

Подземные льды и наледи

УДК 551.345:551.435

doi:10.15356/2076-6734-2016-4-511-524

Каменные глетчеры хребта Сунтар-Хаята

© 2016 г. В.М. Лыткин*, А.А. Галанин

Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия

*gidro1967@mail.ru

Rock glaciers in the Suntar-Khayata Range

V.M. Lytkin*, A.A. Galanin

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

*gidro1967@mail.ru

Received April 15, 2016

Accepted July 21, 2016

Keywords: *Late Holocene glaciation, mountain permafrost, remote sensing, rock glaciers, Suntar-Khayata Range.*

Summary

The remote map-making technique and results of field investigations made possible for the first time to reveal a great number of rock glaciers within the area of the Suntar-Khayata Range (North-East Asia). A total of 540 formations were identified. Among them, 47 rock glaciers were classified as corrie (cirque) tongue-shaped formations and 493 ones – as niche lobe-shaped (single- and multi-lobe) rock glaciers. Occurrence of such formations is 8.4/100 km², that is the largest in the North-East Asia. The rock glaciers in this region are found within a range of true altitudes from 1297 up to 2402 m asl. The majority of active features, however, are confined to the interval between 1500 and 1900 m asl. Rock glaciers occur in the altitudinal range of 1297 to 2402 m asl. The majority of active features, however, are confined to the interval between 1500 and 1900 m asl, and the main part of active formations is located within the range of 1500-2500 m. The frequency analysis of true altitudes of the rock-glacier occurrence indicates that their formation can be caused by the hypsometry of the region relation to morphoclimatic zonality.

Поступила 15 апреля 2016 г.

Принята к печати 21 июля 2016 г.

Ключевые слова: *горная криолитозона, дистанционное картографирование, каменные глетчеры, позднеголоценовое оледенение, хребет Сунтар-Хаята.*

Методы дистанционного картографирования и результаты экспедиционных обследований позволили впервые установить значительное число каменных глетчеров в пределах хребта Сунтар-Хаята. Всего идентифицировано 540 каменных глетчеров. Установленные каменные глетчеры различных типов распространены в интервале высот 1300–2400 м над ур. моря и представляют собой индикаторную формацию горной криолитозоны и перигляциального пояса.

Введение

Под каменными глетчерами понимаются стратифицированные (слоистые), сцементированные конжеляционным льдом грубообломочные образования, имеющие вид языков, лопастей и террасовидных шлейфов со слабонаклонной поверхностью и крутым фронтальным уступом, способные к монолитному пластическому течению путём деформации содержащегося в них льда [1]. Они широко распространены в горных областях Европы, Северной и Южной Америки, Центральной Азии. Закономерности строения, генезиса и географии каменных глетчеров в

ряде горных районов России рассмотрены в работах Н.Н. Пальгова [2], М.И. Ивероновой [3], М.Г. Гросвальда [4], А.Ф. Глазовского [5], В.В. Запоруева [6], А.П. Горбунова и С.Ф. Титкова [7], А.А. Галанина [8, 9], О.В. Останина и Г.С. Дьяковой [10]. Вместе с тем многие горные районы России, особенно её Северо-Востока, продолжают оставаться «белыми пятнами», несмотря на то, что их морфоклиматические условия благоприятны для формирования таких глетчеров.

Фундаментальное и прикладное значение каменных глетчеров обсуждалось в работах А.Ф. Глазовского [5], А.П. Горбунова и С.Ф. Титкова [7], А.А. Галанина [1, 8, 9, 11], Д. Барш [12]. Тради-

ционно принято выделять две различные генетические группы (типа) каменных глетчеров: а) криогенный тип таких глетчеров формируется в результате промерзания грубообломочных склоновых отложений; б) ледниковый тип связан с абляцией каровых ледников и льдистыми моренами, которые при эпигенетическом промерзании превращаются в каменные глетчеры, способные к пластическим деформациям и медленному течению. Формирование каменных глетчеров карового типа связывается с отступанием ледников от их максимума во время малого ледникового периода [8]. Присклоновые каменные глетчеры формируются главным образом путём консервации коллювием фрагментов боковых морен долинных ледников. Весьма широкий в гипсометрическом отношении пояс присклоновых каменных глетчеров, в том числе неактивных и отмерших, в ряде горных сооружений северо-востока Азии может быть связан с раннеголоценовым оледенением [8].

Каменные глетчеры — наиболее выразительное проявление горной криолитозоны, быстро реагирующее на климатические изменения, причём реакция каменных глетчеров и обычных ледников может быть противоположной. Так, многие каменные глетчеры Северного Тянь-Шаня на протяжении последних 50 лет активно наступают и ускоряют своё движение, в то время как ледники в их истоках катастрофически деградируют [11]. В ряде горных районов Европы и Средней Азии таяние льдистой морены и блоков метаморфического льда в телах каменных глетчеров сопровождается их насыщением тиксотропным ледниковым суглинком, что иногда приводит к гидроразрыву и возникновению катастрофических гляциальных селей [11]. В высокогорных районах, расположенных от умеренной до тропической зоны, нижняя граница распространения каменных глетчеров совпадает с нижней границей горной криолитозоны, поэтому ареалы распространения и высотное распределение активных и отмерших каменных глетчеров используются для реконструкции динамики нижней границы горной криолитозоны в позднем плейстоцене и голоцене [12].

Как и обычные ледники, каменные глетчеры вносят существенный вклад в формирование водного стока некоторых горных районов, однако в этом отношении они исследованы крайне недостаточно. Частично это связано с тем, что их изученность в некоторых районах находится пока

на стадии их идентификации и картографирования. Крайне слабо исследованы внутреннее строение, температурный режим, типы и количество льда внутри таких глетчеров, особенности водного стока и состав стабильных изотопов.

Цель настоящей статьи — обсудить новые данные о каменных глетчерах хребта Сунтар-Хаята, полученные на основе дешифрирования спутниковых изображений и цифровой модели рельефа (ЦМР). Результаты картографирования были протестированы в ходе полевых исследований 2013–2014 гг. на нескольких ключевых каменных глетчерах долины р. Бургали, истоки которой приурочены к группе современных ледников (№ 29–31) северного склона горы Мус-Хая (2959 м над ур. моря; все высоты в статье даны в метрах над ур. моря).

Изученность каменных глетчеров северо-востока Азии

Слабая изученность каменных глетчеров на северо-востоке Азии объясняется тем, что общие теоретические представления о них как независимом морфогенетическом типе, а также геоморфологические и дешифровочные дистанционные признаки в отечественной литературе сформулированы относительно недавно — в 1960–80-е годы [2, 3]. Каменные глетчеры не включены в легенды Государственных геологических карт, поэтому в различных случаях картографировались как обвальнo-осыпные, ледниковые, солифлюкционные и другие образования. В хр. Удокан крупные каровые каменные глетчеры с вырождающимся фирновым бассейном идентифицировались как погребённые ледники [13]. Протяжённые присклоновые каменные глетчеры, широко распространённые в приледниковой зоне современного оледенения хр. Сунтар-Хаята, в монографии М.М. Корейши [14] ошибочно именованы коллювиальными террасами. В этом же районе Е.М. Катасонов, проводивший геоморфологические наблюдения в долине р. Бургали в составе комплексных геокриологических исследований [15], назвал их «псевдотеррасами», сложенными щебнем, крупными обломками, галькой и мелкозёмом. И.А. Некрасов, Е.В. Максимов и И.В. Климовский подвергли критике определение «псевдо-

террасы» [16], полагая что это — «прибортовые останцы конечно-моренных комплексов, сложенные склоновыми отложениями» [16]. Однако в бассейне р. Хоронь крупные монолопастные каменные глетчеры интерпретированы как «фрагменты конечно-моренных валов позднеплейстоценовых оледенений», а наиболее протяженные полилопастные каменные глетчеры именовались как «остатки днищ древних трогов, почти полностью уничтоженных эрозией» [16].

