

УДК: 551.345

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-1-31-369-380

В. Н. Черных¹, А. А. Аюржанаев², Б. В. Содномов³, М. А. Жарникова⁴, А. Н. Шихов⁵,
Б. О. Гуржапов⁶, Е. Ж. Гармаев⁷

ГИС-АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НАЛЕДЕЙ В СЕЛЕНГИНСКОМ СРЕДНЕГОРЬЕ

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты изучения распространения наледей в Селенгинском среднегорье методами геоинформационного анализа. На основе космической съемки Landsat получены сведения о расположении и количестве наледей за 4 временных среза: 1990, 2000, 2018, 2022 гг. Выявлено, что число наледей варьируется от 3,4 до 7,7 тыс. Сравнительный анализ расположения наледей и тектонических разломов, полученных оцифровкой геологических карт, позволил установить, что наряду с грунтовыми наледями в пределах территории исследования насчитывается не менее 1 850 родниковых наледей. Их формирование связано с зонами разгрузки подземных вод глубоких водоносных горизонтов вдоль разломов. При этом в общем количестве наледей преобладают наледи, формирование которых связано с выходом на поверхность грунтовых вод погребенных галечниковых отложений речных долин в результате увеличения напора при сезонном промерзании горных пород (наледи грунтовых вод). Интенсивность образования таких наледей зависит от метеорологических факторов — прежде всего от количества осадков теплого сезона года, предшествующего наледообразованию, а также от температуры приземного воздуха в холодный сезон года. В результате анализа распределения наледей по рельефу (использована цифровая модель рельефа HydroSHEDS) установлено, что более 43 % наледей формируется в интервалах высот 850–1 000 м. Примечательным фактом является смещение наледей по уклону, т. е. со склонов к межгорным котловинам, а также вниз по течению вдоль водотоков, что, вероятно, связано с изменением мерзлотно-гидро-геологической обстановки вследствие наблюдающегося увеличения температуры. Полученные с помощью ГИС-анализа сведения подтверждаются натурными обследованиями, проведенными на ключевых мониторинговых участках, и являются надежной основой дальнейшего изучения наледных процессов на территории Забайкалья.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоинформационный анализ, наледи, Селенгинское среднегорье, тектонические разломы, осадки, климат

¹ Байкальский институт природопользования СО РАН, ул. Сахьяновой, д. 8, Улан-Удэ, Россия, 670047, e-mail: geosibir@yandex.ru

² Байкальский институт природопользования СО РАН, ул. Сахьяновой, д. 8, Улан-Удэ, Россия, 670047, e-mail: aaayurzhanaev@yandex.ru

³ Байкальский институт природопользования СО РАН, ул. Сахьяновой, д. 8, Улан-Удэ, Россия, 670047, e-mail: sodnomov@binm.ru

⁴ Байкальский институт природопользования СО РАН, ул. Сахьяновой, д. 8, Улан-Удэ, Россия, 670047, e-mail: rita_zharnikova@mail.ru

⁵ Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, д. 15, Пермь, Россия, 614068, e-mail: and3131@inbox.ru

⁶ Байкальский институт природопользования СО РАН, ул. Сахьяновой, д. 8, Улан-Удэ, Россия, 670047, e-mail: bair.gurzhapov@yandex.ru

⁷ Байкальский институт природопользования СО РАН, ул. Сахьяновой, д. 8, Улан-Удэ, Россия, 670047, e-mail: garend1@yandex.ru

Vladimir N. Chernykh¹, Alexander A. Ayurzhanayev², Bator V. Sodnomov³, Margarita A. Zharnikova⁴, Andrey N. Shikhov⁵, Bair O. Gurzhapov⁶, Endon Zh. Garmayev⁷

GIS-ANALYSIS OF ICINGS DISTRIBUTION IN THE SELENGA MIDDLE MOUNTAINS

ABSTRACT

The results of the study of icings distribution in the Selenga Middle Mountains using the methods of geoinformation analysis are presented. On the basis of Landsat satellite imagery data on the location and number of icings were obtained for 4 years: 1990, 2000, 2018, 2022. It is revealed that the number of icings varies from 3.4 to 7.7 thousand. Comparative analysis of the location of icings and tectonic faults obtained by digitization of geological maps established that, in addition to groundwater icings, there are at least 1 850 spring icings within the study area. Their formation is associated with zones of groundwater discharge of deep aquifers along faults. At the same time, the total number of icings is dominated by groundwater icings, in the formation of which precipitation plays a significant role. In the total number of icings, those formed by the emergence of groundwater from buried gravel deposits in river valleys due to increased pressure during the seasonal freezing of bedrock — known as groundwater icings — predominate. The intensity of such icing formation depends on meteorological factors, primarily the amount of precipitation during the preceding warm season, as well as the near-surface air temperature during the cold season. As a result of analyzing the distribution of icings over the relief (using the HydroSHEDS digital elevation model), it was found that more than 43 % of icings are formed in the 850–1 000 m height range. A noteworthy fact is the downslope shifting of icings, i. e. from slopes to intermountain basins, as well as downstream along watercourses, which is probably related to changes in the permafrost-hydrogeological situation due to the observed temperature increase. The data obtained by GIS-analysis are confirmed by field surveys conducted at key monitoring sites and are a reliable basis for further study of icing dynamics in Transbaikalia.

KEYWORDS: geoinformation analysis, icings, Selenga Middle Mountains, tectonic faults, precipitation, climate

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день геоинформационные системы (ГИС) являются не только инструментом получения информации, но и служат полноценным методом научного познания. В отдельных случаях, когда масштабность и широта географического охвата не позволяют в короткие сроки получить достаточных сведений о природных процессах или

¹ Baikal Institute of Nature Management of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 8, Sakhyanovoy str., Ulan-Ude, 670047, Russia, *e-mail*: geosibir@yandex.ru

² Baikal Institute of Nature Management of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 8, Sakhyanovoy str., Ulan-Ude, 670047, Russia, *e-mail*: aaayurzhanayev@yandex.ru

³ Baikal Institute of Nature Management of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 8, Sakhyanovoy str., Ulan-Ude, 670047, Russia, *e-mail*: sodnomov@binm.ru

⁴ Baikal Institute of Nature Management of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 8, Sakhyanovoy str., Ulan-Ude, 670047, Russia, *e-mail*: rita_zharnikova@mail.ru

⁵ Perm State University, 15, Bukireva str., Perm, 614068, Russia, *e-mail*: and3131@inbox.ru

⁶ Baikal Institute of Nature Management of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 8, Sakhyanovoy str., Ulan-Ude, 670047, Russia, *e-mail*: bair.gurzhapov@yandex.ru

⁷ Baikal Institute of Nature Management of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 8, Sakhyanovoy str., Ulan-Ude, 670047, Russia, *e-mail*: garend1@yandex.ru

явлениях, они в большей или меньшей степени становятся известны благодаря использованию геоинформационного анализа.

