Серия «Науки о Земле»
2026. Т. 56. С. 70–88
Онлайн-доступ к журналу:
http://izvestiageo.isu.ru/ru

ИЗВЕСТИЯ
Иркутского
государственного
университета

Научная статья

УДК 912.4+910.2(079.3)
https://doi.org/10.26516/2073-3402.2026.56.70

Использование ГИС-технологий для создания тематических карт (на примере горного массива Мунку-Сардык как учебного полигона)

А. Д. Китов*

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

С. Н. Коваленко

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Отмечается, массив Мунку-Сардык с наибольшей вершиной Восточного Саяна, 3491 м, и с разнообразием природных зон наиболее удачно подходит как полигон для стационарных исследований, которые положительно зарекомендовали себя для углубленного всестороннего исследования отдельных территорий. Цель настоящей работы – продолжить ряд исследований, начатых в XIX в., в основном гляциологических, тематически расширить и детализировать изучение данного района с использованием современных ГИС-технологий, погодных регистраторов, GPS-метрии и др. Привлечение студентов, в основном из Иркутского государственного университета, и аспирантов для исследований и учебных практик позволяет использовать полигон как учебно-научный и познавательно-туристический. С применением современных ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли созданы базы данных ледников, отражающие их динамику более чем за 100 лет. Проводится ГИС-картографирование территории полигона по разным компонентам (нивально-гляциальные объекты, геология, изменение горных геосистем и др.). Представлены некоторые тематические карты основной части полигона: области распространения гляциальных образований, порядков рек и распределения наледей, а также схема расположения мест эпизодического наблюдения за погодой и регистрации температуры на разных высотных уровнях с помощью термохронов. По результатам наблюдения по минимальному термометру Перетолчина минимальные температуры за 120 лет практически не изменились и составляют –34,5 °С. Показана степень изменения ледников Перетолчина и Радде. По дистанционным данным Landsat возможно отслеживание изменения ледников с периодичностью 5 лет. Наблюдения показали, что сокращение ледников происходит со средней скоростью 0,009 км^2/год, а сами ледники более чем за 100 лет сократились по площади открытой части более чем в 4 раза. Так, ледник Перетолчина уменьшился с 0,83 до 0,15 км^2, а Радде – с 0,48 до 0,07 км^2. Анализ рядов регистрации температуры показал, что преобладают отрицательные среднегодовые температуры на всей местности. Среднегодовая температура в самой верхней точке хребта порядка –12° С, что способствует сохранению ледников. Также отмечается изменение других высокогорных зон, граница леса в виде редколесья сдвинулась вверх по долине на 100 м. Представлен прогноз сокращения ледников Мунку-Сардык.

Ключевые слова: ГИС, ледник, рельеф, учебный полигон, горный массив Мунку-Сардык.

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств государственного задания FWEM-2026-0004 № 126020516555-4.

© Китов А. Д., Коваленко С. Н., 2026

* Полные сведения об авторах см. на последней странице статьи.
For complete information about the authors, see the last page of the article.

Для цитирования: Китов А. Д., Коваленко С. Н. Использование ГИС-технологий для создания тематических карт (на примере горного массива Мунку-Сардык как учебного полигона) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2026. Т. 56. С. 70–88. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2026.56.70

Original article

Using GIS-Technologies to Create Thematic Maps (on the Example of the Munku-Sardyk Mountain Range as a Training Ground)

A. D. Kitov*

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

S. N. Kovalenko

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The Munku-Sardyk mountain range with the largest peak of the Eastern Sayan Mountains, 3491 m, and with a variety of natural zones, is most successfully suited as a landfill for stationary studies, which have positively proven themselves for in-depth comprehensive research of individual territories. Considering that glaciological studies began more than 100 years ago, it is of interest to continue studying the territory of the landfill, which is presented in this work. The purpose of this work is to continue a number of studies begun in the century before last, mainly glaciological, thematically expand and detail the study of this area using modern GIS technologies, weather recorders, GPS-metry, etc. Attracting students, mainly from Irkutsk State University, and graduate students for research and educational practices allows you to use the landfill as an educational, scientific and educational and tourist site. Using modern GIS technologies and data from remote sensing of the Earth, databases of glaciers have been created that reflect their dynamics for more than 100 years. GIS mapping of the territory of the landfill is carried out for various components (nival-glacial objects, geology, changes in mountain geosystems, etc.). This article presents some thematic maps of the main part of the landfill: Areas of distribution of glacial formations, river orders and river aufeis distribution. A diagram of the location of places for episodic observation of the weather and recording of temperature at different altitude levels using thermochrons is presented. According to the results of observation on the minimum Peretolchin thermometer, the minimum temperatures 120 years ago practically did not change and amount to -34.5° C. The degree of change in the Peretolchin and Radde glaciers is shown. According to Landsat remote data, it is possible to track changes in glaciers with a frequency of 5 years. Observations have shown that the reduction of glaciers occurs at an average rate of 0.009 km^2/year, and the glaciers themselves have decreased over the area of the open part by more than 4 times in more than 100 years. So the Peretolchina glacier decreased from 0.83 to 0.15 km^2, and Radde from 0.48 to 0.07 km^2. Analysis of the temperature recording series showed that negative average annual temperatures prevail throughout the area. The average annual temperature at the highest point of the ridge is about -12° C, which contributes to the preservation of glaciers. There is also a change in other highland zones, the forest border in the form of woodlands moved up the valley by 100 m. A forecast of the reduction of the Munku-Sardyk glaciers is presented.

Keywords: GIS, glacier, relief, training ground, Munku-Sardyk mountain range.

For citation: Kitov A.D., Kovalenko S.N. Using GIS-Technologies to Create Thematic Maps (on the Example of the Munku-Sardyk Mountain Range as a Training Ground). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2026, vol. 56, pp. 70-88. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2026.56.70 (in Russian)

Введение

Стационарные физико-географические исследования широко используются для выявления закономерностей и природных особенностей на какой-либо характерной территории. Такие исследования на ключевых полигонах нашли применение в методах ландшафтного планирования [Semenov, 2014].

Они позволяют вести временной мониторинг геосистем территории. Так, Новосибирский госуниверситет на полигоне в Горном Алтае проводит учебные практики по изучению особенностей континентальной коры и исследует процессы формирования травертинов и разломов, связанных с палеоземлетрясениями [Early-middle … , 2011; Large … , 2022]. Горный массив Мунку-Сардык (рис. 1), составляющий часть Большого Саяна – наиболее высокого хребта Восточного Саяна, издавна привлекал туристов и исследователей горных ландшафтов. После проведения до пос. Монды асфальтированной дороги, а от пос. Монды до устья р. Белый Иркут – грунтового и регулярно обслуживаемого бригадой дорожных строителей участка дороги он стал еще более доступен в транспортном отношении.

