УДК: 551.321.61

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-275-285

А.Д. Китов¹, И.А. Денисенко², О.В. Лунина³, А.С. Гладков⁴, В.М. Плюснин⁵, Е.Н. Иванов⁶

ДИСТАНЦИОННОЕ И ГЕОРАДАРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕДНИКА РАДДЕ ХРЕБТА МУНКУ-САРДЫК (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

АННОТАЦИЯ

Описание и изучение ледников хребта Мунку-Сардык (Восточный Саян) ведутся более 100 лет. Наиболее детально изучался первый по величине ледник Перетолчина. Второй по величине ледник Радде изучен значительно слабее. Мониторинг поверхностных характеристик ледника Радде наземными методами и с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) ведётся с 2006 г. В 2018 г. впервые было выполнено георадарное профилирование этого ледника. В результате удалось не только уточнить его поверхностные характеристики, но и оценить мощность льда и внутреннюю структуру (слой фирна, лёд, ложе). По данным ДЗЗ выявлены его геометрические изменения. Почти за 120 лет открытая часть ледника Радде сократилась с 0,4 до 0,09 км², а длина — с 1 до 0,4 км. Также выявлено разделение ледника на две части и интенсивное бронирование низа основной части языка поверхностными моренами и образование ледникового озера на самом леднике в нижней части второй его половины. Радиолокационное исследование с помощью георадара Око-2 позволило определить объём льда этого ледника — 0,003 км³ и наибольшую толщину основного ледяного тела — 42 м. Основной ледник стекает с вершины Эскадрилья (3168 м) на север, натекает на ригель, от него поворачивает на северо-восток и в нижней части кара снова продолжает течь на север.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Восточная Сибирь, нивально-гляциальные образования, ледник, радиолокационные исследования, дистанционные исследования

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

² Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, д. 128, 664033, Иркутск, Россия;

e-mail: denisenkoivan.1994@mail.ru

³ Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, д. 128, 664033, Иркутск, Россия;

e-mail: lounina@crust.irk.ru

⁴ Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, д. 128, 664033, Иркутск, Россия;

e-mail: gladkov@crust.irk.ru

⁵ Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, ул. Улан-Баторская, д. 1, 664033, Иркутск, Россия; *e-mail*: **egoryo@bk.ru**

⁶ Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, ул. Улан-Баторская, д. 1, 664033, Иркутск, Россия; *e-mail*: **plyusnin@irigs.irk.ru**

Aleksandr D. Kitov¹, Ivan A. Denisenko², Oxana V. Lunina³, Andrey S. Gladkov⁴, Viktor M. Plyusnin⁵, Egor N. Ivanov⁶

REMOTE SENSING AND GPR STUDY OF THE RADDE GLACIER OF THE RIDGE MUNKU-SARDYK (THE EAST SAYAN)

ABSTRACT

The Munku-Sardyk (Eastern Sayan) glacier has been described and studied for more than 100 years. The first largest glacier of Peretolchina was studied in the most detailed detail. Radde's second-largest glacier is much weaker. Monitoring of surface characteristics of the Radde glacier by ground methods and using data of remote sensing of the Earth (RSE) has been carried out since 2006. In 2018, georadar profiling of this glacier was performed for the first time. As a result, it was possible not only to clarify its surface characteristics, but also to assess the power of the ice and the internal structure (a layer of firn, ice, bed). According to the RSE, its geometric changes have been revealed. Over 120 years, the open part of the Radde Glacier has shrunk from 0.4 to 0.09 km², and the length from 1 to 0.4 km. It also revealed the division of the glacier into two parts and the intensive reservation of the bottom of the main part of the tongue by surface moraines and the formation of a glacial lake on the glacier itself in the lower part of the second half. Radar research using the Oko-2 georadar, allowed to determine the volume of ice of this glacier 0.003 km³ and the greatest thickness of the main ice body 42 m. The main glacier flows down from the Eskadriliy top, 3168 m, to the north, flows on the cross-bar and from it turns to the northeast, and at the bottom of the kar will continue to flow north again.

