

Современное состояние и изменения ледников горного массива Табын-Богдо-Ола (Монголия)

© 2014 г. М.В. Сыромятина¹, Ю.Н. Курочкин¹, К.В. Чистяков¹, Ч. Аюурзана²

¹Санкт-Петербургский государственный университет; ²Ховдский государственный университет, Монголия
margarita_soi@rambler.ru

Current state and changes of glaciers in the Tavan Bogd Mountains (Mongolia)

M.V. Syromyatina¹, Yu.N. Kurochkin¹, K.V. Chistyakov¹, Ch. Ayurzana²

¹Saint-Petersburg State University, ²Khovd University, Mongolia

Статья принята к печати 27 мая 2014 г.

Гляциоклиматические оценки, колебания ледников, космические снимки, массив Табын-Богдо-Ола.

Fluctuations of glaciers, climatic estimates, mountain massif Tavan Bogd, space images.

По результатам полевых наблюдений 2013 г. и использования дистанционных методов исследования рассматриваются современное состояние и динамика крупных ледников восточных склонов горного массива Табын-Богдо-Ола в бассейнах рек Цаган-Гол и Цаган-Ус. Согласно нашим расчётам, площади основных крупных ледников с 1989 по 2013 г. практически не изменились, хотя отступление языков установлено. На основе данных метеорологических станций за 2005–2013 гг. и наблюдений за высотой границы питания в конце сезона абляции 2013 г. рассчитаны гляциоклиматические характеристики за указанный период. Величина абляции–аккумуляции составила 110 г/см² при средней летней температуре на границе питания 1 °С.

Current state and dynamics of main glaciers (located) on the eastern slopes of the Tavan Bogd mountain massif (Mongolia) is investigated on the basis of results obtained in 2013 field survey with use of remote sensing as well. According to our estimates, areas of these glaciers did not significantly changed since 1989 however a certain regression of the glacier tongues had been fixed. Ablation–accumulation value amounts to 110 g/cm² at mean summer temperature on the equilibrium line of 1 °С.

Массив Табын-Богдо-Ола, расположенный на стыке хребтов Русского и Монгольского Алтая (высшая точка гора Куйтэн-Уул высотой 4374 м), — крупный узел современного оледенения (рис. 1). Здесь сосредоточены крупнейшие долинные и сложно-долинные ледники Алтая. Ледники восточных склонов массива участвуют в формировании стока р. Ховд, которая имеет большое значение в водоснабжении предгорных опустыненных равнин Западной Монголии. Современное состояние и динамика крупнейших ледниковых систем монгольской части массива всё ещё остаются недостаточно изученными. В настоящей статье приводятся некоторые результаты обработки материалов полевых и дистанционных исследований, выполненных в 2013 г. Район исследований расположен в верховьях бассейнов рек Цаган-Гол и Цаган-Ус на территории Баян-Улгийского аймака Республики Монголия на границе Монголии, России и Китая в пределах национального парка Алтай-Таван-Богд. С помощью полевых и дистанционных методов исследовались ледниковые системы монгольской части массива Табын-Богдо-Ола, при этом особое внимание уделялось наиболее крупным ледникам.

Обзор исследований ледников монгольской части горного массива Табын-Богдо-Ола

Первое подробное описание ледников монгольской части массива Табын-Богдо-Ола, принадлежащих бассейнам рек Цаган-Гол (Аккол) и

Цаган-Ус (Аксу), дал В.В. Сапожников [11, 12]. Во время экспедиций 1905, 1906 и 1909 гг. им были открыты крупнейшие ледники массива, проведены маршрутная, а на отдельных участках — и инструментальная съёмки. На основе полевых материалов составлены схема оледенения всего массива Табын-Богдо-Ола и подробная карта гидрографии Монгольского Алтая, которые длительное время оставались самыми детальными. Кроме того, описано современное и древнее оледенение [12].

В 1916 г. на ледниках массива Табын-Богдо-Ола, в том числе в бассейне р. Ховд (Кобдо), побывали братья Б.В. и М.В. Троновы. В Каталоге ледников Алтая 1925 г. [15], составленного по результатам полевых исследований, а также обобщения литературных и картографических материалов, приведены частичные описания морфологических характеристик 25 ледников бассейнов рек Цаган-Ус и Цаган-Гол общей площадью около 110 км². Для их описания использованы материалы В.В. Сапожникова и пятивёрстная карта округа Кобдо в Монголии, изданная Военно-топографическим отделом штаба Западно-Сибирского военного округа. Всего в это время в горном узле Табын-Богдо-Ола было известно 36 ледников общей площадью 158 км². К середине XX в. подробно был описан ледник Потанина — крупнейший на Алтае, длиной около 19 км и площадью 50 км² [16], тем не менее в указанной работе приводится схема оледенения горного узла Табын-Богдо-Ола по В.В. Сапожникову.