В 1980–90-х годах в пределах горных районов Магаданской области некоторыми авторами было идентифицировано множество «сейсмогенных горных обвалов», которые после детального изучения оказались различными типами каменных глетчеров и льдистых каровых морен с признаками течения [17]. В 1990–2000 годах на основе площадного дистанционного картографирования в пределах Колымского, Корякского и Чукотского нагорий установлено более 5 тыс. сходных с каменными глетчерами образований. Были охарактеризованы ареалы их распространения, приуроченные к районам последнего позднеплейстоценового и голоценового оледенения. В пределах исследованных горных районов идентифицированы все основные морфогенетические типы каменных глетчеров — каровые, присклоновые, простые, комплексные, языковидные, лопастные и др. [8, 9]. Установлено, что активные каменные глетчеры Северо-Востока России, как и современные ледники, подчиняются высотной поясности и опосредованно связаны со среднегодовым количеством осадков [8]. Наиболее высока плотность (встречаемость) каменных глетчеров разных морфодинамических типов в прибрежных горных районах Охотского и Берингова морей и составляет 4–5 объектов на 100 км² [8], а максимальная плотность (8 объектов/100 км²) установлена в Провиденском горном массиве (Чукотский полуостров). По мере удаления в глубь континента, несмотря на более высокие широты и более низкие среднегодовые температуры, встречаемость таких глетчеров снижается, а их абсолютные отметки значительно повышаются [8].

В современной литературе дискутируются вопросы о роли гляциальных и криогенных процессов в формировании каменных глетчеров. Согласно имеющимся представлениям, выделяют каменные глетчеры «криогенного» и «ледникового» происхождения [5, 12]. Первые образуют-

ся при промерзании коллювия, во вторые трансформируются некоторые ледники на крайней стадии деградации. Для обоснования пространственной и исторической связи ледников и каменных глетчеров хр. Сунтар-Хаята в настоящей статье мы предприняли попытку совместного картографирования и географического анализа.

Характеристика области исследований

Рассматриваемый район расположен в пределах хр. Сунтар-Хаята — одного из узловых географических элементов Северо-Востока России (рис. 1). Наиболее значительные вершины образуют горные узлы с высотой близкой к 3000 м: горы Мус-Хая (2959 м), Палатка (2944 м), Раковского (2888), Берилл (2933 м). Они несут современное оледенение карово-долинного типа общей площадью 129,97 км². Периферийная часть хребта характеризуется абсолютными отметками до 2000 м. Для наиболее приподнятой осевой части хребта характерен резко расчлененный (800–1000 м) альпийский рельеф 3–4 стадии, со множеством каров с современными ледниками, троговых долин (в том числе сквозных) и цирков. По данным ближайшей метеостанции (село Оймякон), расположенной на отметке 736 м, климат исследуемого региона холодный ультраконтинентальный. Среднегодовая температура района в 1950–60-х годах составляла –15,5 °С, средняя температура июля равна 14,9 °С, января –46,4 °С, среднегодовое количество осадков — 212 мм, среднее число дней со снежным покровом — 213.

Горные массивы рассматриваемого региона, несущие в верхнем поясе современное оледенение, характеризуются иным климатом. На нижней границе нивально-гляциального пояса на отметках 2000 м, по данным М.М. Корейши [14] и И.А. Некрасова [13], средняя температура июля в 1957–1959 гг. варьировала в интервале 4,9–7 °С, а на леднике № 31 на отметке 2257 м интервал температуры составил 3–4,5° С. Средняя температура января на высоте 2000 м равна около –29 °С, что свидетельствует о сильной зимней инверсии. Температурный градиент зимой имеет отрицательные значения и варьирует от 1,5 до 2,8° на каждые 100 м подъема [14]. По мере увеличения высоты в высокогорье значительно возрастает количество осадков, достигающее в обла-

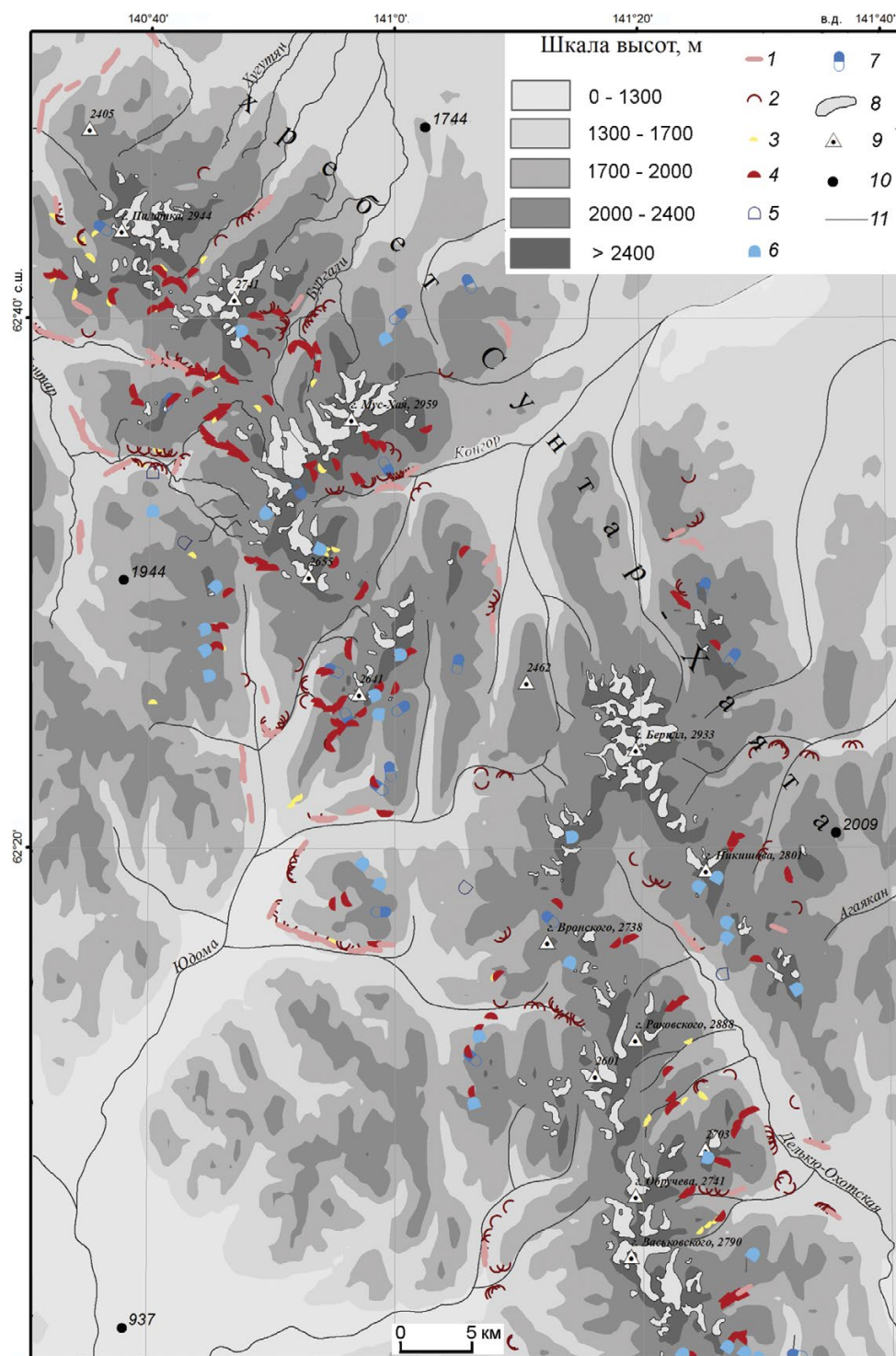


Рис. 1. Каменные глетчеры хребта Сунтар-Хаята.

1–7 – морфогенетические типы каменных глетчеров: 1 – неактивные языковидные; 2 – активные языковидные (включая комплексные); 3 – отмершие присклоновые; 4 – неактивные присклоновые; 5 – активные присклоновые монолопастные (эмбриональные); 6 – активные присклоновые полилопастные; 7 – каровые; 8 – современные ледники; 9 – тригонометрический пункт; 10 – прочие отметки высот; 11 – реки

Fig. 1. Rock glaciers in the Suntar-Khayata Range.

