

УДК 556.3 + 556.5 + 528.8 + 551.34 + 912.44

DOI: 10.15372/GIPR20230314

В.Р. АЛЕКСЕЕВ*, О.М. МАКАРЬЕВА, А.Н. ШИХОВ***, Н.В. НЕСТЕРОВА**, ****,
А.А. ЗЕМЛЯНСКАЯ**, А.А. ОСТАШОВ******

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия, avr@crust.irk.ru

**Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7–9, Россия, o.makareva@spbu.ru,
nnesterova1994@gmail.com, anastasiazemlanskova@gmail.com

***Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614068, Пермь, ул. Букирева, 15, Россия, and3131@inbox.ru

****Государственный гидрологический институт,
199004, Санкт-Петербург, 2-я линия Васильевского острова, Россия,
nnesterova1994@gmail.com, andrey.ostashov@gmail.com

ГИГАНТСКИЕ НАЛЕДИ-ТАРЫНЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Описывается методика подготовки и содержание Атласа гигантских наледей-тарынов — специфической формы оледенения северо-восточной части Евразийского континента, возникающей в результате намораживания излившихся на поверхность подземных вод. Атлас состоит из двух частей — иллюстративно-текстовой и картографической. При подготовке первой части атласа были проведены большая работа по сбору исторических сведений о наледях и оцифровка мелкомасштабных карт, показывающих зависимость ледяных полей от мерзотно-гидрогеологических, гидроклиматических, геоморфологических и геотектонических условий. Особый раздел атласа посвящен опасным гляциальным и мерзотно-геологическим явлениям, от которых зависит инженерное освоение местности. Результаты исследования свидетельствуют, что около 5 % территории северо-востока России относится к наледоопасной зоне. Во второй части атласа представлено более 100 карт распространения наледей-тарынов по бассейнам основных рек северо-востока России (Яна, Индигирка, Колыма, Анадырь, Пенжина). На картах показаны современное положение и размеры почти 7 тыс. ледяных массивов, определенные по космическим снимкам Landsat и Sentinel-2, дано их сравнение с характеристиками массивов из Каталога наледей А.С. Симакова и З.Г. Шильниковской 1958 г. Анализ собранного материала показал неоднозначную динамику наледей. С одной стороны, их количество к XXI в. увеличилось, а с другой — суммарная площадь льда до начала таяния уменьшилась. Информация об историческом и современном местоположении наледей представлена в виде цифровой базы данных для крупных рек северо-востока России. Большая часть материала, представленного в атласе, нуждается в детальном анализе.

Ключевые слова: многолетняя мерзлота, наледные ресурсы, наледное регулирование, распространение и динамика наледей, картографирование, наледная опасность.

V.R. ALEKSEEV*, O.M. MAKARIEVA, A.N. SHIKHOV***, N.V. NESTEROVA**, ****,
A.A. ZEMLIANSKOVA**, A.A. OSTASHOV******

*Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
677010, Yakutsk, ul. Merzlotnaya, 36, Russia, avr@crust.irk.ru

**St. Petersburg State University, 199034, St. Petersburg, Universitetskaya naberezhnaya, 7–9, Russia,
o.makareva@spbu.ru, nnesterova1994@gmail.com, anastasiazemlanskova@gmail.com

***Perm State National Research University,
614068, Perm, ul. Bukireva, 15, Russia, and3131@inbox.ru

****State Hydrological Institute, 199004, St. Petersburg, Vtoraya liniya Vasil'evskogo ostrova, 23, Russia,
nnesterova1994@gmail.com, andrey.ostashov@gmail.com

GIANT AUFEIS-TARYNS IN THE NORTH-EAST OF RUSSIA

We describe the approach to the preparation and contents of the Atlas of giant aufeis-taryns, a specific form of glaciation in the northeastern part of the Eurasian continent resulting from freezing of groundwater which flows out to the surface. The atlas consists of two parts: illustrative-textual, and cartographic. Part I covers the history of the studies of giant aufeis-taryns,

and the dependence of aufeis fields on permafrost-hydrogeological, hydroclimatic, geomorphological and geotectonic conditions have been shown in digitized small-scale maps. A special section of the atlas is devoted to hazardous glacial and permafrost-geological phenomena on which the engineering development of the terrain depends. Results of the study indicate that about 5 % of the territory of the north-east of Russia relates to the aufeis-hazardous zone. Part II contains more than 100 maps of the distribution of aufeis-taryns along the basins of the main rivers of the north-east of Russia (Yana, Indigirka, Kolyma, Anadyr, and Penzhina). The maps display the current position and size of about 7000 aufeis fields as identified from Landsat and Sentinel-2 images, and their comparison with the Cadastre of Aufeis by A.S. Simakov and Z.G. Shilnikovskaya (1958) is presented. An analysis of the collected material showed an ambiguous dynamics of aufeis fields. On the one hand, their number increased by the 21st century and, on the other, the total aufeis area before the start of ablation decreased. Information on the historical and modern location of aufeis fields is presented in the form of a digital database for large rivers of the north-east of Russia. Most of the collected material in the Atlas needs detailed analysis.