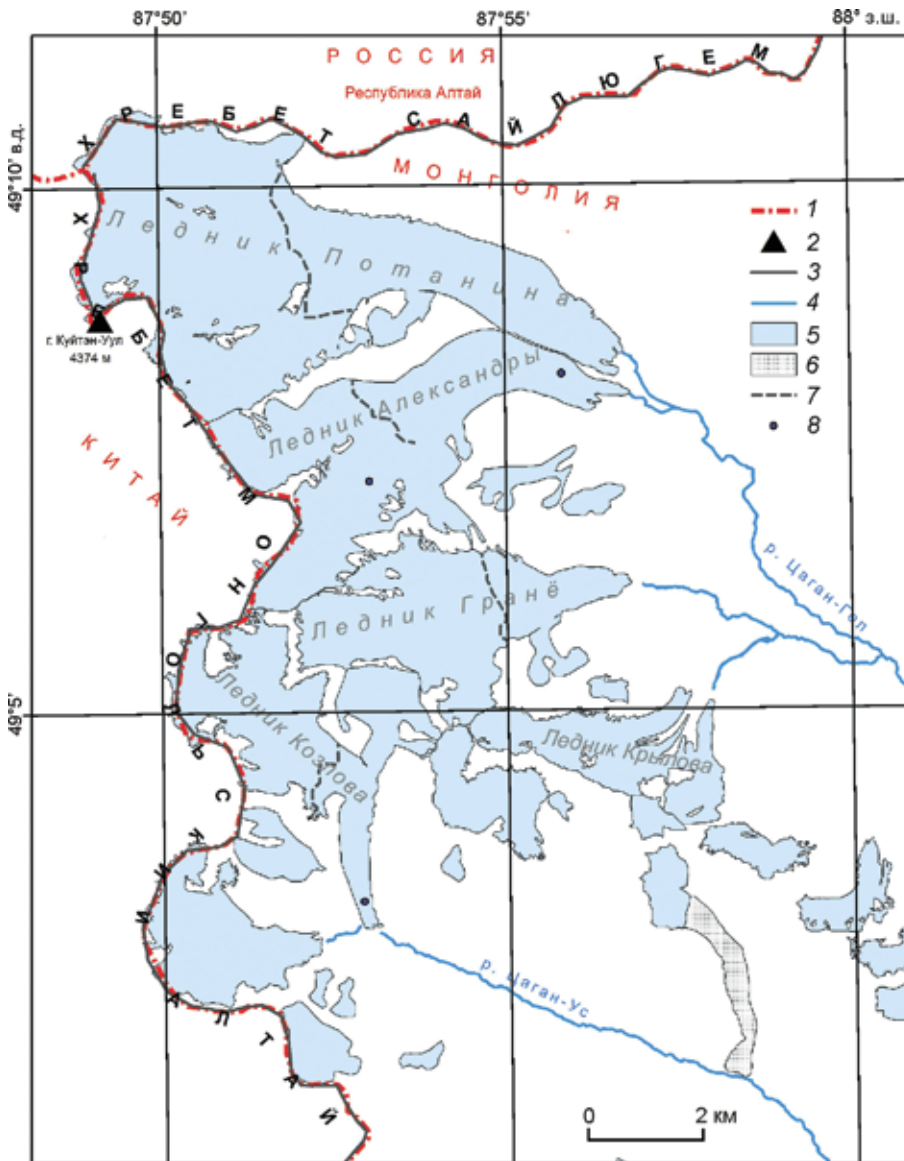


Рис. 1. Район исследования: 1 – государственная граница; 2 – вершины; 3 – горные хребты; 4 – реки; 5 – ледники; 6 – каменные глетчеры; 7 – граница питания; 8 – места установки температурных датчиков. Положение границы питания показано на конец сезона абляции 2013 г.

Fig. 1. Study area: 1 – state boundary; 2 – peaks; 3 – ranges; 4 – rivers; 5 – glaciers; 6 – rock glaciers; 7 – equilibrium line; 8 – temperature sensor locations. Equilibrium line position corresponds to the end of the 2013 ablation season

В 1987 г. после значительного перерыва в исследованиях в район монгольской части массива Табын-Богдо-Ола организуется Советско-Монгольская экспедиция Алтайского государственного университета, в ходе которой проводится фототеллоидитная съёмка ледника Потанина, уточняются его размеры (длина 11,5 км, площадь 38,5 км²), открываются новые ледники и оценивается динамика оледенения с середины XIX в. [1, 10]. В это время в массиве насчитывалось 60 ледников площадью около 223 км². В конце XX – начале XXI в. гляциологические исследования в регионе продолжают сотрудники этого университета. По топографическим картам масштаба 1:200 000 был составлен Каталог ледников Табын-Богдо-Ола, в том числе в бассейнах р. Цаган-Гол и р. Цаган-

Ус, публикуются схемы расположения ледников на 1970-е годы [2, 3]. Площадь оледенения в бассейне р. Цаган-Гол оценена в 80,96 км², в бассейне р. Цаган-Ус – 53 км², дана характеристика древнего оледенения массива [2]. В 2001 г. проведены экспедиционные исследования на ледниках Козлова и Потанина, в рамках которых установлены репера у концов ледников, получены более точные значения абсолютных высот концов ледников Потанина, Александры и Козлова. По результатам полевых наблюдений и литературных данных оценены скорости отступления крупных ледников [7, 9].