1–7 – morphogenetic types of rock glaciers: 1 – inactive tongue-shaped; 2 – active tongue-shaped (including complex forms); 3 – relict footslope; 4 – inactive footslope; 5 – active footslope single-lobe (embryonic); 6 – active footslope multi-lobe; 7 – cirque rock glaciers; 8 – modern glaciers; 9 – trigonometrical stations; 10 – other elevation marks; 11 – rivers

сти питания современных ледников 900 мм/год и более [14]. Это в 3–4 раза выше, чем в пределах Оймяконского плоскогорья (240 мм/год).

Неоднородность климатических параметров и их связь с абсолютной высотой хорошо выражена в морфоклиматической поясности. В истоках долин выше отметок 2000–3000 м распространены современные ледники, общая площадь которых в середине прошлого века составляла около 200 км² [14]. За прошедшие 60 лет площадь оледенения массива горы Мус-Хая уменьшилась на 30–35%. Края ледников отступили на 500–650 м по горизонтали, а их абсолютные отметки повысились с 2052 ± 102 до 2226 ± 114 м [18]. Нижняя граница области питания поднялась на 61 ± 38 м – с 2346 ± 56 до 2407 ± 55 м. Интенсивная абляция приводит к сокращению толщины ледников и снижению скорости их движения в несколько раз. Толщина наиболее изученного ледника № 31 в транзитной части уменьшилась примерно на 25–30 м, а в краевой – на 50–60 м [18]. В приледниковой зоне образовался обширный пояс мёртвых блоков льда мощностью 30–80 м, покрытых плащом абляционной морены. Поверхностная скорость движения этого ледника сократилась примерно в 5–6 раз по сравнению с инструментальными оценками 1957–1959 гг.

Район исследований характеризуется сплошным распространением многолетнемёрзлых пород (ММП) мощностью от 200 до 600 м с температурами от -4 до $-10,5$ °C [16]. Мощность ММП значительно варьирует в зависимости от типа рельефа и его абсолютной высоты, достигая максимальных значений на не занятых ледниками водораздельных пространствах в интервале высот 1600–2000 м. В пределах гляциального пояса на высотах 1900–2000 м температура ММП составляет $-8 \div -9$ °C [16]. На основании наблюдений 1958–1975 гг. в геотермической скважине глубиной 45 м, пробуренной вблизи границы питания ледника № 31 (абсолютная отметка 2225 м), на глубине 10 м от поверхности установлена граница сезонных колебаний температуры [16]. Далее с глубиной температура ледника плавно повышается с $8,9$ (10 м) до $7,8$ °C (45 м). Рассчитанный геотермический градиент ($5-6$ °C на каждые 100 м) внутри ледника существенно выше геотермических градиентов ММП за пределами оледенения ($1,5-1,8$ °C на каждые 100 м). Это позволяет предполагать, что суммарная толщина ММП (включая

толщину ледника) не превышает 200 м [16]. Пониженная мощность ММП под ледниками может быть как следствием их значительного сокращения от последнего максимума, так и более низкой теплопроводности самого льда. Наличие мерзлоты обуславливает развитие различных криогенных процессов на всех гипсометрических уровнях и в пределах всех элементов современного рельефа. Они проявляются в виде морозного дробления, пучения, полигонообразования, криодесерпции, курумов и каменных глетчеров. Отметим, что среди них каменные глетчеры наименее изучены.

Методы исследований

При идентификации каменных глетчеров мы использовали наиболее рациональные элементы классификации Д. Барша [12], а также некоторые таксономические наименования, детально обсуждённые ранее [1, 8]. Таксономическая принадлежность каменных глетчеров определялась на основании нескольких основных критериев: 1) морфологии (языковидные, лопастные, лопаattoобразные); 2) морфологической сложности (для языковидных – простые, комплексные, для лопастных – монолопастные, полилопастные); 3) отношению к вмещающему рельефу (каровые, присклоновые); 4) степени современной динамической активности (активные, неактивные, отмершие); 5) типу питания (приледниковые, приосыпные, смешанные и др.); 6) происхождению (абляционные и криогенные); 7) размерам (эмбриональные, развитые, гипертрофированные); 8) числу разновозрастных генераций (простые, полихронные).

Активные каменные глетчеры характеризуются высоким и крутым фронтальным уступом, хорошо заметны на аэрокосмических изображениях по серповидным теньям. Поверхность каменных глетчеров сложена наиболее крупными обломками и имеет слабый наклон ($5-7^\circ$) в сторону тальвега (у присклоновых каменных глетчеров) или вниз по долине (у каровых каменных глетчеров). На движущихся участках она резко отличается более тёмным фототонотом от крутого фронтального откоса (светлый фототон). У активных каменных глетчеров часто распространены специфические серповидные гряды и западины, представляющие собой результат деформаций каменного глетчера при его движении.

Неактивные и отмершие каменные глетчеры формируются в результате сокращения обломочного питания, что приводит к замедлению и остановке их движения. Первый признак неактивных каменных глетчеров — стабилизация фронтального откоса сначала лишайниками, а затем куртинами растений. На поверхности неактивных глетчеров наблюдаются псевдополигональные трещинные структуры, формирование которых связано с гидротермическим оттаиванием мёрзлых ядер и блоков метаморфических льдов. В итоге после вытаивания грунтовых льдов каменные глетчеры теряют до 70% толщины, их поверхность приобретает бугристо-ямчатый инверсионный микрорельеф (отмершие каменные глетчеры). В ходе деградации грунтового льда уменьшается толщина каменного глетчера, что приводит к стабилизации поверхности, и она начинает покрываться куртинным почвенно-растительным покровом; последнее также можно считать важным признаком при дистанционном дешифрировании.

Эмбриональные каменные глетчеры. Степень развитости поверхностного пластического микрорельефа каменного глетчера, его размеры и толщина, как правило, связаны между собой. Так, при формировании осыпных конусов нарастание очередных слоёв обломочного материала приводит к повышению их поверхности. В результате смещаются вверх подошвы сезонно-талого слоя и слоя годовых теплооборотов. Нижние горизонты осыпных конусов начинают промерзать и насыщаться гольцовым (конжеляционным) льдом, формируя монолитное мёрзлое ядро. При достижении некоторой критической мощности мёрзлого ядра в нём начинают происходить медленные пластические деформации — течение в сторону тальвега. Краевая часть осыпного конуса приобретает выпуклый продольный профиль, а на поверхности появляются поперечные валики. Такие образования в зарубежной литературе называют «обломочными фартуками» (*debrise approns*); в отечественной литературе [1] они не имеют устоявшегося терминологического аналога. Поэтому мы их назвали *эмбриональными каменными глетчерами* [1]. Целесообразность такого наименования обусловлена тем, что эмбриональные, простые и полилопастные каменные глетчеры образуют единый фациальный ряд, имеют общие черты

строения и происхождения. Эмбриональные глетчеры весьма многочисленны и широко распространены в пределах горной криолитозоны. Они имеют небольшие размеры (первые десятки метров), и, как правило, их неправомочно принимают за осыпные конусы. На самом деле, морфодинамически — это принципиально иные образования, которые могут формироваться не только из осыпей, но и при насыщении льдом десерпционных и других грубообломочных отложений. В районах широкого распространения курумов, на участках их избыточной мощности иногда образуются специфические типы эмбриональных глетчеров, которые некоторые исследователи называют *курумоглетчерами* [1].

Присклоновые каменные глетчеры формируются из эмбриональных путём их разрастания и увеличения мощности, что приводит к хорошо выраженным пластическим деформациям и ускорению движения. Активные присклоновые каменные глетчеры имеют резкий фронтальный уступ, крутизна которого близка к углу естественного откоса 36–39°. Фронт каменных глетчеров изгибается в виде серповидной лопасти, на поверхности появляются системы параллельных гряд. Каждая крупная лопасть каменных глетчеров, как правило, питается из одного—двух осыпных конусов. На участках протяжённых крутых склонов, питающих множество осыпных конусов, формируется множество близкорасположенных лопастных каменных глетчеров, часть из которых сливается боковыми краями, формируя сложный полилопастный каменный глетчер. Вместе с тем каждая лопасть сохраняет свой собственный источник питания и движется пропорционально скорости поступления обломочного материала. Об этом свидетельствует фестончатая форма фронтального откоса полилопастных каменных глетчеров.