Keywords: permafrost, aufeis resources, aufeis regulation, distribution and dynamics of aufeis, mapping, aufeis hazard.

ИСТОРИЯ ВОПРОСА

Первые обстоятельные описания наледей-тарынов выполнили А.Ф. Миддендорф (1815–1894), К. Дитмар (1822–1882) и Г.Л. Майдель (1835–1894) во время своих путешествий по Восточной Сибири в середине XIX в. [1–3]. Однако систематическое их изучение началось лишь 100 лет спустя. В 1939 г. состоялась экспедиция в бассейн р. Индигирки, целью которой было определить, за счет каких запасов воды в суровые сибирские морозы среди сплошной многолетней мерзлоты нарастают ледяные поля площадью в десятки квадратных километров. Всего три месяца потребовалось исследователям, чтобы прийти к важнейшему заключению: питание наледей осуществляется крупнодебитными источниками под- и межмерзлотных подземных вод [4]. Этот вывод открыл пути водоснабжения развивающейся на северо-востоке России горнодобывающей промышленности [5]: наледи-тарыны стали использоваться как основной индикационный признак при поисках месторождений подземных вод [6, 7].

В 1947 г. Северо-Восточное геологическое управление Дальстроя поручило геологам А.С. Симakovу и З.Г. Шильниковской составить кадастр и карту наледей-тарынов северо-востока страны [8, 9], чтобы на их основе оценить потенциальные водные ресурсы региона. Для получения необходимой информации использовались черно-белые аэрофотоснимки, топографические карты и полевые наблюдения геологических партий. Работа продолжалась в течение 10 лет. Подготовленная геологами рукописная карта наледей состояла из 10 листов м-ба 1:2 000 000, которые были размножены фотопутем до четырех экземпляров в м-бе 1:5 000 000. Всего учтено 7448 наледей, площадь которых варьируется от 0,01 до 81,1 км². В кадастре наледей содержится информация о названии (дано преимущественно по названию реки), размерах наледной поляны, площади льда на дату обнаружения, методе фиксации льда. По наземным наблюдениям на 245 ледяных массивах была вычислена средняя толщина льда — 3 м. Суммарный объем наледей на северо-востоке СССР был оценен в 31,5 млрд м³.

По данным [8, 9] были рассчитаны динамические запасы подземных вод северо-восточной части СССР, проведена оценка величины наледного питания и стока [10, 11], выявлены закономерности пространственного распределения наледей [12], их соотношение с другими формами оледенения [13, 14].

В настоящее время потребности развивающейся местной горнодобывающей промышленной и социальной инфраструктуры, ориентированной на эффективное использование гидроклиматических ресурсов, существенно изменились. Разработаны новые методические приемы исследований, усовершенствована приборная база, появилась возможность получать единовременные данные о наледных явлениях на больших территориях посредством серийных аэрокосмических съемок [15]. Внедрение беспилотных летательных аппаратов открыло широкие перспективы для изучения сезонной и многолетней динамики наледных явлений. Все это подвигло коллектив авторов — группу молодых ученых — разработать долгосрочную программу изучения наледей-тарынов на новой информационно-методической платформе. Первым этапом этой программы стал проект подготовки к изданию Атласа гигантских наледей-тарынов северо-востока России [16] (далее — Атлас). Целевое назначение Атласа — получить современные данные о распространении, морфологических особенностях и динамике наледей подземных вод Верхоянско-Колымской горной страны и Чукотского полуострова, а также оценить их роль в формировании водных ресурсов и криогенной опасности в регионе.

При подготовке Атласа необходимо было решить следующие задачи:

1) осуществить информационный поиск и анализ материалов о наледях и наледных процессах в северо-восточной части России, накопленных в течение последних 150 лет; подготовить исторический обзор данных; разработать эскиз-макет Атласа;

2) оцифровать данные кадастра и карты наледей; исторических карт, содержащих сведения о гидроклиматических, геологических, мерзлотных условиях региона; привести рисунки из литературных источников к единому виду; извлечь данные из графиков, приведенных в публикациях о наледях, для дальнейшего анализа;

3) выполнить подбор, оценку информационной емкости и разрешающей способности космических снимков разного масштаба и дат залета применительно к изучению наледных явлений; подобрать методы определения (дешифрирования) наледей и наледных полей на космических снимках;

4) определить контуры и местоположение (координаты) ледяных полей на космических снимках и топографических картах; рассчитать морфологические характеристики наледей (площадь, длину, ширину, периметр); привести полученные показатели ко времени максимального развития (начало таяния ледяного покрова); сравнить результаты с данными кадастра [9] и карты наледей А.С. Симакова и З.Г. Шильниковской [8];

5) подготовить базы данных по основным бассейнам рек Яна, Индигирка, Колыма, Анадырь и др.; рассчитать характеристики наледности и наледных ресурсов региона в современных условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основная работа по оцифровке исторических карт, в том числе карты наледей [8], в виде точечного набора данных проводилась в программе ArcGis; рисунки создавались при использовании Adobe Illustrator; данные из графиков извлекались с помощью GetData Graph Digitizer и далее обрабатывались в Microsoft Excel.

