

довитого океана. Все ледники расположены на высотах более 3080 м при средней взвешенной высоте фирновой границы 3265 м. Висячие ледники близки к трансформации в многолетние снежники или полному исчезновению. Наиболее жизнеспособен каровый ледник (№ 4), занимающий выгодное положение в высоко расположенном каре (высота днища около 3150 м); судя по расположению морен МЛП этот ледник устойчив и сокращается медленно.

**Массив Монгун-Тайга-малая.** При дешифрировании снимков SPOT-5 2011 г. выделено пять ледников суммарной площадью 0,75 км<sup>2</sup> (рис. 2, см. табл. 1). Сток с ледников массива направлен в р. Моген-Бурен и относится к бассейну внутреннего стока (оз. Ачит-Нур). Несмотря на большую абсолютную высоту массива Монгун-

Тайга-малая по сравнению с массивом Талдуайр, его ледники также близки к полному исчезновению. Вероятно, это связано с меньшим количеством осадков, поскольку массив Монгун-Тайга-малая находится в зоне орографической тени хр. Чихачева. Подтверждением этому служит более высокое (на 90 м) по сравнению с массивом Талдуайр положение средневзвешенной фирновой границы (3355 м). Аридными условиями можно объяснить процессы бронирования малых ледников, которые отмечаются на обоих каровых ледниках массива.

**Южная часть хребта Чихачева.** По результатам дешифрирования авторами снимков SPOT-5 на 2011 г. оледенение представлено 85-ледниками общей площадью 29 км<sup>2</sup> (рис. 3 и 4, табл. 2). Из них на территории России находится 14 ледников

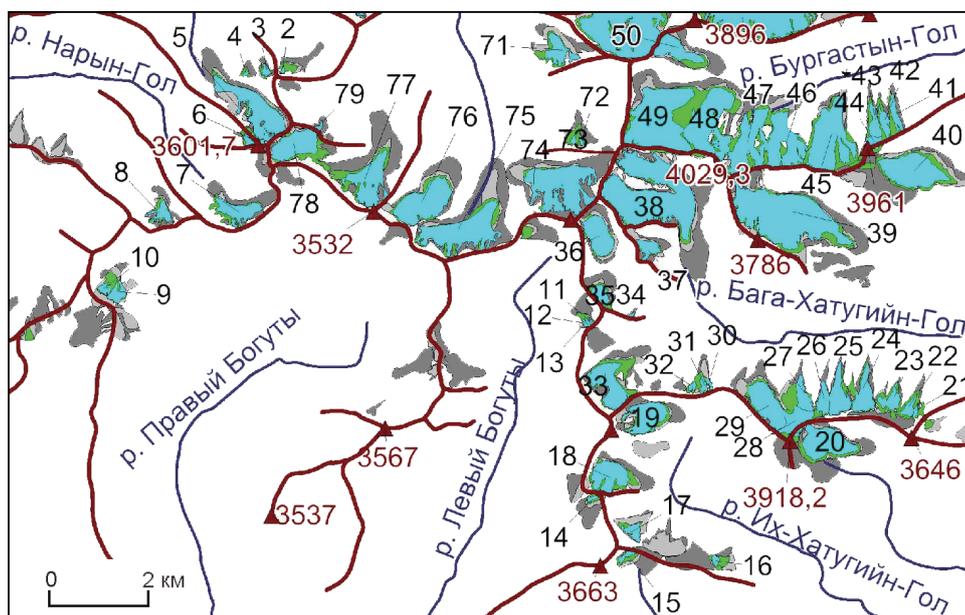


**Рис. 3.** Сокращение оледенения юга хр. Чихачева с максимума малого ледникового периода (северная часть).

Условные обозначения см. рис. 1, 2 (с указанием номеров по табл. 2)

**Fig. 3.** Reduction of the glaciations of the south of Chikhacheva ridge from the Little Ice Age maximum (northern part).

Legend see Fig. 1, 2 (with numbers from Table 2)



**Рис. 4.** Сокращение оледенения юга хр. Чихачева с максимума малого ледникового периода (южная часть).

Условные обозначения см. рис. 1, 2

**Fig. 4.** Reduction of the glaciations of the south of Chikhacheva ridge from the Little Ice Age maximum (southern part).

Legend see Fig. 1, 2

суммарной площадью 1,54 км<sup>2</sup> (мы обнаружили и добавили в Каталог шесть ранее нигде не отмеченных малых ледников в бассейнах р. Левый Богуты и Правый Богуты). Преобладают небольшие ледники, но площадь даже самых значительных не превышает 2,5 км<sup>2</sup>. Доминируют висьячие ледники, хотя суммарная площадь долинных ледников составляет около половины всей площади оледенения южной части хр. Чихачева. Экспозиционное распределение ледников показывает их зависимость от перераспределения твёрдых осадков метелевым переносом. Оледенение западного наветренного макросклона основного водораздела составляет около 5% общей площади оледенения, а все ледники, за исключением трёх самых крупных, близки к полному исчезновению.

#### Реконструкции ледников в малый ледниковый период, их последующая эволюция и современная динамика

**Массив Талдуайр.** В МЛП, согласно нашей реконструкции (см. рис. 1), суммарная площадь оледенения составляла примерно 2,9 км<sup>2</sup>, т.е. оледенение с максимума МЛП по 2001 г. сократилось на 61%. Несмотря на исчезновение двух ледников, их общее число не изменилось за счёт распада относительно крупных ледников. В МЛП в данном центре оледенения существовало четыре висьячих ледника, один каровый и

два карово-долинных. Суммарная площадь последних составляла более 50% общей площади оледенения массива. К 1989 г. суммарная площадь оледенения уменьшилась до 1,56 км<sup>2</sup>, карово-долинные ледники отступили и перешли в разряд каровых, в массиве сохранились только малые ледники. В период с 1989 по 2011 г. оледенение сократилось на 29%. Полностью исчез единственный склоновый ледник, распался на две составляющие (ледники № 6 и 7) каровый ледник в верховьях р. Сайлюгем.