В последние годы на крупнейшем леднике массива – леднике Потанина – ведутся совместные японско-монгольские исследования, включающие балансовые и метеорологические наблюдения. Для

оценки современного состояния и динамики оледенения всего массива и его отдельных частей используются дистанционные методы. Некоторые результаты этих исследований опубликованы [18, 19], однако большая часть пока известна только в виде тезисов докладов на конференциях. Так, в результате сравнения топографических карт масштаба 1:100 000, космических снимков Landsat за август 2000 г. и материалов аэрофотосъёмки за сентябрь 1988 г. установлено, что площадь оледенения района горы Кийтын в 1970–1971 гг. составляла 88,88 км², а к 2000 г. она сократилась на 9,11 км², или на 10,2% [18]. При этом авторы отмечают, что с 1988 по 2000 г. отступления ледников в районе горы Кийтын практически не наблюдалось, однако не ясно, какие именно ледники рассматривались.

Таким образом, на настоящий момент информация об актуальных морфологических характеристиках и режиме ледников монгольской части массива Табын-Богдо-Ола практически отсутствует. Непосредственные гляциогидрометеорологические наблюдения, начатые в последние годы, ведутся только на основном потоке ледника Потанина. В работе, посвящённой обзору географического распространения каменных глетчеров мира [5], отмечено, что сведений о каменных глетчерах Монгольского Алтая нет.

Материалы и методы исследования

Полевые исследования. В июле–августе 2013 г. совместно с монгольскими коллегами проводились экспедиционные исследования в бассейнах рек Цаган-Гол и Цаган-Ус с целью оценки современного состояния и динамики ледниковых систем. В задачи экспедиции входили: рекогносцировочная оценка современного состояния ледниковых систем монгольской части массива Табын-Богдо-Ола; выбор репрезентативных ледниковых систем для дальнейшего мониторинга баланса массы ледников, их динамики и исследования гляциогидроклиматических связей; геодезическая съёмка краевых образований крупных ледников и каменных глетчеров. Ледниковые системы включают в себя открытые и забронированные части ледников, каменные глетчеры, моренные комплексы и гидрографическую сеть. Основное внимание уделено обследованию трёх ледников – Козлова, Гранё и Александры. Последний является притоком ледника Потанина, истоком рек, а также крупнейшего приледникового каменного глетчера района. В области абляции на абсолютной высоте 3020 м и в области аккумуляции ледника Александры на абсолютной высоте 3420 м

было установлено по два автоматических температурных датчика: в лёд на глубину 30 см и на мачте на высоте 2 м от поверхности льда. Кроме того, в области абляции ледника Козлова на абсолютной высоте 2740 м во льду на глубине 40 см также был установлен датчик (см. рис. 1).

В процессе экспедиционных исследований выполнена геодезическая съёмка краевых образований ледников Козлова, Гранё и Александры, фронтов нескольких крупных каменных глетчеров, а также реперов, поставленных сотрудниками Алтайского университета в 2001 г. Использовались геодезические спутниковые приёмники Trimble R8 (база) и R6 (подвижный приёмник). Съёмка велась в кинематическом режиме «Stop-and-Go», точность GPS-измерений по результатам уравнивания составила около 10 см в плане и 20 см по высоте. С целью создания эталонов дешифрирования нивально-гляциальных комплексов проводилась верификация данных дистанционного зондирования Земли. При этом использовались панхроматический снимок со спутника SPOT-2 от 23.07.2006 с пространственным разрешением 10 м, а также мультиспектральные снимки со спутников SPOT-2 от 12.09.2007 и SPOT-4 от 14.08.2010 с пространственным разрешением 20 м, предоставленные ресурсным центром «Космических и геоинформационных технологий» Санкт-Петербургского государственного университета. Дополнительно была выполнена подробная фотографическая съёмка объектов ледниковых систем, в том числе с определённых точек, для визуального сравнения с фотоматериалами более ранних исследований.

Дистанционные исследования. Для оценки современного состояния и динамики ледников региона использованы методы геоинформатики, направленные на интегральный анализ всех данных, получаемых в процессе исследования. С этой целью на сайте USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov>) выбраны снимки на исследуемый регион с наименьшей облачностью и с датой съёмки, соответствующей концу периода таяния ледников (август – начало сентября). Были выбраны мультиспектральные космические снимки Landsat 4 и 5 с пространственным разрешением 30 м соответственно от 03.09.1989 и 10.09.2006, а также Landsat 8 с пространственным разрешением 30 м (панхроматический канал – 15 м) от 04.09.2013. Указанные снимки импортировали в ArcGIS и использовали для расчёта изменения площадей открытых частей крупных ледников с 1989 по 2013 г. и оценки положения их концов в 1989 и 2006 гг. Векторизацию

объектов вели вручную с привлечением данных полевого дешифрирования и фотосъёмки. Чтобы определить точность дешифрирования границ, проводили повторную векторизацию нескольких крупных ледников; погрешность определения их площади на снимках составила не более 5%.

