

УДК: 551.324.6

DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-616-629

А.Д. Китов¹

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ЛЕДНИКОВ ПЛАТО ПУТОРАНА И ХРЕБТА МУНКУ-САРДЫК

АННОТАЦИЯ

Состояние горных ледников тесно связано с обеспечением водными ресурсами, отслеживанием изменения климата, трансформацией ландшафта и др. В связи с этим проведение регулярных инвентаризаций территорий оледенения представляет фундаментальную задачу географических исследований. Результаты инвентаризации ледников заносятся в специальные каталоги, в настоящее время в цифровые базы данных. Такой каталог существовал для ледников СССР, который представлен и расширен в цифровой форме как база данных (БД) ледников России. Современное состояние ледников мира отражено в БД через сервис Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS), которую дополняют данные Randolph Glacier Inventory (RGI). База данных, созданная в Институте географии РАН, тоже входит в БД GLIMS. Однако в этих БД не отражена динамика ледников с определенной периодичностью. Существуют также особенности горных массивов, затрудняющие дешифрирование ледников. К такой территории относится плато Путорана. Трапповое строение рельефа, способствующее формированию многолетних снежников, и наличие множества рек и озер, на которых формируются наледи, требует дополнительной информации для составления БД ледников. Представление характеристик ледников для нескольких основных параметров (площадь, длина, экспозиция, высотная отметка низа и верха ледника и др.) в горном массиве, включающем 10–20 ледников, не представляет сложности. Однако ледники плато Путорана отличаются своей многочисленностью и своеобразностью конфигурации, определяемой особенностями рельефа. Только по исходным данным (топографическим картам) выделено около 200 нивально-гляциальных объектов, учтенных как ледники. Поэтому данную БД целесообразно рассматривать именно как БД нивально-гляциальных образований, которые предстоит классифицировать по типу объекта. Представляя динамику ледников в БД, при условии потепления климата, приводящего в основном к сокращению и исчезновению ледников, также необходимо учитывать и распад на части некогда больших ледников. Последнее характерно для ледников плато Путорана. Создаваемая БД отражает состояние ледников в 1960, 1979, 1987 гг. Эти данные сравниваются и дополняются существующими международными БД GLIMS и ИГ РАН. В данной работе проведено сравнение с ледниками хребта Мунку-Сардык, как характерными и наиболее изученными представителями оледенения южной части Сибири. Отмечаются особенности представления характеристик этих ледников в международных БД.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: база данных, Восточная Сибирь, ледник, плато Путорана, снимки Landsat и топографические карты

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

Aleksandr D. Kitov¹

FEATURES OF THE FORMATION OF A DATABASE OF GLACIERS OF THE PUTORANA PLATEAU AND THE MUNKU-SARDYK RIDGE

ABSTRACT

The state of mountain glaciers is closely related to the provision of water resources, tracking climate change, transforming the landscape, etc. Therefore, conducting regular inventories of glaciation areas is a fundamental task of geographical research. The results of the glacier inventory are recorded in special catalogs, currently in digital databases. Such a catalog existed for the glaciers of the USSR, which is presented and expanded in digital form as a database (DB) of glaciers in Russia. The current state of the world's glaciers is reflected in the database through the Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) service, which is supplemented by data from Randolph Glacier Inventory (RGI) and GAMDAM (Glacier Area Mapping for Discharge from the Asian Mountains). The database was created at the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, also included in the GLIMS database. However, these databases do not reflect the dynamics of glaciers with a certain periodicity. There are also features of mountain ranges that make it difficult to decrypt glaciers. Such an area includes the Putorana plateau. The trapway structure of the relief, which contributes to the formation of perennial snowflakes, and the presence of many rivers and lakes on which ice forms, requires additional information to compile a database of glaciers. The representation of the characteristics of glaciers for several main parameters (area, length, exposure, elevation of the bottom and top of the glacier, etc.) in a mountain range including 10–20 glaciers is not difficult. However, the glaciers of the Putorana plateau are distinguished by their abundance and peculiarity of configuration, determined by the features of the relief. Only according to the initial data (topographic maps), about two hundred nival-glacial objects were identified, recorded as glaciers. Therefore, it is advisable to consider this database as a database of nival-glacial formations, which are to be classified according to the type of object. Presenting the dynamics of glaciers in the database, under the condition of climate warming, leading mainly to the reduction and disappearance of glaciers, it is also necessary to take into account the disintegration of once large glaciers. The latter is characteristic of the glaciers of the Putorana plateau. The created database reflects the state of glaciers in 1960, 1979, 1987. In this paper, a comparison is made with the glaciers of the Munku-Sardyk ridge, as characteristic and most studied representatives of the glaciation of the southern part of Siberia. The features of the presentation of the characteristics of these glaciers in international databases are noted.

KEYWORDS: database, Eastern Siberia, glacier, Putorana plateau, Landsat imagery and topographic maps

ВВЕДЕНИЕ

Малые горные ледники особенно чувствительны к изменению климата [IPCC, 2007; 2022]. В результате потепления климата эта чувствительность проявляется в сокращении ледников, распаде на отдельные еще меньшие ледники, бронировании их поверхности моренами и др. Подобная динамика отмечается практически во всех районах современного оледенения в горах Сибири. Плато Путорана представляет такой район, но расположенный значительно севернее, чем территории оледенения в горах Восточного Саяна, Северного

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

Прибайкалья, хребта Кодар. Также известно, что лед Арктики, находящийся еще севернее, тает ускоренными темпами [Matveeva, Semenov, 2022]. В современных каталогах отражен некоторый срез состояния ледников. Часто эти данные отражают период первоначального исследования оледенения в каком-то горном массиве. Плато Путорана расположено за Северным полярным кругом, поэтому сравнение изменения ледников этого плато с другими ледниками широтного трансекта от Кодара до гор Монголии имеет дополнительный интерес.