**Массив Монгун-Тайга-малая.** Для МЛП реконструировано восемь ледников суммарной площадью 2,91 км<sup>2</sup> (см. рис. 2). Несмотря на количественное преобладание малых висьячих и склоновых ледников, в истоках р. Дзуту-Сай существовал крупный карово-долинный ледник площадью 1,11 км<sup>2</sup>. К 1989 г. площадь оледенения сократилась примерно в 2 раза (до 1,41 км<sup>2</sup>) как из-за распада упомянутого карово-долинного ледника, так и исчезновения трёх малых ледников.

К 2001 г. совокупная площадь ледников уменьшилась ещё на 0,4 км<sup>2</sup>, в 2001–2011 гг. ледники сокращались чуть медленнее (на 0,25 км<sup>2</sup>). Наиболее стабильными в рассмотренный период были ледники № 4 и 5, языки которых ввиду ступенчатости рельефа уже в МЛП заканчивались на высоте около 3200 м. К 2011 г. концы ледников поднялись на 50–70 м при 200-метровом отступании (для сравнения край ледника в истоках р. Дзуту-Сай отступил примерно на 780 м).

Таблица 2. Каталог ледников южной части хр. Чихачева по состоянию на 2011 г.\*

№	Бассейн реки	Морфологический тип	S	L	Z1	Z2	Zf	A1, A2	
<i>Бассейн р. Обь, Северный Ледовитый океан</i>									
1	Бар-Бургазы	Каровый	0,16	0,56	3410	3140	3275	СЗ	
2	Кара-Оюк	Висячий	0,01	0,18	3325	3240	3285	С	
3		Каровый	0,03	0,3	3500	3290	3395	С	
4		Карово-висячий	0,01	0,14	3200	3110	3155	СЗ	
5		Долинный	0,70	1,94	3580	2890	3250	СВ, СЗ	
6	Нарын-Гол	Плосковершинные	0,09	0,31	3601,7	3520	3560		
7		Каровый	0,27	1,1	3020	3280	3150	СЗ	
8			0,11	0,52	3240	3080	3160	С	
9	Правый Богуты	Висячий	0,1	0,51	3480	3120	3300	С	
10			0,04	0,27	3420	3100	3260	СВ	
11	Левый Богуты		0,01	0,2	3480	3350	3415	СЗ	
12			0,01	0,23	3480	3350	3415	СЗ	
13		0,01	0,2	3480	3350	3415	СЗ		
14		Плосковершинные	0,02	0,11	3754	3680	3717	ЮВ	
<i>Бассейн р. Кобдо, оз. Хиргис-Нур (область внутреннего стока)</i>									
15	Хара-Магнай-Гол	Плосковершинные	0,04	0,04	3630	3600	3615	ЮВ	
16	Их-Хатугийн-Гол	Карово-висячий	0,03	0,18	3500	3420	3460	СВ	
17			0,09	0,36	3600	3320	3460	СВ	
18		Каровый	0,38	0,93	3600	3280	3440	В	
19			0,38	0,96	3530	3270	3400	В, ЮВ	
20		Карово-долинный	0,53	1,15	3860	3400	3630	ЮВ	
21		Бага-Хатугийн-Гол	Висячий	0,21	0,33	3600	3340	3470	С
22	0,07			0,51	3610	3195	3405	СВ	
23	0,13			0,64	3670	3130	3400	СВ	
24	0,25			1,03	3730	3020	3375	С	
25	0,28			1,18	3780	2960	3370	С	
26	0,13			0,73	3770	3200	3485	С	
27	0,15			0,78	3800	3160	3480	С	
28	Плосковершинные			0,25	0,56	3915	3600	3760	С
29	Каровый			0,46	1,13	3840	3270	3555	СЗ
30	Бага-Хатугийн-Гол			Висячий	0,02	0,25	3600	3280	3440
31		0,04	0,36		3560	3230	3395	СЗ	
32		0,02	0,24	3400	3290	3345	С		
33		Долинный	0,45	1,05	3670	3180	3425	СВ	
34		Висячий	0,01	0,17	3400	3220	3310	СВ	
35		Склоновый	0,11	0,33	3440	3260	3350	СВ	
36		Долинный	0,37	0,88	3520	3315	3420	Ю	
37		Каровый	0,13	0,59	3400	3230	3315	В	
38		Долинный	1,96	2,4	3720	3090	3405	В, ЮВ	
39			1,83	2,79	3960	3200	3580	СВ, ЮВ	
40	Бага-Хатугийн-Гол	Каровый	0,7	1,57	3840	3360	3600	В	
41	Бургастын-Гол	Висячий	0,1	0,84	3760	3120	3440	С	
42			0,09	0,77	3810	3250	3530	С	
43			0,12	0,79	3820	3200	3510	С	
44		Плосковершинные	0,07	0,27	3960	3800	3880	С	
45		Карово-висячий	0,91	1,61	3880	3020	3450	С	
46		Висячий	0,63	1,23	3840	2980	3410	С	
47			0,67	1,57	3980	3050	3515	С	
48		Карово-долинный	0,9	1,6	4000	3035	3520	С	
49		Долинный	1,34	2,3	3850	3150	3500	С, СВ	