Для более точной визуальной оценки при дешифрировании снимков среднего разрешения использовали снимки высокого разрешения со спутников Геоеуе-1 (мультиспектральный, дата съёмки 24.07.2010, пространственное разрешение 0,5 м), SPOT-5 (панхроматический, дата съёмки 31.08.2010, пространственное разрешение 2,5 м) и CARTOSAT-1 (панхроматический, дата съёмки 27.07.2008, пространственное разрешение 2,5 м). Снимки высокого разрешения были предоставлены ИТЦ «СКАНЭКС», аппаратное и программное обеспечение, консультации и подготовка для дешифрирования – ресурсным центром «Космических и геоинформационных технологий» СПбГУ. Подготовка снимков для дешифрирования включала в себя радиометрическую коррекцию, стандартную геометрическую коррекцию, привязку по орбитальным данным, преобразование в проекцию UTM и ортотрансформирование средствами ScanEx Image Processor. В дальнейшем привязка полученных снимков CARTOSAT-1 и SPOT-5 была уточнена по контрольным точкам в программе ArcGIS, причём в качестве опорного использовался снимок Геоеуе-1, заявленная точность привязки которого составляет 3 м. В ArcGIS были также импортированы данные полевой GPS-съёмки краевых образований ледников и каменных глетчеров, границ питания ледников и маркированных реперов у языков ледников с целью мониторинга их динамики.

Результаты

Характеристика крупных объектов ледниковых систем. По предварительным оценкам, общее число ледников на 2008–2010 гг. в бассейне р. Цаган-Гол равно 26, в бассейне р. Цаган-Ус – 37; в 1970-х годах их было соответственно 20 и 27 [2]. Общая площадь ледников в 2013 г. составила около 67 км² в бассейне р. Цаган-Гол и 30 км² – в бассейне р. Цаган-Ус.

Один из наименее изученных ледников монгольской части Табын-Богдо-Ола – сложно-долинный ледник Козлова – даёт начало одному из истоков р. Ховд – р. Цаган-Ус. Подробное описание ледника и оценка его динамики в XX – начале XXI в. даны в работе [7]. В настоящее время ледник опустился до абсолютной высоты 2640 м. В начале XX в. этот ледник состоял из трёх крупных сли-

вающихся потоков [12]. В настоящее время правый приток полностью отчленился от основного, а левый приток сохранил свою связь (рис. 2). По нашим предварительным расчётам, площадь открытой части основного ледника вместе с левым притоком составляет около 8,8 км², площадь бывшего правого притока – 4,5 км²; граница питания в середине августа 2013 г. располагалась на абсолютной высоте около 3200 м. Ледник заканчивается гротами и ледяными уступами. Через морену со стороны правого рукава прорывается водный поток, участвующий в формировании стока р. Цаган-Ус. На высоте 3200–2900 м основной поток образует «ледопад» практически на всю ширину ледника с отдельными участками снежно-фирновых полей.

Система ледников Потанина и Александры бассейна р. Цаган-Гол, левого притока р. Ховд, – крупнейшая на Алтае. Площадь открытой части ледника Потанина составляет 24,3 км², ледника Александры – 12,6 км². Граница питания ледника Александры зафиксирована нами на абсолютной высоте около 3300 м. Концы ледников относительно плавно опускаются к задровой равнине до абсолютных высот около 2840 м (ледник Александры) и 2910 м (ледник Потанина). При полевых работах 2013 г. проведены фотосъёмка и полевое дешифрирование с фиксированной точки (гора Чул) для визуального сравнения с фотоматериалами В.В. Сапожникова (рис. 3).

Площадь ледника Гранё оценена в 9,7 км². Язык ледника опускается до абсолютной высоты около 2790 м, граница питания в середине августа зафиксирована на высоте 3180 м. На абсолютных высотах 3040–3200 м поток также образует «ледопад», причём с высоты около 3000 м начинаются фирновые поля. Ещё один крупный ледник бассейна – ледник Крылова площадью около 4,2 км², который в начале XX в., по данным В.В. Сапожникова, своим концом почти сходил с ледником Гранё, претерпел значительные структурные изменения, высоко отступил и разделился на несколько ветвей.