KEYWORDS: The Eastern Siberia, glacier, icing, radar-tracking researches, remote sensing researches of the Earth

введение

Современное оледенение в различных горных районах заметно реагирует на происходящее в настоящее время потепление климата [IPCC, 2007]. Различные ледники неодинаково отражают эти изменения; иногда наблюдаются периоды стационарного состояния и даже наступания некоторых ледников в разных горных системах [*Котляков и др.*, 2017; *Осипов и др.*, 2017]⁷. Малые ледники Сибири оперативнее откликаются на колебания климата и поэтому могут служить своеобразным индикатором. В районе самой высокой вершины Восточных Саян (Мунку-Сардык, 3 491 м, координаты: 100°35'50" в.д., 51°43'05" с.ш.) наиболее длительно (в т.ч. авторами) наблюдаются два ледника: Перетолчина (наибольший) и Радде (второй по величине) [*Перетолчин*, 1908] (рис. 1). Эти

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

² Institute of the Earth's Crust SB RAS, Lermontov str., 128, 664033, Irkutsk, Russia;

e-mail: denisenkoivan.1994@mail.ru

³ Institute of the Earth's crust SB RAS, Lermontov str., 128, 664033, Irkutsk, Russia;

e-mail: lounina@crust.irk.ru

⁴ Institute of the Earth's crust SB RAS, Lermontov str., 128, 664033, Irkutsk, Russia; *e-mail*: **gladkov@crust.irk.ru**

⁵ V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Ulan-Batorskaya str., 1, 664033, Irkutsk, Russia;

e-mail: plyusnin@irigs.irk.ru

⁶ V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Ulan-Batorskaya str., 1, 664033, Irkutsk, Russia;

e-mail: egoryo@bk.ru

⁷ Данные вопросы рассмотрены также в работе *Kitov A.D., Kovalenko S.N., Plyusnin V.M.* The results of 100year-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

ледники в основном исследовались наземными средствами, а с середины прошлого столетия с использованием данных ДЗЗ (аэросъёмка и космосъёмка) [*Осипов и др.*, 2017]. Однако, несмотря на всю ценность таких исследований (мониторинг геометрических характеристик ледников и составляющих их частей), интерес представляет измерение толщины льда, оценка объёма льда, а также изучение внутренней структуры ледяной толщи.

Средством, позволяющим заглянуть в подповерхностные структуры Земли, является георадарное зондирование (GPR). Эти исследования важны при изучении 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 отслеживания его поверхностных размеров является определяющим при оценке общего объёма горного оледенения.



Рис. 1. Район исследования: 1 — район исследования массив Мунку-Сардык; 2 — координатная сетка; 3 — реки; 4 — озёра; 5 — города; 6 — государственные границы Fig. 1. Area of study: 1 — Area study is the Munku-Sardyk massif; 2 — coordinate grid; 3 — rivers; 4 — lakes; 5 — cities; 6 — state borders

Кроме того, ледник может пересекать активные разломы, что наряду с другими факторами проявляется трещинами, бергшрундом на леднике, изменением направления течения льда и др. Ледник Радде при его исследовании оказался довольно сложным. В настоящее время это сдвоенный ледник — один, существенно деградировавший, упирается в основной поток льда (натекающий на ригель, или скальный уступ). В нижней части понижения перед ригелем образовалось ледниковое озеро (фактически на самом леднике). Сток этого озера определяется, вероятно, разломом. От разлома основной ледник почти под 45° делает изгиб на северо-восток и далее в нижней части продолжает течение на север. Конечный моренный комплекс основного ледника не однозначен. Этот ледник не имеет большого ледникового озера. На моренном комплексе перед полуразрушенным ригелем или крупнообломочной конечной мореной образуется сезонное озеро, а постоянное небольшое озерцо находится непосредственно за этой поперечной мореной. Анализ данных георадарного профилирования даёт материал на построение ряда гипотез и понимания строения этого и других ледников массива Мунку-Сардык.

Данная работа представляет продолжение исследований по определению мощности ледников горного массива Мунку-Сардык георадарными методами [Китов и др., 2017].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

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.