В данной работе представлены результаты ГИС-анализа, с помощью которого установлены общие особенности формирования наледей в пределах территории Селенгинского среднегорья (российская часть) и закономерности их распределения.

Наледи — это слоистые ледяные массивы или корки на поверхности земли, льда или инженерных сооружений, образовавшиеся при замерзании периодически изливающихся природных или техногенных вод [Алексеев, 2007]. Несмотря на то, что Забайкалье является одним из исторических районов изучения данного явления, среднегорья бассейна р. Селенги в этом отношении долгое время были малоизучены. В связи с этим целью данной работы было картографирование наледей с выявлением их распространения на территории, основных морфометрических характеристик, условий питания, многолетней пространственной динамики и других характеристик, позволяющих понять, как наледные процессы протекают в южной геокриологической зоне.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Территория исследования, рассматриваемая в работе, включает среднегорные районы Западного Забайкалья в бассейнах рр. Селенга, Уда, Хилок, Чикой и Джиды (рис. 1). Холодный резко континентальный климат с низкими температурами воздуха в холодный сезон года определяет наличие здесь многолетнемерзлых пород (ММП) с преобладанием островного распространения [Obi et al., 2019] и сезонной мерзлоты, что является причиной активности криогенных процессов, в т. ч. наледообразования.

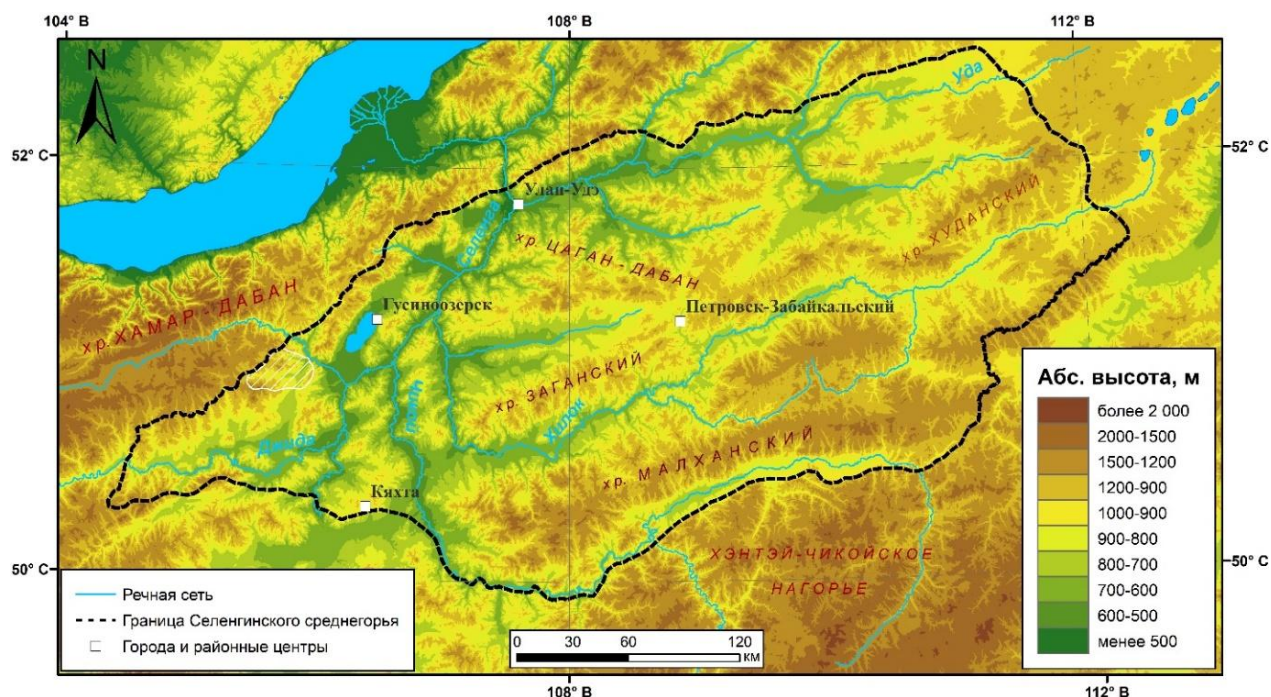


Рис. 1. Территория исследования
Fig. 1. Study area

В качестве исходных данных для картографирования наледей применялись космические снимки Landsat (рис. 2а). На их основе составлены базы данных о распространении наледей в Селенгинском среднегорье. Текущее расположение (по состоянию на 2022 г.) установлено при помощи снимков Landsat-8–9. Для этого использовались 10 сцен с

временным интервалом съемки от 30 марта (центральная часть исследуемой территории) до 15 апреля 2022 г. (горные районы). Данный период является благоприятным для детектирования наледей, поскольку в это время снежный покров тает. Для дешифрирования наледей проведена обработка снимков с использованием нормализованного снежно-ледового индекса NDSI [Hall et al., 1995] по алгоритму, описанному в работе [Макарьева и др., 2019]. На первом этапе произведена детализация гидрографической сети. Для выделения водотоков в ArcGIS на HydroSHEDS использован гидрологический инструмент Spatial Analyst. Создан растровый файл направления стока с помощью инструмента «Flow Direction», затем карта накопления стока через «Flow Accumulation». Водотоки и тальвеги определены путем бинарной классификации: значения накопления стока выше порога (например, 100 или 1 000 ячеек) обозначают потенциальные русла, которые далее выделены инструментом «Raster Calculator» и преобразованы в вектор. На следующем этапе вдоль русел водотоков по обе стороны от тальвегов выделены буферные зоны шириной от 200 м для водотоков I–II порядка (по методу Стралера-Философова) до 500 м для водотоков более высокого порядка. В границах буферных зон рассчитывался NDSI (рис. 2б). Наледям соответствуют значения индекса больше 0,4 [Макарьева и др., 2019]. Полученные растровые изображения конвертированы в векторный формат (рис. 2в).

