

Китов А.Д.¹, Гладков А.С.², Лунина О.В.³, Плюснин В.М.⁴, Иванов Е.Н.⁵,
Серебряков Е.В.⁶, Афонькин А.М.⁷

ГЕОРАДАРНЫЙ И ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЛЕДНИКОВ ХРЕБТА МУНКУ-САРДЫК (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

АННОТАЦИЯ

Более десяти лет ведется мониторинг нивально-гляциальных образований хребта Мунку-Сардык (Восточный Саян). В результате этих исследований проведена инвентаризация не только ледников, но и каменных глетчеров и наледей этой территории. В результате применения наиболее эффективных и безопасных дистанционных средств для исследования опасных и труднодоступных объектов удалось проследить динамику изменения ледников, а также определить режим формирования наледей. По данным дистанционного зондирования Земли выявлены геометрические (поверхностные) изменения нивально-гляциальных образований. За 115 лет ледник Перетолчина сократился с 0,8 до 0,3 км². Выявлено расчленение ледника и интенсивное бронирование низа языка поверхностными моренами. Другой дистанционный метод, радиолокационное исследование с помощью георадара Око-2, позволил определить, что объем льда этого ледника сократился в 3,7 раза, с 0,026 до 0,007 км³. Более точные георадарные исследования позволили определить, что наибольшая толщина основного ледяного тела составляет 40 м. Учитывая оценку толщины ледника С.П. Перетолчиным в 1908 г. – 85 м, толщина ледяного тела сократилась в два раза. Второй по величине ледник Радде уменьшился с 0,3 до 0,18 км². Кроме того, он разделился на две части. Один основной ледник стекает с вершины Эскадрилья, натекает на ригель и от него поворачивает на север. Второй ледник сильно деградировал. Он ранее представлял дополнительную зону питания. Теперь упирается в этот ригель с образованием небольшого ледникового озера. Бронирование низа ледника также с каждым годом становится интенсивнее.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Восточная Сибирь, хребет Мунку-Сардык, нивально-гляциальные образования, ледник, каменный глетчер, наледь, радиолокационные исследования, дистанционные исследования.

¹ Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, ул. Улан-Баторская, 1, 664033, Иркутск, Россия, *e-mail*: kitov@irigs.irk.ru

² Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, 128, 664033, Иркутск, Россия, *e-mail*: gladkov@crust.irk.ru

³ Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, 128, 664033, Иркутск, Россия, *e-mail*: lounina@crust.irk.ru

⁴ Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, ул. Улан-Баторская, 1, 664033, Иркутск, Россия, *e-mail*: egoryo@bk.ru

⁵ Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, ул. Улан-Баторская, 1, 664033, Иркутск, Россия, *e-mail*: plyusnin@irigs.irk.ru

⁶ Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, 128, 664033, Иркутск, Россия, *e-mail*: serebryakov.e.v@mail.ru

⁷ Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, 128, 664033, Иркутск, Россия, *e-mail*: andrei.afonkin@mail.ru

Aleksandr D. Kitov¹, Andrey S. Gladkov², Oxana V. Lunina³, Viktor M. Plyusnin⁴, Egor N. Ivanov⁵, Evgeniy V. Serebrykov⁶, Andrey M. Afon'kin⁷

GPR AND REMOTE MONITORING OF GLACIERS OF THE RIDGE MUNKU-SARDYK (THE EAST SAYAN)

ABSTRACT

For more than a decade monitoring of the nival-glacial formations of the Munku-Sardyk ridge (Eastern Sayan) has been conducted. As a result of these studies, not only glaciers, but also stone glaciers and icings, of this territory were inventoried. As a result of application of the most effective and safe remote means for research of dangerous and hard-to-reach objects it was succeeded to trace dynamics of change of glaciers, and also to define a mode of formation of ice. According to remote sensing data of the identified geometric (surface) change of nival-glacial formations. For 115 years, Peretolchina glacier decreased from 0.8 to 0.3 km². It was determined the dismemberment of the glacier and an intensive booking of bottom tongue surface moraines. Another remote method, a radar study using the GPR Oko-2, made it possible to determine that the ice volume of this glacier decreased by 3.7 times, from 0.026 to 0.007 km³. More accurate the GPR survey allowed to determine that the greatest thickness of the main ice body is 40 m. Given an estimate of the thickness of the glacier by S.P. Peretolchin in 1908 – 85 m, the thickness of the ice body has been cut in half. The second largest Radde glacier decreased from 0.3 to 0.18 km². In addition, it was divided into two parts. One main glacier flows down from the Eskadrilia top, that accumulates on the Rigel and it turns North. The second glacier is severely degraded. He early represented an additional area of nutrition. Now rests on this Rigel with the formation of a small glacial lake. Booking the bottom of the glacier also becomes more intense every year.