Площади открытых частей крупных ледников, рассчитанные по снимкам Landsat, за период с 1989 по 2013 г. изменились незначительно (табл. 1). Отметим, что величина изменения площадей ледников в 2–6% почти полностью находится в пределах погрешностей, возникающих при их дешифрировании на космических снимках. Оценка изменения концов ледников показала, что ледник Козлова отступил относительно репера Алтайского университета [9] с 2001 по 2006 г. (положение концов ледников в 2006 г. определено по снимку Landsat) на

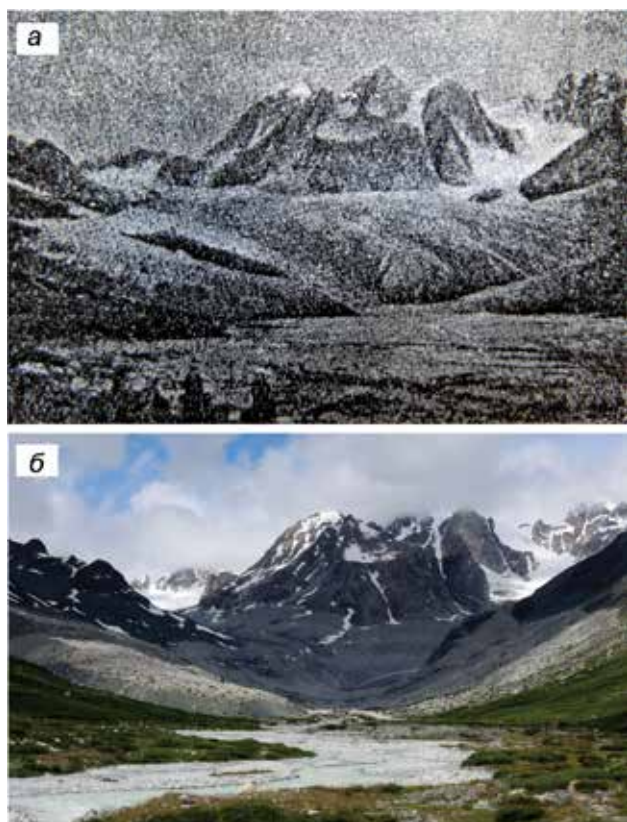


Рис. 2. Фотографии ледника Козлова:
a – язык ледника Козлова в 1906 г. Фотография В.В. Сапожникова [12]; *б* – морена малой ледниковой эпохи ледника Козлова. Вид на место бывшего слияния основного и правого потоков. Фотография 2013 г. М.В. Сыромятиной
Fig. 2. The Kozlov Glacier photographs:
a – the Kozlov Glacier tongue in 1906. Photo by V.V. Sapozhnikov [12]; *b* – the Little Ice Age moraine of the Kozlov Glacier. The view of former main and right confluence. Photo by M.V. Syromyatina (2013)

Таблица 1. Площади открытых частей крупных ледников монгольской части массива Табын-Богдо-Ола в 1989 и 2013 гг.

| Ледник | Площадь открытой части, км ² | |
|--------------------------------------|---|---------|
| | 1989 г. | 2013 г. |
| Потанина и Александры | 38,2 | 36,9 |
| Александры | 12,8 | 12,6 |
| Гранё | 10,2 | 9,7 |
| Козлова (с левым притоком) | 9,2 | 8,8 |
| Бывший правый приток ледника Козлова | 4,8 | 4,5 |

130 м, а с 2006 по 2013 г. – на 120 м. Таким образом, средняя скорость отступления ледника Козлова в период с 2001 по 2013 г. составила 21 м/год.

Ледник Потанина с 1989 по 2001 г. (относительно репера Алтайского университета [9]) от-



Рис. 3. Нижняя часть системы ледников Потанина и Александры:
a – фотография В.В. Сапожникова 1905 г. [12]; *б* – фотография 2013 г. М.В. Сыромятиной
Fig. 3. The lower part of the Potanin and Alexandra glacier system:
a – photo by V.V. Sapozhnikov, 1905 [12]; *b* – photo by M.V. Syromyatina, 2013

ступил всего на 60 м, что подтверждает ранее сделанные выводы об относительно стационарном периоде с 1988 по 2000 г. в динамике ледников данного региона [18]. Однако в дальнейшем, по нашим расчётам, скорость отступления языка ледника Потанина увеличилась: с 2001 по 2006 г. он отступил на 180 м, с 2006 по 2013 г. – на 110 м, что составило в среднем 24 м/год.

В долине р. Цаган-Ус на склоне юго-восточной экспозиции обнаружен один из крупных приледниковых каменных глетчеров горного массива Табын-Богдо-Ола (см. рис. 1, рис. 4). Площадь всего комплекса, состоящего из деградирующего ледника, морен и каменного глетчера, составляет около 2,5 км², из них площадь собственно каменного глетчера – 1,2 км². Общая длина комплекса – около 4,5 км при протяжённости каменного глетчера почти 3 км. Высота фронта, расположенного на абсолютной высоте около 2360 м, в среднем составляет 20–25 м. На поверхности глетчера