На заключительном этапе произведена ручная корректировка полученных векторных изображений, в частности удаление полигонов произвольной формы, полученных в результате объединения единичных пикселей и уточнение базы данных. Часть объектов, в т. ч. склоновые наледи и наледи, формирующиеся у небольших источников (рис. 2г), оцифрованы вручную.

В результате получена база данных и карта современного распространения наледей, содержащая сведения об объектах, площадь которых более 4 пикс снимка Landsat с разрешением 30 м (3 600 м²).

С целью определения источников питания наледей (генетических типов наледей), их принадлежности к разным зональным типам и особенностей межгодовой изменчивости наледообразования составлены базы данных распространения наледей в 1990, 2000 и 2018 гг. Ретроспективные базы данных наледей составлены с использованием снимков Landsat-4–5 и Landsat-8 по описанной выше технологии. Методом пересечения полигонов определены наледи, для которых характерно изменение положения вдоль тальвега, а также те, которые ежегодно образуются в одних и тех же местах. Для выявления родниковых наледей проведен анализ взаимного расположения постоянно формирующихся наледей и разломов. К родниковым отнесены те наледи, контуры которых пересекают линии разломов. В качестве источников данных по тектоническому строению использовались геологические карты национального атласа «Недра России»¹ (векторные данные). Для большей детальности дополнительно произведена оцифровка тектонических карт м-ба 1:200 000, доступных через сервис SasPlanet. Сравнение данных показало сходство местоположения линий разломов, но на картах их выделено значительно больше. Данные были объединены, получен исходный слой «Разломы», который затем использовался в работе.

Для анализа распределения наледей в зависимости от высоты местности и крутизны склонов (уклонов поверхности) использован продукт Void-filled DEM 3s глобальной цифровой модели рельефа (ЦМР) HydroSHEDS (Hydrological data and maps based on Shuttle Elevation Derivatives at multiple Scales), созданной на базе ЦМР SRTM². Основное отличие — в HydroSHEDS использованы алгоритмы коррекции рельефа, удалены пробелы

¹ Цифровой двойник национального атласа «Недра России». Электронный ресурс: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/gisatlas/> (дата обращения 22.11.2022)

² Основные слои HydroSHEDS (версия 1). Электронный ресурс: <https://www.hydrosheds.org/products/hydrosheds> (дата обращения 22.11.2022)

(voids), возникшие из-за радиолокационных «теней» или других искажений с учетом гидрологического поведения воды, а также проведена корректировка данных. Таким образом, в ЦМР HydroSHEDS отсутствуют «плоские» зоны или «перемычки» в руслах водотоков, что обеспечивает повышение точности выделения водоразделов и тальвегов. Пространственное разрешение составляет 3 угловые секунды, что примерно соответствует 90×60 м для района исследования.