Окончание табл. 2

№	Бассейн реки	Морфологический тип	<i>S</i>	<i>L</i>	<i>Z1</i>	<i>Z2</i>	<i>Zf</i>	<i>A1, A2</i>
50		Карово-долинный	0,32	1,06	3800	3240	3520	В
51		Долинный	2,19	2,8	3800	3155	3480	В
52	Нарийн-Гол		1,75	2,59	3952	3080	3516	СВ
53		Карово-долинный	1,27	2,29	3880	2890	3385	С
54		Долинный	2,24	2,88	3880	2920	3400	С
55		Каровый	0,28	1	3540	3080	3310	СВ
56			0,27	0,52	3520	3320	3420	СВ
57		Висячий	0,23	1,1	3700	3020	3360	СВ
58			0,03	0,32	3480	3200	3340	С
59	0,06		0,42	3490	3190	3340	СВ	
60	Аспайты	Карово-долинный	0,33	1,02	3490	3105	3300	СВ, В
61		Присклоновый	0,09	0,41	3405	3280	3345	В
62		Висячий	0,11	0,63	3580	3200	3390	СЗ
63			0,04	0,41	3580	3310	3445	СЗ
64			0,05	0,37	3550	3315	3435	СЗ
65			0,02	0,25	3440	3280	3360	СЗ
66		Склоновый	0,02	0,25	3510	3450	3480	ЮЗ
67		Висячий	0,01	0,3	3520	3320	3420	СЗ
68		Каровый	0,16	0,54	3400	3080	3240	С
69		Карово-висячий	0,15	0,72	3600	3120	3360	СЗ
70		Висячий	0,02	0,25	3400	3200	3300	СЗ
71		Каровый	0,22	0,72	3480	3150	3315	СЗ
72		Висячий	0,01	0,25	3320	3150	3235	С
73			0,02	0,22	3320	3160	3240	С
74		Карово-долинный	1	1,54	3600	3000	3300	СЗ
75		Долинный	0,87	1,98	3400	2960	3180	С
76			0,69	1,3	3400	3030	3215	СВ
77			0,52	1,27	3450	2910	3180	СВ
78		Карово-долинный	0,45	0,99	3440	3230	3335	ЮВ
79		Висячий	0,03	0,26	3200	2940	3070	СВ
80	0,02		0,29	3360	3130	3245	С	
81	0,03		0,37	3280	3040	3160	СВ	
82	0,04		0,37	3360	3080	3220	С	
83	0,04		0,38	3380	3070	3225	СВ	
84	0,01		0,39	3400	3120	3260	С	
85	Асгатын-Гол (приток р. Аспайты)		Каровый	0,02	0,19	3180	3120	3150
<i>Сумма или средневзвешенное по площади</i>			29	0,82	3575	3197	3425	

\* См. условные обозначения к табл. 1.

Таким образом, сокращение суммарной площади ледников с максимума МЛП – около 74% при подъёме фирновой границы на 65 м. Как и в массиве Талдуайр, после 1989 г. сокращение ледников ускорилось.

**Южная часть хр. Чихачева.** Реконструированное оледенение в МЛП было представлено

128 ледниками суммарной площадью 65,4 км<sup>2</sup> (см. рис. 3 и 4). Наиболее крупные ледники располагались на северных склонах субширотного горного гребня, протягивающегося от верховьев р. Кара-Оюк на восток до верховьев рек Бага-Хатугийн-Гол и Бургастын-Гол. Здесь располагалось 12 долинных ледников из 17, суще-

Таблица 3. Реконструированная скорость деградации ледников южной части хр. Чихачева после максимума малого ледникового периода

Характеристики	Период, годы		
	1820–1989	1989–2001	2001–2011
Сокращение площади оледенения, км <sup>2</sup>	23,25	8,4	4,74
Средняя скорость сокращения площади оледенения, км <sup>2</sup> /год	0,13	0,7	0,47
Подъём фирновой границы, м	34	28	7
Средняя скорость подъёма фирновой границы, м	0,2	2,3	0,7

ствовавших в МЛП. Расчётная средняя высота фирновой границы на ледниках МЛП составила 3355 м (депрессия 70 м). К 1989 г. площадь оледенения сократилась до 42,17 км<sup>2</sup> при подъёме фирновой границы на 35 м. В период 1989–2001 гг. площадь оледенения уменьшилась ещё на 8,4 км<sup>2</sup>, а высота фирновой границы повысилась на 28 м. С 2001 по 2011 г. площадь оледенения уменьшилась на 4,75 км<sup>2</sup> при подъёме фирновой границы на 7 м.

Если сокращение ледников после максимума МЛП началось около 1820 г. (по аналогии с результатами реконструкции оледенения МЛП близко расположенного горного массива Монгун-Тайга [19]), то период 1989–2011 гг., вероятнее всего, оказался временем наиболее быстрого сокращения ледников после максимума МЛП (табл. 3). С максимума МЛП по 2011 г. площадь оледенения уменьшилась примерно на 56%.