Первоначально результаты инвентаризации ледников публиковались в специальных каталогах. В настоящее время каталоги представлены как цифровые базы данных (БД). Для отслеживания динамики ледников с использованием ГИС составлен ряд баз данных [Китов, Плюснин, 2012; Китов и др., 2017; Хромова и др., 2021; GLIMS, 2005]. В СССР такие каталоги составлялись по ледниковым районам. Каталоги публиковались в 1970–1980-е гг. Плато Путорана относится к 10-му району из 18 существующих [Каталог, 1981]. Первоначально в каталоге было представлено 22 ледника. Позднее В.А. Сарана [2005] исследовал 67 ледников. В БД Института географии РАН представлен уже 71 ледник [Хромова и др., 2021]. Эти ледники с 2020 г. вошли также в международную БД GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space).

Динамика ледников России и принципы создания БД подробно рассмотрены В.М. Котляковым с соавторами [2015], там же приведены последние данные по плато Путорана. Интересно также оценить динамику ледников горного массива Путорана и ключевых сибирских ледников, например, хребта Мунку-Сардык (рис. 1).

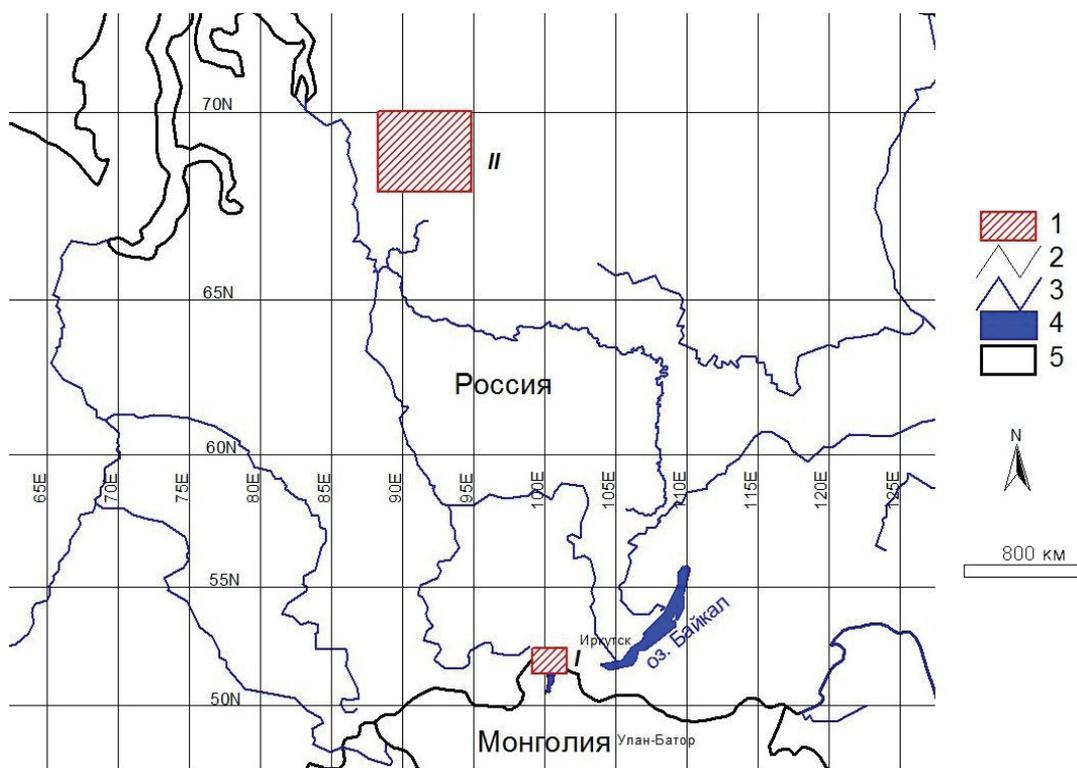


Рис. 1. Общий вид расположения участков: 1 — ключевые участки (районы исследования): I — массив Мунку-Сардык (Восточный Саян); II — плато Путорана; 2 — координатная сетка; 3 — реки; 4 — озера; 5 — государственные границы

Fig. 1. General view of the location of areas: 1 — key (research) areas: I — Munku-Sardyk massif (Eastern Sayan); II — Putorana Plateau; 2 — coordinate grid; 3 — rivers; 4 — lakes; 5 — state borders

Целью исследования явилось рассмотреть особенность представления характеристик ледников плато Путорана в базах данных и сравнение отдельных параметров уже изученных ледников массива Мунку-Сардык, Восточный Саян (рис. 1, ключевой участок I), с некоторыми ледниками названного плато (рис. 1, ключевой участок II).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ состояния ледников производился с использованием ГИС, а в качестве исходных данных рассматривались доступные топографические карты и данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Для плато Путорана доступной была топографическая карта м-ба 1: 200 000 (1960-х гг. издания) и данные Landsat-2, -5, -7, -8, с сайта Геологической службы США с 1979 по 2021 гг. (табл. 1). Использовались также международные базы данных GLIMS, RGI и ИГ РАН [Хромова и др., 2021; GLIMS, 2005].

Табл. 1. Пространственные данные на территорию плато Путорана
Table 1. Spatial data on the Putorana Plateau

Дата	Вид данных	Пространственное разрешение, м	Облачность, %
1960-е	Топографические карты R46	М-б: 1: 200 000	–
14.08.1979	Снимок Landsat-2	60	20
16.08.1979	Снимок Landsat-2	60	–
07.08.1985	Снимок Landsat-5	30	5
27.08.1987	Снимок Landsat-5	30	30
29.08.1987	Снимок Landsat-5	30	60
06.08.1988	Снимок Landsat-5	30	–
20.07.1990	Снимок Landsat-5	30	–
05.08.1990	Снимок Landsat-5	30	40
01.08.2000	Снимок Landsat-7	30	–
30.07.2000	Снимок Landsat-7	30	5
25.08.2009	Снимок Landsat-5	30	–
16.09.2011	Снимок Landsat-5	30	–
19.08.2013	Снимок Landsat-7	15	–
27.07.2013	Снимок Landsat-7	15	30
05.08.2013	Снимок Landsat-7	15	10
21.08.2013	Снимок Landsat-7	15	60
11.08.2013	Снимок Landsat-8	15	20
04.08.2013	Снимок Landsat-8	15	–
28.07.2013	Снимок Landsat-8	15	–
13.08.2013	Снимок Landsat-8	15	70
06.08.2014	Снимок Landsat-7	15	80
23.07.2014	Снимок Landsat-7	15	10
28.07.2014	Снимок Landsat-8	15	50
07.24.2015	Снимок Landsat-7	15	20
02.08.2015	Снимок Landsat-7	15	10
01.08.2015	Снимок Landsat-8	15	10
25.07.2015	Снимок Landsat-8	15	10
03.08.2015	Снимок Landsat-8	15	30
15.08.2020	Снимок Landsat-7	15	5
14.08.2020	Снимок Landsat-8	15	10
08.08.2021	Снимок Landsat-8	15	–