Георадарное профилирование ледника Радде впервые проведено в 2018 г. с помощью георадара Око-2 с антенным блоком АБДЛ «Тритон» (центральная частота 100 МГц) с диэлектрической проницаемостью 3,2 и дистанцией ожидания отражённой волны 120 м.

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

Обработка георадиолокационных разрезов проводилась в программе «GeoScan-32» в несколько приёмов. Первоначально к радарограммам подбирались необходимые значения усиления сигналов, яркости и контрастности. Затем использовались стандартные режимы обработки.

Изменения площади ледника анализировались путём сопоставления разновременных космических снимков Ландсат с разрешением 15-30 м/пиксел 1994-2018 гг. (сцены: Ландсат 4, 13.07.1994; Ландсат 5, 25.08.1998, 06.08.2000; Ландсат 7, 09.08.2001, 12.08.2002, 11.08.2007, 17.07.2010; Ландсат 8, 08.08.2015, 25.07.2016, 29.07.2017, 17.08.2018). Границы ледника в 2006 г. уточнялись по снимку Quick Bird с разрешением 0,6 м/пиксел и в 2013 г. по Pleiades (13.07.2013) 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 проводились в ручном режиме RGB-синтезированных снимков каналы 2-4-7 для Ландсат 7 и 3-5-7 для Ландсат 8. Все измерения выполнялись 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 ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика размеров ледника Радде по данным космосъёмки представлена в табл. 1.

Вид данных*	Год съёмки	Площадь, км ²	Длина, км
Реконструкция	1906	0,43	1,0
Каталог ледников СССР	1950	0,30	0,6
Топокарта	1960	0,38	0,8
Ландсат 5	2000	0,19	0,7
Quick Bird	2006	0,2	0,8
Ландсат 7	2010	0,18	0,7
Ландсат 8	2014	0,2	0,7
Ландсат-8	2015	0,1	0,5
Ландсат-8	2017	0,1	0,45
Ландсат-8	2018	0,09	0,43

Табл. 1. Динамика ледника Радде за 112 лет Table 1. Dynamics of the Peretolchina Glacier for 112 years

*Графа «Вид данных» представляет использованный источник данных для определения характеристик ледника. Реконструкция границ ледника выполнена по данным ДЗЗ Quick Bird с уточнением границ по современным моренным комплексам. Данные по каталогу ледников СССР [Каталог..., 1973] формировались по аэросъёмке в 1950-х гг. В 1960-х гг. характеристики определены по топографической карте соответствующего года издания. В последующие годы площадь и длина ледника определялись в основном по данным ДЗЗ Ландсат.

Обследование ледника Радде по дистанционным данным и наземным заверкам показало, что ледник сократился значительнее по толщине, чем по площади, и активно бронируется поверхностными моренами; по сравнению с 1900 г. его вид существенно изменился, часть притоков исчезла (рис. 2).



Рис. 2. Вид ледника Радде во времена С.П. Перетолчина (слева) и в настоящее время. На снимке С.П. Перетолчина перед ледником видна конечная поперечная морена. Современный снимок сделан с этой морены.

I— основной ледник; II— деградировавшая часть ледника;

III — бывший основной приток ледника, стаявший в настоящее время

Fig. 2. A view of the Radde glacier, photo of S.P. Peretolchin (left) and the modern picture. In the picture of S.P. Peretolchin in front of the glacier is visible the final transverse moraine.

The modern picture was taken from this moraine.

I - the main glacier; II - the degraded part of the glacier;

III — the former main influx of the glacier, which has already melted by now

По С.П. Перетолчину [1908] и Каталогу ледников СССР [1973], 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 0,4 км² и 0,8 км. По данным ДЗЗ, в 2006 г. его площадь открытой части сократилась до 0,2 км², а длина практически не изменилась, в 2010 г. площадь и длина уменьшились до 0,18 км² и 0,7 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. В 2018 г. суммарная площадь открытой части составила 0,0094 км², а длина 0,43 м.



Рис. 3. Строение ледника Радде.