Каровые каменные глетчеры, сформировавшиеся при медленной деградации ледников в результате эпигенетического промерзания поверхностной абляционной морены, имеют некоторые элементы ледниковой морфоскульптуры: краевые каналы стока, небольшие фирновые бассейны, присклоновые трещины. Кроме того, в термоэрозионных каньонах нередко устанавливаются унаследованные от ледников ядра льдов метаморфического происхождения. К каровому типу мы относим специфические переходные образования — комплексные каменные

глетчеры, формирующиеся из каровых ледников в процессе их медленной деградации.

Дистанционное картографирование каменных глетчеров выполнено на основе цветных геопривязанных космических снимков GeoEye-1, WorldView-2 с разрешением 0,5 м, смонтированных для всей исследуемой территории в единый растровый слой с использованием программного обеспечения Arcgis 10.1. При дешифрировании также использованы цифровые модели рельефа Aster Gdem v2 с разрешением 14–20 м, смонтированные для той же территории в виде отдельного слоя. Данный подход и использованные программные средства позволяют просматривать картографируемые объекты при разном приближении. При необходимости встроенные модули (ArcGlobe) дают возможность визуализировать растровые изображения и ЦМР в трёхмерном виде и рассматривать под разными углами картографируемые объекты.

Картографирование каменных глетчеров выполнено в разных масштабах. Для всей рассматриваемой территории каменные глетчеры картографировались в мелком масштабе в виде слоя ориентированных точечных объектов (нуль-векторов), направленных вдоль оси каменного глетчера в направлении его движения. Простым каменным глетчерам, имеющим один язык (для карового типа) или лопасть (для присклонового типа), присваивалась одна точка (нуль-вектор), соответствующая одной строке атрибутивной таблицы. У сложных каменных полилопастных глетчеров присклонового типа каждая хорошо выраженная лопасть картографировалась в виде точки-вектора (индивидуальная строка атрибутивной таблицы с идентификационным номером). То же самое выполнялось для сложных и комплексных языковидных каменных глетчеров, для которых каждая морфологически явная генерация отмечалась в виде индивидуальной точки-вектора.

Выбранный подход картографирования использовался нами ранее [8] и представляется приемлемым, поскольку позволяет картографировать и автоматически рассчитывать морфометрические особенности наиболее широко распространённых в регионе присклоновых каменных глетчеров с использованием ЦМР. Данные образования нередко достигают большой ширины при незначительной протяжённости и разной ориентировке направлений движения индивидуальных ло-

пастей. Ключевые каменные глетчеры в долине р. Бургали, изученные в ходе полевых работ, картографировались в крупном масштабе в виде слоя полигональных объектов, что позволило оценить их стратиграфические и морфогенетические взаимоотношения с вмещающим рельефом.

Результаты исследований

Картографирование и пространственный анализ. В пределах хр. Сунтар-Хаята (см. рис. 1) установлено 540 образований, морфологически близких к каменным глетчерам. По отношению к вмещающему рельефу установлено 47 каровых и 493 присклоновых глетчеров. В группе каровых преобладают активные простые и комплексные, имеющие несколько разновозрастных генераций. Среди присклоновых установлено 450 полилопастных глетчеров, среди которых 161 активный, 174 неактивных, 112 отмерших индивидуальных лопастей. К простым эмбриональным отнесено 43 объекта. Средняя плотность распределения (встречаемость) каменных глетчеров рассчитана по отношению к общей площади района дешифрирования, которая составляет около 6360 км². Суммарная плотность каменных глетчеров всех типов составляет около 8,4 объекта/100 км², из них встречаемость присклоновых наиболее высокая — 7,7 объекта/100 км². По сравнению с другими горными районами северо-восточной Азии хр. Сунтар-Хаята характеризуется весьма широким распространением каменных глетчеров. Например, в хр. Искатень (Чукотское нагорье) плотность каменных глетчеров составляет 4,1 объекта/100 км², в Провиденском горном массиве — 8 объектов/100 км², в Корякском хребте — 4,5 объекта/100 км², в горных хребтах Северного Приохотья — 1,7 объекта/100 км² [8].

Для оценки гипсометрического распределения каменных глетчеров использован высотный растр Aster Gdem v2. Определение высоты каждого каменного глетчера выполнено путём присвоения ему значения высотного раstra в виде дополнительного атрибута — абсолютной высоты. Далее полученная выборка обрабатывалась в программе Microsoft Excel с помощью встроенной функции построения частотных распределений (рис. 2, а). Анализ частотных распределений

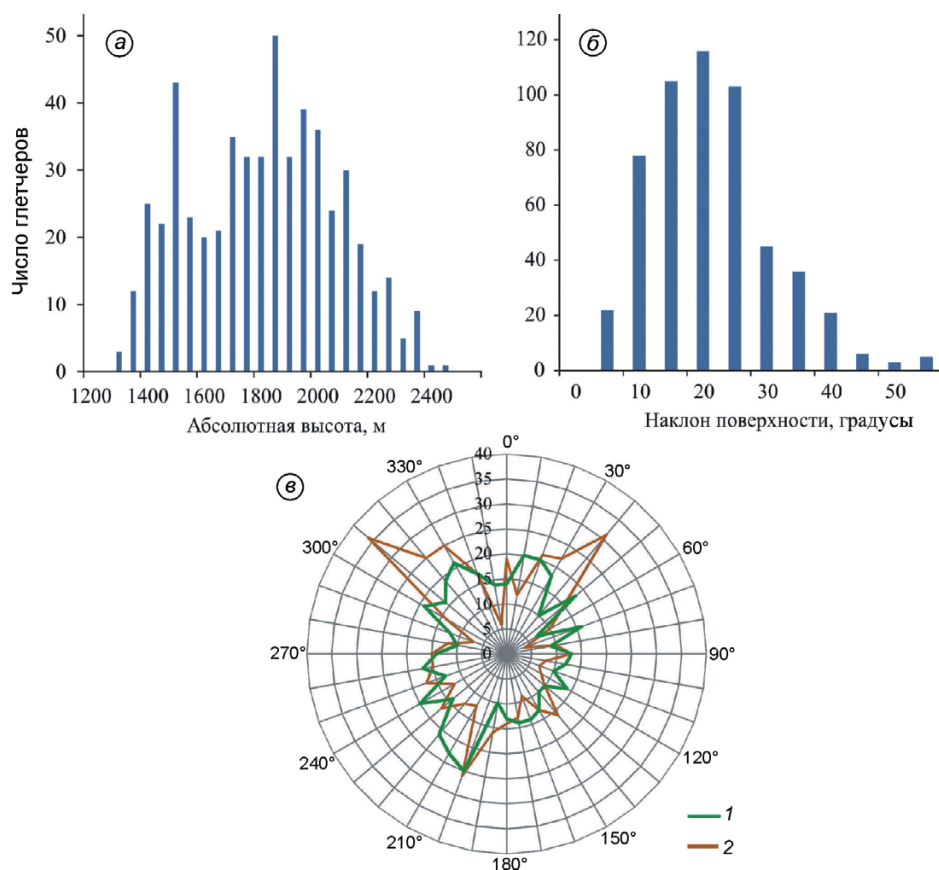


Рис. 2. Частотное распределение абсолютных высот (а), среднего наклона поверхности (б) и экспозиций (в) каменных глетчеров хр. Сунтар-Хаята.

1 – направление движения каменных глетчеров; 2 – экспозиция склонов

Fig. 2. Frequency distribution of altitudes (a), average surface angle (b) and aspects of rock glaciers (c) in the Suntar-Khayata Range.

1 – movement directions; 2 – aspects of slopes

позволяет полагать, что каменные глетчеры рассматриваемого района распределены в интервале абсолютных высот 1297–2402 м. Вместе с тем основная часть активных образований приурочена к интервалу 1500–1900 м. Средние значения абсолютных высот каменных глетчеров разных морфогенетических типов существенно различаются: каровые языковидные – 2050 м; активные присклоновые – 1960 м; эмбриональные – 1890 м; неактивные присклоновые – 1660 м; отмершие присклоновые – 1550 м.