KEYWORDS: The Eastern Siberia, Munku-Sardyk ridge, nival-glacial formations, glacier, stone glacier, icing, radar-tracking researches, remote sensing researches of the Earth.

ВВЕДЕНИЕ

Отмечаемое в настоящее время потепление климата отражается на состоянии современного оледенения в различных горных районах [IPCC, 2007]. Наблюдаются периоды замедления и ускорения потепления и, соответственно, стационарное состояние и даже наступание некоторых ледников в разных горных системах [Котляков и др., 2017]. По дендрохронографическим исследованиям [Suvorov, Kitov, 2017] и анализу озерных отложений [Stepanova et al., 2015] в районе ледника Перетолчина (вершина Мунку-

¹ V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Ulan-Batorskay str., 1, 664033, Irkutsk, Russia, *e-mail:* kitov@irigs.irk.ru

² Institute of the Earth's crust SB RAS, Lermontova str., 128, 664033, Irkutsk, Russia, *e-mail:* gladkov@crust.irk.ru

³ Institute of the Earth's crust SB RAS, Lermontova str., 128, 664033, Irkutsk, Russia, lounina@crust.irk.ru

⁴ V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Ulan-Batorskay str., 1, 664033, Irkutsk, Russia, *e-mail:* egoryo@bk.ru

⁵ V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Ulan-Batorskay str., 1, 664033, Irkutsk, Russia, *e-mail:* plyusnin@irigs.irk.ru

⁶ Institute of the Earth's crust SB RAS, Lermontova str., 128, 664033, Irkutsk, Russia, *e-mail:* serebryakov.e.v@mail.ru

⁷ Institute of the Earth's crust SB RAS, Lermontova str., 128, 664033, Irkutsk, Russia, *e-mail:* andrei.afonkin@mail.ru

Сардык, 3491 м, координаты: 100°35'50" ВД, 51°43'05" СШ) выявляются периоды отступления ледника 1900–1965 и 1983–2000 гг., с одновременным повышением прироста деревьев и скорости осадконакопления, и наступания ледника в 1965–1980 гг., сопровождающегося замедлением прироста деревьев и снижением скорости осадконакопления. Ледники Мунку-Сардык имеют один из продолжительных периодов наблюдения [Kitov et al., 2009], сравнительно доступны и как малые ледники Сибири, лежащие ниже теоретической снеговой линии, могут быть индикаторами изменения климата и прогноза динамики крупных ледников, как обладающие низкой инертностью [Осипов и др., 2017]. Поэтому выявление закономерностей изменения ледников и мониторинг их поведения представляет самостоятельный интерес.

Кроме того, использование современных методов и средств дистанционного исследования труднодоступных и опасных объектов, таких как дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса, аэросъемка и съемка с беспилотных летающих аппаратов, дающих возможность изучать поверхностные геометрические характеристики, а также георадарное зондирование (GPR), позволяющее заглянуть в подповерхностные структуры Земли, обеспечивают изучение объемного состояния ледников. Это важно еще при проявлении такого явления, как более интенсивное уменьшение толщины льда при незначительных площадных изменениях размеров ледника, например, как у ледника Азаровой в Кодаре [Коваленко, 2011], да и у того же ледника Радде. Поэтому измерение толщины ледника в дополнение к определению его поверхностных размеров является определяющим при оценке общего объема горного оледенения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения динамики и инвентаризации современного состояния ледников Мунку-Сардык использованы разномасштабные (с разным пространственным разрешением) космоснимки, полученные со спутников Quick Bird, Pleiades, Landsat-4, -5, -7, -8.

Мониторинг толщины ледника Перетолчина проводится с 2014 г. Георадарное профилирование проводилось с помощью георадара Око-2 с антенным блоком АБДЛ «Тритон» (центральная частота 50 и 100 МГц) с разными параметрами диэлектрической проницаемости и временем ожидания отраженной волны. Постепенно увеличивалась площадь исследования и подбирались оптимальные параметры. Впервые в 2014 г. (середина июня) профилирование проводилось в нижней части ледника по 4-м поперечным и 5-ти продольным профилям на частоте 50 МГц. В 2016 г. (конец апреля – май) было выполнено 8 поперечных и 1 продольный профиль по нижнему моренному комплексу, на площади в 3 раза большей, чем в 2014 г. [Китов и др., 2017] на частоте 100 МГц. В 2017 г. (конец апреля – май) профилирование выполнялось с более высокой отметки на леднике (ок. 3040 м), поперечные профили захватывали полную ширину ледника. Было пройдено 7 поперечных и 6 продольных профилей. Профилирование выполнялось, как и в 2016 г. сверху вниз, но был изменен режим зондирования, так как в первом случае не удалось отбить ложе ледника на первых (более высоких на леднике) профилях.