Вся территория оледенения плато Путорана покрывается 9 листами топографической карты и 4–6 кадрами Landsat. Для данного исследования в основном учитывались наиболее ранняя съемка (1979 г.) и данные, близкие или совпадающие с датой

БД GLIMS (2013 и 2020 гг.). Оптимальное временное окно, когда можно определить минимальное состояние ледника в сезоне, примерно с первых чисел до 20-х чисел августа. Это определяется климатическими условиями плато Путорана. Хотя наледи начинают разрушаться в конце мая и июне, но многие могут сохраняться до следующего ледообразования. Практически снег может пойти в течение всего лета, устойчивый снежный покров устанавливается с 28 августа [Алексеев, Гиенко, 2002]. Такие условия благоприятны для сохранения ледников, но затрудняют дешифрирование снимков из-за чрезмерной заснеженности. В связи с этим приходилось использовать снимки близких дат разных спутников, например, Landsat-5 и -7, или Landsat-7 и -8. После 2002 г. кадры Landsat-7 дефектны (с полосами, которые иногда закрывают ледник).

Космические снимки были приведены к единой системе координат WGS-84, проекция UTM, зона 46. Дешифрирование, векторизация границ объектов, измерения и составление БД выполнялись в ГИС-проекте с использованием программы ArcViewGIS-3.2a. В качестве подложки использовались RGB-синтезированные снимки: каналы 4–5–7 для Landsat-2, каналы 2–4–7 для Landsat-5 и 7 и 3–5–7 для Landsat-8 с улучшением до 15 м по каналу 8 (для Landsat-7, -8). Учитывая разрешение снимков 15 м/пикс. систематическая погрешность определения площади ледника оценивается в 0,12 км² или 5 % от измеряемой величины. Для снимков Landsat-2 и -5 с разрешением 60 и 30 м/пикс. точность определения площади — порядка 10–20 %.

Характеристики ледников вошли в международные БД GLIMS и RGI. Выделение границ ледников для указанных БД выполнялось автоматически по данным ДЗЗ ASTER 19.07.2013.¹ К сожалению, в это время, как было сказано выше, может быть много прошлогоднего снега, и размеры ледников могут быть завышены. Для БД ИГ РАН использовались снимки Sentinel-2 24.08.2018 (дата соответствует периоду абляции ледников). В последней версии БД GLIMS данные границ ледников скорректированы по данным ИГ РАН, но только для 70 ледников. В данной работе для анализа были выбраны первые 22 ледника, которые первоначально вошли в каталог ледников СССР [1981].

Число атрибутов, характеризующий ледник, в различных БД порядка 20–30. В БД RGI — 18, GLIMS — 31, ИГ РАН — 30, в каталоге ледников (основные таблицы) — 20. Многие поля БД часто не заполнены. В БД GLIMS много характеристик, представляющих ссылки на авторов, организации, даты анализа данных и т. п. Основными параметрами для мониторинга (отслеживания динамики) ледников являются площадь ледника, его длина, верхняя и нижняя высотные отметки, географические координаты центра, для идентификации код, или имя ледника. Пример атрибутов из каталога ледников СССР и соответственно электронного эквивалента представлен в табл. 2.

Поскольку в данной работе анализируется и используется для анализа динамики ледников различные БД, то решено было часть атрибутов сократить и расширить идентификацию объекта. Один и тот же ледник может иметь свое уникальное имя по разной системе каталогизации. Так, ледник Богатырь (№ 22) в системе WGI имеет код SU5C16106022, в GLIMS — G092189E69714N (в имени указаны широта и долгота), в БД ИГ РАН — Ru10-07.0051, в RGI — RGI50-10.00355. По имени (коду) ледника можно выделять ледники, входящие во все БД, и анализировать другие сочетания вхождения ледников в ту или иную базу.

Исследуя ледники по данным ДЗЗ, в основном под площадью ледника подразумевается его открытая часть, хорошо дешифрируемая на космоснимках. Длина открытой части ледника не всегда сопоставима в разных исследованиях, т. к. может

¹ The GLIMS Glacier Database. Электронный ресурс: <http://glims.colorado.edu/glacierdata/> (дата обращения 03.03.2023).

зависеть от конфигурации кара. Не всегда понятно, как провести линию от главной вершины до конца языка ледника, если ледник извилистый или имеет несколько языков. Особенно это характерно для ледников плато Путорана, они могут быть больше вытянуты в ширину, чем вниз по склону. Учитывая также, что используются данные ДЗЗ, параметры *Topo year*, *Photo type*, *Photo year* должны отражать дату съемки и тип космического аппарата, как, например, для Landsat (табл. 1, 2).

Табл. 2. Основное описание ледника
Table 2. General description of the glacier

Название колонки	Тип данных	Описание
ID — Номер	Числовой	Номер объекта по порядку векторизации
Code	Текстовый	Международный (WGI) 12-ти символьный код ледника типа SU5B16000xxx, где xxx — номер ледника
Glacier name	Текстовый	Название ледника латинскими буквами или номер (xxx)
Lat	Числовой	Широта центра ледника
Long	Числовой	Долгота центра ледника
Topo year	Числовой	Год издания топографической карты. При отсутствии сведений ставится число –99
Photo type	Текстовый	Наличие (F) или отсутствие (N/A) аэрофотосъемки
Photo year	Текстовый	Дата аэрофотосъемки
Total area	Числовой	Общая площадь ледника, км ²
Area accuracy	Числовой	Точность определения общей площади, в %
Area exposed	Числовой	Площадь открытой части ледника, км ²
Area ablation	Числовой	Площадь области абляции ледника, км ²
Max length	Числовой	Длина ледника, км
Max length ex	Числовой	Длина открытой части ледника, км
Orientation ac	Числовой	Экспозиция области аккумуляции, °
Orientation ab	Числовой	Экспозиция области абляции, °
Max elev	Числовой	Высшая точка ледника, м н. у. м.
Mean elev	Числовой	Средняя высота ледника, м н. у. м.
Min elev	Числовой	Низшая точка ледника, м абсолютной высоты, м н. у. м.
Min elev ex	Числовой	Низшая точка открытой части ледника, м н. у. м.
Classification	Текстовый	«Классификация», состоит из 6 символов. 1-й и 2-й символы — морфологический тип; 3-й — 0; 4-й — уклон поверхности ледника; 5-й — тип питания ледника; 6-й — 0