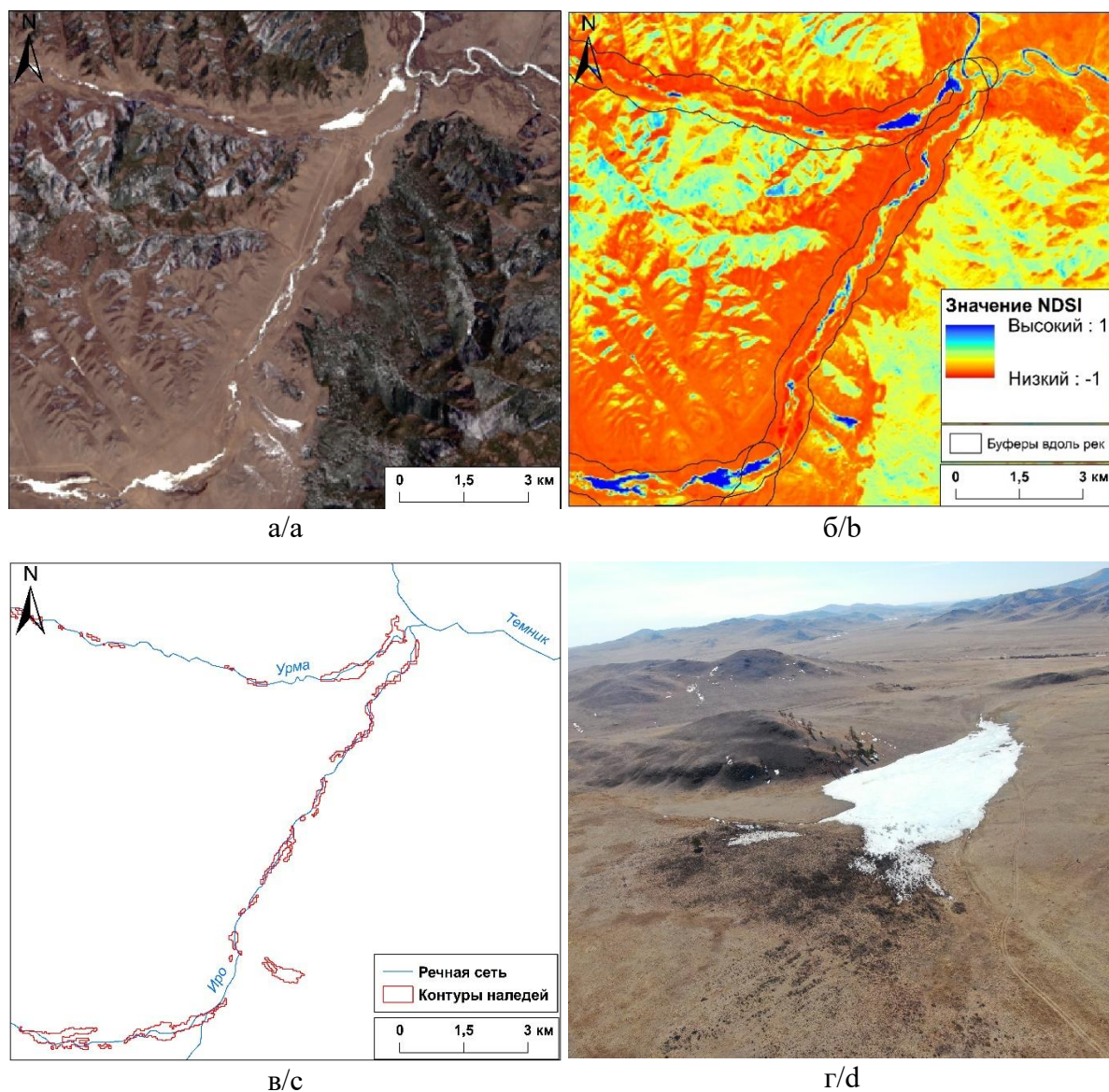


Рис. 2. Алгоритм дешифрирования наледей с использованием NDSI:
а — общий вид наледей на снимке Landsat, б — результаты расчета NDSI,
в — контуры наледей, г — родниковая наледь (фото с БПЛА)
Fig. 2. Algorithm for icings delineation using NDSI: a — general view of icings in a Landsat
image, b — results of NDSI calculation, c — icings contours, d — spring icing (UAV image)

Обработка данных проводилась с использованием ПО ArcGIS, QGIS, SASPlanet. Полученные материалы заверялись в ходе полевых экспедиционных исследований с применением геолого-геоморфологических методов (бурение, проходка шурфов и др.), ледомерных съемок. За период с 2021 по 2024 гг. обследовано 32 наледи, в т. ч. 7 родниковых,

образующихся у источников. Термометрические наблюдения за сезонным промерзанием горных пород проведены в пяти точках в районах формирования наледей грунтовых вод. Непрерывные наблюдения за температурой горных пород в слое сезонного промерзания ведутся с 2023 г. на опорной скважине (глубина 5,5 м), оборудованной термометрической косой.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В современных природно-климатических условиях в пределах Селенгинского среднегорья формируется до 7,7 тыс. наледей общей площадью 206,4 км² (рис. 3). Среди них преобладают наледи площадью до 100 тыс. м² (средние и большие). Очень больших наледей (т. е. площадью от 100 тыс. м² до 1 км²) насчитывается 267, гигантских — 2.

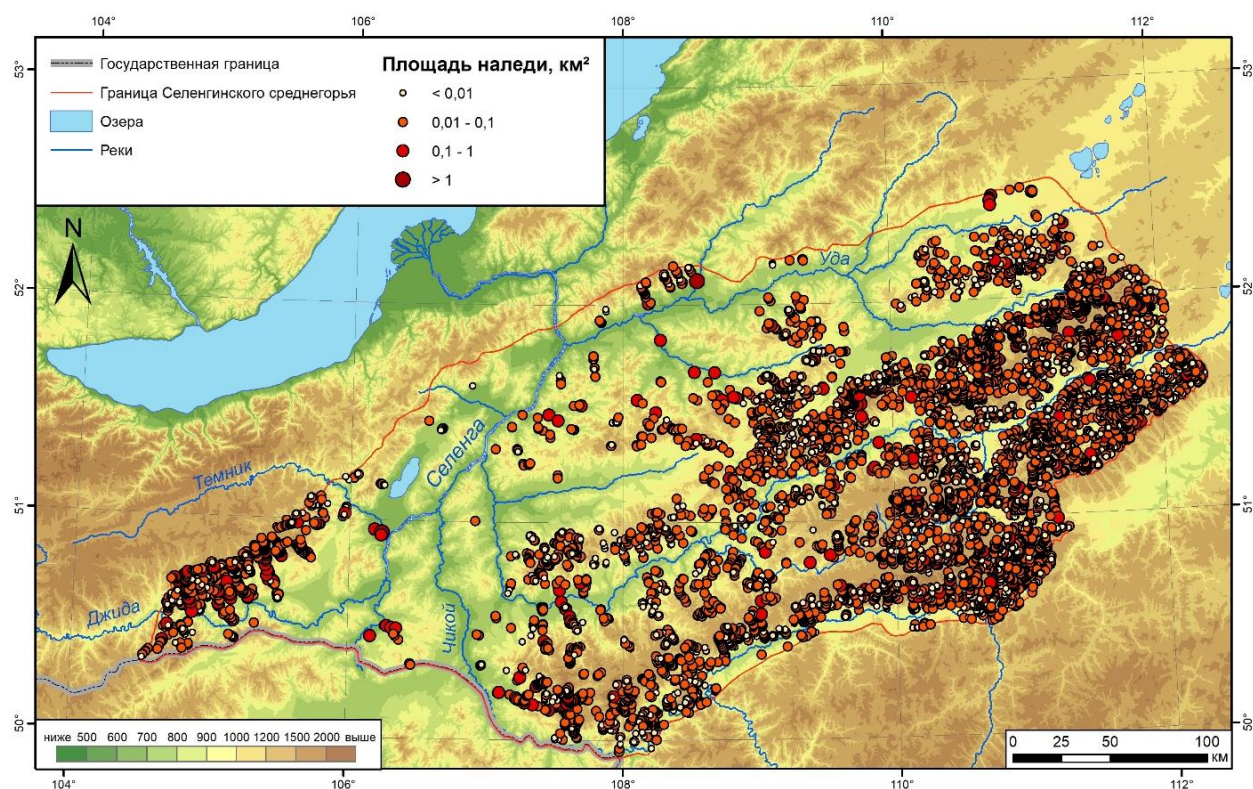


Рис. 3. Карта распространения наледей в Селенгинском среднегорье
Fig. 3. Map of icings distribution in the Selenga Middle Mountains

Большое количество наледей с площадями до 100 тыс. м² позволяет говорить о том, что наибольшая часть из них относится к наледем грунтовых вод. Натурные обследования подтверждают, что формирование наледей в поймах малых рек и вдоль ручьев связано с выходом на поверхность грунтовых вод галечниковых отложений долин при сезонном промерзании горных пород. В отрогах горных хребтов такие наледи встречаются в каждом распадке. Мощность их может достигать 1–1,5 м. Питание водоносных горизонтов, которые в отдельных местах залегают на глубине 1,2–1,5 м, осуществляется за счет инфильтрации осадков, а также стока грунтовых вод с прилегающих склонов.