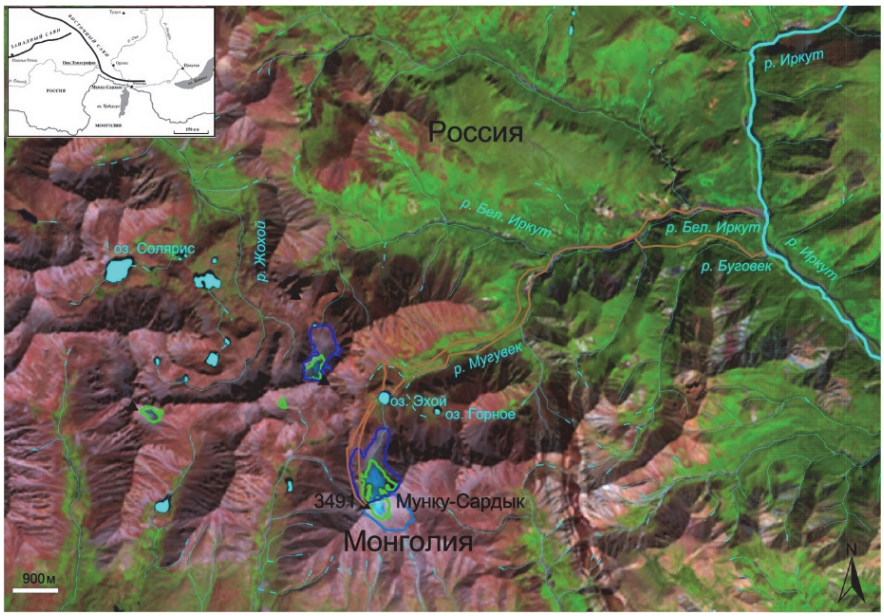

Рис. 1. Расположение полигона в хребте Восточный Саян и основная территория полигона горный массив Мунку-Сардык с одноименной вершиной, 3491 м, и координаты 51°43′08″ с. ш. 100°35′49″ в. д. Фон – космоснимок Landsat-8, 16.08.2024. Наложены векторные слои: реки, озера, треки летнего и зимнего маршрутов, ледники (зеленый контур – 2015 г., синий – 1900 г. по реконструкции схемы С. П. Перетолчина)

Вызывает интерес не только самая большая вершина в Восточном Саяне – Мунку-Сардык высотой 3491 м над у. м., но и разнообразие ландшафтов. Здесь можно найти высотные пояса от самого высокого нивального до степного. Поэтому весь массив Мунку-Сардык очень привлекателен для изучения различных геосистем: нивально-гляциальных, современного оледенения, горных тундр, лугов, горно-таежных лесных, степных. От ближайших больших городов его отделяет 580 (от Улан-Удэ, столицы Республика Бурятия) и 320 км (от Иркутска, областного центра Иркутской области). Поэтому неслучайно, что на этой территории более 20 лет проводятся экспедиции, обычно

весной в майские праздники и в летнее время (в период активной абляции ледников), институтами Иркутского филиала СО РАН, Иркутским государственным университетом (ИГУ), Молодежным клубом Русского географического общества «Портулан»[1], действующим на базе Педагогического института ИГУ. К тому же есть наработки ученых, позволяющие вести длительный мониторинг состояния геосистем, особенно ледниковых образований. Этот район с XIX в. исследовали Г. И. Радде [1861], С. П. Перетолчин [1908], В. Л. Комаров [1953], С. В. Обручев [1946] и др., работы которых продолжаются студентами, аспирантами и научными сотрудниками Иркутского госуниверситета и институтов СО РАН [Kitov, Kovalenko, Plyusnin, 2009; Osipov, Osipova, 2014; Fedotov, Margold, 2015; Modern … , 2015]. Ледники Мунку-Сардык изучаются и в настоящее время [Каталог … , 1973; Арефьев, Мухаметов, 1996; Изменение … , 2017], в том числе исследователями с монгольской стороны [Holocene ... , 2014; Orkhonselenge, 2016]. Здесь можно вести погодные и климатические наблюдения на различных высотных уровнях. Малые ледники не являются основными источниками воды для населения, но могут быть индикаторами изменения климата[2] [Climate … , 2015; Reconstruction … , 2015]. Картографирование на эту территорию производилось лишь в мелком масштабе[3]. Поэтому нами выполнено составление серии подробных тематических карт (Геология, Рельеф и геоморфологическое строение геосистем, Орогидрографическая схема района работ, Наледи, Мерзлота и современные нивально-гляциальные образования, Ландшафтная структура полигона хр. Мунку-Сардык – юг Центрально-Саянского плоскогорья, Опасные процессы, Климат, Палеооледенение, Антропогенная нарушенность, Туристические маршруты и природные достопримечательности). Такая работа целесообразна с позиций углубленного изучения и описания данной местности, а также с рекреационных позиций, для привлечения туристов и сохранения некоторых уникальных природных объектов.

Экспедиции в район Мунку-Сардык позволяют студентам и аспирантам собирать материал, под руководством научных сотрудников и преподавателей ИГУ, и оформлять в виде ГИС-проектов и карт с последующей защитой дипломных работ по выбранной геологической и географической тематике. Эти работы также помогают при освоении программы дисциплины ЭЛК.ДВ.02.01 «Компьютерные технологии в геологии»[4]. Рабочая программа предусматривает освоение ГИС ArcMap для создания проектов, обработки, анализа первичных геоданных и подготовки карт, а также пакета CorelDraw для окончательного оформления карт. Используется опыт ГИС-проектирования предыдущих лет и создания учебной ГИС [Геоинформационная … , 2002].

---

[1] В ТОП-10 молодежных клубов РГО. URL: https://isu.ru/ru/news/2024/details/news-id2024-00200 (дата обращения: 01.06.2026).

[2] RGI Consortium. Randolph Glacier Inventory – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0: Technical Report, Global Land Ice Measurements from Space. Colorado, USA. Digital Media. 2017. https://doi.org/10.7265/N5-RGI-60.

[3] Экологический атлас Байкальского региона. Иркутск : Ин-т географии им. В. Б. Сочавы СО РАН : Ин-т динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН, 2017. URL: http://atlas.isc.irk.ru (дата обращения: 30.05.2024).

[4] Рабочая программа дисциплины ЭЛК.ДВ.02.01 Компьютерные технологии в геологии / Кафедра динамической геологии ИГУ. Иркутск, 2023. 18 с.

Что касается эффективности привлечения студентов к участию в экспедициях в район Мунку-Сардык и вообще привлечения к научной работе, то в походах клуба ИГУ «Портулан» в разные годы участвовали сотни студентов разных курсов, и продолжается работа по гляциологической тематике [Иванов, Силаев, 2020].

Таким образом, цель настоящей работы – на территории горного массива Мунку-Сардык, наиболее доступного и имеющего разнообразные природные зоны, продолжить ряд исследований, начатый в XIX в., в частности гляциологических, наиболее длительных, тематически расширить изучение данного района, использовать полигон как учебно-научный с привлечением студентов для научных исследований и учебных практик, с возможным выявлением будущих научных сотрудников и естествоиспытателей.

Материалы и методы исследования

Учебно-научный полигон определяется долинами рек Бел. Иркут, Мугувек, Буговек, Жохой (рис. 1). Основной базовый лагерь располагается в районе стрелки рек Бел. Иркут и Мугувек (лагерь «Портулан»). В летних экспедициях дополнительно организуются стоянки в устье Буговека и около границ леса по долинам рек Бел. Иркут (лагерь «Геологический») и Мугувек. Из лагеря «Геологический» выполняются маршруты по изучению ледников Радде и Пограничный, наледей в верховьях Бел. Иркута, каменных глетчеров, снежников и других геосистем в долине р. Жохой. Из лагеря на Мугувеке исследуются ледник Перетолчина, наледи в верховье одноименной реки, снежники, склоновые процессы и др. объекты. На рис. 1 представлен полигон в общем виде, а ниже (рис. 2, 3, 5) приведены карты на его основную часть.

Технология составления тематических карт заключается в следующем.

1. На базе открытых топографических и тематических материалов м-ба 1:100 000 в ГИС создана основа, состоящая из точечных, линейных и площадных основных объектов (высотные отметки, гидрография, изолинии рельефа, границы хребтов, леса и др., лесные участки, ледники, озера и др.).

2. С использованием данных экспедиционных, спутниковой навигации и результатов дешифрирования дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) созданы тематические объекты, также точечные, линейные и площадные (точки стоянок и лагерей туристов, точки наблюдения за погодой, точки постоянной фотосъемки ледников, линии обхода границы ледников, характерных объектов, например, каменного потока и его частей, каменных глетчеров, многолетних снежников, наледей, линии маршрутов, отметки продвижения границы леса и т. п.).

