ГЕОЭКОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГИДРОГЕОЛОГИЯ. ГЕОКРИОЛОГИЯ, 2025, № 1, с. 13–19

## ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 551.328

# НАЛЕДИ В ЗОНЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГАЗОПРОВОДА "СИЛА СИБИРИ–2" НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ

© 2025 г. В. Н. Черных<sup>1,\*</sup>, А. А. Аюржанаев<sup>1,\*\*</sup>, Б. В. Содномов<sup>1,\*\*\*</sup>, Е. Ж. Гармаев<sup>1,\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Байкальский институт природопользования СО РАН, ул. Сахьяновой 8, Улан-Удэ, 670047 Россия

> \*E-mail: geosibir@yandex.ru \*\*E-mail: aaayurzhanaev@yandex.ru \*\*\*E-mail: sodnomov@binm.ru \*\*\*\*E-mail: garend1@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.10.2024 г. После доработки 19.11.2024 г. Принята к публикации 25.11.2024 г.

Цель настоящего исследования — оценка интенсивности развития наледей вдоль участка проектируемого газопровода "Сила Сибири-2" в пределах территории Республики Бурятия с выявлением районов их формирования, особенностей генезиса, пространственно-временной динамики и направлений возможного негативного воздействия на инженерно-технические сооружения. Исследование проводилось методами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). На основе данных космической съемки Landsat 4–5 и Landsat 8 с использованием нормализованного снежно-ледового индекса (NDSI) составлены разновременные карты распространения наледей вдоль трассы газопровода за период с 1990 по 2022 г. Используемый подход позволил наиболее достоверно определить районы расположения наледей, что для южной геокриологической зоны невозможно сделать по снимкам одного года и затруднительно в полевых условиях. Установлено, что вдоль трассы газопровода в холодный сезон формируется более 30 наледей суммарной площадью 3.7 км<sup>2</sup>. Образование большинства из них связано с выходом на поверхность грунтовых вод под действием криогенного напора при сезонном промерзании горных пород (наледи грунтовых вод). Более половины наледей ежегодно формируются в одних и тех же местах, из них 7 расположены вдоль тектонических разломов, что может свидетельствовать об их питании за счет разгрузки подземных вод глубоких подмерзлотных водоносных комплексов через гидрогеогенные талики. При проектировании газопроводов необходимо учитывать вероятность формирования наледей вдоль трассы не только в северных районах, но и в южной геокриологической зоне, где к активизации наледных процессов в результате изменения мерзлотно-гидрогеологической обстановки может привести как строительство объектов и вспомогательных сооружений, так и их эксплуатация.

**Ключевые слова:** многолетнемерзлые породы, наледи, талики, подземные воды, Landsat, Селенгинское среднегорье, Хамар-Дабан, Сила Сибири-2

DOI: 10.31857/S0869780925010022 EDN: DNJQFE

### введение

Современный проект магистрального газопровода "Сила Сибири—2", реализация которого началась в 2020 г., предполагает, что часть его пройдет по территории Республики Бурятия (РБ) с дальнейшим выходом через государственную границу в Монголию. Согласно проекту, трубопровод будет пересекать восточную часть Тункинской впадины, хр. Хамар-Дабан, далее по Джидинской котловине и Селенгинскому среднегорью в сторону г. Кяхта. На большей части протяженности трасса газопровода совпадает с маршрутом старинного Игумновского тракта [2]. Проектно-изыскательские работы на объекте начались. Общая протяженность бурятского участка газопровода составляет 475 км.

Участок газопровода на территории РБ будет строиться в условиях распространения многолетнемерзлых пород (ММП), где активно проявляются опасные для инженерно-технических сооружений криогенные процессы, один из которых — образование наледей.