Для наледей Селенгинского среднегорья характерна существенная межгодовая изменчивость. Из года в год меняется местоположение наледей, их площади, общее количество (табл. 1), что также свидетельствует о преобладании наледей грунтовых вод и принадлежности их к южному типу [Романовский, 1973]. Последнее вполне закономерно,

учитывая, что территория Селенгинского среднегорья относится к южной геокриологической зоне.

Табл. 1. Межгодовая изменчивость площадей наледей в Селенгинском среднегорье
Table 1. Inter-annual variability of icings areas in the Selenga Middle Mountains

Годы	Кол-во, шт.	Суммарная площадь, км ²	Кол-во наледей по интервалам площадей, км ²			
			<0,01	0,01–0,1	0,1–1	>1
1990	5 689	269,3	590	4 459	565	3
2000	6 572	288,6	1 068	4 917	575	5
2018	3 429	121,8	697	2 523	208	1
2022	7 747	206,4	2 651	4 827	267	2

Вместе с тем сравнение местоположения наледей в разные годы показало, что 2,5 тыс. из них ежегодно формируются в одних и тех же местах. В Селенгинском среднегорье постоянство в расположении наледей может быть связано не только с мерзлотно-гидрогеологическими условиями, но и с геолого-геоморфологическими особенностями территории, такими как близкое залегание водоупорных горных пород, строение речных долин и др. В долинах малых рек с водосбором менее 1 тыс. км² площади отдельных наледей иногда могут достигать 300 тыс. м², объем таких наледей составляет по данным наледдемерных съемок от 240 до 320 тыс. м³. В их питании, кроме указанных грунтовых вод, участвуют также подземные воды глубоких водоносных горизонтов, разгрузка которых происходит через источники, не замерзающие в холодный сезон года.

В Селенгинском среднегорье дебет источников подземных вод составляет обычно 5–10 л/с [Гидрогеология..., 1970]. При относительно плоских поймах шириной 200–500 м площади наледей, имеющих постоянное питание от источников подземных вод глубоких водоносных горизонтов, могут быть 45 тыс. м² и менее. Наледи, связанные с источниками, относятся к родниковым. ГИС-анализ позволяет, хоть и с определенной долей условности, выделить родниковые наледи (рис. 4). Результаты представлены на примере долины р. Иро (выделена белым контуром на рис. 1).

В условиях блокового строения земной коры, что характерно для Забайкалья, разгрузка подземных вод глубоких водоносных горизонтов наиболее активно осуществляется в зонах новейших тектонических разломов. Считается, что в Западном Забайкалье источники с дебетом более 3 л/с всегда связаны с разломами [Вельмина, 1970]. Сравнение взаимного расположения наледей, формирующихся в одних и тех же местах, и мест локализации тектонических разломов показало, что 1 850 наледей (1/3 от всех объектов исследуемой территории) приурочены к разломам и относятся к наледям родниковых вод. Оставшуюся часть составляют наледи грунтовых и речных вод.

Наледи речных вод детально не рассматривались, т. к. их выделение по космическим снимкам затруднительно. Данный тип наледей формируется при послойном намораживании речных вод на поверхности ледяного покрова. Причинами их образования служат интенсивное нарастание речного льда, перемерзание или закупорка русла донным льдом, шугой и грунтом, давление на лед выпавшего снега и др. [Гляциологический..., 1984]. На территории Селенгинского среднегорья преобладают малые реки, и на начальных стадиях формирования наледей этот процесс происходит именно так, но т. к. расходы воды незначительны (обычно до 10 м³/с), то во второй половине холодного сезона года сток большинства рек прекращается [Гармаев, 2010]. Питание наледей, которые формировались

как речные, осуществляется уже не за счет речных вод, а при разгрузке грунтовых. При этом площади и объемы наледей увеличиваются, наледные воды выходят за пределы русел, затапливают поймы. Фактически такие наледы являются полигенетическими по условиям образования, и однозначно относить их к наледям речных вод не совсем правильно. «Классические» наледы речных вод встречаются на участках русел рр. Курбы и Ильки, а также некоторых других средних рек (площадь водосборного бассейна от 2 до 50 тыс. км²). В Западном Забайкалье этот тип наледей практически не изучен.