Анализ распределения направлений движения (осей) каменных глетчеров и экспозиций вмещающего рельефа (ориентировки склонов и каров) выполнен путём присвоения значений ориентировки каменных глетчеров. Кроме того, в виде дополнительного столбца каждому элементу атрибутивной таблицы присвоены значения экспозиции и угла наклона рельефа, определённые путём обработки высотного растра Aster Gdem v2 стандартными способами с использованием встроенных алгоритмов пакета ArcMap 10.1. Далее атрибутивная информация обрабатывалась с помощью встроенных

функций в программе Microsoft Excel. Анализ частотных распределений направления движения каменных глетчеров и экспозиции вмещающего рельефа (см. рис. 2, в) показывает, что они имеют преимущественно северо-западную и северо-восточную ориентировку. Некоторая часть объектов имеет юго-западное направление. Склоны других экспозиций несут существенно меньшее число каменных глетчеров. Последнее весьма характерно для ледников и каменных глетчеров северо-восточной Азии [8].

Такое распределение ориентировки каменных глетчеров, во-первых, связано с частотным распределением экспозиций склонов (преобладают северо-западные, северо-восточные, юго-западные и юго-восточные), которые формируются в результате расчленения рельефа в соответствии с глобальной ортогональной сетью разрывных нарушений, контролирующей ориентацию долин. Во-вторых, преимущественное формирование каменных глетчеров именно на склонах северо-западных или северо-восточных экспозиций связано с микроклиматическими эффектами – здесь меньшая продолжительность прямой сол-

нечной радиации. Анализ распределения углов наклона поверхности каменных глетчеров выполнен на основе совместной обработки высотного раstra Aster Gdem v2 аналогично приведённым выше способам. Полученные результаты (см. рис. 2, б) показывают, что средние углы наклона поверхностей исследованных каменных глетчеров варьируют от 5 до 50°. Наклон большинства поверхностей составляет 10–25°.

Морфология каменных глетчеров бассейна р. Бургали

Полевое изучение каменных глетчеров велось в бассейне верхнего течения р. Бургали на северном склоне горы Мус-Хая (2959 м). Здесь в истоках реки расположено несколько крупных

ледников (рис. 3), краевые части которых опускаются до высот 2070–2100 м. На основании анализа разновременных аэрокосмических данных ранее установлено, что на расстоянии 400–600 м от краёв ледников расположен пояс льдистых морен малого ледникового периода [18, 19]. Каменные глетчеры присклонового типа маркируют борта троговой долины на расстоянии около 8 км от края ледников.

Монолопастной присклоновый каменный глетчер № SX-1 (62°37' с.ш.; 140°49' в.д.) расположен в левом борту северо-восточной экспозиции в 1 км от края ледника № 29 в интервале высот 1950–1980 м (см. рис. 3; дан в красной рамке; рис. 4, б). Его длина – около 126 м, ширина – 600 м, максимальная толщина – 35–40 м. Этот глетчер имеет форму полумесяца, ориентированного выпуклой частью в северо-восточном направлении. Область

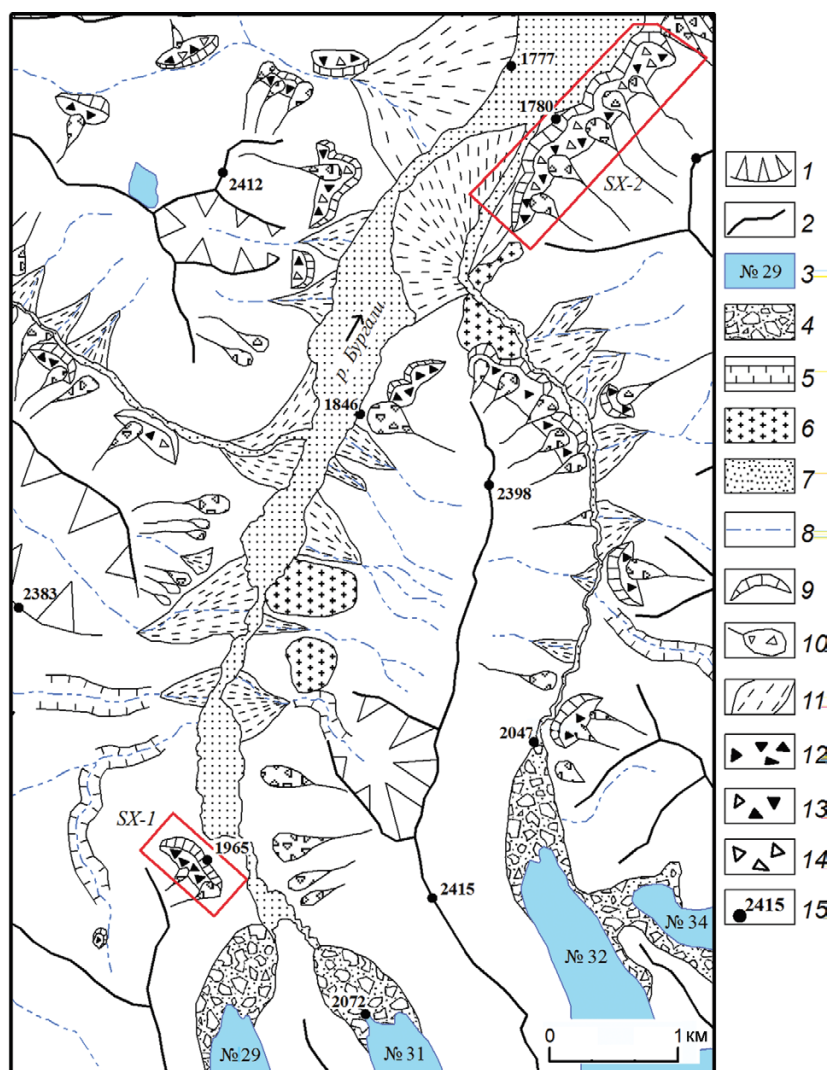


Рис. 3. Гляциально-криогенный комплекс долины р. Бургали:

1 – стенки кара; 2 – гребни водоразделов; 3 – ледники и их номера по Каталогу ледников СССР; 4 – позднеголоценовые морены; 5 – эрозионные обрывы; 6 – площадные ригели; 7 – пойма и русло современных водотоков; 8 – временные водотоки; 9 – крутые уступы каменных глетчеров; 10 – лавинно-осыпные конуса выноса; 11 – пролювиальные конусы выноса; 12 – поверхность активных каменных глетчеров; 13 – поверхность неактивных каменных глетчеров; 14 – поверхность отмерших каменных глетчеров; 15 – отметки высот, м

Fig. 3. Glacial-periglacial complexes in the Burgali River valley.

1 – cirque walls; 2 – ridge crests; 3 – glaciers as numbered in the USSR Glacier Inventory; 4 – Late Holocene moraines; 5 – erosional cliffs; 6 – riegels; 7 – floodplain and channel of modern streams; 8 – temporary streams; 9 – steep fronts of rock glaciers; 10 – avalanche talus cones; 11 – proluvial cones; 12 – surface of active rock glaciers; 13 – surface of inactive rock glaciers; 14 – surface of relict rock glaciers; 15 – altitudes, m