Характер деградации ледников в разных частях данного района был неодинаков: в восточной и центральной частях преобладали распад долинных ледников или их трансформация в карово-долинные, на северной и западной периферии исчезло большое число малых ледников, преимущественно каровых. Возросла доля висячих ледников как в отношении количества, так и относительной площади (табл. 4), и, напротив, снизились количество и относительная площадь долинных и карово-долинных ледников. Эти параметры у ледников северной экспозиции возросли вследствие сокращения доли ледников северо-восточной, восточной и юго-восточной экспозиций (см. табл. 4). Значительная часть ледников восточных экспозиций в

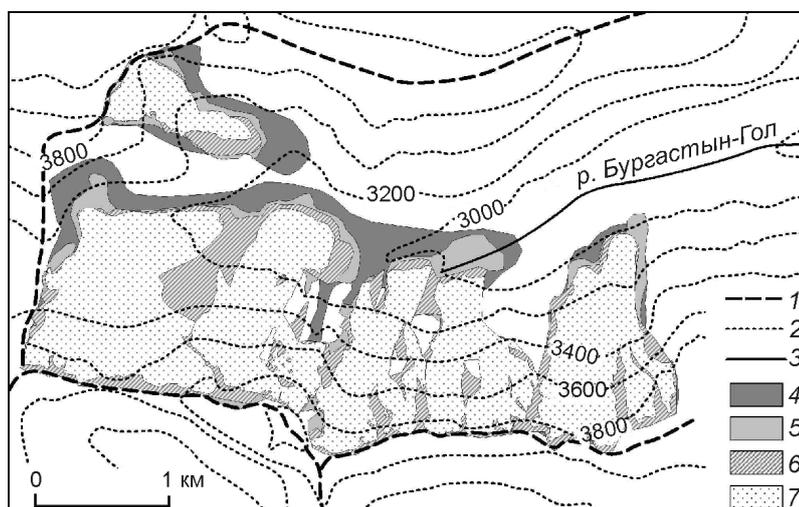
Таблица 4. Изменение морфологической структуры оледенения и экспозиционного распределения ледников хр. Чихачева в период с максимума малого ледникового периода (МЛП) по 2011 г.

Характеристика	Доля от общего числа, %		Доля от общей площади, %	
	МЛП	2011 г.	МЛП	2011 г.
<i>Морфологический тип ледников</i>				
Висячие	30	46	10	13
Карово-висячие	4	5	4	1
Каровые	24	6	10	12
Карово-долинные	15	8	17	17
Долинные	13	14	51	51
Плосковершинные	10	6	7	2
Склоновые	4	2	2	<1
Присклоновые	0	1	0	<1
<i>Экспозиция ледников</i>				
Север	10	36	28	38
Северо-восток	28	25	33	24
Восток	11	10	13	21
Юго-восток	10	5	8	4
Юг	3	1	1	1
Юго-запад	3	1	2	<1
Запад	2	0	1	0
Северо-запад	13	23	14	11

МЛП была приурочена к сниженным субмеридиональным горным гребням на севере рассматриваемого района. Ледники северных склонов, приуроченные к более высоким субширотным гребням, оказались более устойчивыми.

Изменение экспозиционного распределения ледников показывает, что менее восприимчивыми к произошедшим изменениям климата оказываются ледники, существующие за счёт малой абляции на затенённых склонах, а более уязвимыми – ледники подветренных склонов, выживающие за счёт многократной концентрации твёрдых осадков. На наш взгляд, это связано с уменьшением количества осадков, поскольку при этом аккумуляция уменьшается в большей степени на ледниках с высоким значением коэффициента концентрации твёрдых осадков. Различия механизмов сокращения конкретных ледников показаны на примере ледников Бургастьн-Гол и Григорьева.

*Ледниковый комплекс Бургастьн-Гол* приурочен к восточному макросклону хр. Чихачева (рис. 5). Верховья долины находятся



**Рис. 5.** Ледниковый комплекс Бургастын-Гол.

1 – водоразделы; 2 – изогипсы; 3 – реки; 4 – положение ледника в максимум малого ледникового периода; положение ледников в 1989 (5), 2001 (6), и 2011 (7) гг.

**Fig. 5.** Burgastyn-Gol glacial complex.

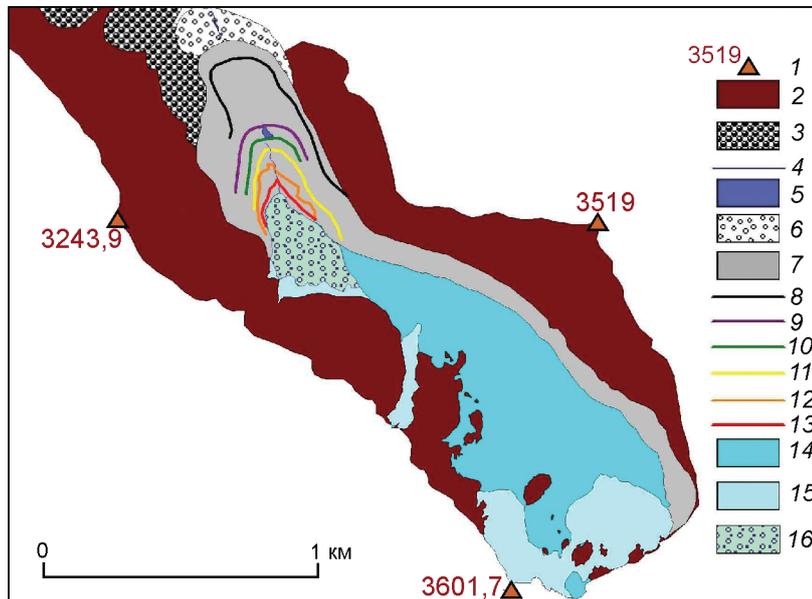
1 – watersheds; 2 – hypsometric curves; 3 – rivers; 4 – position of the glaciers in the Little Ice Age maximum; position of the glaciers in 1989 (5), 2001 (6) and 2011 (7)

между двумя субширотными горными гребнями: южным, со средней высотой более 3800 и максимальной до 4029,3 м (гора Турген-Ула), и северным, со средней высотой более 3600 и максимальной до 3896 м. Соединяющий их отрезок главного водораздела хр. Чихачева снижен на участке ледникового перевала до 3300 м. Верхняя часть долины с высотами 3300–2860 м имеет широтное простираие, немного расширяясь и разворачиваясь к северо-западу выше 3000 м. Горное обрамление долины с юга мало изрезано и, за исключением нескольких небольших каров с днищами на высотах 3300 м и более, представляет собой монолитную стену крутизной в среднем 50–60°. Северное обрамление имеет более расчленённый характер благодаря глубокому цирку юго-восточной экспозиции, открывающемуся в долину.