3. Создание конкретной тематической карты в соответствующем ГИС-проекте из набора базовых объектов и тематических, вновь полученных в каком-то исследовании с добавлением тематических объектов, связанных с данной темой исследования.

4. Оформление созданной карты и публикация результатов. Использование в учебном процессе.

Исходными материалами для создания ГИС-проекта являются топографические и тематические карты (геологическая, ландшафтная и др.), данные ДЗЗ Landsat, Quick Bird и др. доступные космоснимки. Первоначально дешифрированные данные ДЗЗ в ГИС-проекте дополняются и корректируются по результатам последующей заверки в полевых условиях. В процессе камеральной работы анализируются состояние изучаемых объектов, их границы, динамика, тенденции изменения и др. Для ГИС-анализа космические снимки приводятся к единой проекции WGS-84, UTM-зона 47. Дешифрирование и векторизация границ объектов проводится в ручном режиме RGB-синтезированных снимков (сцен) в различных спектральных каналах. Обработка первичных данных выполняется в ГИС-программах ArcViewGIS (v3.2a), ArcMap и графическом редакторе CorelDraw. При выделении границ ледников учитывались не только учебные рекомендации, но и рекомендации по составлению каталогов ледников и Международного проекта GLIMS[5] [Каталог, 1973]. Данные Landsat (пространственное разрешение до 15 м) используются для отслеживания изменения площади ледников с 1980-х гг. Данные со спутников высокого разрешения – для корректировки границ изучаемых объектов, реконструкции ледников на период их наблюдения С. П. Перетолчиным, выделения характерных деталей геосистем.

Для составления ГИС-проектов использовались различные пространственные литературные данные, в том числе и международные цифровые базы данных по ледникам. Данные предыдущих исследователей и космической съемки Landsat позволили проследить динамику ледников за полвека, а для ледника Перетолчина и Радде – за 120 лет. По результатам ГИС-анализа были составлены базы данных, исходным материалом для которых является следующая информация:

1. Литературные источники других исследователей включают: данные исходного состояния оледенения по С. П. Перетолчину [1908]; по Каталогу ледников СССР [1973]; по Р. М. Мухаметову [Арефьев, Мухаметов, 1996].

2. Данные по топографическим картам на 1960-е гг. Для получения информации о ледниках использованы топографические карты, доступные в интернете (ФГУП «ГосГисЦентр») за период 1960-х гг. масштабов 1:50 000, 1:100 000. Эти данные в некоторой степени следует считать уточняющими к данным п. 1.

3. Информация о современном состоянии ледников по космоснимкам Landsat-5-9, имеющим пространственное разрешение 15–30 м, за 2001–2025 гг. Всего более 50 сцен Landsat. За базовое представление приняты космоснимки: Quick Bird (29.08.2006, разрешение 0,6 м), LT51360242007223IKR00 (11.08.2007) и LC81370242015220LGN00 (08.08.2015).

Дополнительно использованы снимки: L7137023_20010809 (09.08.2001), LE71360242007199PFS00 (18.07.2007), LE71360242006212PFS02 (31.07.2006), LE71360242007247PFS00 (04.09.2007), LE71360242010191SGS00 (10.07.2010)

[5] RGI Consortium. Randolph Glacier Inventory – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0: Technical Report, Global Land Ice Measurements from Space. Colorado, USA. Digital Media. 2017. https://doi.org/10.7265/N5-RGI-60.

LE71360242010271SGS00 (28.09.2010), LE71360242012261EDC00 (17.09.2012), LC81360242013223LGN00 (11.08.2013), LC81370242014217LGN00 (05.08.2014), LC81360242014258LGN00 (15.09.2014), LC81360242015181LGN00 (30.06.2015), LC81370242015236LGN00 (24.08.2015), LC8137024_20210723_T1 (23.07.2021), LC813602420230823_T1 (23.08.2023), LM02_146024_19750730 (30.07.1975), LT05_136024_19910831 (31.08.1991), LT05_136024_19950826 (26.08.1995), LC08_136024_20250727 (27.07.2025) и т. п., мозаика N-47-50_2000 (в формате mrsid), снимки Spot-5 (разрешение 20 м), Pleiades (13.07.2013 и 03.08.2013, разрешение 0,5–2 м). Для сцен Landsat применялся синтез спектральных каналов 2, 4, 7 и 1, 2, 3 для Landsat-7, 3, 5, 7, для Landsat-8, 9 с улучшением по 8 (панхроматическому) каналу.

Используются также спутниковые навигационные приборы, лазерные дальномеры, георадар «Око-2» для исследования толщи ледников, каменных глетчеров и наледей. Это позволяет в ГИС-проекте уточнить границы объектов, определить мощность ледника. По долинам рек Бел. Иркут, Мугувек и Буговек на разных высотных уровнях от вершины Мунку-Сардык до ворот р. Бел. Иркут развернута сеть регистрации температуры на базе самописцев (термохронов) iButton. На основе полученных данных ведется температурный мониторинг, позволяющий анализировать изменение ледников, наледей в результате изменения климата. По описанию С. П. Перетолчина [1908] на уровне низа языка ледника Перетолчина был найден минимальный термометр, по которому продолжаются климатические наблюдения. Установленный рядом термохрон позволяет определить дату и временной интервал понижения температур до минимальных значений. Также установлен современный минимально-максимальный термометр в районе базового лагеря «Портулан» (около стрелки рек Бел. Иркут и Муговек). Во время экспедиций проводятся наблюдения за погодными условиями с использованием портативных метеостанций. Описание всех экспедиций представлено на сайте[6].

В настоящее время на данную территорию нами составлены тематические карты: Области распространения гляциальных образований; Стадии (последовательности) развития гляциального рельефа; Геологическая основа развития гляциальных форм рельефа; Маршруты экспедиций; Орогидрографическая схема; Климатическая карта (солнечная радиация, распределение летнего атмосферного давления, распределение зимнего атмосферного давления, распределение годового давления, температура июля, температура января, схема расположения точек наблюдений за погодой); Плотность размещения каров; Количественное распределение каров по среднестатистическим высотным уровням; Гляциальные геоморфологические комплексы; Генетические типы и возраст гляциального рельефа; Геологическая карта района (по Геологической карте 1961 г. с изменениями); Максимальные границы зырянского оледенения и составляющие (ледники) Окинского ледника и его формы рельефа; Участки распространения каменных глетчеров; Порядок рек и распределение наледей; Рекреационная нагрузка (опасные участки, туристические стоянки и маршруты); Геосистемы района Мунку-Сардык. Кроме этого, составлены

[6] Мунку-Сардык.РУ. URL: http://munku-sardyk.ru/category/our-blog/expedition/ (дата обращения: 30.05.2024).

карты на отдельные объекты данной территории: схемы ложа ледников Перетолчина и Радде (построены по данным георадарного зондирования); схема каменного потока Активный (оконечность этого каменно-ледового потока выходит в русло р. Бел. Иркут в виде постоянно действующей осыпи, создающей опасность для проходящих мимо туристов); схемы динамики ледников массива за 120 лет; уточненная реконструкция ледника Перетолчина на начало XX в. (построена по схеме С. П. Перетолчина [1908], его фотоснимкам и данным ДЗЗ Quick Bird). Создана база данных ледников Мунку-Сардык, отражающая динамику с интервалом 5 лет с 1970-х гг. по данным Landsat и топокартам.

Хотя работы ведутся фактически полустационарным методом (экспедиции проводятся с 2002 г. несколько раз в год) и держатся на энтузиазме авторов. Современных материалов и крупномасштабных карт других исследователей на данную местность нет. Специальные исследования по изучению ледниковых озер ведет Лимнологический институт СО РАН [Osipov, Osipova, 2014; Fedotov, Margold, 2015; Reconstruction … , 2015].