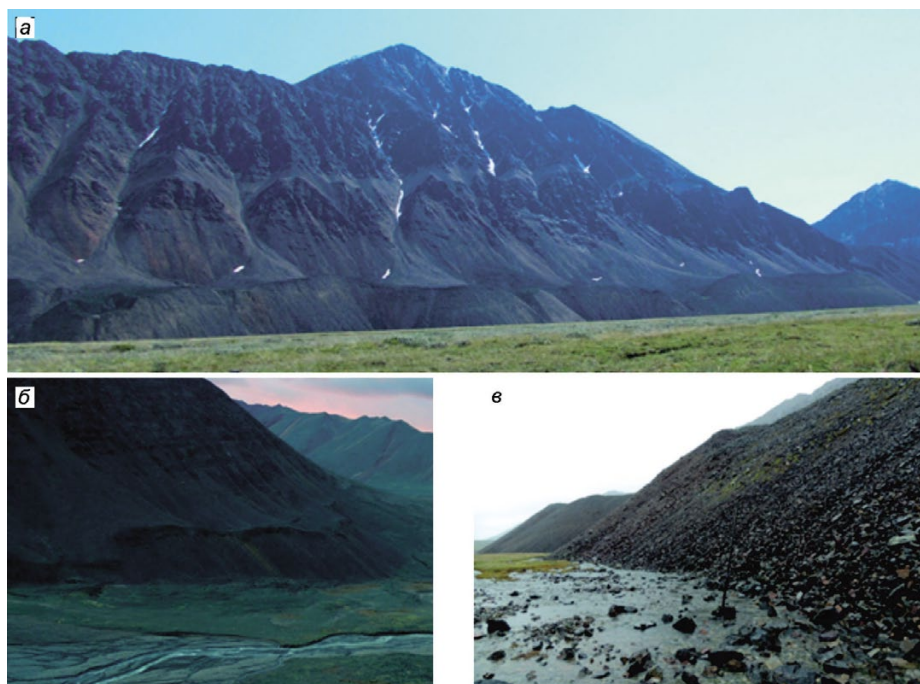


Рис. 4. Присклоновые каменные глетчеры долины р. Бургали в хр. Сунтар-Хаята:

а — частично активный присклоновый каменный глетчер № SX-2 на отметке 1780 м над ур. моря; *б* — активный каменный глетчер SX-1 на отметке 1965 м над ур. моря; *в* — лопасти протяжённого присклонового каменного глетчера № SX-2

Fig. 4. Footslope rock glaciers in the Burgali River valley, Suntar-Khayata Range.

a — SX-2, a partially active footslope rock glacier at 1780 m asl; *b* — SX-1, an active rock glacier at 1965 m asl; *v* — lobes of SX-2 extensive rock glacier

питания образована крутым скалистым склоном обвально-осыпного сноса. В тыльной части глетчера расположено два крупных лавинно-осыпных конуса. Крутизна фронтального откоса варьирует от 40 до 55°, восхождение на него невозможно. Поверхность глетчера слабо наклонена в сторону тальвега и сложена щебне-глыбовым материалом верхоянского комплекса (сильно метаморфизованные кремнистые алевролиты и песчаники). На снимках высокого разрешения через рыхлый обломочный чехол каменного глетчера проявляется сеть полигональных трещин с диаметром ячеек 15–20 м. Поверхностные обломки покрыты выветрелой коркой толщиной 1–1,5 мм. Растительный покров представлен исключительно эпифитными лишайниками. Их проективное покрытие варьирует от 5 до 20%. На расстоянии до 20–30 м от подошвы каменного глетчера хаотически разбросаны крупные глыбы, скатившиеся с бровки фронтального откоса. Каменный глетчер № SX-1 резко перекрывает волнистую, местами бугристо-ямчатую поверхность плащеобразной валунно-щебнистой морены, на поверхности которой встречаются редкие куртины мохово-травянистой растительности. В северной части глетчера из-под его фронтального откоса выходит небольшой источник.

Полилопастный присклоновый каменный глетчер № SX-2 (62°39' с.ш.; 140°52' в.д.) располо-

жен на расстоянии около 8 км от края ледника № 31 на правом борту р. Бургали северо-западной экспозиции в интервале высот 1780–1820 м (см. рис. 3; дан в красной рамке; см. рис. 4, *а*). Образован серией слившихся лопастей длиной до 200 м, каждая из которых питается из одного–двух осыпных конусов. Общая ширина глетчера достигает 1800 м, площадь — 0,4 км², максимальная толщина — 70 м. Каменный глетчер наползает на задернованную травянисто-кустарничковой растительностью поверхность поймы р. Бургали высотой 2–3 м. Его прямой фронтальный откос крутизной 40–50° и высотой до 70 м свидетельствует о высокой активности. Бровка и подошва фронтального откоса — извилистые, что связано с различной активностью и неодинаковыми скоростями движения отдельных лопастей этого глетчера (см. рис. 4, *в*). Это хорошо отражено в покрове лишайников рода *Rhizocarpon* sp., которые на активных участках фронтального откоса полностью отсутствуют, а на малоподвижных достигают 20–30 см. Данный глетчер сложен угловатым щебнем и крупными глыбами алевролитов, глинистых сланцев и аргиллитов с единичными обломками гранитоидов и туфов. Поверхность слабо наклонена в сторону тальвега р. Бургали, имеет бугристо-ямчатый микрорельеф и разбита множеством разнонаправленных глубоких трещин, в которые погру-

жаются глыбы и щебень. Растительный покров образован единичными куртинами мхов и кустистых лишайников. На экспонируемых обломках проективное покрытие накипных лишайников достигает 80–90%. Особи *Rhizocarpon sp.* достигают предельных размеров (140–150 мм). Сток глетчера № SX-2 происходит из нескольких источников, сливающихся и формирующих в летний период постоянный водоток (см. рис. 4, в).

Морфоклиматические пояса

Пространственный анализ результатов картографирования ледников и каменных глетчеров разных морфодинамических типов позволил установить чёткую морфоклиматическую поясность их распределения в исследуемом регионе (рис. 5). При этом ледники и каменные глетчеры служат индикаторами следующих границ поясов. Рассмотрим их.

Нивально-гляциальный пояс (см. рис. 5, сектор I) приурочен к интервалу 2400–3000 м и простирается выше современной снеговой границы (2407 ± 55 м). Ведущую роль морфогенеза здесь играют современные ледники и снежно-фирновые поля, занимающие большую часть площади. Выступающие над ними вершины и склоны — источники их лавинно-обвально-осыпного питания. Криогенные процессы имеют подчинённое значение, развиваются на свободных ото льда пологих и субгоризонтальных участках, выражены в виде интенсивного морозного дробления и сортировки. Почвенно-растительный покров за исключением редких куртин мхов и лишайников полностью отсутствует.

Гляциально-криогенный пояс (см. рис. 5, сектор II) расположен в пределах 2400–2000 м. В этом интервале находятся область абляции современных ледников, а также пояса позднеловоценовых морен с ядрами метаморфических льдов, активные каровые, присклоновые и при-

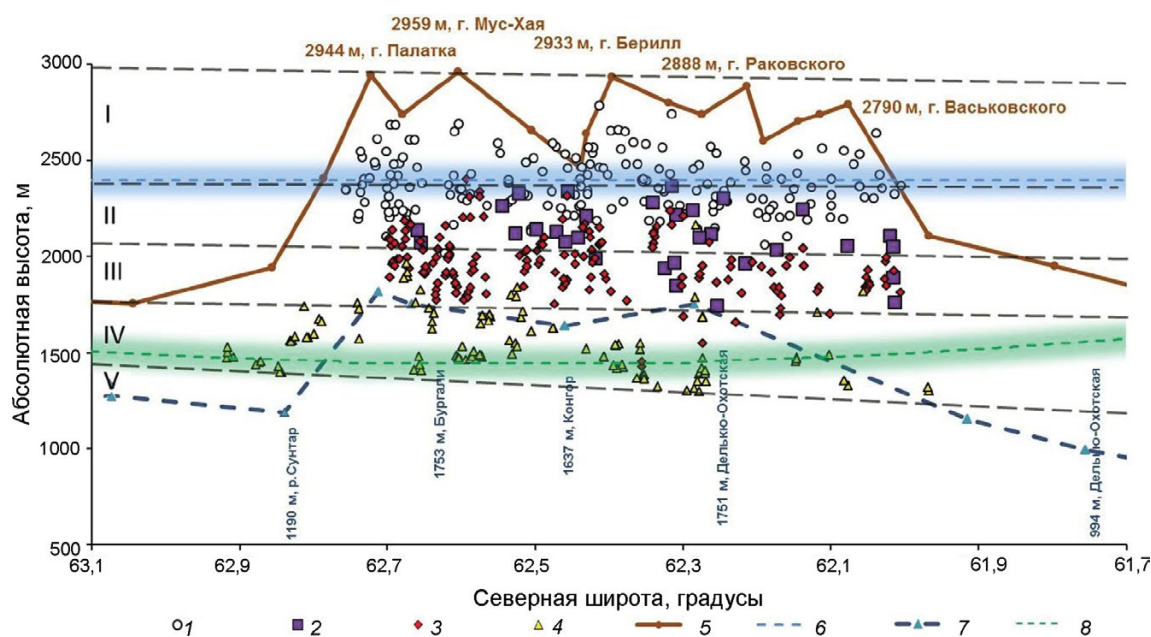


Рис. 5. Морфоклиматическая поясность гляциально-криогенных форм и процессов хр. Сунтар-Хаята.