В максимум МЛП в верховьях долины Бургастын-Гол существовал крупнейший по площади на территории хр. Чихачева долинный ледник (5,25 км<sup>2</sup>), спускавшийся примерно до высоты 2900 м. Ледник получал одностороннее питание со склонов северной экспозиции, не принимая ни одного притока со склона южной экспозиции. Подобные ледники отмечены М.В. Троновым как весьма характерные для современного состояния оледенения на Алтае [15, с. 342]: «Такие ледники получают дополнительное питание с теневой стороны, где снеговые поля спускаются до поверхности ледника, в то время как другая сторона ледниковой долины обнажена от снега. Ледник от неё отходит и получает наклон не только вниз по доли-

не, но и вбок, к бесснежной стороне». Согласно М.В. Тронову, одностороннее расположение языка ледника – следствие нарушения принципа соответствия, т.е. долина становится слишком широкой для ледника, в результате ледник отступает не только вверх по долине, но и вбок и в итоге разделяется. Вполне в соответствии с этой схемой, согласно топографической карте 1:100 000 издания 1982 г., отступление ледника «вбок» привело к тому времени к его разделению в нижней части на два языка, направленных почти перпендикулярно долине. Согласно результатам дешифрирования космических снимков, примерно такое же положение краёв ледников сохранялось и в 1989 г.

К 2001 г. оба языка отступили вверх и вбок на расстояние от 50 до 250 м. В период 2001–2011 гг. каждый из ледников распался ещё на два ледника. Сейчас на месте бывшего долинного ледника существуют четыре ледника (№ 46–49), площадь крупнейшего из них – около 1 км<sup>2</sup>. Сокращение площади оледенения на этом участке с максимума МЛП составило около 33%, что почти в 2 раза меньше среднего значения для южной части хр. Чихачева. Это доказывает большую устойчивость относительно крупных форм оледенения (даже при их распаде на меньшие составляющие) по отношению к малым каровым и висячим ледникам, исчезновение которых внесло основной вклад в общее сокращение оледенения. Подобное одностороннее сокращение и распад ледника отмечены авторами на территории верховьев правого притока р. Толайты в массиве Монгун-Тайга (ледники № 25–29) [2, 16]. По аналогии с ледни-



**Рис. 6.** Комплекс ледника Григорьева. 1 – вершины; 2 – крутые скалистые склоны и скальные выходы; 3 – участки присклоновой осыпной аккумуляции; 4 – реки; 5 – озёра; 6 – моренный вал исторической стадии; 7 – морена малого ледникового периода; 8 – гребень этой морены; реконструкция положения края ледника: 9 – на 1928 г., 10 – на 1957 г., 11 – на 1989 г., 12 – на 2001 г., 13 – на 2011 г.; 14 – область абляции ледника в 2015 г.; 15 – область аккумуляции в 2015 г.; 16 – забронированный язык ледника

**Fig. 6.** The complex of Grigorieva Glacier: 1 – mountain tops; 2 – steep rocky slopes and nunataks; 3 – areas of talus accumulation; 4 – rivers; 5 – lakes; 6 – historical stage moraine; 7 – LIA moraine; 8 – LIA moraine crest line; reconstructions of glacial edge position: 9 – in 1928, 10 – in 1957, 11 – in 1989, 12 – in 2001, 13 – in 2011; 14 – ablation area in 2015 g.; 15 – accumulation area in 2015; 16 – debris covered glacial snout

ками данного массива, в верховьях р. Бургастын-Гол в перспективе следует ожидать деградации выходящих в долину языков ледников и их трансформации в серию висячих ледников и каровый ледник в тыловой части долины. Вероятно, этот процесс будет медленным, так как сейчас ледники залегают на крутом склоне северной экспозиции, а их языки находятся на участках интенсивной лавинной аккумуляции.

Ледник Григорьева расположен на западном макросклоне хр. Чихачева в истоках р. Кара-Оюк – притока р. Бар-Бургазы (бассейн р. Чуя). Это – единственный долинный ледник российской части хр. Чихачева и наиболее изученный ледник всего хребта, хотя вся опубликованная о нём информация получена при его посещении Л.И. Семихатовой в 1928 г. и Л.Н. Ивановским в 1957–1958 г. В августе 2015 г. мы проводили маршрутные гляциогеодезические наблюдения на территории ледника и геоморфологические измерения на поверхности окаймляющих его морен. Ледник Григорьева расположен в трогe северо-западной ориентации протяжённостью примерно 3,3 км (рис. 6). Борты долины, имеющие относительную высоту до 400–450 м, отвесно возвышаются над ледником, что определяет его сильное затенение и обильное поступление лавинного и осыпного материала на поверхность.

Основной ледниковый поток спускается по склону северной экспозиции крутизной до 40°, заполняет цирк северо-западной экспозиции с

высотой дна около 3200 м и движется на северо-запад. Уклон ледника в цирке – всего 7–10°. По ходу движения ледник прижимается к левой скальной стенке долины, откуда получает два потока льда шириной менее 100 м каждый. Правый борт долины отделён от ледника склоном крутизной около 30°, заваленным осыпным материалом; вниз по долине его скопления постепенно переходят в боковую морену. На всём протяжении этого образования, вплоть до его участка напротив языка ледника, наблюдаются выходы погребённого льда, идут активные процессы осыпания и оползания каменного материала. На поверхности ледника встречаются крупные валуны столовой формы, их количество возрастает на высоте 3100–3150 м, где ледник принимает нижний из упомянутых небольших притоков. На выходе из цирка долина сужается, ширина ледника не превышает 150 м, а уклон достигает 25–30°. С высоты 3040 м ледник разворачивается на север, расширяясь до 300–350 м в поперечнике, после чего он заканчивается лбом крутизной до 40°. Язык ледника сильно загрязнён крупным и мелким моренным материалом, а большая крутизна обуславливает неустойчивость валунов, часто скатывающихся к подножию ледника.