Результаты и обсуждение

Поскольку геоморфологическая структура территории сформирована в основном деятельностью ледников зырянского оледенения (Окинский ледник), то основные работы посвящены теме исследования нивально-гляциальных образований, динамике ледников как индикаторов изменения климата и связанных с этим взаимодействием геосистем, а также современным процессам рельефообразования. Поэтому на отдельных точках маршрутов организованы пункты наблюдения за погодой. Места установки, с учетом высотных ступеней и природных зон, термохронов и наблюдения за погодными условиями во время экспедиций показаны на рис. 2.

Показания минимального термометра на высоте 2900 м (рис. 2, пункт 6) при С. П. Перетолчине почти не отличаются от современных показаний (табл. 1), средняя температура (Tср) незначительно повысилась, но дисперсия значительно больше и продолжает возрастать. В последние 7 лет она увеличилась почти в два раза по сравнению с предыдущими 7 годами. Вероятно, это отражает меньшую устойчивость погоды. В среднем минимальная температура держится на уровне –35° С. Дублирование минимального термометра термохроном позволило определить даты самых морозных дней в году. Обычно это конец января – начало февраля, однако бывают годы с минимумом температуры в последней декаде ноября.

Как упомянуто выше, гляциологические исследования являются основными на данной территории. Поэтому много наших работ посвящено этой тематике. Отслеживается динамика ледников и каменных глетчеров, учитывая наблюдения предшественников, более 120 лет.

Более подробно динамика всех ледников массива Мунку-Сардык и сопоставление с разными территориями современного горного оледенения рассмотрены в других наших работах [Kitov, Kovalenko, Plyusnin, 2009; Modern … , 2015]. В настоящее время ледник сократился и по длине открытой части, и по площади более чем в 4 раза, а по результатам георадарных исследований в объеме в 3,7 раза.

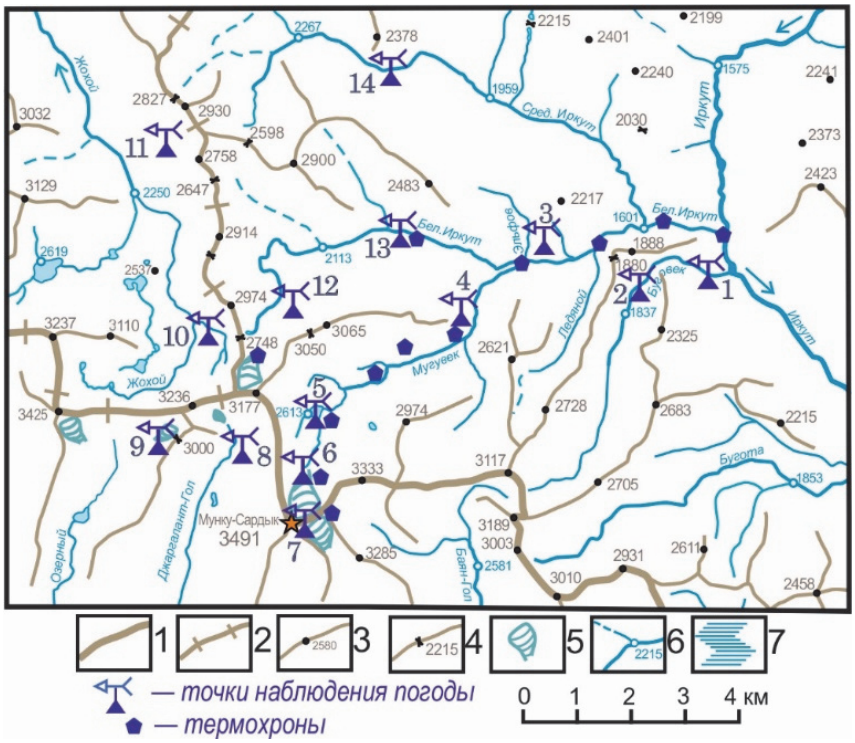

Рис. 2. Расположение мест эпизодических наблюдений за погодой и установки термохронов: *1* – хребты, *2* – главный водораздельный хребет рек Оки и Иркут, *3* – второстепенные хребты с абсолютными отметками главных вершин, *4* – перевалы и их абсолютные отметки, *5* – ледники, *6* – реки со значениями урезов вод, *7* – заболоченность, числа – номера точек наблюдения: *1* – 1631 м, р. Буговек; *2* – 1719 м, р. Буговек; *3* – 1800 м, р. Бел. Иркут; *4* – 2090 м, в долине р. Муговек; *5* – 2613 м, оз. Эхой; *6* – 2900 м, минимальный термометр Перетолчина; *7* – 3491 м, г. Мунку-Сардык; *8* – 2722 м, вблизи глетчера Бабочка р. Джаргалант-Гол (Монголия); *9* – 2975 м, глетчер Энтузиастов (Монголия); *10* – 2629 м, верховья р. Жохой; *11* – 2400 м, р. Жохой; *12* – 2500 м, в каре Уютный в верховьях р. Бел. Иркут; *13* – 2100 м, р. Бел. Иркут, *14* – 2120 м, р. Средний Иркут

Таблица 1

Показания термометра С. П. Перетолчина на уровне низа ледника

Данные Перетолчина		Современные данные			
Год	Тмин, °С	Год	Тмин, °С	Год	Тмин, °С
1900	−36	2007	−31,5	2015	−35,5
1901	−35,5	2008	−34,2	2016	−31,7
1902	−33,5	2009	−37,3	2017	−30,8
1903	−35,5	2010	−34	2018	−38,5
1904	−32,4	2011	−34,2	2019	−35
1905	−35	2012	−38,4	2020	−33,3
1906	−34,2	2013	−33,2	2021	−35,5
		2014	−34,1	2022	−30
Тср, °С	−34,59		−34,69		−34,33
Дисперсия, °С	1,66		4,89		8,20

Пример карты распространения гляциальных образований на территории массива Мунку-Сардык приведен на рис. 3.

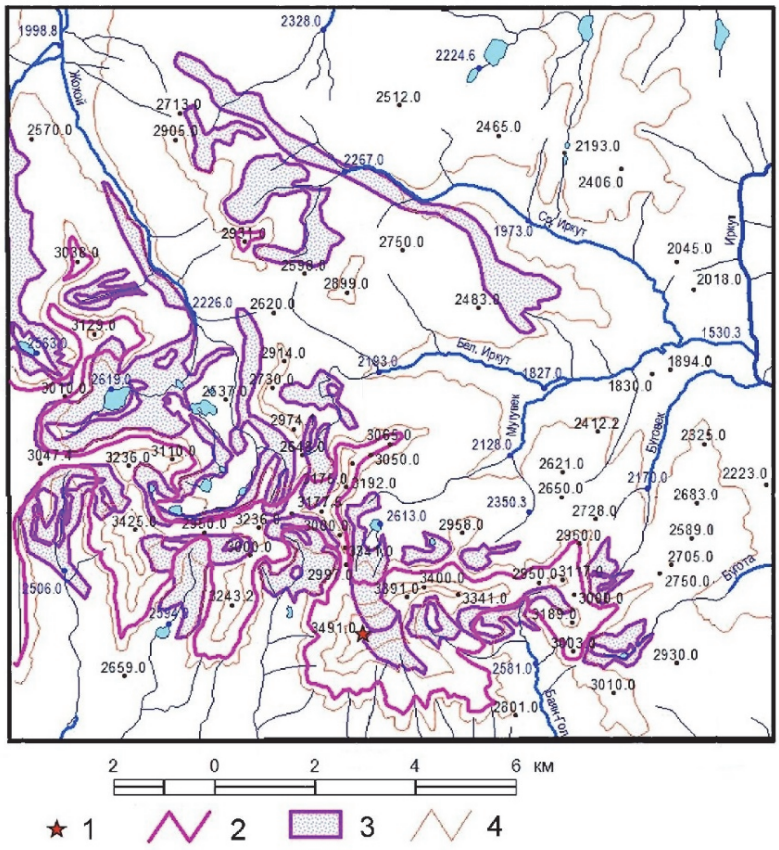

Рис. 3. Области распространения гляциальных образований, в основном каменных глетчеров, на исследованной территории: *1* – Мунку-Сардык; *2* – региональная снежная граница; *3* – участки распространения современных ледников и каменных глетчеров; *4* – горизонтали рельефа: 2200, 2800, 3100 и 3250 м