Опыт изучения проектов и результатов их реализации в Забайкалье показывает, что зачастую в процессе изучения мерзлотно-гидрогеологических условий не учитываются риски наледеобразования. Это происходит в результате использования специалистами мелкомасштабных мерзлотных схем и карт на начальных этапах проектирования либо на сталии полевых работ, когла неверно оцениваются границы наледных полян. Особые подходы должны применяться при изучении территорий, относящихся к южной геокриологической зоне. Так как в теории большинство наледей таких районов формируются по южному варианту [1], то для них характерна ежегодная смена местоположения, динамика площадей и объемов в зависимости от метеорологических параметров среды, прежде всего от количества осадков [14]. Поэтому для точного определения районов формирования наледей вдоль линейных сооружений в южной геокриологической зоне необходимо использовать дистанционные технологии. Лучше всего для этого подходят разновременные космические снимки.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Территория исследования относится к Байкальской горной стране. Трасса проектируемого газопровода "Сила Сибири—2" пересекает Тункинскую межгорную котловину байкальского типа (кайнозойская), хр. Большой Хамар-Дабан, далее проходит вдоль отрогов хр. Малый Хамар-Дабан через Боргойскую котловину забайкальского типа (мезозойская) в долину р. Селенга. Рельеф горный, расчлененный. Максимальные абсолютные высоты в пределах рассматриваемой территории достигают отметок 1800 м (хр. Большой Хамар-Дабан), минимальная высота — 700 м (Тункинская котловина). Район характеризуется сложной тектоникой и широким распространением новейших разломов [4].

Подземные воды территории относятся к двум гидрогеологическим складчатым областям, Байкальской и Западно-Забайкальской, в пределах которых выделяются артезианские бассейны, приуроченные к межгорным котловинам (Тункинский, Боргойский и др.) и бассейны трещинных вод. Питание подземных вод в большей степени осуществляется за счет осадков, значительная часть которых (до 80%) выпадает в теплый сезон года [5]. Разгрузка происходит за счет стока вдоль склонов к межгорным котловинам в виде многочисленных ручьев и источников у подножий, в руслах рек.

Резко континентальный климат, отрицательные среднегодовые температуры воздуха, горный рельеф и высотная поясность определяют наличие и широкое распространение сезонной многолетней мерзлоты. Для 60% территории характерно сплошное распространение ММП, для 40 % прерывистое и островное [15]. Это определяет активность криогенных процессов, в том числе наледеобразования.

В качестве материалов для проведения исследования в работе применялись данные космической съемки Landsat. Для картографирования наледей использованы снимки Landsat 4-5 (36 сцен), Landsat 8 (12 сцен) и Landsat 9 (3 сцены), сделанные аппаратами в период с 30 марта по 30 апреля. Для южной части территории (Нижне-Джилинский геоморфологический район) и Тункинской впадины лучше подходят снимки за период с 30 марта по 10 апреля. В это время снег в долинах рек полностью тает, наледи же теряют лишь небольшой процент плошали. Для горных районов хр. Хамар-Дабан, где мощность снежного покрова достигает 1.5-2 м и тает он долго, наилучший результат получается при использовании данных за период с 10 по 30 апреля.

С помощью мультиспектральных космических снимков в ГИС проводился расчет нормализованного снежно-ледового индекса (NDSI). Для установления границ применения NDSI вдоль линии проектируемого газопровода [8] выделен буфер шириной 600 м, включающий полосу обследования и зону отчуждения. Спектральный индекс рассчитан в калькуляторе растра по используемой для этих целей формуле [18] по технологии, описанной в работах [16, 17]. После перевода растровых изображений в векторный формат получены полигоны наледей за период с 1990 по 2023 г.

По векторным данным за 2023 г. установлены современные районы расположения наледей и их основные морфометрические характеристики. Данные за период с 1990 г. по настоящее время сравнивалось методом пересечения для выявления наледей, ежегодно формирующихся в одних и тех же местах, а также тех, что мигрируют вдоль русел водотоков. С целью оценки роли рельефа в формировании наледей применялась цифровая модель рельефа SRTM. Тектонические разломы оцифрованы с геологической карты масштаба 1:200000 с использование ПО SASPlanet. Общие и детальные сведения об особенностях геологического строения, гидрогеологии и геокриологии, получены из литературных источников и открытых баз данных [3, 6, 7]. Обработка материалов производилась с использованием ПО ESRI ArcGIS Desktop и OGIS.