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам обработки топографических карт м-ба 1: 200 000 было выделено 193 нивально-гляциальных объекта. Предположительно, это ледники исходного, наиболее раннего состояния инвентаризации. Эти объекты сопоставлялись с другими БД. Территория дистанционного исследования по топокартам и данным Landsat составляет 43 008 км²; территория, на которой выявлены ледники ИГ РАН — 20 908 км²; по БД GLIMS — 22 012 км² (рис. 2). Первоначально вошедшие в каталог ледников СССР 22 ледника в некоторых случаях трудно сопоставимы с выделенными на топокартах, как и представленные в современных БД. Некоторые ледники, вероятно, растаяли, а часть имеет неточные координаты. Видимо, с такой же трудностью встретились исследователи из Института географии РАН. По результатам автоматического анализа GLIMS, некоторые ледники выделены ошибочно, а некоторые не распознаны, и поэтому отсутствуют. Результаты сопоставления различных БД представлены в таблице 3.

Из таблицы видно, что площадь ледников при составлении каталога ледников СССР была оценена недостоверно. Даже без учета ледников, указанных в каталоге, но не

дешифрованных по современным данным ASTER и Sentinel-2, и довольно неточным данным по топокарте, составленной по аэросъемке 1960-х гг., общая площадь в настоящее время значительно больше, чем указанная в каталоге.

В предлагаемой БД на топокартах удалось найти соответствие ледникам из каталога с номерами: 1–3, 5, 7–15, 17 и 19–22. В БД ИГ РАН есть соответствие ледникам: 2–6, 8, 11–22, а ледники 8, 12 и 20 распались на 2 части. В БД GLIMS найдено соответствие ледникам 3, 5, 8, 11–15, 19–22, а ледники 20 и 21 распались на 2 части (табл. 3).

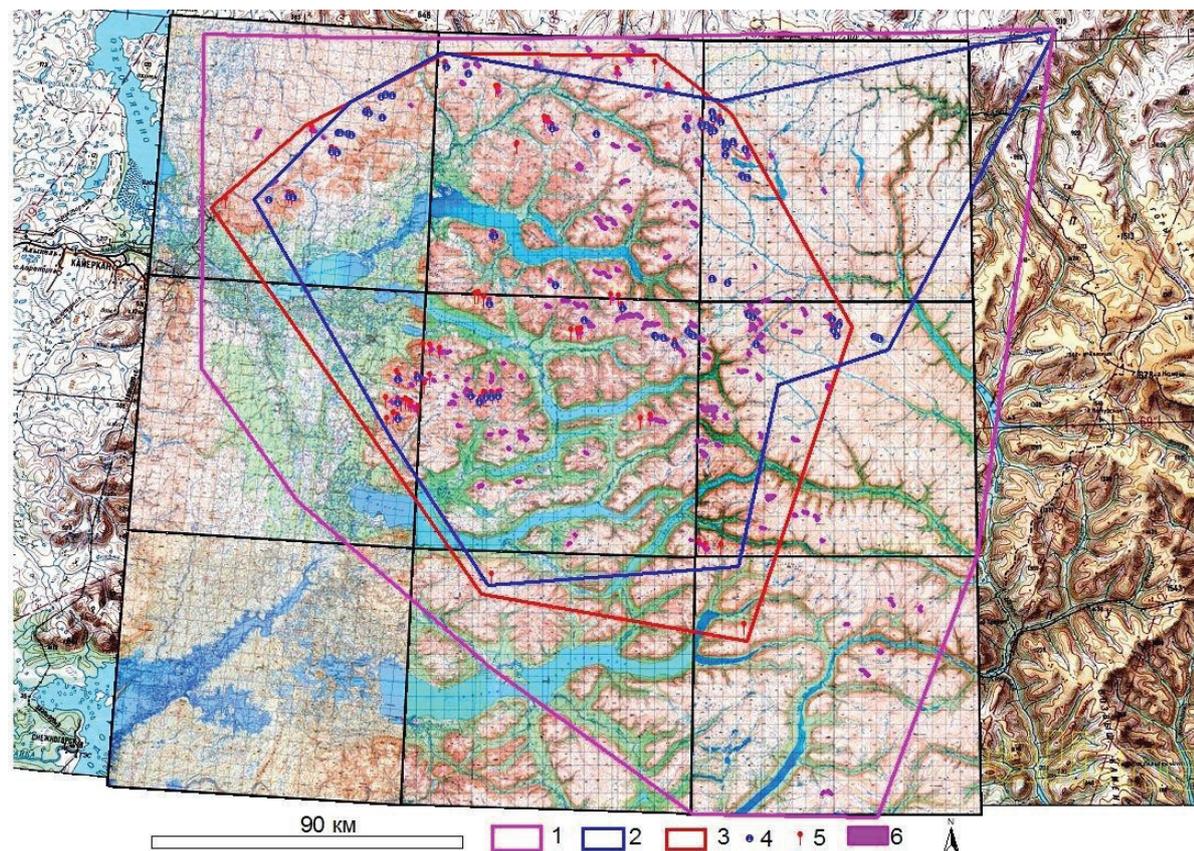


Рис. 2. Пример вида ГИС-проекта Плато Путорана: 1 — область исследования по топокартам; 2 — область ледников по БД GLIMS; 3 — область ледников по БД ИГ РАН; 4 — ледники БД GLIMS; 5 — ледники БД ИГ РАН; 6 — ледники по топокартам; фон — топокарты м-ба 1: 200 000, 1: 1 000 000