Для описания основных форм локального современного и более широко распространенных древних этапов оледенения – каров и трогов была исследована местность площадью более 293 км^2, которая охватывает прилегающую к г. Мунку-Сардык территорию. Используя средние длины трогов и средние высоты дна каров каждого средневысотного уровня каров (СВУК) всех выявленных этапов оледенения, была построена гипотетическая лестница каров и трогов изучаемого района и диаграмма (рис. 4), которую можно использовать при сравнительном анализе гляциального рельефа других территорий, а также для анализа расположения наледей, границ геосистем и распределения флоры и фауны района. При установке термохронов (см. рис. 2) также учитывались данные высотные уровни и порядок СВУК.

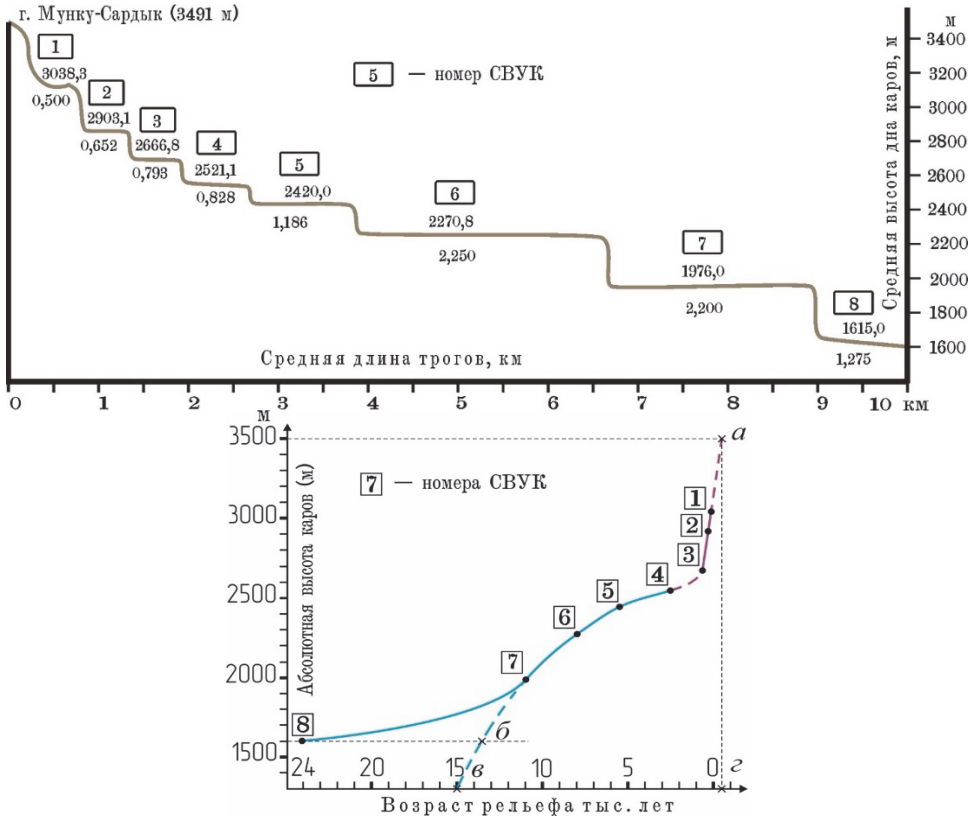

Рис. 4. Гипотетическая лестница каров и трогов. Верхнее число – средняя высота дна кара, нижнее – средняя длина кара (верхний график). Диаграмма соотношения возраста и абсолютной высоты статистически высотных уровней каров и трогов района (нижний график)

По кривой зависимости возраста от высоты каров СВУК (см. рис. 4) можно прогнозировать высоты и возраст будущих форм рельефа. Кривая диаграммы разбивается на три разных дуги: выпуклостью вниз пологую нижнюю, выпуклостью вверх более крутую среднюю и почти вертикальную спрямленную верхнюю.

Характерные точки кривой с седьмого по третий СВУК лежат на плавной кривой (или дуге), что может указывать на точность определения возраста этих СВУК. Точка, отвечающая кару 8 СВУК, далеко отстоит от этой кривой, что может быть вполне объяснимо древностью этого СВУК (24 тыс. лет) или неточным определением высоты дна кара. Если же провести дугу до высоты дна этого кара, то возраст его может быть определен в 13–14 тыс. лет (точка *б*). Если же продолжить ее до высоты Мондинской впадины (1300 м), то можно определить возраст ледников, достигавших ее в 15 тыс. лет (точка *в*). Резкий изгиб вверх кривой диаграммы после характерной точки 3 СВУК может указывать на незаконченность формирования рельефа 1–2 СВУК, на существование в пределах каров этого возраста современных ледников или на

другие, требующие решения факторы, пока ускользающие от нашего внимания. Если продолжить этот вертикальный отрезок диаграммы до пересечения им самых высоких пределов рельефа района (3491 м) (точка *а*), то можно примерно определить по этой диаграмме возраст исчезновения ледников в районе через 500 лет (считая от 1900 г.) (точка *г*). Таким образом, окончательно современные ледники в районе могут исчезнуть только к 2400 г.

Немного выположенный участок кривой между 4 и 5 СВУК может указывать на замедление формирования каров, так как в это время начали формироваться современные ледники в этом районе. Дело в том, что в долине соседней р. Буговек дальше от границы леса более километра в исторической морене (у основания морены образовался провал, фронт морены осыпался и обнажил артефакты) был найден хорошо сохранившийся пень лиственницы высотой около 1,5 м, в диаметре 60 см (современные лиственницы на границе леса в диаметре около 20 см), возраста около 350 лет, ниже лежала отломившаяся макушка этого пня. Радиоуглеродный анализ в лаборатории СПГУ показал, что возраст образцов дерева 7180 лет (лаб. № ЛУ-6167 от 27.09.2009). Это соответствует Атлантическому периоду, когда было значительно теплее, чем сейчас. На этом же склоне и ниже в болоте было найдено еще несколько полуразложившихся пней. При сравнении годовых колец существующих деревьев и древнего их ширина в 2–3 раза больше, чем у современных. Это говорит о том, что в оптимум голоцена здесь был могучий лес, который доходил, вероятно, почти до верха хребта, и ледников не могло быть. Вероятно, современные ледники начали формироваться в период похолодания между 4 и 5 СВУК (4–5 тыс. лет назад).

Кроме нивально-гляциальных образований типа ледников и снежников, в данном районе распространены наледи. Можно было предположить, что динамика наледей как-то связана с динамикой ледников. Однако в результате исследований такой связи не обнаружилось. Образование наледей больше обусловлено накоплением влаги в осадочном грунте (палеоледниковых отложениях). На основе обобщения данных полевых исследований высокогорных наледей 2002–2016 гг. составлена карта их распределения (рис. 5). Была выявлена геологическая роль наледей в формировании рельефа (новые наледные формы) и переносе обломочного материала.