В процессе оценки особенностей расположения и динамики площадей наледей учитывался опыт полевых экспедиционных исследований, в том числе проводившихся в бассейне р. Джида в период с 2019 по 2024 г., в ходе которых были получены данные о средней мощности наледей в долинах рек Цагатуй, Ичетуй, Гэгэтуй и др. В зависимости от рельефа места формирования наледи и ее площади толщина льда составляет от 0.2 до 1.2 м. Эти данные использовались при расчетах объемов наледей.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Вдоль маршрута проектируемого газопровода в настоящее время формируется 34 наледи суммарной площадью около 3.7 км<sup>2</sup>. Из них к средним по [10] (от 1 до 10 тыс. м<sup>2</sup>) относятся 2, к большим (10–100 тыс. м<sup>2</sup>) — 22, остальные 10 — очень большие (от 100 до 1000 тыс. м<sup>2</sup>). Наиболее крупная наледь в начале апреля 2023 г. имела площадь 423 тыс. м<sup>2</sup>. По данным космической съемки образование наледей на территории начинается в середине ноября, таяние заканчивается в первой декаде июня. На основе составленных по космическим снимкам ретроспективных карт вдоль трассы газопровода выделен 21 участок, где наледи образуются ежегодно, 13 участков — где они формируются периодически, и 9 — где наледи не формируются, но подходящие для этого условия (поток грунтовых вод вдоль тальвега, сезонная и островная многолетняя мерзлота и др.) есть (рис. 1).

Суммарная протяженность пересекаемых линией газопровода наледей, рассчитанная исходя из средней многолетней ширины каждой наледи составляет 3970 м, с учетом потенциально возможных — 4600 м. Таким образом, около 1% протяженности трассы газопровода в пределах РБ проходит через наледные поляны (в том числе без поверхностных водотоков), где практически еже-годно наблюдаются наледи.

Все наледи, расположенные вдоль линии проектируемого газопровода, относятся к наледям подземных вод. Небольшие по размерам, постоянно меняющие свое местоположение, образуются



**Рис. 1.** Схема распространения наледей вдоль проектируемого участка трассы газопровода "Сила Сибири–2", проходящего через территорию РБ: 1 — маршрут газопровода, 2 — разломы (установленные и предполагаемые); наледи: 3 — ежегодно формирующиеся в одних и тех же местах, 4 — меняющие местоположение; 5 — районы возможного формирования наледей.

ГЕОЭКОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГИДРОГЕОЛОГИЯ. ГЕОКРИОЛОГИЯ № 1 2025

в результате выхола на поверхность грунтовых вол при увеличении криогенного напора в процессе сезонного промерзания горных пород. Питание за счет грунтовых вод также подтверждается зависимостью их площадей от количества осадков теплого сезона года, предшествующего наледеобразованию [14]. В пределах участка исследования суммарные площади наледей в рассматриваемом хронологическом интервале изменяются от 1.8 км<sup>2</sup> в маловодные годы до 3.7 км<sup>2</sup> в многоводные, т.е. более чем в 2 раза. Плошали некоторых налелей в многоводные климатические циклы могут быть в 10 раз больше. чем в маловодные. Это позволяет считать 13 из формирующихся в настоящее время наледей наледями подземных вод. В зональном отношении такие наледи образуются по южному варианту [1]. На участке исследования смещение некоторых наледей вдоль русел водотоков составляет 1.5 км.