Кроме того, проводилось профилирование ледникового оз. Эхой по двум перекрестным диаметрам, а не радиальным, как 2016 г. была исследована Большая Мугувекская наледь и уникальный для этой местности каменно-ледовый поток.

Навигационная информация собиралась с помощью портативных GPS-приемник Garmin GPSmap-76Csx и GPSmap-64st. Запись приемником велась в формате WGS-84 десятичных градусов.

Обработка георадиолокационных разрезов проводилась в программе «GeoScan-32» в несколько приемов. Первоначально к радарограммам подбирались подходящие значения

усиления сигналов, яркости и контрастности. Затем использовались стандартные режимы обработки [Китов и др., 2017].

Изменения площади ледника анализировались путем сопоставления разновременных космических снимков Ландсат с разрешением 15–30 м/пиксел 1994–2017 гг. (сцены: Ландсат-4, 1994.07.13; Ландсат-5, 1998.08.25, 2000.08.06; Ландсат-7, 2001.08.09, 2002.08.12, 2007.08.11, 2010.07.17; Ландсат-8, 2015.08.08, 2016.07.25, 2017.07.29). Границы ледника в 2006 г. уточнялись по снимку QuickBird с разрешением 0,6 м/пиксел и в 2013 г. по Pleiades (2013.07.13) с разрешением 2,5 м. Снимки были привязаны к топографической карте масштаба 1:100 000 и приведены в единую проекцию Пулково-1942 WGS-84, зона 17. Дешифрирование и векторизация границ ледника проводилось в ручном режиме RGB-синтезированных снимков каналы 2-4-7 для Ландсат-7 и 3-5-7 для Ландсат-8. Все измерения проводились в программе ArcViewGIS-3.2a. Учитывая разрешение снимков 15 м/пиксель, систематическая погрешность определения площади ледника оценивается в 0,12 км² или 5 % от измеряемой величины.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика размеров ледника Перетолчина по данным космосъемки представлена в табл., рис. 1.

Динамика ледника Перетолчина за 115 лет
Dynamics of the Peretolchina Glacier for 115 years

Вид данных	Год съемки	Площадь, км ²	Периметр, км	Длина, км
Реконструкция	1900	0,82	4,32	1,47
Каталог	1950	0,7		1,1
Топокарта	1960	0,49	2,91	1,01
Ландсат-4	1994	0,47	3,37	1,00
Ландсат-5	1998	0,47	3,07	1,06
Ландсат-5	2000	0,40	3,87	0,94
Ландсат-7	2001	0,41	4,07	0,93
Ландсат-7	2002	0,41	3,49	0,91
Quick Bird	2006	0,31	5,81	0,90
Ландсат-7	2007	0,34	4,10	0,86
Ландсат-7	2010	0,33	4,00	0,90
Ландсат-8	2015	0,33	3,74	0,86
Ландсат-8	2016	0,30	4,09	0,81
Ландсат-8	2017	0,29	4,31	0,81

Графа «Вид данных» представляет использованный источник данных для определения характеристик ледника. Реконструкция границ ледника получена наложением схемы С.П. Перетолчина [Перетолчин, 1908] на данные ДЗЗ Quick Bird и уточнения границ по современным моренным комплексам. Данные по каталогу ледников [Каталог..., 1973] формировались по аэросъемке в 1950-х гг. В 1960-е гг. характеристики определены по топографической карте соответствующего года издания. В последующие годы площадь и длина ледника определялись в основном по данным ДЗЗ Ландсат.