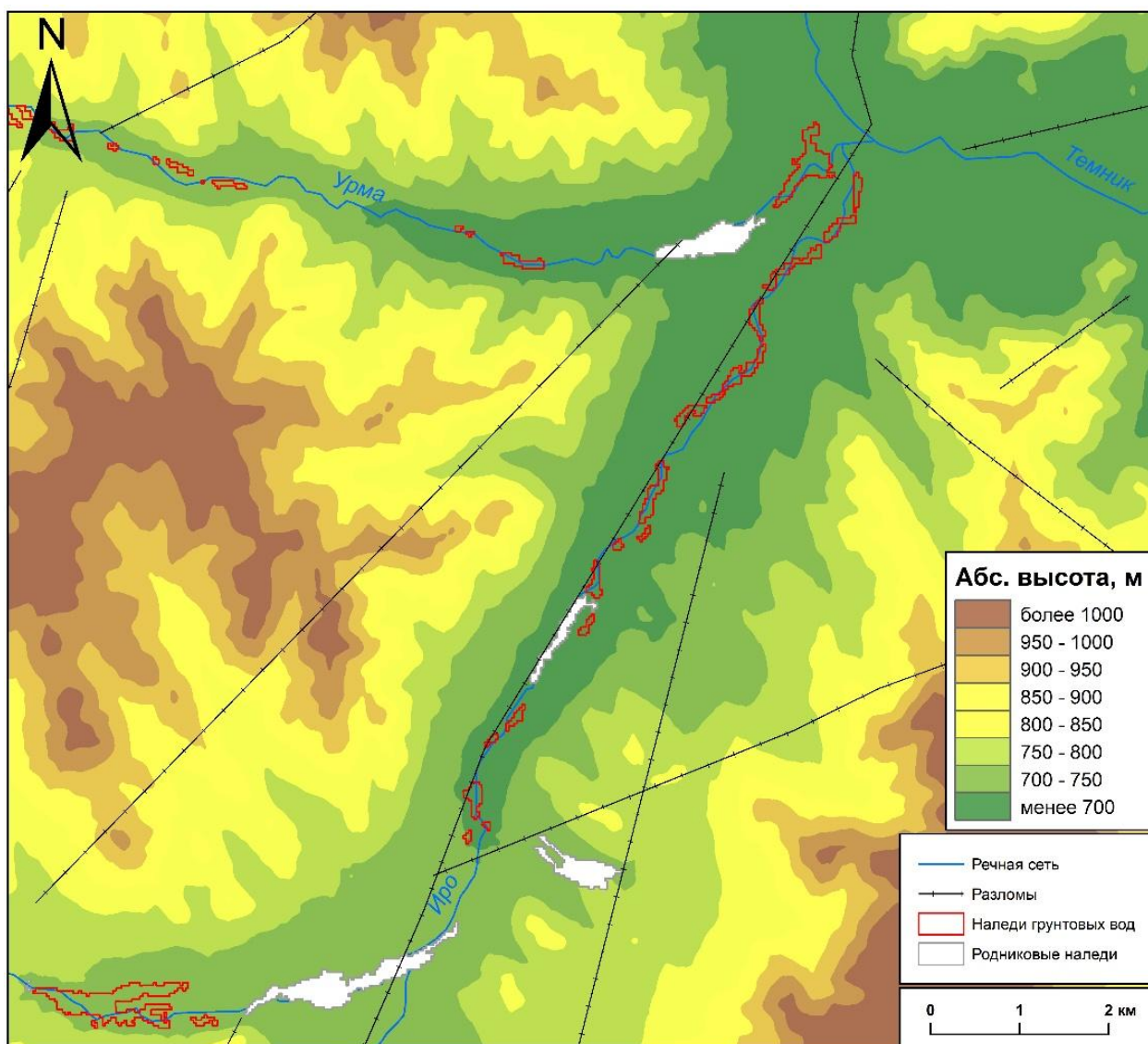
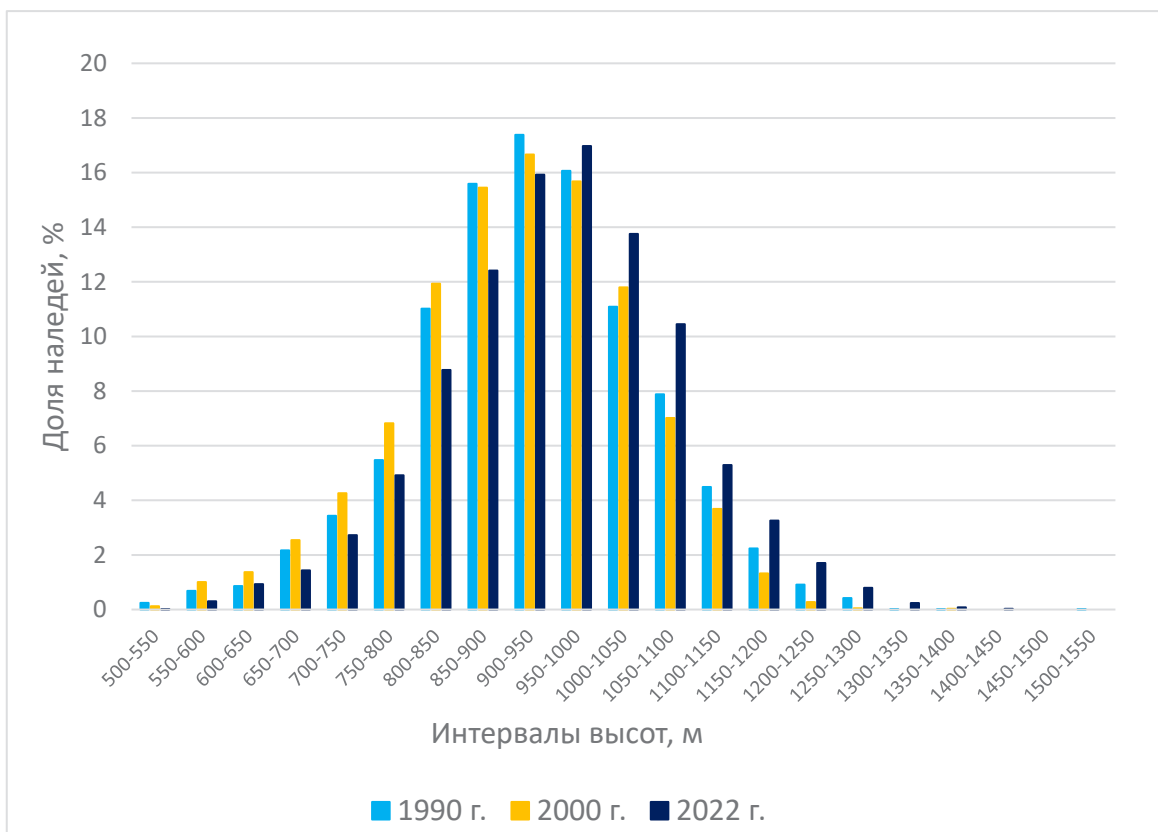