Таблица 2. Основные гляциоклиматические характеристики ледников монгольской части горного массива Табын-Богдо-Ола

| Авторы и источник | Высота границы питания, м | $T_{л}$, °C | Аккумуляция–абляция, г/см ² | Сумма годовых осадков, мм |
|---|---------------------------|--------------|--|---------------------------|
| А.Н. Кренке [6] | 3200 | 1,3 | 130–150 | 1000 |
| В.В. Севастьянов и Л.Н. Шантыкова [14] | 3150 | 0,2 | 90 | 790 |
| В.П. Галахов и А.Г. Редькин [2] | 3200 | 1,8 | 118 | 1030 |
| Совместная российско-монгольская экспедиция 2013 г. | 3250 | 1,0 | 110 | 785 |

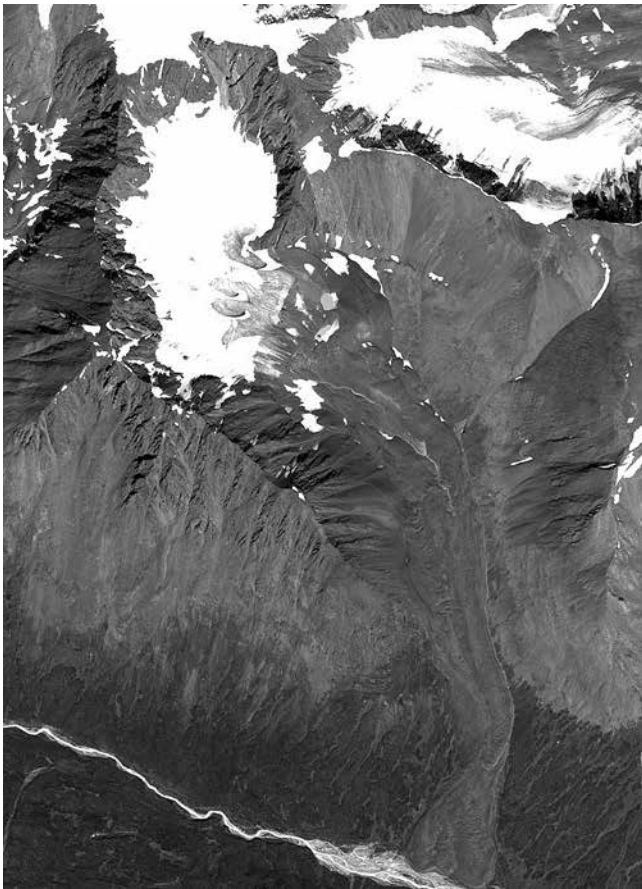


Рис. 4. Каменный глетчер в долине р. Цаган-Ус. Фрагмент космического снимка со спутника SPOT-5 (дата съёмки 31.08.2010, пространственное разрешение 2,5 м)
Fig. 4. Rock glacier in the Tsagan-Us river-valley. SPOT-5 image fragment (31.08.2010, spatial resolution 2.5 м)

отмечаются многочисленные дугообразные валы и ложбины, а также продольные борозды раздела, что косвенно свидетельствует о его активности. На абсолютной высоте около 2500 м расположен уступ с незадернованной активной осыпью.

Расчёт гляциоклиматических показателей. Отсутствие постоянных и недостаточный объём даже отрывочных гляциогидрометеорологических наблюдений, значительная удалённость сетевых и временных метеостанций и гидропостов, располо-

жение на стыке государственных границ – всё это привело к тому, что на современном этапе исследований для массива Табын-Богдо-Ола практически нет ни фоновых, ни даже реперных гляциоклиматических характеристик с использованием прямых наблюдений. Тем не менее, ранее проводились расчёты основных гляциоклиматических показателей с использованием принятой и проверенной на примере Алтая методики [6]. К основным результатам этих работ относятся карты-схемы поля средней многолетней высоты границы питания и поля аккумуляции–абляции на этой высоте. Причём, если в работах [3, 8] данные карты охватывают территорию практически всего Южного Алтая, имеют достаточно мелкий масштаб и рассматриваемый массив не выделяется, то в работе [2] приведены карты более крупного масштаба только для узла Табын-Богдо-Ола с возможностью, пусть и весьма неточной, определения гляциоклиматических параметров. В работе В.В. Севастьянова [13] эти параметры получены расчётным путем и приводятся в табл. 2. Кроме того, в работах [3, 17] оценена увлажнённость территории бассейна р. Ховд в верхнем течении, которая колеблется в пределах 500–600 мм/год.

При расчёте средней летней температуры воздуха (как основополагающего фактора таяния) на средневзвешенной границе питания группы из пяти ледников общей площадью 59,9 км² (см. табл. 1) и предварительном определении масштабов абляции–аккумуляции мы использовали данные по температуре за 2005–2013 гг. на метеостанциях, расположенных в окрестностях массива (табл. 3). Подобный подход применяется в оперативной практике гидрометеорологических прогнозов, где такая задача решается путём расчёта средневзвешенной температуры воздуха на определённой высоте по формуле

$$T_i = \sum \lambda_j [T_j - \gamma(H_i - H_j)/100],$$

где T_i – средняя летняя температура на высоте H_i ; λ_j – весовой коэффициент влияния метеостанции (в нашем случае – обратно пропорциональный