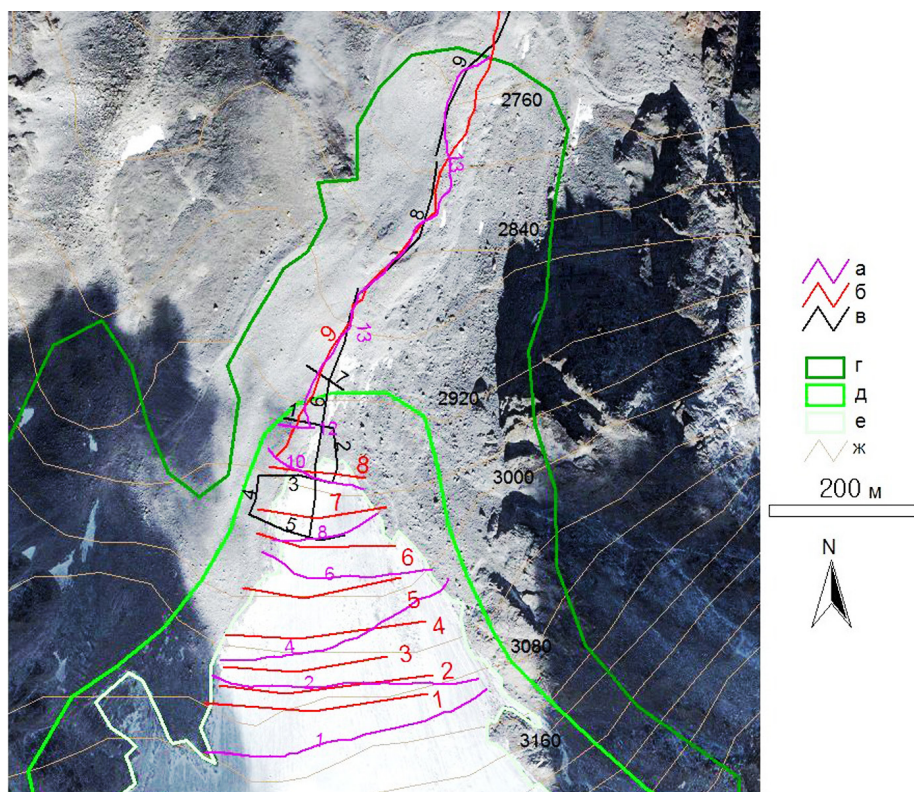


Рис. 1. Динамика ледника Перетолчина и профили георадарного исследования: а – профили 2017 г. (на видимой части ледника показаны только поперечные профили); б – 2016 г., в – 2014 г. (подписи соответствующего цвета линиям, 1–13 – номера профилей); г, д, е – стадии открытой нижней части ледника соответственно в 1900, 1960 и 2006 гг.; ж – линии рельефа с обозначением высоты через 80 м

Fig. 1. Dynamics of the Peretolchina Glacier and georadar research profiles: а – 2017 (the visible portion of the glacier is showing only transverse sections); б – 2016, в – 2014 (the signature of the corresponding color lines, 1–13 – number profiles); г, д, е – stage, open the bottom of the glacier, respectively, in 1900, 1960 and 2006; ж – line relief with the designation of height through 80 m

При георадарном профилировании в 2017 г. удалось получить профиль ложа основной ледовой массы в месте, где толщина должна быть близкой к максимальной. На тех участках, выше и ниже зоны поперечного профилирования, толщина ледника определялась по моделям, с оптимальными параметрами для данного типа ледника [Китов и др., 2017]. Некоторые профили пространственно совпали, например, профили всех лет № 3, 8, 10 в 2014, 2016 и 2017 гг., или в наиболее высоком месте профили № 2 в 2016 и 2017 гг. (см. рис. 1). Для профилей № 2 радарограммы частично перекрываются (рис. 2).

Верхние части профилей соответствуют трекам на поверхности ледника. В 2016 г. при установленных параметрах ожидания отраженной волны не удалось определить максимальную глубину (глубина зондирования 23 м), поэтому ложе реконструировалось по эллиптической модели (макс. глубина 37 м). Однако видно (см. рис. 2), что реальный профиль значительно отличается. Также видно, что ледник шире, а там, где кончается профиль 2016 г. есть выступ коренных пород, способствующий образованию моренного гребня, выходящего к фирну (1), а истинный край ледника, лежащий на коренных породах, в конце профиля 2017 г. Максимальная глубина льда (2) – 38 м (по профилю 2017 г.) получилась смещенной к западу от осевой линии. Общая площадь сечения 2017 г. больше из-за большей ширины, чем в 2016 г. В тоже время, благодаря выявленным донным структурам (3), максимальная глубина сечения достигает 47 м.