Из ежегодно формирующихся в одних и тех же местах 21 наледей: 9 в отрогах хр. Малый Хамар-Дабан, 12 в водораздельной части Большого Хамар-Дабана. Стабильность их местоположения может быть связана с геолого-геоморфологическими условиями, определяющими разгрузку грунтовых вод (узкие V-образные лощины, близкое залегание водоупорных горных пород и т.д.), или с питанием наледей от постоянных источников подземных вод глубоких водоносных горизонтов за счет их поступления вдоль зон разломов (чаще всего — в комплексе). Местоположение семи наледей совпадает с линиями разломов (см. рис.1). Также 9 из постоянных наледей имеют значительно большие площади, чем все остальные. Учитывая эти признаки, выявленные на территории наледи по гидрогеологическим условиям наледеобразования [9, 11] разделены на 2 основные группы (табл. 1): I — наледи подземных вод. II — наледи смешанных подземных вод, связанные с гидрогеогенными таликами (родниковые).

На рис. 1 нет разломов, связанных с наледями 20 и 23. Это может объясняться тем, что они не были установлены, или масштаб карты, по которой проводилась оцифровка, не позволяет их обозначить. Некоторые наледи, которые формирующиеся не ежегодно, также условно можно отнести к родниковым. Наледь 2 на рис. 1 не фиксировалась по снимкам несколько лет, но по данным 2000 г. и позднее она имеет площадь более 100 тыс. м<sup>2</sup>. Формирование здесь сквозного талика и увеличение потока подземных вод может быть связано с тектонической активностью. Наледь расположена на разломе (см. рис.1).

Наледи, для которых характерна стабильность расположения, но выраженная изменчивость площадей и объемов, относятся к наледям умеренного типа [1, 12]. Наледи вдоль трассы проектируемого газопровода, развивающиеся в условиях высотной поясности в горах хр. Хамар-Дабана, по определению вполне подходят к этому зональному типу.

Таблица	1.	Характеристики	наледей	вдоль	участка				
грассы проектируемого газопровода									

N₀	Тип	Значе дей за 1	Средний		
на схе- ме	нале- ди	макси- мальная	23 Г., Тыс мини- маль- ная	сред- няя	ный объем, тыс. м <sup>3</sup>
1	II	51.1	19.9	35.5	10
2	Ι	67	16.6	41.8	12
3	II	154	54.9	104.4	52
4	II	449.5	153	301.2	271
5	II	88	24	56	17
6	Ι	22.4	14.9	18.6	4
7	II	464.3	91.1	277.7	194
8	II	51.9	25.1	38.5	11
9	II	437.1	309.1	373.1	410
10	Ι	24.5	11	17	3
11	Ι	72.1	20	46	13
12	II	569.1	301.8	435.4	522
13	Ι	27.6	14.6	21.1	4
14	II	204	175	189.5	95
15	Ι	22.3	11	16.6	3
16	Ι	94.8	26.6	60.7	24
17	Ι	10.2	3.6	6.9	1
18	Ι	66.6	20	43.3	13
19	Ι	37.8	11	24,4	7
20	II	340.7	79.2	209.9	126
21	Ι	43.3	21	32.1	9
22	Ι	41.3	12.3	26.8	5
23	II	469	209.5	339.2	305
24	Ι	43.9	13	28.4	5
25	Ι	34.2	23.6	28.9	8
26	Ι	66.4	24.1	45.2	13
27	Ι	14.5	3.6	9	2
28	II	72.8	30.2	51.5	15
29	Ι	56.3	21.6	38.9	11
30	II	402	18.1	210	126
31	Ι	30.3	16.2	23.2	4
32	II	454.6	423	438.8	526
33	Ι	61.7	6.7	34.2	10
34	Ι	36.7	11.3	24	7

ГЕОЭКОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГИДРОГЕОЛОГИЯ. ГЕОКРИОЛОГИЯ № 1 2025