Ступенчатый рельеф, сформированный палеоледниками, повлиял на степень и видовой состав флоры района. В связи с изменением климата границы между отдельными геосистемами заметно меняются, поэтому необходимо было оценить ландшафты территории. По результатам анализа почвенного покрова (делались разрезы для определения горизонтов почв), дендрохронологических исследований (брались керны деревьев, преимущественно сосны сибирской – кедра, возраст некоторых экземпляров достигал 400 лет), описания сопутствующей флоры в подлеске на данную территорию была составлена карта геосистем [Modern … , 2015]. Эта карта используется при наблюдении смещения границ природных зон. Так, было замечено, что граница нивальной зоны смещается выше и расширяется зона высокогорных тундр и лугов. Граница леса в виде редколесья также сместилась на 100 м выше. Размер

остепненных участков практически не изменился. Согласно этой карте, определялись места вероятного обитания горных баранов и снежного барса для установки фотоловушек [Данилов, Преловский, 2021].

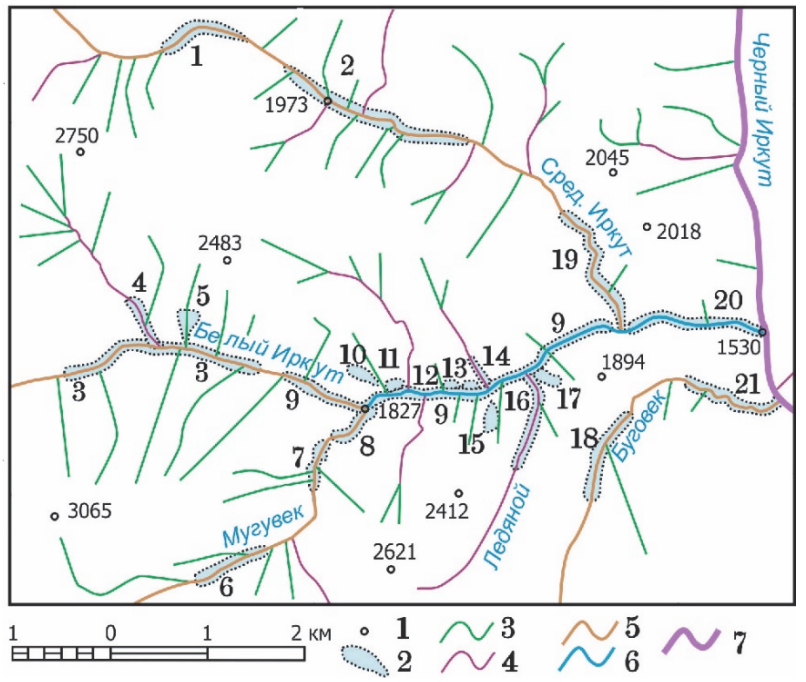

Рис. 5. Фрагмент карты порядков рек и распределения наледей изучаемого района: *1* – вершины; *2* – наледи (номера на карте): *1* – Верхняя, *2* – Большая Среднеиркутная, *3* – Большая Белоиркутная, *4* – Ручья Наледный, *5* – Ночная, *6* – Большая Мугувекская, *7* – Каньона Мугувек, *8* – Усть-Мугувекская, *9* – Белоиркутная, *10* – Домашняя, *11* – Таборная, *12* – Архаров, *13* – Лесная, *14* – Потайная, *15* – Красивая, *16* – Ручья Ледяной, *17* – Детская, *18* – Большая Буговекская, *19* – Усть-Среднеиркутная, *20* – Усть-Белоиркутная, *21* – Усть-Буговекская; *3–7* – порядки рек: *3* – первый, *4* – второй, *5* – третий, *6* – четвертый, *7* – шестой

Данные ДЗЗ Landsat позволяют отслеживать изменение открытой части ледников с периодичностью до пяти лет. Однако в силу погодных условий на момент абляции ледников и сбоев аппаратуры не во все годы можно получить данные. Так для ледника Перетолчина 1980-е гг. оказались недостаточно информативными. Площадь ледника 1908 г. опубликована С. П. Перетолчиным, а 1900 г. – реконструкция по данным ДЗЗ с учетом схемы С. П. Перетолчина. Данные по топографическим картам (1960 г.) следует считать ориентировочными, так как они недостаточно точные. Данные 1970-х гг. взяты из Каталога ледников СССР. Динамика ледников представлена в табл. 2. Отмечается, что скорость сокращения ледников неравномерна (в среднем 0,009 км^2/год), но в последние годы фиксируется тенденция к возрастанию. По информации дру-

гих баз данных о ледниках в 2002 г. БД GLIMS оценивает ледники Перетолчина северный, южный и Радде соответственно – 0,214; 0,108 и 0,045 км^2; БД ИГ РАН (2019 г.) – 0,24; 0,11 и 0,08 км^2 соответственно по данным ДЗЗ Sentinel-2.

Таблица 2

Динамика ледников Мунку-Сардык

Год получения данных	Ледник Перетолчина, северный	Ледник Перетолчина, северный	Ледник Перетолчина, южный	Ледник Радде
	Площадь, км^2	Скорость изменения, км^2/год	Площадь, км^2	Площадь, км^2
1908	0,68	–	0,40	0,30
1900	0,83	–	0,63	0,48
1960	0,80	–0,000	0,35	0,38
1970	0,70	–0,010	–	0,3
1975	0,52	–0,036	–	–
1980	–	–	–	–
1985	–	–	–	–
1990	0,48	–0,003	0,30	0,34
1995	0,45	–0,007	0,27	0,29
2000	0,43	–0,005	0,20	0,19
2005	0,33	–0,019	0,16	0,19
2010	0,33	0,000	0,15	0,18
2015	0,30	–0,005	0,11	0,10
2020	0,29	–0,002	0,09	0,05
2025	0,15	–0,028	0,05	0,07

Ряд наблюдений изменения температуры по термохронам не достаточен для окончательных выводов, но следует отметить, что на определенных высотных уровнях наблюдается тенденция к понижению средних годовых температур. Сеть термохронов пополнялась постепенно, некоторые термохроны выходили из строя и их приходилось заменять. Наиболее полно зафиксированы данные в 2022 г. практически по всем пунктам наблюдения вдоль основного маршрута по долинам рек Бел. Иркут – Мугувек (табл. 3).

Таблица 3

Изменение среднемесячной температуры 2022 г. в районе Мунку-Сардык

№ п.п.	Место регистрации	Среднегодовая температура, °С	Высота над у. м., м
1	Предвершина Мунку-Сардык	–12,20	3470
2	Останец Фараон	–8,51	2860
3	Оз. Эхой	–6,79	2680
4	Гребень под пер. Горный	–4,11	2500
5	Останец Вид на Мунку	–4,85	2330
6	Граница леса	–4,05	2180
7	Историческая морена, лагерь «Дом2»	–4,11	2120
8	Стрелка рек Бел. Иркут и Мугувек	–3,26	1860
9	Устье ручья Ледяного	–2,92	1690
10	Устье ручья Среднего	–2,09	1610
11	Ворота речки Бел. Иркут	–2,13	1560

Среднегодовая температура всех уровней составляет –5° С, наибольший перепад температур – –10,07 °С, среднее падение температуры с повышением высоты на каждые 100 м – –0,38 °С. Самый большой ряд наблюдений (с 2009 г.) на останце Фараон, там же, где установлен минимальный термометр Перетолчина. С 2013 г. получены данные на лагере «Дом2» и Стрелке, на самой высокой отметке регистрируются температуры только с 2018 г. (табл. 4).