Область питания ледника прерывиста и включает в себя: 1) основную часть, приуроченную к стенкам цирка, где фирновая граница проходит зигзагообразно в интервале 3280–

3400 м; 2) скопление фирна на склоне и на стыке нижнего ледникового притока с основным ледниковым потоком до высоты 3100 м, связанное с лавинной аккумуляцией; 3) узкую полосу фирна лавинного происхождения на высотах примерно 2950–3000 м у подножия отвесного склона северной экспозиции непосредственно над забронированным языком ледника. Несмотря на большую длину ледника и низкое положение его языка, таяние невелико, о чём свидетельствуют слабое развитие на его поверхности водотоков и маловодность вытекающего с него потока, во многих местах уходящего под морену. Причины этого – забронированность языка и его затенённое положение. В результате незначительной абляции отмечаются хорошая сохранность моренных валов МЛП и исторической стадии, а также устойчивость ледника к климатическим изменениям и стабильность положения края ледника.

В 2015 г. ледник заканчивался на высоте 2890 м. Поток, образующийся при слиянии текущих по поверхности ледника и вдоль его восточного края водотоков, через 200 м впадает в озеро размером 60 × 25 м. Озеро не имеет поверхностного стока, но заметна фильтрация его воды через западный боковой моренный вал МЛП. Согласно результатам дешифрирования космических снимков 2011–2015 гг., край ледника отступил на 45 м. В 2001 г. ледник находился примерно посередине между его положением в 2015 г. и краем озера, а в 1989 г. – почти посередине между положением в 2001 г. и озером. На фотографии, сделанной Л.Н. Ивановским в 1957 г., край ледника контактировал с озером. В то же время Л.Н. Ивановский отмечал, что со времени между посещением ледника Л.И. Семихатовой в 1928 г., когда ледник был подпружен мореной, к 1957 г. край ледника отступил на 50 м. Это позволило нам воссоздать примерное положение ледника на 1957 и 1928 г.

Согласно нашим расчётам с максимума МЛП до 1989 г. ледник сокращался очень медленно (табл. 5), а в некоторые годы, вероятно, стационарировал. Помимо затенённости, повышенного лавинного питания и малой абляции за счёт моренного бронирования языковой части, важную роль в медленном отступании ледника играла его высокая динамическая активность, обусловленная крутизной поверхности ледника

Таблица 5. Динамика отступления ледника Григорьева

Годы	Отступление языка ледника Григорьева (всего), м	Средняя скорость отступления, м/год
1820–1928	320	3,0
1928–1957	50	1,7
1957–1989	52	1,6
1989–2001	69	5,8
2001–2011	68	6,8
2011–2015	45	11,25

(сейчас крутизна поверхности составляет 20,3°). С 1989 г. отступление ледника ускорилось, что отражает общую тенденцию изменения оледенения в регионе. Особенно высокие темпы отмечаются в последние четыре года. Тем не менее, в перспективе следует ожидать замедления отступления ледника, что связано с выходом его края на более крутой участок склона.

### Обсуждение результатов

Незначительные размеры современных ледников хр. Чихачева (не более 2,24 км<sup>2</sup>) в целом характерны для аридного Юго-Восточного Алтая, где площадь ледников лимитируется недостаточностью питания при малом количестве осадков. Например, площади ледников горного массива Монгун-Тайга (3970 м), расположенного в нескольких десятках километров, не превышают 4 км<sup>2</sup>. Несмотря на несколько большую по отношению к массиву Монгун-Тайга высоту хр. Чихачева, ледники здесь разрознены, имеют меньшие размеры и не образуют компактного ледникового комплекса. Причина – незначительное развитие в южной части хр. Чихачева поверхностей выравнивания, играющих важнейшую роль в накоплении и перераспределении снега. Их площади здесь, на высотах более 2800 м, почти в 3 раза меньше, чем в массиве Монгун-Тайга. В текущую фазу эволюции оледенения развитый альпинотипный рельеф менее благоприятен для ледников, чем наличие на аналогичных высотах поверхностей выравнивания.

Недостаточное питание ледников также приводит к большей высоте нижней границы ледников: обычно у долинных ледников она составляет 2900–3100 м, у каровых – 3000–3300, у висячих – 3100–3300, у склоновых – выше

3400 м. Это примерно соответствует положению концов ледников массива Монгун-Тайга.

Средняя высота фирновой границы на ледниках южной части хр. Чихачева (3425 м) мало отличается от её высоты для массива Монгун-Тайга (3390 м), что доказывает сходство климатических условий существования ледников. Высота фирновой границы ледников массивов Талдуайр и Монгун-Тайга-малая (3265 и 3355 м соответственно) намного ниже, поскольку здесь развиты небольшие каровые ледники, существующие за счёт повышенной концентрации снега в отрицательных формах рельефа намного ниже климатической снеговой границы. Напротив, в южной части хр. Чихачева и в массиве Монгун-Тайга отмечаются долинны, склоновые и плосковершинные ледники с высоким положением фирновой границы. Для массива Талдуайр некоторую роль играет также выдвинутость массива на запад, вследствие чего он, вероятно, получает несколько большее количество осадков.