Fig. 2. Example of the View of GIS project of the Putorana Plateau: 1 — area of study on topographic maps; 2 — glacier area according to the GLIMS database; 3 — the area of glaciers according to the database of the IG RAS; 4 — glaciers of DB GLIMS; 5 — glaciers of DB IG RAS; 6 — glaciers on topographic maps; background — topographic maps of scale 1: 200 000, 1: 1 000 000

Общая площадь всех ледников плато Путорана по топокарте составила 103,2 км² (193 ледника), по данным Landsat 1979 г. — 56,5 км² (дешифровано 204 ледника), по данным Landsat 1987 г. — 46,2 км² (202 ледника). Данные Landsat 1979 г., к сожалению, не покрывают всю территорию плато, поэтому общая площадь занижена. Наиболее полно ледники представлены данными Landsat 1987 г. Даже с учетом этих особенностей заполнения БД видно, что оледенение плато Путорана сокращается и уже к 1987 г. сократилось практически в 2 р.

Табл. 3. Динамика ледников плато Путорана по различным БД
Table 3. The dynamics of glaciers of the Putorana Plateau according to various databases

Код ледника по каталогу ледников СССР [1981]	Площадь ледника, км ²			
	Каталог [1981]	Топокарта, 1960 г.	БД GLIMS, 2013 г.	БД ИГ РАН, 2018 г.
SU5C16106001	0,10	0,75	0,03	0,03
SU5C16106002	0,03	0,43	0,03	–
SU5C16106003	0,33	1,50	0,45	0,22
SU5C16106004	0,15	–	0,32	0,32
SU5C16106005	0,18	0,96	0,23	0,23
SU5C16106006	0,07	–	0,07	0,07
SU5C16106007	0,05	0,34	–	–
SU5C16106008	0,06	0,36	0,12	0,07
SU5C16106009	0,06	0,26	–	–
SU5C16106010	0,06	0,24	–	–
SU5C16106011	0,11	0,01	0,20	0,10
SU5C16106012	0,04	0,43	0,10	0,04
SU5C16106013	0,12	0,19	0,18	0,09
SU5C16106014	0,04	0,38	0,25	0,12
SU5C16106015	0,12	0,14	0,32	0,28
SU5C16106016	0,10	–	0,36	0,36
SU5C16106017	0,07	0,16	0,52	0,52
SU5C16106018	0,05	–	–	–
SU5C16106019	0,15	0,17	0,39	0,36
SU5C16106020	0,14	0,91	0,88	0,36
SU5C16106021	0,37	0,50	0,62	0,37
SU5C16106022	0,14	0,26	0,39	0,52
Итого	2,54	7,99	5,46	4,06
Всего с поправкой¹	2,54	8,89	5,68	4,31

Средствами ГИС можно делать выборки одних объектов БД объектами другой БД. Данные 1987 г. — это выборка по 1979 г. Такие выборки позволяют сравнивать подмножества совпадающих ледников. Варианты выборки ледников из рассматриваемых БД представлены в табл. 4.

В обеих выборках площадь оледенения по БД GLIMS занижена, но тенденция к сокращению ледников видна. К сожалению, из данных таблицы видно, что полного соответствия ледников друг другу найти затруднительно. Требуется дополнительная работа по обработке данных дешифрирования. Существует каталог и карта наледей плато Путорана [Алексеев, Гиенко, 2002], которую необходимо учитывать. Многие ледники схожи с наледями по тону и конфигурации. Пример выделения ледников для разных систем инвентаризации представлен на рисунке 3.

Ледник «Богатырь» — № 22, южнее вершины 1591, вошел во все БД. Расположение «звездочек» показывает точность указания координат центра ледника в каталоге при первичной инвентаризации. В ГИС-проекте, для сравнения с данными Landsat, границы ледника были нанесены в правильном месте с учетом площади, указанной в каталоге. По данным Landsat, нивально-гляциальные объекты совпали с изображением ледника на топокарте. Объекты севернее ледника «Богатырь» не были внесены в БД ИГ РАН. В БД

¹ Добавлена площадь ледников каталога для БД, где эти ледники отсутствуют.

GLIMS, кроме этих объектов, были выделены и ложные объекты в районе букв «ГО» и чуть юго-восточнее в истоках ручья (как ледник было распознано ледниковое озеро).

Табл. 4. Динамика выборки ледников плато Путорана
Table 4. Dynamics of a sample of glaciers of the Putorana Plateau

Выборка одних данных другими	Результат выборки данных разных лет и источников, км ²				
	Топокарта, 1960	Landsat, 1979	Landsat, 1987	GLIMS, 2013	ИГ РАН, 2018
Объектами 1979 г. из других БД	101,4	56,5	46,2	7,5	11,2
Объектами 1979 г. и объектами БД ИГ РАН из других БД	20,4	22,6	17,3	5,2	11,2

Сравнение динамики ледников в разных по природным условиям районах

Результаты составления БД плато Путорана и динамики ледников интересно сравнить с данными БД наиболее изученных ледников хребта Мунку-Сардык. Впервые ледники Мунку-Сардык детально исследовались С.П. Перетолчиным [1908] и представлены в каталоге ледников СССР [1973]. Динамика этих ледников изучалась с использованием топографических карт, разномасштабных данных ДЗЗ, полученных со спутников Quick Bird, Pleiades, Landsat-4, -5, -7, -8 [Китов, Плюснин, 2012; Китов и др., 2017]. В хребте Мунку-Сардык 4 ледника: Перетолчина северный и южный, Радде и Пограничный (табл. 5). В БД GLIMS все эти ледники занесены по данным ASTER 2002 г. В БД ИГ РАН допущена ошибка — ледник Пограничный из монгольского кара перенесен на российскую сторону в кар второго левого притока р. Жохой (рис. 4). Еще в 1906 г. С.П. Перетолчин видел с вершины Мунку-Сардык какой-то ледник, а В.Е. Максимов в 1963 г. обследовал эту местность, не найдя никаких ледников, предположил, что видимый С.П. Перетолчиным ледник перешел в стадию погребенного и находится у оз. Солярис третьего притока р. Жохой [Максимов, 1965]. Так этот ледник под № 29 попал в каталог ледников СССР [1973]. По данным разных БД изменение ледников массива Мунку-Сардык (табл. 5) имеет аналогичные тенденции к сокращению.