I — основной поток ледника; II — редуцированный ледник, упирающийся в основной поток; III — остаток от бывшего притока ледника. 1 — главные вершины; 2 — линии хребтов; 3 — сток с ледника; 4 — озёра (береговая линия); 5 — основное тело ледника, где измерялась толщина льда; 6 — верхний участок основного ледника; 7 — боковой западный участок (ледяной обрыв к леднику II); 8 — нижний участок основного ледника (открытая часть); 9 — участок основного ледника бронированный поверхностными моренами; 10 — редуцированный ледник (II); 11 — реконструкция ледника 1900 г. по фото и описанию С.П. Перетолчина; 12 — профили георадарного зондирования. Фон — снимок Quick Bird, 2006 г.

Fig. 3. The Radde Glacier building.

I—the main flow of the glacier; II—the reduced glacier that rests on the main stream;
III—the remnant of the former tributary of the glacier. 1—the main peaks; 2—ridge lines;
3—runoff from the glacier; 4—lakes (coastline); 5—the main body of the glacier, where the thickness of the ice was measured; 6—the upper section of the main glacier; 7—the lateral western section (ice cliff to Glacier II); 8—the lower section of the main glacier (open part);
9—the section of the main glacier armored by surface moraines; 10—reduced glacier (II); 11—reconstruction of the glacier of 1900 according to the photo and description of S.P. Peretolchin; 12—geo-radar sensing profiles. Background—picture Quick Bird, 2006

Соответственно, объём по формуле $V = kS^p$ (при k = 0,0356, p = 1,53 [*Мачерет*, 2006]) в 1900 г. для ледника с реконструированной общей площадью S = 0,42 км², составлял 0,0094 км³. В настоящее время (2017 г.) при S = 0,19 м² объём V = 0,00158 км³. При этом объём западной деградированной части — 0,00039, основной — 0,00053, нижней, бронированной моренами — 0,00066 км³.

Исследования ледника Радде выявили его особенности. Фактически там два ледника — один упирается в другой, образуя наверху в цирке понижение и подпрудное озеро. Основной ледник (I, рис. 2, 3) стекает с вершины Эскадрилья в северном направлении, а затем в средней части почти на 45° поворачивает к северо-востоку и образует крутой сброс, затем снова поворачивает на север и выполаживается к современным конечным моренам. При наблюдении с соседних хребтов и конечных морен казалось, что он пологий на верхнем участке, но на самом деле он 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 течёт вниз (рис. 3).

Другой ледник (II, рис. 2, 3) стекает с северного, северо-западного склона цирка и упирается нижней частью с разреженными поверхностными моренами в основной ледник (I), образуя в самой нижней части озеро с плавающими кусками фирна, сорвавшимися с основного ледника (фактически озеро на леднике). При наблюдении с основного ледника казалось, что упирающийся в него ледник объёмный в верхней части, но при подъёме на хребет выяснилось, что это почти стаявший присклоновый (пристенный) ледник.

Большой приток ледника (III, 2, 3), описанный С.П. Перетолчиным [1908] (рис. 2), ещё выделялся на комоснимке 2006 г. (рис. 3). Однако в настоящее время он полностью стаял.

По сравнению с предыдущим годом, основной ледник существенно деградировал, просел в нижней части языка и ещё больше забронировался поверхностными моренами. Кроме того, в моренном поле конечных морен образовалось значительных размеров сезонное озеро. Так что ледник Радде теперь имеет три озера — наверху на самом леднике (оз. Ледяное), внизу на современных конечных моренах (оз. Сезонное) и ледниковое небольшое озеро (оз. Радде) за конечными моренами ниже перевала 26-го Партсъезда (рис. 3).

Обработка георадарных данных проводилась следующим образом. Продольный профиль пройдён от оз. Ледяное вверх до верхней отметки 3083 м. Поперечные профили проходились по леднику сверху (от отметки 3083 м) вниз «змейкой». Из этих диагональных треков формировались поперечные параллельные профили по сетке с шагом 10 м. На каждый диагональный профиль, в зависимости от его длины, строилось от 1 до 4 дополнительных поперечных профилей. Всего получилось 26 таких профилей. В пределах исходного диагонального профиля поперечным подпрофилям присваивались значения соответствующей радарограммы диагонального профиля (диагональный профиль проецировался на соответствующий поперечный подпрофиля и по ширине ледника сжимался или растягивался). Считалось, что в пределах 10–40 м рельеф ложа существенно не меняется [*Мачерет*, 2006; *Китов и др.*, 2017]. Рельеф дневной поверхности ледника строился по данным ДЗЗ Aster. В результате были построены поверхности фирна, ледяного ложа ледника, ложа донных морен и ложа на границе с коренными породами (рис. 4) и вычислены объёмы соответствующих структурных слоёв ледника.