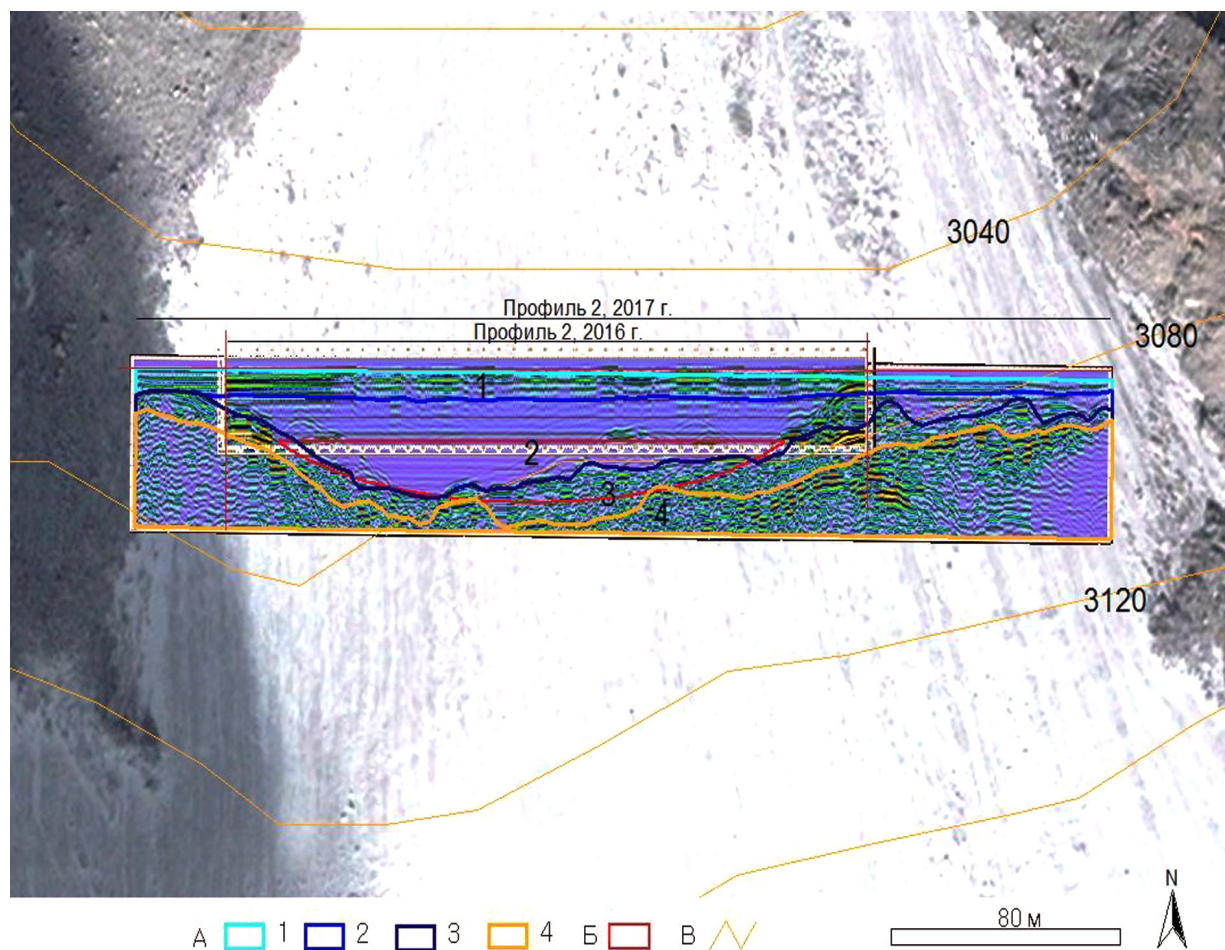


Рис. 2. Радарограммы исследований 2016 и 2017 гг.:

А – структуры сечения ледника по профилю 2017 г.: 1 – фирн; 2 – лед (темно-синим выделено ложе ледника основного ледяного тела; 3 – донные моренные отложения; 4 – мерзлые породы, возможно, частично разрушенные и со льдом; Б – реконструированное ложе ледника по эллиптической модели для профиля 2016 г.; В – линии рельефа с отметками высот. Фон – космоснимок Quick Bird 2006 г.

Fig. 2. Radarogrammy research 2016 and 2017 years:

А – structure section of the glacier in 2017: 1 – firn; 2 – ice (dark blue highlighted the main glacier ice bed body; 3 – bottom moraine sediments; 4 – frozen rocks may partially destroyed and with ice; Б – re-constructed lodge glacier on the elliptical model for 2016 profile; В – in-line relief with marks heights. Background – satellite image Quick Bird, 2006

Обследование ледника Радде по дистанционным данным и наземным замеркам показало, что ледник сократился значительно по толщине, чем по площади, и активно бронируется поверхностными моренами (рис. 3).

По С.П. Перетолчину и Каталогу ледников СССР площадь ледника Радде была 0,3 км², а максимальная длина 0,6 км (эти же цифры соответствуют открытой части ледника). По данным топокарты 1960 г. площадь и длина соответственно 0,3 км² и 0,9 км. По данным ДЗЗ в 2006 г. его площадь и длина открытой части сократилась до 0,2 км² и 0,8 км, в 2010 г. до 0,18 км² и 0,8 км, хотя общая площадь ледника с поверхностными моренами осталась прежней. В настоящее время (2017 г.) площадь основной открытой части – 0,06 км², а с нижней бронированной – 0,11 км², длина соответственно – 0,5 км и общая – 0,8 км. Площадь отделившейся деградированной части – 0,048 км², а длина – 0,34 км. Общая площадь льда в цирке – 0,16 км².