Таблица 3. Основные климатические показатели, рассчитанные по данным метеостанций в районе горного массива Табын-Богдо-Ола за период 2005–2013 гг.

| Метеостанция | Абсолютная высота, м | Удалённость от массива, км | Средняя летняя температура, °С | Градиент температуры, °С/100 м |
|--|----------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Ялалт (Монголия) | 2150 | 120 | 12,0 | – |
| Улгий (Монголия) | 1715 | 140 | 16,9 | 1,13 |
| Ховд (Монголия) | 1360 | 300 | 19,3 | 0,92 |
| Алтай (КНР) | 735 | 140 | 20,8 | 0,62 |
| Акчий (КНР) | 535 | 130 | 21,4 | 0,57 |
| Улкен-Нарын (Казахстан) | 400 | 220 | 19,8 | 0,45 |
| Кош-Агач (Россия) | 1700 | 120 | 14,3 | 0,51 |
| Средний летний вертикальный градиент температуры за период 2005–2013 гг. | | | | 0,70 |

расстоянию от метеостанции до массива, причём $\sum \lambda_j = 1$); T_j – средняя летняя температура на метеостанции; H_i – расчётная высота (в нашем случае средняя высота границы питания группы ледников); H_j – высота, на которой расположена метеостанция; γ – средний летний вертикальный градиент температуры [4].

В качестве опорной метеостанции для расчёта вертикального термического градиента выбрана монгольская станция Алтай (Ялалт) с максимальной абсолютной высотой (2150 м) и минимальным расстоянием от исследуемого района. Результаты расчётов приведены в табл. 3. Рассчитанный за рассматриваемый период средний летний вертикальный градиент температуры равен 0,70 °С/100 м, что хорошо согласуется с данными, полученными для близлежащих районов Алтае-Саянского региона И.Н. Гордеевым [4] и В.В. Севастьяновым [13], которые оценивают градиент в 0,72 и 0,71 °С/100 м соответственно. В расчётной схеме по формуле с использованием полученного нами градиента определена средняя летняя температура на границе питания группы ледников, равная 1 °С.

Как отмечалось ранее, для группы из пяти ледников непосредственно определена абсолютная высота границы питания в конце периода абляции 2013 г., в среднем составившая 3250 м. При допущении её колебаний вокруг этого значения за девятилетний период с использованием методики Кренке–Ходакова [6], с учётом скачка температуры [2] и регионального экспозиционного коэффициента [7] рассчитана величина абляции–аккумуляции для периода 2005–2013 гг. при средней летней температуре на границе питания, равной 1 °С (T_d). Величина абляции–аккумуляции составила 110 г/см². Для расчёта количества осадков величина аккумуляции делилась на коэффициент концентрации, который, с учётом преобладания в исследуемой группе до-

лильных ледников, определён для данного региона в 1,4 [6, 14]. Таким образом, среднее годовое количество твёрдых осадков на границе питания оценено в 785 мм (см. табл. 2). Метеорологические наблюдения в долине р. Цаган-Ус у ледника Козлова в первой декаде августа 2013 г. позволили определить среднесуточный вертикальный градиент температуры в 0,87 °С/100 м в слое 2500–3000 м, а также наличие чётко выраженной горно-долинной циркуляции со сдвинутой фазой, что указывает на локальные особенности в метеорологическом режиме долины этого ледника.

Заключение

Настоящее исследование – первый этап детальной оценки современного состояния и динамики горного массива Табын-Богдо-Ола, подготовки к обновлению Каталога ледников массива, к составлению Каталога крупных криогенных образований, в частности каменных глетчеров разного генезиса. В результате экспедиционных исследований 2013 г. выполнена геодезическая съёмка краевых образований крупных объектов, установлены температурные датчики на ледниках Козлова и Александры для оценки внутrigодового режима приледниковой температуры воздуха и температуры льда с целью дальнейшего мониторинга, направленного на оценку гляциоидроклиматических связей и режима ледниковых систем горного массива Табын-Богдо-Ола.

Литература

1. Арефьев В.Е., Мухаметов Р.М. На ледниках Алтая и Саян. Барнаул: Полиграфист, 1996. 176 с.
2. Галахов В.П., Редькин А.Г. Современное и древнее оледенение горного узла Табын-Богдо-Ола // География и природопользование Сибири. 2001. Вып. 4. С. 153–174.
3. Галахов В.П., Ловцкая О.В., Самойлова С.Ю., Аюрзана Ч., Отгонбаяр Д. Оценка среднего многолетнего увлажнения