Для изменений оледенения Алтая с максимума МЛП существует оценка П.А. Окишева подъёма снеговой границы в 70 м [11]. Прямое её сравнение с нашими данными не оправдано, поскольку они получены разными методами и для разных интервалов времени (с 1982 г. оледенение испытало существенное изменение). П.А. Окишев использовал формулу Л.А. Варданянца, в которой депрессия фирновой границы рассчитывается по изменению длины ледника и высоты его нижней точки. Эта формула даёт хорошие результаты для долинных ледников, но не может использоваться для каровых, висячих и плосковершинных [3].

Ф. Лемкюль [23] для массива Турген (примерно в 100 км восточнее южной части хр. Чихачева) реконструировал 56% сокращения площади оледенения с максимума МЛП по 1991 г. и 81 м подъёма границы питания ледников, а для соседнего массива Хархира – 31% и 76 м соответственно. Для периода с максимума МЛП по 1989 г. мы получили следующие значения: 36% сокращение оледенения и 34 м подъёма фирновой границы для юга хр. Чихачева, 46% и 40 м для массива Талдуайр, 52% и 36 м для массива Монгун-Тайга-малая. Большой разброс значений сокращения площади оледенения, вероятно, связан с разными геоморфологическими условиями и морфологическими особенно-

стями ледников. Существенно меньшие значения подъёма границы питания для районов, исследованных нами, возможно, связаны с методическими различиями: Лемкюль рассчитывал депрессию границы питания в основном по крупным долинным ледникам методом TSAM (toe-to-summit altitude method), при котором высота границы питания определяется как среднее арифметическое между верхней и нижней точками ледника. Наша реконструкция изменения оледенения с максимума МЛП по 2006 г. для тех же массивов, в которой фирновая граница определялась методом Куровского, дала значения депрессии фирновой границы 35 и 60 м [19].

В горном массиве Монгун-Тайга, согласно реконструкции оледенения комплекса главной вершины, выполненной Р.М. Мухаметовым [9], с максимума МЛП по 1986 г. суммарная площадь ледников сократилась на 49,3%. По нашей оценке, сделанной для всей территории массива Монгун-Тайга, ледники с максимума МЛП по 2013 г. уменьшили площадь на 59% (что близко значению, полученному для юга хр. Чихачева) при депрессии фирновой границы 120 м [4]. Различия в изменении положения фирновой границы между хр. Чихачева и массивом Монгун-Тайга с учётом их близкого расположения не могли быть вызваны существенными температурными различиями. Вероятно, в максимум МЛП расположенный севернее массив Монгун-Тайга получал большее количество осадков, что и вызвало большее снижение фирновой границы. Другое возможное объяснение – значительное развитие на территории массива Монгун-Тайга поверхностей выравнивания и плосковершинных ледников приводит к меньшим значениям энергии оледенения (за счёт меньшей концентрации твёрдых осадков) и более резкому подъёму фирновой границы при потеплении.

Относительно большая для Алтая величина сокращения ледников массивов Талдуайр (61%) и Монгун-Тайга-малая (74%) связана с двумя причинами. Во-первых, при изначально очень небольших размерах и малом вертикальном диапазоне в случае сравнительно небольшой абсолютной высоты горного обрамления ледники массивов были менее устойчивы к изменениям климата. Во-вторых, после подъёма границы питания выше уровня 3100 м (высота днищ наиболее высоких каров) произошёл переход оле-

денения от карового к висячему типу, который сопровождался скачкообразным сокращением ледников внутри каров.

Информации о скоростях отступления языков ледников после максимума МЛП в аридных районах Алтая до сих пор немного. В некоторых случаях скорости близки к определённым нами по леднику Григорьева. Так, по данным [20], полученным на основе анализа повторных фотографий, наземных наблюдений и космических снимков, средняя скорость отступления ледника Западный Турген в массиве Тургени-Нуру составляла 6,7 м/год между 1910 и 1970 г., 3,9 м/год между 1970 и 1992 г. и 6,1 м/год между 1992 и 2010 г. Примерно такие же скорости отступления установлены для ледника Восточный Мугур в массиве Монгун-Тайга: 3,6 м/год для 1952–1966 гг., 7,3 м/год для 1966–1995 гг., 3,9 м/год для 1995–2013 гг. [17]. Некоторые долинны ледники отступают существенно быстрее: ледник Селиверстова (массив Монгун-Тайга) сокращался со скоростью 6,1 м/год в 1952–1966 гг., 15,0 м/год в 1966–1995 гг., 22 м/год в 1995–2013 гг. [17]; ледник Потанина в массиве Таван-Богдо-Ола в 1987–2001 гг. отступал со средней скоростью 43 м/год [8].

Наши исследования показали, что для ледников хр. Чихачева высокие скорости отступления языков ледников не характерны, что связано с отсутствием здесь крупных долинных ледников с длинными пологими языками (таких, как ледник Потанина или ледник Селиверстова). Ускорение сокращения суммарной площади ледников в последние десятилетия связано или с полным исчезновением малых ледников, или с распадом относительно крупных ледников на несколько составляющих (например, Бургастын-Гол).