Морфоклиматические пояса: I — нивально-гляциальный; II — гляциально-криогенный; III — высокогорный криогенный; IV — низкогорный криогенный; V — равнинный криогенный; 1 — ледники; 2–4 — каменные глетчеры: 2 — активные каровые (включая комплексные разновидности); 3 — активные присклоновые (включая эмбриональные, монолопастные и полилопастные); 4 — отмершие присклоновые; 5 — вершинная поверхность; 6 — снеговая линия; 7 — базисная поверхность; 8 — верхняя граница леса

Fig. 5. Morphoclimatic altitudinal zonation of glacial-periglacial forms and processes in the Suntar-Khayata Range. Morphoclimatic altitudinal zones: I — nival-glacial; II — glacial-periglacial; III — high-altitude periglacial; IV — low-altitude periglacial; V — valley periglacial; 1 — glaciers; 2–4 — rock glaciers: 2 — active cirque rock glaciers (including complex forms), 3 — active footslope rock glaciers (including embryonic, single-lobe, and multi-lobe forms); 4 — relict footslope rock glaciers; 5 — top surface; 6 — snow line; 7 — base surface; 8 — tree line

ледниковые каменные глетчеры, а также современные флювиогляциальные конусы. Крутые стенки троговых долин, тримлайны и ледниковые фасетки представляют собой области активного коллювиального сноса. На свободных ото льда пологих участках проявляются эпигенетические криогенные процессы — полигональные грунты, морозная сортировка, мерзлотные медальоны. В тальвегах долин ледниковых водотоков формируются плохо сортированные аллювиальные галечно-валунные отложения. Надпойменные террасы отсутствуют. Почвенно-растительный покров в виде редких травянисто-кустарничковых и мохово-лишайниковых куртин слабо развит на участках высокой поймы, старых пролювиальных конусах и некоторых стабилизировавшихся моренах.

Высокогорный криогенный пояс (см. рис. 5, сектор III) приурочен к интервалу 2000—1700 м. Здесь на крутых склонах U-образных долин, выработанных позднеплейстоценовыми ледниками, активно развиваются обвальнo-осыпные процессы и отложения. Индикаторными морфоскульптурными образованиями в пределах пояса служат присклоновые каменные глетчеры лопастевидного типа, разнообразные по размерам и протяжённости, достигающие мощности 30—40 м и более. Кроме каменных глетчеров широко распространены эпигенетические криогенные процессы и образования — мерзлотные полигоны с разновеликой (фрактальной) структурой, морозное пучение и сортировка. Донные морены в тальвеговой части долин переработаны аллювиальными процессами. За пределами русла и поймы ледниковые отложения и абрадируемые коренные скальные выходы покрыты чехлом вторичного криогенного щебне-глыбового элювия (криогенный реголит) и разбиты полигональными трещинами. У водотоков отчётливо выражена высокая пойма с фрагментарно развитым почвенно-растительным покровом. Кроме травянисто-кустарничковых и мохово-лишайниковых группировок встречаются низкорослые (0,5—1 м) кустарники ивы.

Низкогорный криогенный пояс (см. рис. 5, сектор IV) расположен в интервале высот 1400—1700 м, его нижняя граница маркируется положением современной границы древесной растительности. Пояс приурочен к окраинам хр. Сунтар-Хаята, резко переходящим в его

низкогорное обрамление с цепочками широких впадин. Здесь происходило расширение позднеплейстоценовых выводных ледников, заполнивших моренами и водно-ледниковыми отложениями системы широких впадин. В долинах водотоков появляется первая надпойменная терраса. Криогенные процессы проявляются в широком развитии полигональных структур, эпигенетических жильных льдов, курумов, морозном пучении и сортировке. Почвенно-растительный покров имеет мозаичный характер и представлен различными вариантами травянистых, травянисто-кустарничковых, мохово-лишайниковых тундр с куртинами кустарников ольхи и кедрового стланика. В пределах северной части хр. Сунтар-Хаята (бассейн р. Индигирка) на высотах 1300—1400 м в долинах и на склонах южной экспозиции появляются единичные низкорослые лиственницы и островки лиственничной лесотундры. На высокой пойме водотоков обнаружены небольшие тополевые рощи.

Рельеф западной (бассейн истоков р. Сунтар) и южной (бассейн р. Юдома) частей хребта расчленён более интенсивно и несёт признаки мощного сетчатого оледенения. Днища глубоких троговых долин находятся на отметках 1300—1500 м, а обрамляющие их вершины достигают 2000—2100 м. Широко распространены ледниковые фасетки и крутые обвальнo-осыпные склоны, питающие многочисленные каменные глетчеры разной степени активности. Верхняя граница леса имеет фестончатый характер, глубоко продвигаясь по долинам рек во внутреннюю зону горного хребта до высот 1500—1550 м, где смыкается с поясом присклоновых каменных глетчеров. На поверхности неактивных и отмерших каменных глетчеров наблюдается куртинное зарастание лиственничным редколесьем.

Выводы

Методы дистанционного картографирования и результаты полевых наблюдений впервые позволили установить в пределах хр. Сунтар-Хаята значительное количество каменных глетчеров. Всего было идентифицировано 540 каменных глетчеров. Установлено 47 каровых языковидных и 493 присклоновых лопастевидных каменных глетчера (включая моно- и полилопастные).

Плотность распределения (встречаемость) каменных глетчеров в хр. Сунтар-Хаята составляет 8,4 объектов/100 км². Это — наиболее высокий показатель на северо-востоке Азии. Анализ частотных распределений абсолютных высот каменных глетчеров региона указывает на высотную обусловленность их распределения и связь с морфоклиматической поясностью. Каменные глетчеры встречаются в интервале высот от 1297 до 2402 м над ур. моря. Однако основная часть активных образований приурочена к интервалу 1500–1900 м над ур. моря. Анализ экспозиций вмещающего рельефа и осей движения каменных глетчеров показывает, что они ориентированы преимущественно на северо-восток и северо-запад.

Полевое изучение морфометрических и геоморфологических характеристик глетчеров бассейна р. Бургали позволяет сделать вывод, что каменные глетчеры присклонового типа достигают толщины 30–50 м, имеют полого наклонённую в сторону тальвега поверхность и крутой фронтальный откос. Активные каменные глетчеры присклонового типа обрисовывают борт троговой долины р. Бургали на расстоя-

ние около 8 км от краёв современных ледников. Большинство наиболее крупных объектов сформировались в результате трансформации боковых льдистых морен предыдущего более крупного (раннеголоценового) оледенения. В этом плане присклоновые каменные глетчеры ледникового происхождения могут использоваться при реконструкции границ голоценовых оледенений. Эмбриональные каменные глетчеры разных экспозиций формируются в настоящее время без участия ледников и их морен путём сингенетического промерзания крупных осыпных конусов. Анализ гипсометрического распределения ледников и каменных глетчеров позволил установить несколько морфоклиматических поясов, в каждом из которых имеется специфический набор индикаторных форм и процессов.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 14-05-00435 А.

Acknowledgments. This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant № 14-05-00435 А.