По данным С.П. Перетолчина и по моренным комплексам ледников (хорошо дешифрируются на снимке Quick Bird 2006 г.) построены реконструкции на 1900 г. Характеристики ледников по 1960 г. сняты с топографической карты м-ба 1: 100 000. В 2000 г. использованы данные Landsat, близкие ко времени БД GLIMS (2002 г.). В 2018 г. характеристики получены по данным Landsat, близким к данным БД ИГ РАН 2019 г. В общую площадь 0,58 км² добавлена площадь ледника Перетолчина (южного) из БД GLIMS (0,11 км²), а ледник Пограничный учтен как ледник № 29.

Институт географии РАН обновил электронный вариант БД [Хромова и др., 2021] по данным спутника Sentinel-2 (съемка 27.08.2019). Соответственно, площадь ледника Перетолчина северного (Ru10-18.0037) — 0,24 км², а Радде (Ru10-18.0038) — 0,08 км² (табл. 5). В этой БД приведены только данные российских ледников, а ледник Пограничный (рис. 4) перемещен с монгольской стороны на российскую (Ru10-18.0039, по советской классификации SU5B16201029 [Каталог..., 1973]), его площадь — 0,15 км². Похоже, что автоматическое дешифрирование ледников дало заниженные результаты в 2002 г. А в 2019 г. получились завышенные результаты из-за ошибки с ледником № 29.

Данные о ледниках представляются в бюллетенях Всемирной службы мониторинга ледников [WGMS, 1991]. С 2000 г. можно найти масс-баланс и изменения ледников в 10 горных регионах, а с 2013 г. в Бюллетене отражены изменения ледников в 17 горных

регионах [WGMS, 2013; 2021]. Электронные БД ледников постоянно обновляются, но, к сожалению, динамику ледников отследить невозможно. В новых версиях уточняются параметры и границы ледников по данным первоначально сделанной спутниковой съемки. Для плато Путорана это съемка ASTER 2013 г., а для массива Мунку-Сардык — 2002 г. С 2020 г. данные БД ИГ РАН вошли в БД GLIMS. Границы ледников плато Путорана также были исправлены с учетом этих баз данных.

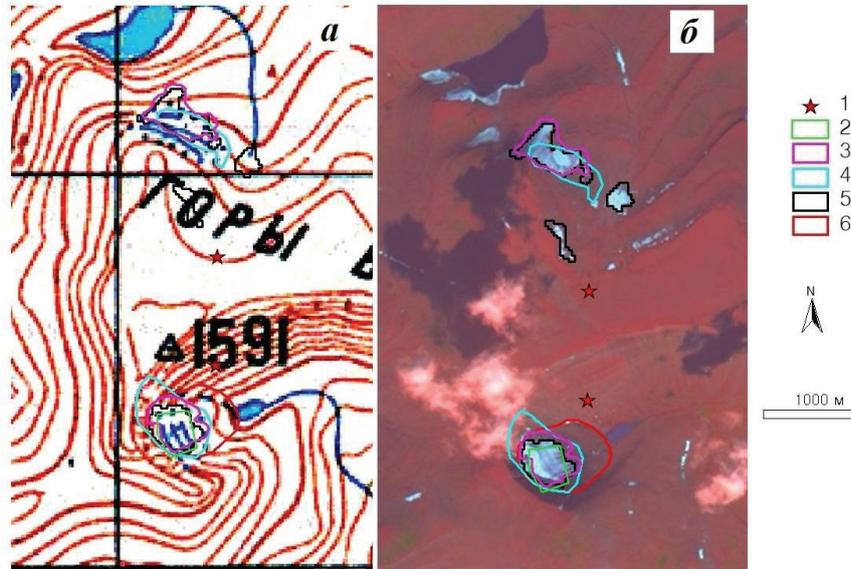


Рис. 3. Примеры представления ледников в различных БД: 1 — место расположения ледника по Каталогу [1981]; 2 — виртуальные границы ледника по данным Каталога; 3 — границы ледника по данным Landsat 1979 г.; 4 — границы ледника по данным Landsat 1987 г.; 5 — границы ледника по БД RGI (GLIMS) 2013 г.; 6 — границы ледника по БД ИГ РАН 2018 г. Фон — карта м-ба 1: 200 000 (а); данные Landsat-8 03.08.2015 г. (б)

Fig. 3. Examples of the representation of glaciers in various databases: 1 — the location of the glacier according to the Catalog [1981]; 2 — virtual boundaries of the glacier according to the Catalog; 3 — glacier boundaries according to Landsat 1979; 4 — glacier boundaries according to Landsat 1987; 5 — glacier boundaries according to the RGI database (GLIMS) 2013; 6 — boundaries of the glacier according to the database IG RAS 2018. Background — map of scale 1: 200 000 (a); Landsat-8 Data 8.3.2015 (b)

Табл. 5. Изменение площади ледников массива Мунку-Сардык по данным БД, км²
Table 5. Change in the area of glaciers of the Munku-Sardyk massif according to DB, km²

Год	Пограничный	Радде	Перетолчина Северный	Перетолчина Южный	Все ледники
1900	0,4	0,48	0,83	0,63	2,34
1960	0,15	0,3	0,49	0,35	1,29
2000	0,12	0,19	0,43	0,2	0,96
2002	0,037	0,045	0,214	0,108	0,4
2018	0,06	0,10	0,26	0,09	0,51
2019	0,15	0,08	0,24	(0,11)	0,58*