### Выводы

В результате выполненной работы получена новейшая информация о мало исследованном центре оледенения Алтая: впервые составлен полный Каталог ледников южной части хр. Чихачева, а также массивов Талдуайр и Монгун-Тайга-малая; кроме того, впервые для этих районов реконструированы ледники максимума МЛП. Установленная в результате исследований

тенденция к ускорению сокращения площади оледенения после 1989 г. соответствует современным изменениям климата. По данным ГМС Кош-Агач, находящейся в 70 км западнее южной части хр. Чихачева, после холодного и влажного отрезка середины 1980-х годов приблизительно до 2000 г. отмечались интенсивное потепление и сокращение количества осадков. После 2000 г. потепление прекратилось, а количество осадков несколько возросло [17]. Вероятно, в силу инерционности ледники ещё не успели приспособиться к новым климатическим условиям и продолжают отступать, хотя в среднем скорость их сокращения несколько снизилась. Последнее в большей степени относится к малым ледникам, тогда как относительно более крупные и более инерционные ледники пока ускоряют отступление, как это видно на примере ледника Григорьева. При стабильности текущих климатических условий следует ожидать перехода малых ледников в стационарное состояние. Поведение долинных ледников более индивидуально и менее предсказуемо, что определяется геоморфологическими условиями их существования.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ и РГО, проекты № 13-05-41075 РГО\_а, № 15-05-06611 А, № 13-05-00851-а, № 14-05-00796.

### Литература

1. Бямба Ж., Селиванов Е.И. Современное оледенение Монголии // Изв. ВГО. 1971. № 3 (103). С. 249–254.
2. Ганюшкин Д.А. Эволюция климата и оледенения массива Монгун-Тайга (Юго-Западная Тува) в вюрме и голоцене: Дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. СПб.: СПбГУ, 2001. 195 с.
3. Ганюшкин Д.А., Москаленко И.Г., Селиверстов Ю.П. Оледенение массива Монгун-Тайга (Внутренняя Азия) в максимум малой ледниковой эпохи и его эволюция // Вест. СПбГУ. Сер. 7. Геология, география. 1998. № 4 (28). С. 27–37.
4. Ганюшкин Д.А., Москаленко И.Г., Чистяков К.В. Колебания ледников массива Монгун-Тайга (Юго-Восточный Алтай) после максимума малой ледниковой эпохи // Лёд и Снег. 2010. № 3 (111). С. 5–12.
5. Ганюшкин Д.А., Чистяков К.В., Буева М.В. Изменчивость высотного положения фирновой линии на ледниках Алтае-Саянской горной страны и ее

- связь с климатическими параметрами // Изв. РГО. 2013. № 4 (145). С. 45–53.
6. *Ивановский Л.Н.* Вопросы сопоставления конечных морен на Алтае // Гляциология Алтая. 1965. № 4. С. 49–69.
  7. Каталог ледников СССР: Т. 15. Вып. 1. Ч. 6. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 50 с.
  8. *Михайлов Н.Н., Останин О.В.* Изменение ледников Южного и Центрального Алтая с конца XIX в. и тенденции их развития в XXI веке // География и природопользование Сибири. 2004. № 7. С. 172–182.
  9. *Мухаметов Р.М.* Колебания ледниковых систем Алтае-Саянской горной страны: Автореф. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. Иркутск: Ин-т географии им. В.Б. Сочавы, 1988. 16 с.
  10. *Новиков И.С.* Морфотектоника Алтая. Новосибирск: Гео, 2004. 313 с.
  11. *Окишев П.А.* Динамика оледенения Алтая в позднем плейстоцене и голоцене. Томск: изд. ТГУ, 1982. 210 с.
  12. *Потанин Г.Н.* Очерки Северо-западной Монголии: Вып. 3. СПб., 1883. 386 с.
  13. *Сапожников В.В.* Монгольский Алтай в истоках Иртыша и Кобдо: Путешествия 1906–1911 гг. Томск, 1911. 416 с.
  14. *Семихатова Л.И.* Современное оледенение в Юго-Восточном Алтае // Советская Азия. 1930. № 3–4. С. 221–236.
  15. *Тронов М.В.* Очерки оледенения Алтая. М.: Географгиз, 1949. 373 с.
  16. *Чистяков К.В., Ганюшкин Д.А., Москаленко И.Г., Зелепукина Е.С., Амосов М.И., Волков И.В., Глебова А.Б., Гузель Н.И., Журавлев С.А., Прудникова Т.Н., Пряхина Г.В.* Горный массив Монгун-Тайга. СПб: Арт-Экспресс, 2012. 310 с.
  17. *Чистяков К.В., Ганюшкин Д.А., Курочкин Ю.Н.* Современное состояние и динамика нивально-гляциальных систем массивов Таван-Богдо-Ола и Монгун-Тайга // Лёд и Снег. 2015. № 1 (129). С. 49–60.
  18. *Dashdeleg N.* Modern glaciers of Mongolia. Moscow, Ulaanbaatar // Academy of Sciences of Mongolia and Academy of Sciences of USSR. 1990. 60 p.
  19. *Ganiushkin D., Chistyakov K., Kunaeva E.* Fluctuation of glaciers in the southeast Russian Altai and northwest Mongolia Mountains since the Little Ice Age maximum // Environmental Earth Sciences. 2015. № 3 (74). P. 1883–1904.
  20. *Kamp U., Mcmanigal K.G., Dashtseren A., Walther M.* Documenting glacial changes between 1910, 1970, 1992 and 2010 in the Turgen Mountains, Mongolian Altai, using repeat photographs, topographic maps, and satellite imagery // Geographical Journ. 2013. № 3 (179). P. 248–263.
  21. *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. 17 p.
  22. *Klinge M.* Glacial-geomorphologic Investigations in the Mongolian Altai: a Contribution to the Late Quaternary Landscape and Climate History of Western Mongolia. Aachen: Aachener Geographische Arbeiten, 2001. 135 p.
  23. *Lehmkuhl F.* Holocene glaciers in the Mongolian Altai: An example from the Turgen-Kharkhira Mountains // Journ. of Asian Earth Sciences. 2012. № 52. P. 12–20.