Более детально определить генезис наледеобразующих вод дистанционными методами невозможно, но полученные данные об особенностях формирования наледей вдоль трассы проектируемого газопровода позволяют определить основные направления их воздействия на объект.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние наледей на магистральные газопроводы, которые проходят по районам с развитием ММП, хорошо известно и учитывается при проектировании [13]. Сложности строительства и эксплуатации инженерно-технических сооружений в местах формирования наледей южного типа заключаются в том, что даже незначительные изменения мерзлотно-гидрогеологических условий могут привести к подтоплениям наледями объектов вспомогательной инфраструктуры газопровода, как на стадии строительства, так и в период эксплуатации. В бассейне р. Джида нитка газопровода в большинстве случаев пересекает линии основных водотоков, вдоль которых направлен и подземный сток в днищах падей. Создание искусственных мерзлотных поясов (или таликов) в процессе снятия грунта при укладке газопровода приведет к перераспределению грунтовых вод и формированию наледей в непосредственной близости от объекта, в результате чего потребуется проведение дополнительных мероприятий по обеспечению защиты вспомогательных инженерно-технических сооружений, таких как дороги для обслуживания, линии электропередачи, мосты.

Наибольшие трудности для строительства и эксплуатации проектируемого объекта будут представлять наледи, которые в данной работе отнесены к умеренному типу. Их формирование начинается в ноябре, таяние оканчивается в первой декаде июня. Большую часть года на таких участках лежит лед мощностью более 1 м. Это создает сложности для строительства и эксплуатации объекта, поэтому необходимы дополнительные технические решения для накопления наледей за пределами наледных полян, где они расположены в настоящее время. Необходимы детальные гидрогеологические изыскания для определения источников наледеобразующих вод и возможностей перераспределения их стока на .участки, удаленные от газопровода и вспомогательных сооружений.

Несмотря на указанные трудности строительства бурятского участка газопровода "Сила Сибири-2", обусловленные развитием наледей, в целом на данной территории работы по реализации проекта будут проводиться в более благоприятных условиях, чем в северных районах со сплошным распространением многолетней мерзлоты. При выполнении в достаточном объеме всех необходимых инженерно-геологических изысканий негативное влияние наледей на объект можно минимизировать. Проект очень важен для Республики Бурятия, поскольку позволит обеспечить газификацию региона.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 23-27-00402 "Наледи северной (российской) части бассейна р. Селенга" и при частичной поддержке государственного задания БИП СО РАН (АААА-А21-121011990032-1).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Атлас гигантских наледей-тарынов Северо-Востока России / В.Р. Алексеев, О.М. Макарьева, А.Н. Шихов [и др.]. Новосибирск: СО РАН, 2021. 302 с.
- 2. Батоцыренов Э.А., Черных В.Н. Удунгинский купеческий тракт. Улан-Удэ: ИД "Экос", 2022. 128 с.
- Геокриология СССР: Горные страны юга Сибири / Ред. Э.Д. Ершов. М.: Недра, 1989. Т. 3. 360 с.
- Геология СССР. Т. ХХХУ. Бурятская АССР. Ч. І. Геологическое описание / Под ред. Н.А. Флоренсова. М.: Недра, 1964. 632 с.
- 5. Гидрогеология СССР. Т. XXII. Бурятская АССР/ Под ред. А.И. Ефимова. М.: Недра, 1970. 432 с.
- ГИС-пакеты оперативной геологической информации / [Электронный ресурс] // www.karpinskyinstitute. ru: [сайт]. URL: http://atlaspacket.vsegei.ru/ (дата обращения 25.09.2021)
- Государственная геологическая карта СССР М 1:1000000. Четвертичные отложения. Геологический портал GeoKniga [Электронный ресурс]. URL: https://www.geokniga.org/ (дата обращения 05.08.2023)
- Инженерный центр ГИН СО РАН [Электронный реcypc]. URL: https://vk.com/geogin (05.08.2023)
- Корейша М.М. Региональный анализ генезиса и развития наледей // Исследование мерзлых грунтов в районах освоения. М.: Стройиздат, 1987, С. 49–57.
- Петров В.Г. Наледи на Амурско-Якутской магистрали с альбомом планов наледей. Ленинград: Изд-во АН СССР и НИАДИ НКИС СССР, 1930. 177 с.
- Романовский Н.Н. О геологической деятельности наледей // Мерзлотные исследования. Вып. XIII.М.: Изд-во МГУ, 1973. С. 66–89.
- 12. Романовский Н.Н. Талики в области многолетнемерзлых пород и схема их подразделения // Вестник Московского университета. Серия геология. 1972. №1. С. 23-34.
- Шеин Н.С., Стручкова Г.П., Капитонова Т.А., Ефремов П.В., Слепцов О.И. Оценка влияния наледей на функционирование магистральных трубопроводов // Успехи современного естествознания. 2020. №6. С. 123–128.
- 14. Шестернев Д.М., Верхотуров А.Г. Наледи Забайкалья. Чита: ЧитГУ, 2006. 212 с.

ГЕОЭКОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГИДРОГЕОЛОГИЯ. ГЕОКРИОЛОГИЯ № 1 2025

### ЧЕРНЫХ и др.

- Brown J., Ferrians O., Heginbottom J., Melnikov E. Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-Ice Conditions, Version 2. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. 2002. https://nsidc.org/data/ggd318)
- Ensom T., Makarieva O., Morse P., et al. The distribution and dynamics of aufeis in permafrost regions // Permafrost and Periglac Process. 2020. P. 1–13. https://doi.org/10.1002/ppp.2051
- 17. Gagarin L., Wu, Q., Cao W., Jiang G. Icings of the Kunlun Mountains on the Northern Marginof the Qinghai-Tibet Plateau, Western China: Origins, Hydrology and Distribution // Water. 2022. 14(15):2396. https://doi.org/10.3390/w14152396
- Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V. Development of methods for mappingglobal snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data // Remote Sens. Environ. 1995. V. 54. P. 127–140. https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00137-P

## ICINGS IN THE PROJECT AREA OF THE POWER OF SIBERIA-2 GAS PIPELINE IN THE REPUBLIC OF BURYATIA

V. N. Chernykh<sup>*a*,#</sup>, A. A. Ayurzhanaev<sup>*a*,##</sup>, B. V. Sodnomov<sup>*a*,###</sup>, E. Zh. Garmaev<sup>*a*,####</sup>

<sup>a</sup>Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Sakh'yanovoi 8, Ulan-Ude, 670047, Russia

#E-mail: geosibir@yandex.ru
##E-mail: aaayurzhanaev@yandex.ru
###E-mail: sodnomov@binm.ru
####E-mail: garend 1@yandex.ru

The objective of this study is to evaluate the extent of icings formation along the proposed gas pipeline route within the Republic of Buryatia, including the identification of the areas of their formation, genesis, spatial and temporal dynamics, and potential negative impact on engineering structures. The study was conducted using remote sensing (RS) methods. Based on data from Landsat 4-5 and Landsat 8 satellites, normalized difference snow and ice index (NDSI) maps were created to illustrate the progression of the icings along the gas pipeline route between 1990 and 2022. The approach employed enabled the most reliable determination of the icing's location areas, which would otherwise be unfeasible using images from a single year and challenging to ascertain in the field for the southern geocryological zone. It was determined that over 30 icings formations, encompassing a total area of 3.7 km<sup>2</sup>, have been observed along the gas pipeline route during the cold season. The formation of the majority of these icings is linked to groundwater emerging at the surface due to cryogenic pressure during the seasonal freezing of rocks (groundwater icings). Over half of the icings are formed annually in the same locations, with seven of them situated along tectonic faults. This may indicate that they are fed by groundwater from deep underpermafrost water-bearing aquifer complexes, which is released through hydrogeogenic taliks. Upon designing gas pipelines, it is essential to consider the probability of icing formation along the route, not only in the northern areas but also in the southern geocryological zone. In this zone, both the construction of facilities and auxiliary structures and their subsequent operation may result in the activation of icings formation processes due to changes in permafrost and hydrogeological conditions.