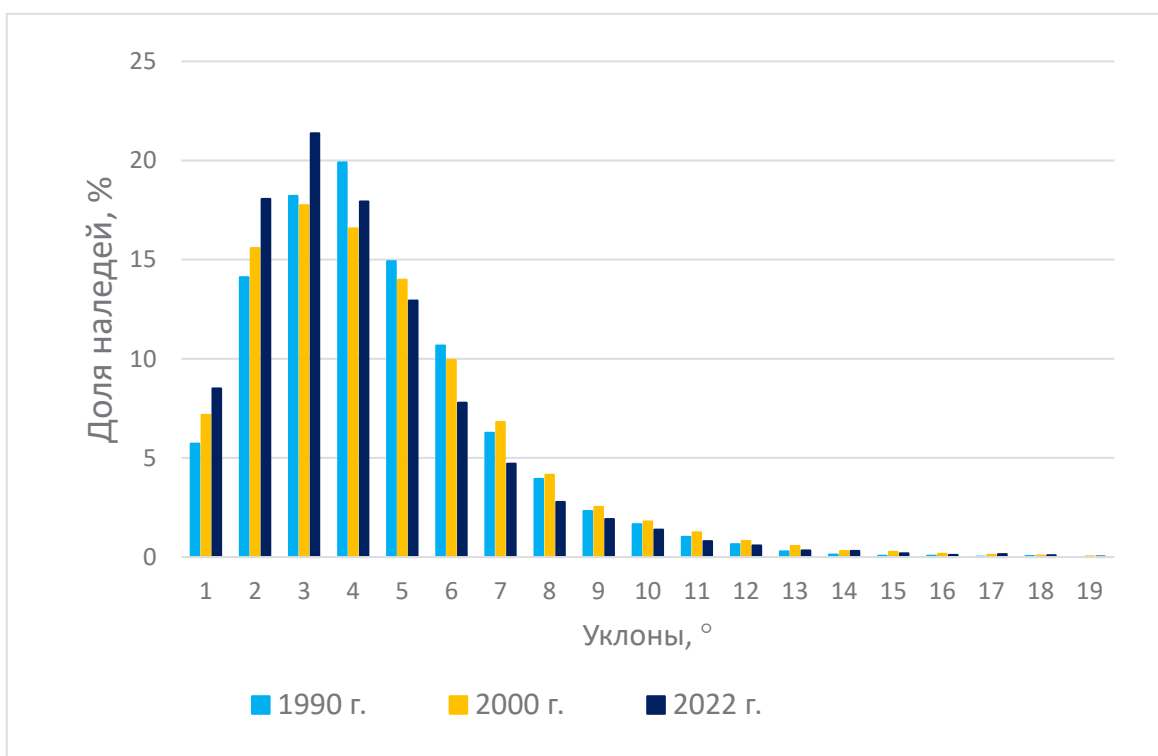
Рис. 4. Определение генетических типов наледей (на примере долины р. Иро)
Fig. 4. Determination of genetic types of icings (an example of Iro River valley)

Оценка расположения наледей в зависимости от характеристик рельефа позволяет выявить склоновые и долинные наледы, определить влияние естественных и антропогенных факторов на пространственную динамику.

Установлено, что наибольшее количество наледей (около 50 %) формируется в рельефе в интервалах высот от 800 до 1 000 м (рис. 5а). Этим значениям соответствуют подножья склонов горных хребтов и долины малых рек в их отрогах.



а/а



б/б

Рис. 5. Распределение доли наледей по высотам местности (а) и крутизне склонов (б)
Fig. 5. Distribution icings percentage by elevation (а) and slope steepness (б)

В 1990 и 2000 гг. наибольшее число наледей фиксировалось в высотном поясе 900–950 м. В настоящее время максимум наблюдается на высотах 950–1 000 м (рис. 5а). Увеличение количества наледей произошло на всех высотных уровнях выше отметки 950 м, в т. ч. в верхних звеньях речной сети. Это связано с сокращением числа очень больших (площадью от 0,1 до 1 км²) и увеличением количества больших (0,01–0,1 км²) и средних (0,001–0,01 км²) наледей (табл. 1). Такое «дробление» наледей характерно для горной части территории. При этом в межгорных котловинах с отметками высот от 500 до 700 м (устьевые части долин малых рек) количество наледей в настоящее время сократилось. Вероятно, это связано с расходом запасов грунтовых вод в сток. Также в настоящее время по сравнению с 1990 и 2000 гг. увеличилась доля наледей, формирующихся на уклонах рельефа от 1 до 3°, а на уклонах выше 6° — уменьшилась (рис. 5б). Это указывает на то, что наледи смещаются в зависимости от рельефа. В настоящее время они образуются ниже по течению рек, чем 20–30 л. н.

Выявленные тенденции связаны с изменением мерзлотно-гидрогеологических условий, которые являются следствием трансформации природной среды под влиянием различных природных и антропогенных факторов, важнейший из которых — повышение температуры воздуха. Данный процесс наблюдается по всему северному полушарию, а в Забайкалье увеличение температуры приземного слоя воздуха происходит почти в 2 р. быстрее, чем в среднем по земному шару [Гармаев и др., 2022]. Это приводит к увеличению площадей таликов, но в первую очередь — к сокращению мощности слоя сезонного промерзания. По данным наблюдений с использованием термометрических датчиков установлено, что в настоящий момент глубина сезонного промерзания горных пород в пойменных участках речных долин в районах формирования наледей составляет 1,2–1,4 м. В литературных источниках и на картах в 70–80-х гг. XX в. этот показатель был не менее 1,9 м [Галай, 1969; Колдышева, 1970]. В результате таких изменений происходит рост мощности талых горных пород, в которых в холодный сезон года циркулируют грунтовые воды, за счет чего увеличиваются объемы их стока транзитом за пределы наледных полей, где ранее формировались наледи с образованием их в других местах. При этом сокращается число очень больших наледей (табл. 1), увеличивается количество средних, малых и очень малых.

Важную роль в перераспределении грунтовых вод оказывает антропогенная деятельность, но масштабы ее влияния пока достоверно не установлены. Главным фактором здесь является деградация лесной растительности в результате вырубки и пожаров. Данный вопрос требует детального изучения.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования получены основные сведения о распространении наледей в Селенгинском среднегорье. Составлены первые базы данных и карты их расположения. Установлено, что большинство наледей относятся к южному типу. Преобладают наледи грунтовых вод. Источниками их питания являются грунтовые воды галечниковых аллювиальных отложений речных долин. Расположение ежегодно формирующихся в одних и тех же местах наледей в зонах новейших тектонических разломов, по которым происходит разгрузка подземных вод глубоких водоносных горизонтов, позволило выделить родниковые наледи. Таких в Селенгинском среднегорье выделено 1 850. Натурные обследования отдельных наледей подтвердили их связь с источниками подземных вод.

Преобладают долинные наледи, формирующиеся в рельефе на высотах от 850 до 1 000 м. В Селенгинском среднегорье этим отметкам соответствуют подножья склонов хребтов на контакте с межгорными котловинами, а также долины водотоков в их отрогах.