Remote methods in Earth research



Рис. 4. Структура ледника Радде и 3D-вид ложа ледника: *А* — радарограмма продольного профиля

(от оз. Ледяное в сторону вершины Эскадрилья);

Б — рельеф ледяного ложа и линии профилей на дневной поверхности ледника;

В — сетка для построения поперечных профилей;

Г — вид в плане на исследованную часть ледника с исходными профилями, рис. 3;

Д — результирующие профили для построения 3D-модели (пояснение в тексте) Fig. 4. Radde Glacier Structure:

A — radarogramm of the longitudinal profile (from the Ledynoe Lake to the Eskadrilia Top);
 B — the surface of the ice bed and the profile line on the daytime surface of the glacier;
 B — the grid to build cross profiles;

 Γ — the plan view of the studied part of the glacier (fig. 3); \square — resulting profiles to build the 3D-model (explanation in text)

По результатам георадарного профилирования и предварительным расчётам в ArcViewGIS-3.2a для основной части ледника 5, на которой проводилось георадарное

исследование (рис. 3, 4 Б), объём фирна составил 0,0002 км³, фирна и ледяного тела — 0,00086 км³, объём вместе с рыхлыми донными моренами — 0,0009 км³. Самый нижний слой ледника до коренных пород представляют мёрзлые грунты, вероятно, отложения прошлых оледенений объёмом 0,0003 км³. Тогда общий объём ледника этой исследованной части составил 0,00125 км³.

По данным георадарного исследования удалось не только измерить глубину льда и соответственно оценить объём ледника, но и выделить некоторые внутренние структуры ледника (рис. 4 А).

На продольной радарограмме (рис 4 А, она для компактности рисунка не привязана к рельефу, её необходимо развернуть под углом рис. 4 Б) выделился самый тонкий поверхностный слой фирна, ниже основная ледяная толща ледника с отдельными неоднородностями (максимальная толщина около 40 м), ниже выделилось ложе, состоящее из рыхлых отложений со льдом, представляющих донные морены, ещё ниже — переходный слой из плотных пород, оставшихся от прошлого оледенения. В нижней части ледника (слева на радарограмме) выделился разлом, заполненный рыхлыми породами со льдом, вероятно, через этот канал происходит сток от оз. Ледяное (рис. 3).

С помощью специальных инструментов ArcViewGIS была построена 3D-модель ледника (рис. 4 Б). Рельеф ложа представлен изолиниями (указаны значения некоторых изолиний: верней — 3057 м, в середине участка — 2995 м и в нижней части — 2945 м). Показана граница исследованного участка на дневной поверхности ледника с поперечными профилями, построенными по сетке из исходных профилей с шагом 10 м, пикеты каждого профиля — с шагом 3 м. Верхняя отметка этой поверхности — 3083 м, нижняя – 2987 м. На врезке (рис. 4 В) этот участок ледника представлен в плане (рис. 3) с сеткой. На рис. 4 Г — линии исходных профилей. На рис. 4 Д — поперечные профили для построения 3D-модели и поверхностей фирна, донных морен и ложа ледника. Сравнивая дневную поверхность с поверхностью ложа, можно оценить толщину ледника. Так, в верхней его части толщина 26 м (3083–3057, рис. 4 Б).

Следует отметить, что в 2017 г. зафиксировано наибольшее стаивание ледников массива. Фактически не сохранились многолетние снежники, большая их часть перешла в стадию сезонных. В 2018 г. многолетние снежники у ледника Радде увеличились, увеличив зону питания ледника. В 2019 г. исследовать ледник Радде не удалось из-за затяжного сильного ненастья в горах, вызвавшего вторую волну подтопления в Нижнеудинском и Тулунском районах Иркутской области.