Литература

1. Галанин А.А. Каменные глетчеры: вопросы терминологии и классификации // Вест. СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 4. С. 2–11.
2. Пальгов Н.Н. Наблюдения за движением одного из каменных глетчеров хр. Джунгарского Алатау // Вопросы географии Казахстана. 1957. Вып. 2. С. 195–207.
3. Иверонова М.И. Каменные глетчеры Северного Тянь-Шаня // Тр. Ин-та географии АН СССР. 1950. Т. 45. С. 69–80.
4. Гросвальд М.Г. Каменные глетчеры Восточного Саяна // Природа. 1959. № 2. С. 89–91.
5. Глазовский А.Ф. Каменные глетчеры (состояние проблемы) // Криогенные явления высокогорий. Новосибирск: Наука, 1978. С. 59–72.
6. Замореев В.В. О строении и происхождении каменных глетчеров // Изв. ВГО. 1981. Вып. 6. С. 479–484.
7. Горбунов А.П., Титков С.Н. Каменные глетчеры гор Средней Азии. Якутск: изд. Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, 1989. 164 с.
8. Галанин А.А. Каменные глетчеры Северо-Востока Азии: картографирование и географический анализ // Криосфера Земли. 2009. Т. XIII. № 4. С. 49–61.

References

1. Galanin A.A. Rock glaciers: issues of terminology and classification. *Vestnik Severo-Vostochnogo Nauchnogo Tsentra, DVO RAN*. Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences, Far East Branch. 2010, 4: 2–11. [In Russian].
2. Pal'gov N.N. Movement observations of a rock glacier in the Dzhungar Alatau. *Voprosy Geografii Kazakhstana*. Issues of Kazakhstan's Geography. 1957, 2: 195–207. [In Russian].
3. Iveronova M.I. Rock glaciers in the northern Tien Shan. *Trudy Instituta Geografii AN SSSR*. Transactions of the Institute of Geography of the USSR Academy of Sciences. 1950, 45: 69–80 [In Russian].
4. Grosval'd M.G. Rock glaciers in the eastern Sayan Mountains. *Priroda*. Nature. 1959, 2: 89–91. [In Russian].
5. Glazovskiy A.F. Rock glaciers (state of the knowledge). *Kriogennyye yavleniya vysokogoriy*. Cryogenic phenomena in high mountains. Novosibirsk: Nauka, 1978: 59–72. [In Russian].
6. Zamoriev V.V. On structure and origin of rock glaciers. *Izvestiya VGO*. Proc. of the Russian Geographical Society. 1981, 6: 479–484. [In Russian].
7. Gorbunov A.P., Titkov S.N. *Kamennyye gletchery gor Sredney Azii*. Rock glaciers in the Central Asian Mountains. Yakutsk: Permafrost Institute, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1989: 164 p. [In Russian].
8. Galanin A.A. Rock glaciers of north-eastern Asia: mapping and geographical analysis. *Kriosfera Zemli*. Earth Cryosphere. 2009, XIII (4): 49–61. [In Russian].

9. Галанин А.А., Глушкова О.Ю. Каменные глетчеры Северо-Востока России // МГИ. 2005. Т. 98. С. 30–43.
10. Останин О.В., Дьякова Г.С. Гляциально-мерзлотные каменные образования Центрального Алтая // Изв. Алтайского гос. ун-та. 2013. № 3–2 (79). С. 167–170.
11. Галанин А.А., Оленченко В.В., Христофоров И.И. Новые данные о внутреннем строении, гидрологическом режиме и реологии каменных глетчеров Северного Тянь-Шаня – источников катастрофических ледово-грязекаменных селей // Фундаментальные и прикладные проблемы гидрогеологии. 2015. С. 369–375.
12. Barsch D. Rockglaciers: Indicators for the Present and Former Geocology in High Mountain Environments. Berlin: Springer-Verlag. 1996. 331 p.
13. Некрасов И.А., Гравис Г.Ф. Погребенные ледники хребта Удокан // Геокриологические условия Забайкалья и Прибайкалья. М: Наука, 1967. С. 182–192.
14. Корейша М.М. Современное оледенение хребта Сунтар-Хаята // Результаты исследований по программе Международного геофизического года. Гляциология. 1963. № 11. 169 с.
15. Граве Н.А., Гаврилова М.К., Гравис Г.Ф., Катоносов Е.М., Клюкин Н.К., Корейша М.М., Корнилов Б.А., Чистотинов Л.В. Промерзание земной поверхности и оледенения хребта Сунтар-Хаята (восточная Якутия) // Результаты исследований по программе Международного геофизического года. Гляциология. 1964. № 14. 140 с.
16. Некрасов И.А., Максимов Е.В., Климовский И.В. Последнее оледенение и криолитозона Южного Верхоянья. Якутск: Кн. изд-во, 1973. 151 с.
17. Смирнов В.Н., Галанин А.А., Глушкова О.Ю. Псевдосейсмодислокации в горах Примагаданья // Геоморфология. 2001. № 2. С. 81–92.
18. Галанин А.А., Лыткин В.М., Федоров А.Н., Кадота Т. Сокращение ледников гор Сунтар-Хаята и методические аспекты его оценки // Лёд и Снег. 2013. № 4 (124). С. 30–42.
19. Галанин А.А., Лыткин В.М., Федоров А.Н., Кадота Т. Возраст и размеры последнего ледникового максимума хребта Сунтар-Хаята на основе лихенометрии и теста остаточной прочности // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII. № 2. С. 72–83.
9. Galanin A.A., Glushkova O.Yu. Rock glaciers of north-eastern Russia. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 2005, 98: 30–43. [In Russian].
10. Ostanin O.V., D'yakova G.S. Glacial-periglacial rock features in the central Altay. *Izvestiya Altayskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. Proc. of the Altay State University. 2013, 3–2 (79): 167–170. [In Russian].
11. Galanin A.A., Olenchenko V.V., Khristoforov I.I. New data on internal structure, hydrological regime and rheology of rock glaciers in the northern Tien Shan – sources of catastrophic glacial mudflows. *Fundamental'nye i prikladnye problemy gidrogeologii*. Fundamental and Applied Problems in Hydrogeology. Yakutsk: Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2015: 369–375. [In Russian].
12. Barsch D. Rockglaciers: Indicators for the present and former geocology in high mountain environments. Berlin: Springer-Verlag, 1996: 331 p.
13. Nekrasov I.A., Gravis G.F. Buried glaciers in the Udokan Ridge. *Geokriologicheskie usloviya Zabaikal'ya i Pribaikal'ya*. Geocryological conditions in Trans-Baikal and Pre-Baikal. Moscow, 1967: 182–192. [In Russian].
14. Koreysha M.M. *Sovremennoe oledenenie khrebta Suntar-Khayata*. *Glyatsiologiya* № 11. Modern glaciation in the Suntar-Khayata Range. Glaciology № 11. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1963: 169 p. [In Russian].
15. Grave N.A., Gavrilova M.K., Gravis G.F. et al. *Promerzanie zemnoy poverkhnosti i oledenenie khrebta Suntar-Khayata (vostochnaya Yakutiya)*. *Rezultaty issledovaniy po programme MGG*. *Glyatsiologiya* № 14. Earth surface freezing and glaciations in the Suntar-Khayata Range (eastern Yakutia). Results of investigations as part of the IGY program. Glaciology № 14. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1964: 140 p. [In Russian].
16. Nekrasov I.A., Maksimov E.V., Klimovskiy I.V. *Poslednee oledenenie i kriolitozona Yuzhnogo Verkhoyan'ya*. The last glaciation and permafrost in the southern Verkhoyansk Range. Yakutsk: Knizhnoe izdatel'stvo, 1973: 151 p. [In Russian].
17. Smirnov V.N., Galanin A.A., Glushkova O.Yu., Pakhomov A.Yu. Pseudoseismic dislocations in the near Magadan mountains. *Geomorfologiya*. Geomorphology. 2001, 2: 81–92. [In Russian].
18. Galanin A.A., Lytkin V.M., Fedorov A.N., Kadota T. Recession of glaciers in the Suntar-Khayata Mountains and methodological consideration of its assessment. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2013, 4 (124): 30–42. [In Russian].
19. Galanin A.A., Lytkin V.M., Fedorov A.N., Kadota T. Age and extent of the Last Glacial Maximum in the Suntar-Khayata Range based on lichenometry and Schmidt Hammer Test. *Kriosfera Zemli*. Earth Cryosphere. 2014, XVIII (2): 72–83. [In Russian].