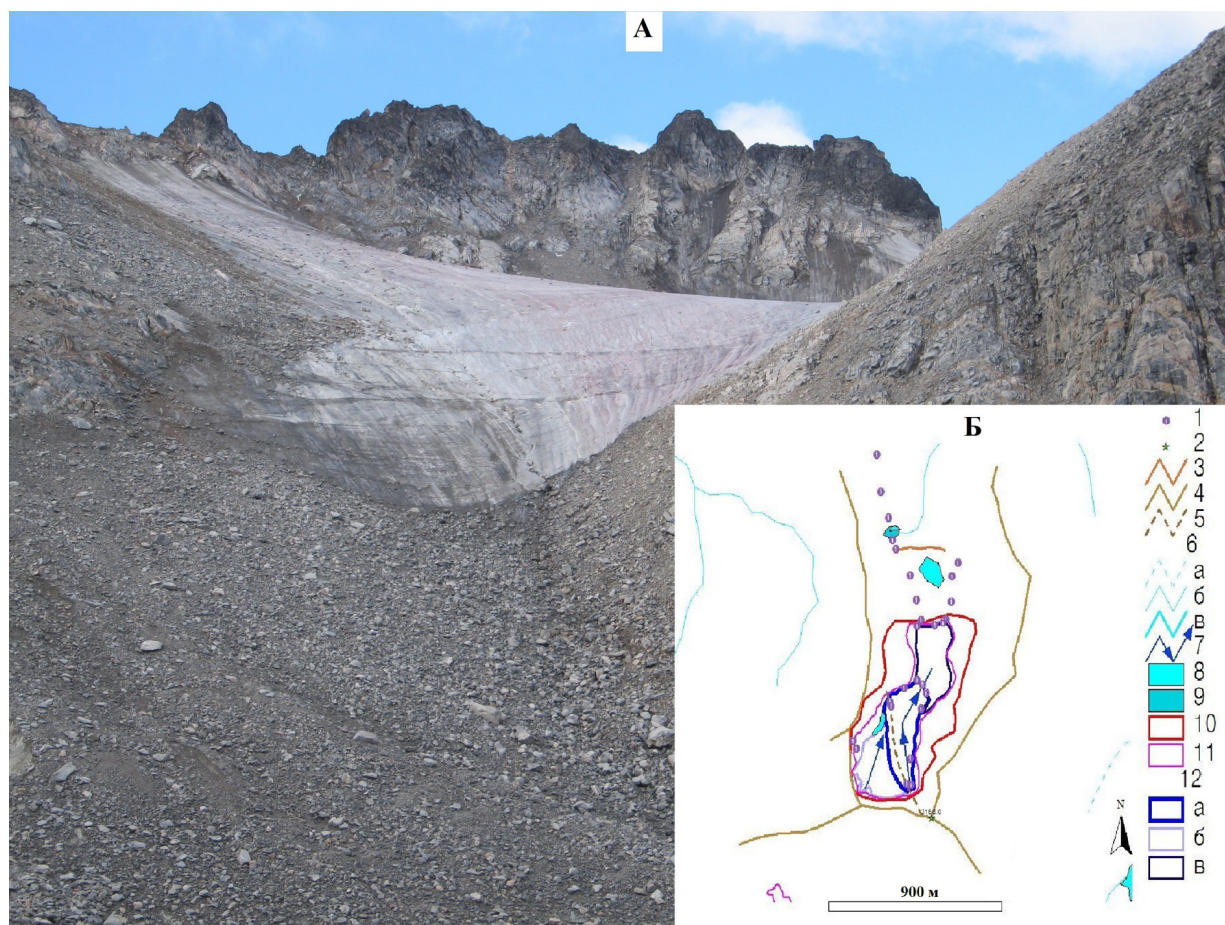


Рис. 3. Ледник Радде: А – общий вид основного ледника и нижней бронированной части, на дальнем плане на склоне деградировавшая часть ледника;

Б – схема ледника по данным ДЗЗ:

1 – пикеты по трассе обследования; 2 – вершина Эскадрилья, 3168 м; 3 – ригель края современного моренного комплекса; 4 – линии хребтов; 5 – ригель под верхней частью основного ледника; 6 – гидро-сеть (а, б, в – ручьи и реки разной величины); 7 – направление течения льда; 8 – образовавшееся в 2017 г. оз. Провальное в современном моренном комплексе и оз. Радде на леднике; 9 – ледниковое оз. Верхнее (исток р. Белый Иркут); 10 – границы ледника в 1960-е гг.; 11 – современные границы по данным ДЗЗ 2006 г.; 12 – современные структуры ледника: а – основная открытая часть; б – деградировавшая часть с озером у ригеля основной части; в – бронированная нижняя часть основного ледника

Fig. 3. Radde glacier: А – general view of the main glacier and lower armored parts for background on the slope of the degraded part of the glacier; Б – diagram of the glacier on Earth remote sensing data:

1 – pickets along the track; 2 – top Eskadrilia, 3168 m; 3 – Rigel edges of modern morainic complex; 4 – line ranges; 5 – Rigel under the top part of the main glacier; 6 – river system (a, б, в – streams and rivers of various sizes); 7 – ice flow direction; 8 – the new Lake Failure of the morainic complex, formed in 2017, and the Lake Radde on the glacier; 9 – glacial Lake Verkhnee (source r. Belyi Irkut); 10 – border glacier in 1960-ies; 11 – modern boundaries according to satellite image, 2006; 12 – the modern structure of the glacier: a – the main open part; б – the degraded part with the Lake from the main part of the Rigel; в – the lower armored part of the main glacier