выводы

Использование дистанционных средств наземного, воздушного и космического базирования позволяет оперативно отслеживать изменения нивально-гляциальных образований в пространстве на поверхности Земли и в её 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 112 лет наблюдения площадь всего ледника Радде уменьшилась с 0,43 до 0,09 км², а его толщина — на 30 м, и, соответственно, объём — в 3 р. Площадь открытой основной части ледника Радде (I) уменьшилась за 68 лет с 0,3 до 0,06 км², хотя общая площадь с учётом всех его составляющих (ледники I, II и лёд под моренным чехлом) уменьшилась до 0,2 км². Для дальнейшего подповерхностного исследования необходимо варьирование параметрами георадара. Также планируется георадарное профилирование нижней части ледника Радде (после его отворота на северо-восток). На основе информации ДЗЗ составляены базы

данных по ледникам Южной Сибири [*Китов, Плюснин*, 2015], которые обновляются по результатам проводимого мониторинга.

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 РФФИ, грант № 20-05-00253А «Трансформация геосистем Байкальской природной территории».

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 socioeconomic processes in Siberia and adjacent territories"; supported by the Russian Foundation of Basic Research, grant No 20-05-00253A "Transformation of geosystems of the Baikal natural area".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каталог ледников СССР. Т. 16. Вып. 1. Ч. 3–5. Вып. 2. Ч. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 64 с.

2. *Китов А.Д., Плюснин В.М.* Базы данных ледников Прибайкалья. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2015. Т. 21. Ч. 1. С. 318–332. DOI: 10.24057/2414-9179-2015-1-21-318-332.

3. Китов А.Д., Гладков А.С., Лунина О.В., Плюснин В.М., Иванов Е.Н., Серебряков Е.В., Афонькин А.М. Изменения мощности ледника Перетолчина (Восточный Саян). ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2017. Т. 23. Ч. 1. С. 405–417. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-405-417.

4. Коваленко Н.В. Режим и эволюция малых форм оледенения. М.: МАКС Пресс, 2011. 240 с.

5. Котляков В.М., Чернова Л.П., Муравьёв 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.

6. Мачерет Ю.Я. Радиозондирование ледников. М.: Научный мир, 2006. 392 с.

7. Осипов Э.Ю., Осипова О.П., Клевцов Е.В. Инвентаризация ледников Восточного Саяна по материалам космических съёмок. Лёд и Снег, 2017. Т. 57. № 4. С. 483–497. DOI: 10.15356/2076-6734-2017-4-483-497.

8. *Перетолчин С.П.* Ледники хребта Мунку-Сардык. Известия Томского технического института. Т. 9. Томск: Типолитография Сибирского товарищества печатного дела, 1908. 60 с.

9. 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. Geneva: Published by IPCC, 2007. 996 p.

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. Geneva: Published by IPCC, 2007. 996 p.

2. *Kitov A.D., Plyusnin V.M.* Databases of the Baikal region glaciers. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2015. V. 21. Part 1. P. 318–332. DOI: 10.24057/2414-9179-2015-1-21-318-332 (in Russian, abs English).

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). InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2017. V. 23. Part 1. P. 405-417. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-405-417 (in Russian, abs English).

4. *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. DOI: 10.15356/2076-6734-2017-4-453-467 (in Russian).

5. *Kovalenko N.V.* Mode and the evolution of small forms of glaciation. Moscow: MAKS Press, 2011. 240 p. (in Russian).

6. *Macheret Ju.Ja*. Radio-echo sounding of glaciers. Moscow: Scientific World, 2006. 392 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. DOI: 10.15356/2076-6734-2017-4-483-497 (in Russian).

8. *Peretolchin S.P.* Glaciers of the Munku-Sardyk Range. News of the Tomsk Technical Institute. V. 9. Tomsk: Typolithography of the Siberian Printing Association, 1908. 60 p. (in Russian).

9. USSR Glacier Inventory. V. 16. Iss. 1. Part. 3–5. Iss. 2. Part. 1. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973. 64 p. (in Russian).