Таблица 4

Некоторые ряды регистрации среднегодовой температуры в районе Мунку-Сардык

Год	Фараон	Дом2	Стрелка	Вершина
2009	–9,1	–	–	–
2010	–9,1	–	–	–
2011	–9,0	–	–	–
2012	–9,5	–	–	–
2013	–6,9	–2,6	–1,2	–
2014	–	–4	–2,8	–
2015	–7,4	–2,8	–1,6	–
2016	–9,4	–4,5	–3,1	–
2017	–7,2	–3,6	–2,5	–
2018	–8,6	–2,8	–3	–12,5
2019	–7,9	–3,4	–2,4	–11,7
2020	–11,8	–3,5	–2,6	–12,4
2021	–7,6	–3,5	–2,6	–11,6
2022	–8,5	–4,1	–3,2	–12,2
2023	–7,8	–3,4	–2,6	–11,6
Tср	–8,6	–3,5	–2,5	–12,0

В районе вершины Мунку-Сардык (3470 м) тренд температур к их повышению, ниже в районе останца Фараон и оз. Эхой (2860–2680 м) тренд на незначительное повышение, а начиная с 2500 до 1610 м (см. табл. 3) тренд на понижение температур. В воротах р. Бел. Иркут (1560 м) тренд снова на повышение температур. Как видно (табл. 3, 4), по всей траектории наблюдения на всех высотных уровнях среднегодовые температуры ниже нуля, что способствует сохранению нивально-гляциальных образований.

Выводы

Учитывая основную гляциологическую направленность работ, начатые в XIX в. исследования Г. И. Радде [1861], С. П. Перетолчина [1908], В. Арефьева, Р. Мухаметова [1996] были продолжены наблюдениями за погодными условиями и анализом динамики изменения ледников и наледей. Эти работы тесно связаны с особенностями формирования рельефа, а также с распространением и формами растительности и взаимодействием геосистем. Ранее на эту территорию не было подробных карт (существующие материалы не крупнее м-ба 1:1 000 000)[7]. Поэтому в данной работе представлены карты основных разделов исследования и краткий анализ соответствующих структур (участков погодных наблюдений, распространения гляциальных образований, свя-

[7] Экологический атлас Байкальского региона …

занных с формированием СВУК, оценка наледных процессов и соответствующая карта распределения наледей, карта геосистем, соответствующая современной ландшафтной ситуации [Modern … , 2015]). При дальнейшем изучении местности эти карты будут детализироваться. Так, карту геосистем, выполненную до геомов, следует детализовать до группы фаций. По литературным источникам, картографическим данным и данным ДЗЗ были созданы БД на ледники и каменные глетчеры рассматриваемого полигона, отражающие их динамику с начала XX в. до 2014 г. (Свидетельство о регистрации базы данных № 2015620398. Ледники массива Мунку-Сардык). По данным ДЗЗ продолжается мониторинг ледников и пополнение баз данных [Каталог … , 1973; Новый ... , 2021; Climate … , 2015].

Благодаря нашим исследованиям продлен ряд наблюдений за динамикой ледников Мунку-Сардык, который составляет более 120 лет. Реконструкция состояния ледника Перетолчина и Радде по моренным отложениям при использовании данных ДЗЗ высокого разрешения (Quick Bird, 0,6 м) позволила уточнить размеры ледников в 1900 г.

На протяжении более 20 лет студенты проходят практику в районе Мунку-Сардык, после окончания университета активно используя полученный опыт: преподают в школах, принимают участие в экспедициях в составе клуба «Портулан», учатся в аспирантуре, защищают кандидатские диссертации, продолжают научную деятельность. Кроме представленных вариантов карт, разработаны карты и базы данных динамики ледников, карты наледей, опасных процессов, туристической нагрузки на территорию, геологические карты, палеокарты оледенения и др. Отснят огромный фото- и видеоматериал, есть документальный фильм «Мунку-Сардык» о работе нашей экспедиции. Полученные нами результаты используются в других исследованиях [Изменение ... , 2017; Новый ... , 2021; Данилов, Преловский, 2021].

По полученным результатам исследований предполагается сформулировать рекомендации, которые позволят администрации Окинского района проводить взвешенные природоохранные мероприятия, оформление территории как познавательной и предоставлять необходимые услуги при возрастающей туристической нагрузке.

Список литературы

Арефьев В., Мухаметов Р. На ледниках Алтая и Саян. Барнаул : Полиграфист, 1996. 176 с.

Геоинформационная система управления территорией. Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2002. 151 с.

Данилов Ф. А., Преловский В. А. Закономерности вертикального распространения млекопитающих горного массива Мунку-Сардык // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2021. Т. 37. С. 28-41. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.37.28

Иванов Е. Н., Силаев А. В. Геоинформационное моделирование основных этапов развития мерзлотных и ледниковых геосистем юга Восточной Сибири. Региональные геосистемы. 2020. Т. 44, № 2. С. 198-209. https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-2-198-209

Изменение горных ледников в Северном и Южном полушариях за последние 160 лет / В. М. Котляров, Л. П. Чернова, А. Я. Муравьев [и др.] // Лед и снег. 2017. Т. 57, № 4. С. 453–467. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-4-453-467

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

Комаров В. Л. Поездка в Тункинский край и на оз. Косогол в 1902 г. // Избранные сочинения. М. : Изд-во АН СССР, 1953. Т. 9. С. 217–291.

Новый Каталог ледников России по спутниковым данным (2016–2019 гг.) / Т. Е. Хромова, Г. А. Носенко, А. Ф. Глазовский [и др.] // Лед и снег. 2021. Т. 61, № 3. С. 341–358. https://doi.org/10.31857/S2076673421030093

Обручев С. В. Орография и геоморфология восточной половины Восточного Саяна // Известия ВГО. 1946. Т. 78. Вып. 5-6. С. 478–498.

Перетолчин С. П. Ледники хребта Мунку-Сардык : с картой и 13-ю табл. Томск : Типолит. Сиб. т-ва печат. дела, 1908. 47 с.

Радде Г. И. Путешествие в Юго-Восточную Сибирь (1855–1859) // Записки Императорского Русского географического общества. 1861. Т. 4. С. 1–78.

Climate regime of Asian glaciers revealed by GAMDAM glacier inventory / A. Sakai, T. Nuimura, K. Fujita [et al.] // The Cryosphere. 2015. Vol. 9. P. 865–880. https://doi.org/10.5194/tc-9-865-2015

Early-middle Paleozoic granitoids in Gorny Altay, Russia: implications for continental crust history and magma sources / N. N. Kruk, S. N. Rudnev, A. G. Vladimirov [et al.] // Journal of Asian Earth Sciences. 2011. Vol. 42, N 5. P. 928–948.

Fedotov A. P., Margold M. Glacier fluctuation in northern and High Asia: historic and methods perspective // Environ Earth Science. 2015. Vol. 74. P. 1845–1849. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4659-1

Holocene Landform Evolution of Lake Khuvsgul basin, Mongolia / A. Orkhonselenge, S. K. Krivonogov, K. Mino [et al.] // Géomorphologie: relief, processus, environment. 2014. Vol. 20, N 4. P. 343–354. https://doi.org/10.4000/geomorphologie.10781

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. Vol. 30, N 3. P. 272–278. https://doi.org/10.1016/j.gnr.2009.09.012.

Large Holocene paleoseismic events and synchronized travertine formation: a case study of the Kurai Fault Zone (Gorny Altai, Russia) / E. Deev, Y. Dublyansky, S. Kokh [et al.] // Intern. Geol. Rev. 2022. https://doi.org/10.1080/00206814.2022.2145510

Modern changes of the high-mountain landscapes and glaciation in Southern Siberia (Russia) by the example of the Eastern Sayan mountains / A. D. Kitov, S. N. Kovalenko, V. M. Plyusnin, E. G. Suvorov // Environ Earth Science. 2015. Vol. 74. P. 1931–1946. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4455-y

Orkhonselenge A. Glacial Geomorphology of Mt. Munkh Saridag in the Khuvsgul Mountain Range, Northern Mongolia // Géomorphologie: relief, processus, environnement, 2016. Vol. 22, N 4. P. 387–396. https://doi.org/10.4000/geomorphologie.11596

Osipov E. Yu., Osipova O. P. Mountain glaciers of southeast Siberia: current state and changes since the Little Ice Age // Annals of Glaciology. 2014. Vol. 55 (66). P. 167–176. https://doi.org/10.3189/2014AoG66A135

Reconstruction of glacier fluctuations in the East Sayan, Baykalsky and Kodar Ridges (East Siberia, Russia) during the last 210 years based on high-resolution geochemical proxies from proglacial lake bottom sediments / O. G. Stepanova, V. A. Trunova, V. V. Zvereva [et al.] // Environ Earth Science. 2015. Vol. 74. P. 2029–2040. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4457-9

Semenov Yu. M. Landscape-Geographical Support of the Ecological Policy of Nature Management in Regions of Siberia // Geography and natural resources. 2014. Vol. 35, Iss. 3. P. 208–212.