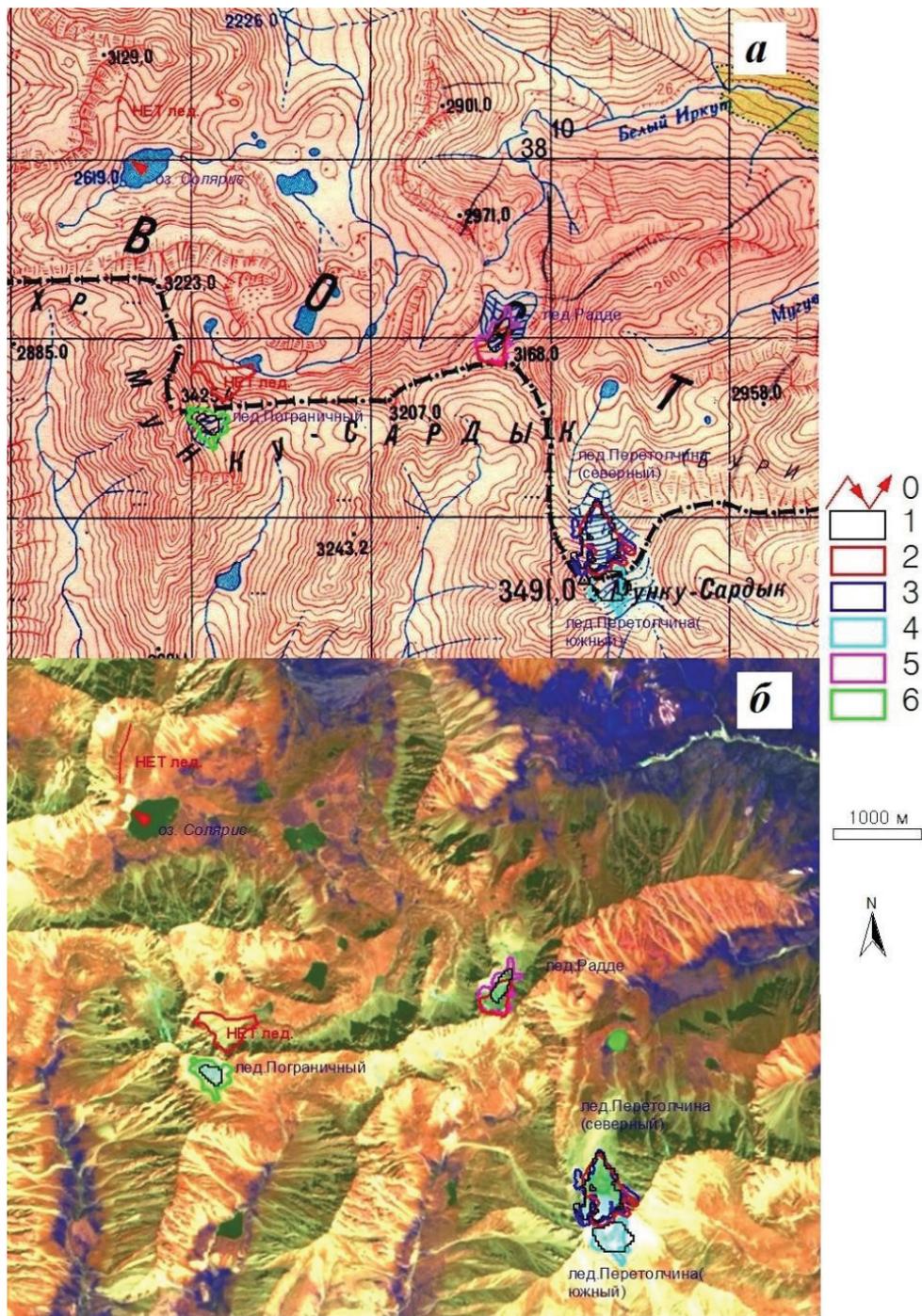


Рис. 4. Ледники Мунку-Сардык. 0 — кар несуществующего ледника № 29 по Максимова, красная стрелка — край ледника, выходящего к оз. Солярис; 1 — ледники по БД GLIMS 2002 г.; 2 — ледники по БД ИГ РАН 2019 г.; 3 — ледник Перетолчина (северный) по данным Landsat-8; 4 — ледник Перетолчина (южный); 5 — ледник Радде; 6 — ледник Пограничный. Фон топокарта 1960-е (а), данные Landsat-8 08.08.2015 г. (б)

Fig. 4. Munku-Sardyk glaciers. 1 — the car of the non-existent glacier No. 29 according to Maximov, the red arrow is the edge of the glacier facing the lake Solaris; 2 — glaciers according to the database IG RAS 2019; 3 — Peretolchina glacier (northern) according to Landsat-8; 4 — Peretolchina Glacier (southern); 5 — Radde Glacier; 6 — Pogranichny Glacier. Background topographic map 1960s (a), Landsat-8 08.08.2015 (b)

ВЫВОДЫ

ГИС-анализ по данным ДЗЗ позволяет составлять БД, отражающую динамику ледников за период примерно с середины 1970-х гг. до настоящего времени. Полученные БД можно сопоставлять с другими данными о ледниках и выявлять допущенные ошибки при их составлении. Сравнивая данные БД, видна тенденция сокращения ледников как в массиве Мунку-Сардык, так и в более северном Плато Путорана.

Из-за небольшого объема данных и хорошей различимости ледников Мунку-Сардык, измерение и представление их характеристик в БД незатруднительно. На плато Путорана ледников значительно больше. Возникает необходимость редактирования БД для исключения ложных объектов, которыми могут быть многолетние снежники и наледи. Поэтому в БД ГИС-Путорана необходимо внести данные о наледях, используя соответствующую карту [Алексеев, Гиенко, 2002].

Учитывая большое количество объектов и данных ДЗЗ за большой промежуток времени, целесообразно было бы использовать автоматические методы обработки. Однако видно, что автоматический анализ дает заниженные результаты, особенно это проявляется на небольших ледниках. За основу целесообразно взять БД ИГ РАН, расширяя ее во времени по данным Landsat на более ранние сроки и в сторону настоящего времени.

В международных БД учитывается порядка 30 параметров ледников, но большинство полей, характеризующих ледники, остаются незаполненными. Главными параметрами являются площадь, длина ледника, верхняя и нижняя его границы. Даже на первом этапе составления БД для отслеживания динамики достаточно площади ледника.

В настоящее время база данных нивально-гляциальных объектов плато Путорана отражает изменение площади по топографическим картам на период середины прошлого века, по данным Landsat на 1979 и 1987 гг., а как дополнительные данные — БД GLIMS и ИГ РАН на период 2013 и 2018 гг.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы: АААА-А21-121012190017-5); при поддержке РФФИ, гранта № 20-05-00253А «Трансформация геосистем Байкальской природной территории».