Исследования ледника Радде выявили его особенности. Фактически там два ледника – один упирается в другой, образуя наверху в цирке углубление и подпрудное озеро (оз. Радде). Основной ледник, спускаясь с вершины Эскадрилья в северо-западном направлении, а затем в средней части почти на 90 градусов поворачивает к северу и круто спускается. В отличие от наблюдений с соседних хребтов (казалось, что он пологий на верхнем участке),

он оказался довольно крутой, и перемещение по нему без кошек было бы невозможно. Вероятно, ледник лежит на ригеле, по которому стекает с вершины, а затем поворачивает и течет вниз. В юго-западном направлении он образует крутой сброс. Другой ледник стекает с северного, северо-западного склона цирка и упирается нижней частью с разреженными поверхностными моренами в основной ледник (покрытый льдом ригель), образуя в самой нижней части оз. Радде, покрытое тонким льдом с плавающими кусками фирна, сорвавшимися с основного ледника (фактически – озеро на леднике). При наблюдении с основного ледника казалось, что упирающийся в него ледник объемный в верхней части, но при подъеме на хребет выяснилось, что это почти стаявший присклоновый (пристенный) ледник.

По сравнению с прошлым годом основной ледник существенно деградировал, просел в нижней части языка и еще больше забронировался поверхностными моренами. Кроме того, в моренном поле конечных морен, упирающемся в разрушенный скальный ригель, образовалось значительных размеров оз. Провальное. Так что ледник Радде теперь имеет три озера – наверху на самом леднике (оз. Радде), внизу на современных конечных моренах (оз. Провальное) и ледниковое небольшое озеро (оз. Верхнее) за конечными моренами у пер. 26-го Партсъезда (см. рис. 3, Б).

Следует отметить, что в 2017 г. зафиксировано наибольшее стаивание ледников массива. Фактически не сохранились многолетние снежники, большая их часть перешла в стадию сезонных.

ВЫВОДЫ

Использование дистанционных средств наземного, воздушного и космического базирования позволяет оперативно отслеживать изменения нивально-гляциальных образований в пространстве на поверхности Земли и в ее толще. Для этого применяются приборы на принципах электромагнитного излучения в большом диапазоне длин волн. Наиболее востребованы для мониторинга ледников данные ДЗЗ Ландсат, а для исследования толщи ледников (толщины льда, внутренней структуры) георадар Око-2 с антенным блоком АБДЛ «Тритон». Площадь и толщина основных ледников горного массива Мунку-Сардык постоянно уменьшается. За 115 лет наблюдения площадь ледника Перетолчина уменьшилась с 0,82 до 0,29 км², а его толщина на 50 м, и соответственно объем в 3,7 раза. Площадь открытой части ледника Радде уменьшилась за 65 лет с 0,3 до 0,06 км², хотя общая площадь с учетом всех его составляющих уменьшилась до 0,2 км². Для дальнейшего подповерхностного исследования необходимо варьирование параметрами георадара. Также планируется георадарное профилирование ледника Радде.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено по программе ФНИ «Геоинформационное картографирование и математическое моделирование географической среды в условиях глобализации и воздействия на природные и социально-экономические процессы в Сибири и на сопредельных территориях»; при поддержке гранта РФФИ 16-05-00902А «Механизмы самоорганизации геосистем Прибайкалья».