За период с 1990 г. по н. в. фиксируется смещение местоположения наледей. Наблюдается общее увеличение количества наледей, дробление очень больших на более мелкие, смещение районов их образования по уклонам рельефа ниже по течению водотоков. Это, вероятнее всего, связано с глобальными климатическими изменениями, выражающимися в росте температуры воздуха и сопутствующими изменениями мерзлотно-гидрогеологической обстановки.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФ, проект № 24-47-03008 «Наледи в трансграничном бассейне р. Селенга: роль в природных ландшафтах и социально-экономические угрозы для хозяйственных систем в условиях меняющегося климата».

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by the Russian Science Foundation, project No. 24-47-03008 “Iceings in the Transboundary Basin of the Selenga River: Role in Natural Landscapes and Socio-Economic Threats Under a Changing Climate”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев В. Р. Наледеведение: словарь-справочник. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2007. 438 с.

Вельмина Н. А. Особенности гидрогеологии мерзлой зоны литосферы (криогидрогеология). М.: Недра, 1970. 326 с.

Галай Б. Ф. Глубина промерзания и температурный режим грунтов района г. Улан-Удэ (предварительные результаты). Материалы Первой научной конференции молодых ученых Восточно-Сибирского технологического института. Улан-Удэ, 1969. С. 147–149.

Гармаев Е. Ж. Сток рек бассейна оз. Байкал. Улан-Удэ: Издательство Бурятского государственного университета, 2010. 272 с.

Гармаев Е. Ж., Пьянков С. В., Шихов А. Н., Аюржанаев А. А., Содномов Б. В., Абдуллин Р. К., Цыдыпов Б. З., Андреев С. Г., Черных В. Н. Картографирование современных изменений климата в бассейне реки Селенга. Метеорология и гидрология, 2022. № 2. С. 62–74.

Гидрогеология СССР. Т. XXII. Бурятская АССР. М.: Недра, 1970. 432 с.

Гляциологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 528 с.

Колдышева Р. Я. Многолетнемерзлые породы. Гидрогеология СССР. Т. XXII. Бурятская АССР. М.: Недра, 1970. С. 76–88.

Макарьева О. М., Шихов А. Н., Остахов А. А., Нестерова Н. В. Наледи бассейна реки Индигирка по современным снимкам Landsat и историческим данным. Лед и снег, 2019. Т. 59. № 2. С. 201–212.

Романовский Н. Н. О геологической деятельности наледей. Мерзлотные исследования. Вып. XIII. М.: Издательство Московского университета, 1973. С. 66–89.

Hall D. K., Riggs G. A., Salomonson V. V. Development of Methods for Mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data. Remote Sensing of Environment, 1995. V. 54. P. 127–140. DOI: 10.1016/0034-4257(95)00137-P.

Obu J., Westermann S., Bartsch A., Berdnikov N., Christiansen H., Dashtseren A., Delaloye R., Elberling B., Eitzelmüller B., Kholodov A., Khomutov A., Käb A., Leibman M. O., Lewkowicz A. G., Panda S. K., Romanovsky V., Way R. G., Westergaard-Nielsen A., Wu T., Yamkhin J., Zou D.

Northern Hemisphere Permafrost Map Based on TTOP Modelling for 2000–2016 at 1 km² Scale. *Earth-Science Reviews*, 2019. V. 193. P. 299–316. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.04.023.

REFERENCES

- Alekseev V. R.* Icings Science: A Reference Dictionary. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007. 438 p. (in Russian).
- Galai B. F.* The Depth of Freezing and the Temperature Regime of Soils in the Ulan-Ude Area (Preliminary Results). Proceedings of the First Scientific Conference of Young Scientists of the East Siberian Institute of Technology. Ulan-Ude, 1969. P. 147–149 (in Russian).
- Garmaev E. Zh.* The Flow of the Rivers of the Baikal Lake Basin. Ulan-Ude: Publishing House of the Buryat State University, 2010. 272 p. (in Russian).
- Garmaev E. Zh., Pjankov S. V., Shihov A. N., Ajurzhanaev A. A., Sodnomov B. V., Abdullin R. K., Tsydyypov B. Z., Andreev S. G., Chernykh V. N.* Mapping of Modern Climate Changes in the Selenga River Basin. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2022. No. 2. P. 62–74 (in Russian). DOI: 10.52002/0130-2906-2022-2-62-74.
- Glaciological Dictionary. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. 528 p. (in Russian).
- Hall D. K., Riggs G. A., Salomonson V. V.* Development of Methods for Mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data. *Remote Sensing of Environment*, 1995. V. 54. P. 127–140. DOI: 10.1016/0034-4257(95)00137-P.
- Hydrogeology of the USSR. V. XXII. Buryat ASSR. Moscow: Nedra, 1970. 432 p. (in Russian).
- Koldysheva R. Ya.* Permafrost Rocks. Hydrogeology of the USSR. V. XXII. Buryat ASSR. Moscow: Nedra, 1970. P. 76–88 (in Russian).
- Makarjeva O. M., Shikhov A. N., Ostashov A. A., Nesterova N. V.* Icings Deposits in the Indigirka River Basin Based on Modern Landsat Images and Historical Data. *Ice and Snow*, 2019. V. 59. No. 2. P. 201–212 (in Russian).
- Obu J., Westermann S., Bartsch A., Berdnikov N., Christiansen H., Dashtseren A., Delaloye R., Elberling B., Etzelmüller B., Kholodov A., Khomutov A., Kääb A., Leibman M. O., Lewkowicz A. G., Panda S. K., Romanovsky V., Way R. G., Westergaard-Nielsen A., Wu T., Yamkhin J., Zou D.* Northern Hemisphere Permafrost Map Based on TTOP Modelling for 2000–2016 at 1 km² Scale. *Earth-Science Reviews*, 2019. V. 193. P. 299–316. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.04.023.
- Romanovsky N. N.* On the Geologic Activity of Icings. Permafrost Research. Iss. XIII. Moscow: Moscow University Press, 1973. P. 66–89 (in Russian).
- Velmina N. A.* Peculiarities of Hydrogeology of the Frozen Zone of the Lithosphere (cryo-hydrogeology). Moscow: Nedra, 1970. 326 p. (in Russian).