References

Arefyev V., Mukhametov R. *Na lednikah Altaja i Sajan* [On the glaciers of Altai and Sayan]. Barnaul, Poligrafist, 1996, 176 p. (in Russian)

Geoinformacionnaja sistema upravlenija territoriej [Geographic information system for territory management]. Irkutsk, Institute of Geography SB RAS Publ., 2002. 151 p. (in Russian)

Danilov F.A., Prelovsky V.A. Zakonomernosti vertikalnogo rasprostranenija mlekopitajushhih gornogo massiva Munku-Sardyk [Regularities of vertical distribution of mammals of the Munku-Sardyk mountain range]. *Izvestiya Irkutskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya "Nauki O*

Zemle" [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2021, vol. 37, pp. 28-41. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.37.28 (in Russian)

Ivanov E.N., Silaev A.V. Geoinformacionnoe modelirovanie osnovnyh jetapov razvitija merzlotnyh i lednikovyh geosistem juga Vostochnoj Sibiri [Geoinformation modeling of the main stages of the development of permafrost and glacial geosystems in the south of Eastern Siberia]. *Regional Geosystems*, 2020, vol. 44, no. 2, pp. 198-209. https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-2-198-209 (in Russian)

Kotlyakov V.M., Chernova L.P., Muravyev A.Ya. et al. Izmenenie gornyh lednikov v Severnom i Juzhnom polusharijah za poslednie 160 let [Change of mountain glaciers in the Northern and Southern hemispheres over the past 160 years]. *Ice and Snow*, 2017, vol. 57, no. 4, pp. 453-467. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-4-453-467 (in Russian)

Katalog lednikov SSSR [Catalogue of glaciers of the USSR]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1973, vol. 16, iss. 1, part. 3-5, iss. 2, part 1, 64 p. (in Russian).

Komarov V.L. *Poezdka v Tunkinskij kraj i na oz. Kosogol v 1902 g.*: Izbrannye sochineniya [Trip to the Tunkinsky Territory and to the Lake Kosogol in 1902: Selected Works.]. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1953, vol. 9, pp. 217-291 (in Russian).

Khromova T.Y., Nosenko G.A., Glazovsky A.F. et al. Novyj Katalog lednikov Rossii po sputnikovym dannym (2016–2019 gg.) [New Inventory of the Russian glaciers based on satellite data (2016–2019)]. *Ice and Snow*, 2021, vol. 61, no. 3, pp. 341–358. https://doi.org/10.31857/S2076673421030093 (in Russian)

Obruchev S.V. Orografija i geomorfologija vostochnoj poloviny Vostochnogo Sajana [Orography and Geomorphology of the Eastern Half of the Eastern Sayan]. *Izvestiya VGO* [News VGO], 1946, vol. 78, iss. 5-6, pp. 478-498 (in Russian)

Peretolchin S.P. *Ledniki hrebta Munku-Sardyk* [Glaciers of the Munku-Sardyk ridge]. Tomsk, 1908, 47 p. (in Russian)

Radde G.I. Puteshestvie v Jugo-Vostochnuju Sibir (1855-1859) [Journey to South-Eastern Siberia (1855-1859)]. *Notes of the Imperial Russian Geographical Society*, 1861, vol. 4, pp. 1-78. (in Russian)

Sakai A., Nuimura T., Fujita K. et al. Climate regime of Asian glaciers revealed by GAMDAM glacier inventory. *The Cryosphere*, 2015, vol. 9, pp. 865-880. https://doi.org/10.5194/tc-9-865-2015

Kruk N.N., Rudnev S.N., Vladimirov A.G. et al. Early-middle Paleozoic granitoids in Gorny Altay, Russia: implications for continental crust history and magma sources. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, vol. 42, no. 5, pp. 928-948.

Fedotov A.P., Margold M. Glacier fluctuation in northern and High Asia: historica and methods perspective. *Environ Earth Science*, 2015, vol. 74, pp. 1845-1849. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4659-1

Orkhonselenge A., Krivonogov S.K., Mino K. et al. Holocene Landform Evolution of Lake Khuvsgul basin, Mongolia. *Géomorphologie*: relief, processus, environnement, 2014, vol. 20, no. 4, pp. 343-354. https://doi.org/10.4000/geomorphologie.10781

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, vol. 30, no. 3, pp. 272-278. https://doi.org/10.1016/j.gnr.2009.09.012

Deev E., Dublyansky Y., Kokh S. et al. Large Holocene paleoseismic events and synchronized travertine formation: a case study of the Kurai Fault Zone (Gorny Altai, Russia). *Intern. Geol. Rev*, 2022. https://doi.org/10.1080/00206814.2022.2145510

Kitov A.D., Kovalenko S.N., Plyusnin V.M. et al. Modern changes of the high-mountain landscapes and glaciation in Southern Siberia (Russia) by the example of the Eastern Sayan mountains. *Environ Earth Science*, 2015, vol. 74, pp. 1931-1946. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4455-y

Orkhonselenge A. Glacial Geomorphology of Mt. Munkh Saridag in the Khuvsgul Mountain Range, Northern Mongolia. *Géomorphologie*: *relief, processus, environnement,* 2016, vol. 22, no. 4, pp. 387-396. https://doi.org/10.4000/geomorphologie.11596

Osipov E.Yu., Osipova O.P. Mountain glaciers of southeast Siberia: current state and changes since the Little Ice Age. *Annals of Glaciology*, 2014, vol. 55 (66), pp. 167-176. https://doi.org/10.3189/2014AoG66A135

Stepanova O.G., Trunova V.A., Zvereva V.V. et al. Reconstruction of glacier fluctuations in the East Sayan, Baykalsky and Kodar Ridges (East Siberia, Russia) during the last 210 years based on

high-resolution geochemical proxies from proglacial lake bottom sediments. *Environ Earth Science*, 2015, vol. 74, pp. 2029-2040. https://doi.org/ 10.1007/s12665-015-4457-9

Semenov Yu.M. Landscape-Geographical Support of the Ecological Policy of Nature Management in Regions of Siberia. *Geography and natural resources*, 2014, vol. 35, iss. 3, pp. 208-212

Сведения об авторах

Китов Александр Данилович
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
e-mail: kitov@irigs.irk.ru

Коваленко Сергей Николаевич
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры динамической геологии
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1,
e-mail: igpug@mail.ru

Information about the authors

Kitov Aleksandr Danilovich
Candidate of Sciences (Technical), Senior Research Scientist
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russian Federation
e-mail: kitov@irigs.irk.ru

Kovalenko Sergey Nikolaevich
Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Associate Professor of the Department of Dynamic Geology
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003, Russian Federation
e-mail: igpug@mail.ru

Код научной специальности: **1.6.20**
Статья поступила в редакцию **07.02.2025**; одобрена после рецензирования **05.03.2026**; принята к публикации **08.06.2026**
The article was submitted **February, 07, 2026**; approved after reviewing **March, 05, 2026**; accepted for publication **June, 08, 2026**