**Keywords:** permafrost rocks, icings, taliks, groundwater, Landsat, Selenga middle mountains, Khamar-Daban, Power of Siberia–2

### REFERENCES

- [Atlas of giant icings-taryns in the northeast of Russia]. V.R. Alekseev, O.M. Makarieva, A.N. Shikhov, et al. Novosibirsk, Siberian Branch, the Russian Academy of Sciences, 2021, 302 p. (in Russian)
- 2. Batotsyrenov, E.A., Chernykh, V.N. [Udunginskii merchant route]. Ulan-Ude, "Ekos" Publ., 2022, 128 p. (in Russian)
- [Geocryology of the USSR: Mountain areas in the south of Siberia]. E.D. Ershov, Ed., Moscow, Nedra Publ., 1989, vol. 3, 360 p. (in Russian)
- [Geology of the USSR. Vol. XXXV. Buryat ASSR. Part I. Geologic description]. N.A. Florensov, Ed., Moscow, Nedra Publ., 1964, 632 p. (in Russian)

- [Hydrogeology of the USSR. Vol. XXII. Buryat ASSR]. A.I. Efimov, Ed., Moscow, Nedra Publ., 1970, 432 p. (in Russian)
- [GIS-packages of operational geological information]. [Electronic resource]. URL: www.karpinskyinstitute.ru: http://atlaspacket.vsegei.ru/ (accessed 25.09.2021). (in Russian)
- [State geological map of the USSR, scale 1:1000000. Quaternary sediments. Geological portal GeoKniga [Electronic resource]. URL: https://www.geokniga.org/ (accessed 05.08.2023). (in Russian)
- 8. [Engineering Center GIN SB RAS]. [Electronic resource]. URL:

https://vk.com/geogin (accessed 05.08.2023). (in Russian)

#### 18

- Koreisha, M.M. [Regional analysis of the genesis and development of icings]. In [Research of frozen soils in the areas of development]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1987, pp. 49–57. (in Russian)
- Petrov, V.G. [Icings on the Amur-Yakutsk railway with an album of the plans of icings]. Leningrad, USSR Academy of Sciences and NIADI NKIS USSR Publ., 1930, 177 p. (in Russian)
- Romanovskii, N.N. [On the geological activity of icings]. In [Permafrost Research. Issue 13]. Moscow, MSU Publ. 1973, pp. 66–89. (in Russian)
- 12. Romanovskii, N.N. [Taliks in the area of permafrost rocks and the scheme of their subdivision]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya geologiya*, 1972, no. 1, pp. 23–34. (in Russian)
- Shein, N.S., Struchkova, G.P., Kapitonova, T.A. et al. [Assessment of the influence of icings on the functioning of the main pipelines]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2020, no. 6. pp. 123–128. (in Russian)
- Shesternev, D.M., Verkhoturov, A.G. [Icings of Transbaikalia]. Chita, ChitGU Publ., 2006, 212 p. (in Russian)

- Brown, J., Ferrians, O., Heginbottom, J., Melnikov, E. Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-Ice Conditions, Version 2. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. 2002. URL: https://nsidc.org/data/ggd318)
- Ensom, T., Makarieva, O., Morse, P., et al. The distribution and dynamics of aufeis in permafrost regions. In: Permafrost and Periglac Process, 2020, pp. 1–13. https://doi.org/10.1002/ppp.2051
- Gagarin, L., Wu, Q., Cao, W., Jiang, G. Icings of the Kunlun Mountains on the Northern Margin of the Qinghai-Tibet Plateau, Western China: Origins, Hydrology and Distribution. *Water*, 2022, no. 14(15), paper 2396.

https://doi.org/10.3390/w14152396

 Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V. Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data. *Remote Sens. Environ.*, 1995, vol. 54, pp. 127–140. https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00137-P