- и поверхностного стока бессточного бассейна реки Ховд (Западная Монголия). Барнаул: АЗБУКА, 2013. 109 с.
4. *Гордеев И.Н.* Вертикальные градиенты температуры воздуха в бассейне Саяно-Шушенского водохранилища // Вест. Томского гос. ун-та. 2011. № 346. С. 181–184.
 5. *Горбунов А.П., Горбунова И.А.* География каменных глетчеров мира. М.: Т-во научных изданий КМК, 2010. 131 с.
 6. *Кренке А.Н.* Массообмен в ледниковых системах на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 288 с.
 7. *Михайлов Н.Н., Останин О.В.* Ледники Южного и Монгольского Алтая и их изменения в XX в. // География и природопользование Сибири. 2002. Вып. 5. С. 3–20.
 8. *Нарожный Ю.К., Галахов В.П., Редькин А.Г., Суразаков А.Б.* Оледенение горного узла Табын-Богдо-Ола и его режим // Изв. РГО. 1999. Т. 131. Вып. 3. С. 57–60.
 9. *Останин О.В., Михайлов Н.Н., Архипов С.М.* Изменение ледников Южного и Центрального Алтая с конца XIX в. и тенденции их развития в XXI в. // География и природопользование Сибири. 2004. Вып. 7. С. 172–182.
 10. *Ревякин В.С., Мухаметов Р.М.* Динамика ледников горного узла Табын-Богдо-Ола // Гляциология Сибири. 1993. Вып. 4 (19). С. 83–92.
 11. *Сапожников В.В.* Монгольский Алтай в истоках Иртыша и Кобдо. Томск, 1911. 408 с.
 12. *Сапожников В.В.* По Русскому и Монгольскому Алтаю. М.: Географгиз, 1949. 579 с.
 13. *Севастьянов В.В.* Эколого-климатические ресурсы Алтае-Саянской горной страны. Томск: изд. Томского гос. ун-та, 2008. 307 с.
 14. *Севастьянов В.В., Шантыкова Л.Н.* Характеристика поля годовых сумм осадков в Горном Алтае по гляцио-климатическим показателям // Вест. Томского гос. ун-та. 2001. № 274. С. 63–69.
 15. *Тронов Б.В.* Каталог ледников Алтая // Изв. РГО. 1925. Т. 57. Вып. 2. С. 107–159.
 16. *Тронов М.В.* Очерки оледенения Алтая. М.: Географгиз, 1949. 375 с.
 17. Integrated water management national assessment report / Reviewed by G. Dolgorsuren, Jan Bron, Wim van der Linden. Ulaanbaatar, 2012. 464 p.
 18. *Kadota T., Davaa G.* Recent glacier variations in Mongolia // Annals of Glaciology. 2007. № 46. P. 185–188.
 19. *Nakazawa F., Konya K., Kadota T., Ohata T.* Reconstruction of the depositional environment upstream of Potanin Glacier, Mongolian Altai, from pollen analysis // Environmental Research Letters. 2012. № 7. P. 1–6.

Summary

This study is the first stage of detailed investigation of large glaciers located in the Tavan-Bogd Mountains. The main task of this work is to estimate a current state and dynamics of glaciers and to update glacier and rock-glacier inventory. Basing on results

of 2013 field survey together with remote sensing data the main glaciers located on eastern slopes of the Tavan Bogd mountain massif in the Tsagan-Us and Tsagan-Gol river basins are described (these glaciers are Potanin, Alexandra, Grane, Kozlov, and Krylov ones). In order to monitor regime of glacier systems the geodetic survey of glaciers and rock-glacier edges was carried out using Trimble GNSS system and the ranging mark system. The Landsat satellite images made taken in August–September of 1989, 2006, and 2013, their spatial resolution 15–30 m, were used to map areas of debris-free glaciers and to estimate the glacier changes between 1989 and 2013. Pictures were taken from the USGS site, the ArcGIS software was used for this work. In addition, the high-resolution satellite pictures with resolution of 0.5–2.5 m made at the end of the ablation season if 2008 (CARTOSAT-1) and 2010 (Geoeye-1 and SPOT-5) were also used to analyze current conditions and changes of the above glaciers and to improve visual estimation of the Landsat imagery. In 2013, the study included 26 glaciers with the debris-free glacier area of 67 km² in the Tsagan-Gol river basin and 37 glaciers with area of 30 km² in the Tsagan-Us river basin. According to our estimates, areas of these glaciers did not significantly changed since 1989 however a certain regression of the glacier tongues had been fixed. The Kozlov glacier retreated with average rate of 21 m/year between 2001 and 2013. Retreat of the Potanin glacier was slower and between 1989 and 2001 the average rate was equal to 5 m/year, but between 2001 and 2013 it became more active and its average rate reached 24 m/year. One of the largest One of the largest rock-glacier of the Tavan Bogd Mountains was found in the Tsagan-Us valley on its south-eastern slope, its area was estimated 1.2 km², length – 3 km, steep front height – 20–25 m. Indirect indicators of its activity such as transverse and longitudinal furrows were noticed. Using data of local weather station data we calculated some climatic characteristics needed to monitor equilibrium line for end of the 2013 ablation season. Mean summer temperature on the weighted mean equilibrium line of five glaciers (3250 m a.s.l.) was defined as 1.0 °C. Ablation–accumulation value was estimated 110 g/cm² and the mean annual snowfall on the equilibrium line as 785 mm.