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was performed at the expense of the state task (subject No. АААА-А21-121012190017-5); supported by the Russian Foundation of Basic Research, grant No. 20-05-00253А “Transformation of geosystems of the Baikal natural area”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В.Р., Гиенко А.Я. Наледи плато Путорана. Иркутск: ИГ СО РАН, 2002. 101 с.
- Каталог ледников СССР. Т. 16. Вып. 1. Ч. 3–5. Вып. 2. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 64 с.
- Каталог ледников СССР. Т. 16. Вып. 1. Ч. 6. М.: Гидрометиздат, 1981. С. 7–12.
- Китов А.Д., Плюснин В.М. Создание и использование базы данных ледников Южной Сибири. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Смоленск: Изд-во СмолГУ, 2012. С. 143–148.
- Китов А.Д., Плюснин В.М., Иванов Е.Н., Батуев Д.А., Коваленко С.Н. Интернет-представление баз данных ледников юга Восточной Сибири. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 2017. Т. 23. Ч. 2. С. 228–242. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-2-23-228-242.

Котляков В.М., Хромова Т.Е., Носенко Г.А., Попова В.В., Чернова Л.П., Муравьев А.Я., Рототаева О.В., Никитин С.А., Зверкова Н.М. Современные изменения ледников горных районов России. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2015. 288 с.

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

Сарана В.А. Ледники плато Путорана. МГИ, 2005. Вып. 98. С. 19–29.

Хромова Т.Е., Носенко Г.А., Глазовский А.Ф., Муравьев А.Я., Никитин С.А., Лаврентьев И.И. Новый Каталог ледников России по спутниковым данным (2016–2019 гг.). Лед и Снег, 2021. Т. 61. № 3. С. 341–358. DOI: 10.31857/S2076673421030093.

GLIMS Consortium. 2005. GLIMS Glacier Database, Version 1. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center, 2005. DOI: 10.7265/N5V98602.

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.

IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. 3056 p. DOI: 10.1017/9781009325844.

Matveeva T.A., Semenov V.A. Regional features of the Arctic Sea ice area changes in 2000–2019 versus 1979–1999 periods. Atmosphere, 2022. V. 13. No. 1434. P. 1–14. DOI: 10.3390/atmos 13091434.

WGMS 1991. Glacier Mass Balance Bulletin No. 1 (1988–1989). IAHS (ICSU)-UNEP-UNESCO. Zurich, Switzerland: World Glacier Monitoring Service, 1991. 70 p.

WGMS 2013. Glacier Mass Balance Bulletin No. 12 (2010–2011). ICSU (WDS)-IUGG (IACS)-UNEP-UNESCO-WMO. Zurich, Switzerland: World Glacier Monitoring Service, 2013. 106 p.

WGMS 2021. Global Glacier Change Bulletin No. 4 (2018–2019). Zurich, Switzerland: World Glacier Monitoring Service, 2021. 278 p. DOI: 10.5904/wgms-fog-2021-05.

REFERENCES

Alekseev V.R., Gienko A.Ya. The icings of Putorana Plateau. Irkutsk: IG SB RAS. 2002. 101 p. (in Russian).

Catalogue of glaciers of the USSR. V. 16. Iss. 1. Part 3–5. Iss. 2. Part 1. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973. 64 p. (in Russian).

Catalogue of glaciers of the USSR. V. 16. Iss. 1. Part 6. Moscow: Gidrometizdat, 1981. P. 7–12 (in Russian).

GLIMS Consortium. 2005. GLIMS Glacier Database, Version 1. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center, 2005. DOI: 10.7265/N5V98602.

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.

IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 3056 p. DOI: 10.1017/9781009325844.

Khromova T.Y., Nosenko G.A., Glazovsky A.F., Muraviev A.Ya., Nikitin S.A., Lavrentiev I.I. New inventory of the Russian glaciers based on satellite data (2016–2019). *Ice and Snow*, 2021. V. 61. No. 3. P. 341–358 (in Russian). DOI: 10.31857/S2076673421030093.

Kitov A.D., Plyusnin V.M. Creation and use of the database of glaciers of Southern Siberia. *InterCarto. InterGIS*. Smolensk: – Publishing House of Smolensk State University, 2012. P. 143–148 (in Russian).

Kitov A.D., Plyusnin V.M., Ivanov E.N., Batuev D.A., Kovalenko S.N. The Internet presentation of databases of glaciers of the south of Eastern Siberia. *InterCarto. InterGIS*, 2017. V. 23. Part 2. P. 228–242 (in Russian). DOI: 10.24057/2414-9179-2017-2-23-228-242.

Kotlyakov V.M., Chernova T.E., Nosenko G.A., Popova V.V., Chernova L.P., Muraviev A.Ya., Rotataeva O.V., Nikitin S.A., Zverkova N.M. Modern changes in the glaciers of the mountainous regions of Russia. Moscow: Publishing House KMK, 2015. 288 p. (in Russian).

Matveeva T.A., Semenov V.A. Regional features of the Arctic Sea ice area changes in 2000–2019 versus 1979–1999 periods. *Atmosphere*, 2022. V. 13. No. 1434. P. 1–14. DOI: 10.3390/atmos13091434.

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

Sarana V.A. Glaciers of the Putorana Plateau. *MGI*, 2005. V. 98. P. 19–29 (in Russian).

WGMS 1991. *Glacier Mass Balance Bulletin No. 1 (1988–1989)*. IAHS (ICSU)-UNEP-UNESCO. Zurich, Switzerland: World Glacier Monitoring Service, 1991. 70 p.

WGMS 2013. *Glacier Mass Balance Bulletin No. 12 (2010–2011)*. ICSU (WDS)-IUGG (IACS)-UNEP-UNESCO-WMO. Zurich, Switzerland: World Glacier Monitoring Service, 2013. 106 p.

WGMS 2021. *Global Glacier Change Bulletin No. 4 (2018–2019)*. Zurich, Switzerland: World Glacier Monitoring Service, 2021. 278 p. DOI: 10.5904/wgms-fog-2021-05.