ACKNOWLEDGEMENTS

Study on program FSI "Geoinformation mapping and mathematical modelling of geographic Wednesday in the context of globalization and the impact on the natural and socio-economic processes in Siberia and adjacent territories"; supported by grant 16-05-00902 "Mechanisms of self-organization of Geosystems of Baikal".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каталог ледников СССР. Т. 16, Вып. 1. Ч. 3–5; Вып. 2. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 64 с.
2. *Kitov A.D., Gladkov A.S., Lunina O.V., Plyusnin V.M., Ivanov E.N., Serebryakov E.V., Afon'kin A.M.* Изменения мощности ледника Перетолчина (Восточный Саян) // Материалы Междунар. конф. «ИнтерКарто/ИнтерГИС». 2017. 1 (23). С. 405–417. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-405-417.
3. *Коваленко Н.В.* Режим и эволюция малых форм оледенения. М.: МАКС Пресс, 2011. 240 с.
4. *Котляков В.М., Чернова Л.П., Муравьев А.Я., Хромова Т.Е., Зверкова Н.М.* Изменение горных ледников в Северном и Южном полушариях за последние 160 лет // Лёд и Снег. 2017. Т. 57, № 4. С. 453–467. DOI: 10.15356/2076-6734-2017-4-453-467.
5. *Осипов Э.Ю., Осипова О.П., Клевцов Е.В.* Инвентаризация ледников Восточного Саяна по материалам космических съемок // Лёд и Снег. 2017. Т. 57, № 4. С. 483–497. DOI: 10.15356/2076-6734-2017-4-483-497.
6. *Перетолчин С.П.* Ледники хребта Мунку-Сардык // Изв. Томского техн. ин-та. Т. 9. Томск: Типолитография Сиб. т-ва печатного дела, 1908. 60 с.
7. *IPCC. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Ed. By S. Solomon, D. Qin, M. Manning et al. Cambridge; N.Y., Intergovern. Panel on Climate Change. 2007. 996 p.*
8. *Kitov A.D., Kovalenko S.N., Plyusnin V.M.* The results of 100-year-long observations of the glacial geosystem dynamics in the Munku-Sardyk massif. *Geography and natural resources.* 2009. V. 30, No 3. P. 272–278. DOI: 10.1016/j.gnr.2009.09.012.
9. *Stepanova O.G., Trunova V.A., Sidorina A.V., Zvereva V.V., Melgunov M.S., Petrovskii S.K., Krapivina S.M., Fedotov A.P., Rakshun Ya.V.* Investigating Bottom Sediments from Proglacial Lake Ehoy (Eastern Sayan Ridge) by Means of SR-XRF // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics.* 2015. V. 79, No 1. Allerton Press, Inc. 2015. P. 118–121.
10. *Suvorov A.G., Kitov A.D.* Variability in Natural Conditions of the Periglacial Zone of the Munku-Sardyk Massif (Eastern Sayan) // *Geography and Natural Resources.* 2017. V. 38, No 1. P. 101–110. DOI: 10.1134/S1875372817010139.

REFERENCES

1. *IPCC. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ed. By S. Solomon, D. Qin, M. Manning et al. Cambridge; N.Y., Intergovern. Panel on Climate Change, 2007. 996 p.*
2. *Katalog lednikov SSSR. USSR Glacier Inventory. V. 16. Is. 1. Pt. 3–5. Is. 2. Pt. 1. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1973. 64 p. (in Russian).*
3. *Kitov A.D., Gladkov A.S., Lunina O.V., Plyusnin V.M., Ivanov E.N., Serebryakov E.V., Afon'kin A.M.* Changes in thickness of Peretolchin glacier (Eastern Sayan). *Proceedings of the International conference "InterCarto/InterGIS".* 2017. 1 (23). P. 405–417 (in Russian). DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-405-417.
4. *Kitov A.D., Kovalenko S.N., Plyusnin V.M.* The results of 100-year-long observations of the glacial geosystem dynamics in the Munku-Sardyk massif. *Geography and natural resources.* 2009. V. 30, No 3. P. 272–278. DOI: 10.1016/j.gnr.2009.09.012.
5. *Kotlyakov V.M., Chernova L.P., Murav'yov A.Ya., Khromova T.E., Zverkova N.M.* Changes of mountain glaciers in the Northern and Southern Hemispheres over the past 160 years. *Ice and Snow.* 2017. V. 57, No 4 P. 453–467 (in Russian). DOI: 10.15356/2076-6734-2017-4-453-467.

6. *Kovalenko N.V.* Mode and the evolution of small forms of glaciation. Moscow: MAKS Press, 2011. 240 p. (in Russian).
7. *Osipov E.Y., Osipova O.P., Klevtsov E.V.* Inventory of glaciers in the Eastern Sayan on the basis of space surveys. *Ice and Snow*. 2017. V. 57, No 4. P. 483–497 (in Russian). DOI: 10.15356/2076-6734-2017-4-483-497.
8. *Peretolchin S.P.* Ledniki hrebta Munku-Sardyk [Glaciers of the Munku-Sardyk Range], *Izv. Tomsk. tekhn. in-ta*, T. 9. Tomsk: Tipolitografiya Sib. t-va pechatnogo dela, 1908. 60 p. (in Russian).
9. *Stepanova O.G., Trunova V.A., Sidorina A.V., Zvereva V.V., Melgunov M.S., Petrovskii S.K., Krapivina S.M., Fedotov A.P., Rakshun Ya.V.* Investigating Bottom Sediments from Proglacial Lake Ehoy (Eastern Sayan Ridge) by Means of SR-XRF. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics*. 2015. V. 79, No 1. Allerton Press, Inc., 2015. P. 118–121. DOI: 10.3103/S1062873815010311.
10. *Suvorov A.G., Kitov A.D.* Variability in Natural Conditions of the Periglacial Zone of the Munku-Sardyk Massif (Eastern Sayan). *Geography and Natural Resources*. 2017. V. 38, No 1. P. 101–110. DOI: 10.1134/S1875372817010139.