Современное местоположение и характеристики наледей определялись по снимкам со спутника Landsat-8 (радиометр OLI), полученным после схода устойчивого снежного покрова. Всего было обработано более 100 сцен, самая ранняя из выбранных дат съемки — 15 мая, самая поздняя — 26 июня. Снимки загружались с веб-сервиса Геологической службы США [17]. Более 50 % всех данных о наледях получены по снимкам с 31 мая по 6 июня 2016 г., когда наблюдался устойчивый период малооблачной погоды. Методика выделения наледей по данным Landsat описана в работе [18].

Для каждой наледи, выделенной по спутниковым данным, определялись следующие основные характеристики: дата и идентификатор спутникового снимка, по которому выделена наледь, ее площадь, средняя высота по данным ЦМР GMTED-2010 [19]. Для наледей площадью свыше 0,1 км² рассчитывались также их протяженность и максимальная ширина.

Наличие кадастра наледей позволило провести взаимную верификацию исторических и спутниковых данных. Верификация основана на определении соседних (ближайших) объектов между точечным слоем наледей по данным кадастра и полигональным слоем, полученным по снимкам Landsat. При соотношении наледей учитывались два критерия: максимальное расстояние между ними не превышает 5 км, наледи располагаются в долине одного водотока или в пределах одной наледной поляны.

На основе сведений о современном местоположении наледей, определенном по спутниковым снимкам, и оцифрованной карты [8] в виде точечного набора данных с внесенной информацией из кадастра наледей [9] созданы и зарегистрированы базы данных о наледях, расположенных в бассейнах крупных рек северо-востока России.

Межгодовая динамика наледей анализировалась по данным картографирования объектов с космических спутников Земли Landsat-1 (сенсор MSS, 1973–1974 гг.); Landsat-7, -8 (2000–2019 гг.); Sentinel-2 (2019 г.); внутригодовой анализ площади отдельных наледей был проведен за 2019 г.

Для съемки наледей и наледных ландшафтов в полевых условиях применялись беспилотные летательные аппараты: квадрокоптеры DJI Phantom 4 pro v2.0 и DJI Mavic Air 2. Видео- и фотосъемка осуществлялась с высоты 10–500 м.

По спутниковым снимкам размеры наледей определялись на дату съемки. Для расчета максимальной площади льда до начала таяния применялся метод Б.Л. Соколова (1975 г.) [11], позволяющий оценить, какая доля площади наледи сократилась за определенный период. Необходимо было получить следующую информацию: площадь наледи по космическому снимку, дата съемки, абсолютная высота положения наледи и дата устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0 °С в сторону повышения (принята за дату начала таяния) по данным ближайшей метеорологической станции. Были определены самая ранняя дата начала таяния (23 апреля, в бассейне р. Колымы) и самая поздняя (12 мая, в бассейнах рек Чукотского полуострова).

Для расчета наледных ресурсов использовалась зависимость: $W = \alpha F^n$, где W и F — объем (в тыс. м³) и площадь (в тыс. м²) наледи соответственно; $\alpha = 0,75$; $n = 1,12$ [20]. Использовалась максимальная площадь отдельных наледей, определенная по методу Б.Л. Соколова [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Структура Атласа. Атлас состоит из двух частей — иллюстративно-аналитической и картографической.

В первой части освещается история изучения гигантских наледей-тарынов, описывается их происхождение, форма, строение, изменчивость во времени и пространстве, раскрывается зависимость характеристик ледяных массивов от мерзлотно-гидрогеологических, гидроклиматических, геоморфологических и геотектонических условий. Текст сопровождается большим количеством обобщающих графиков, схем, оцифрованных из литературных источников, цветных фотографий. Особую ценность представляет серия из 14 мелкомасштабных тематических карт условий наледообразования (рис. 1), на которые наложен слой местоположения наледей по данным кадастра 1958 г. [9].

Во второй части Атласа помещены карты распространения наледей-тарынов в бассейнах основных рек (Яна, Индигирка, Колыма, Анадырь, Пенжина), малых рек Чукотского полуострова (Амгуэма, Люлювеем, Паляваам) и в бассейнах рек Охотского моря (Ульбея, Нядбаки), составленные по данным [9] и современным сведениям, полученным по космическим снимкам Landsat (рис. 2). Средне- и крупномасштабные карты и космоснимки опорных наледей раскрывают сезонную и многолетнюю динамику наледных явлений, а также ландшафтные условия наледообразования. Всего во второй части Атласа помещено более 100 карт, отражающих современное географическое положение и размеры около 7 тыс. ледяных массивов.

Картографические материалы по каждому крупному бассейну дополнены графиками, характеризующими соотношение площадей наледей разных градаций, неравномерность их распределения (кривые Лоренца), изменение количества и суммарной площади наледей по высотным зонам и др. Карты и многочисленные иллюстрации сопровождаются пояснениями и таблицами обобщенных данных. Полученные материалы нуждаются в тщательном анализе и обобщении.

Содержание баз данных. База данных представляет собой свод унифицированной информации о местоположении (широта, долгота, высота) и характеристиках наледей в исторический и современный

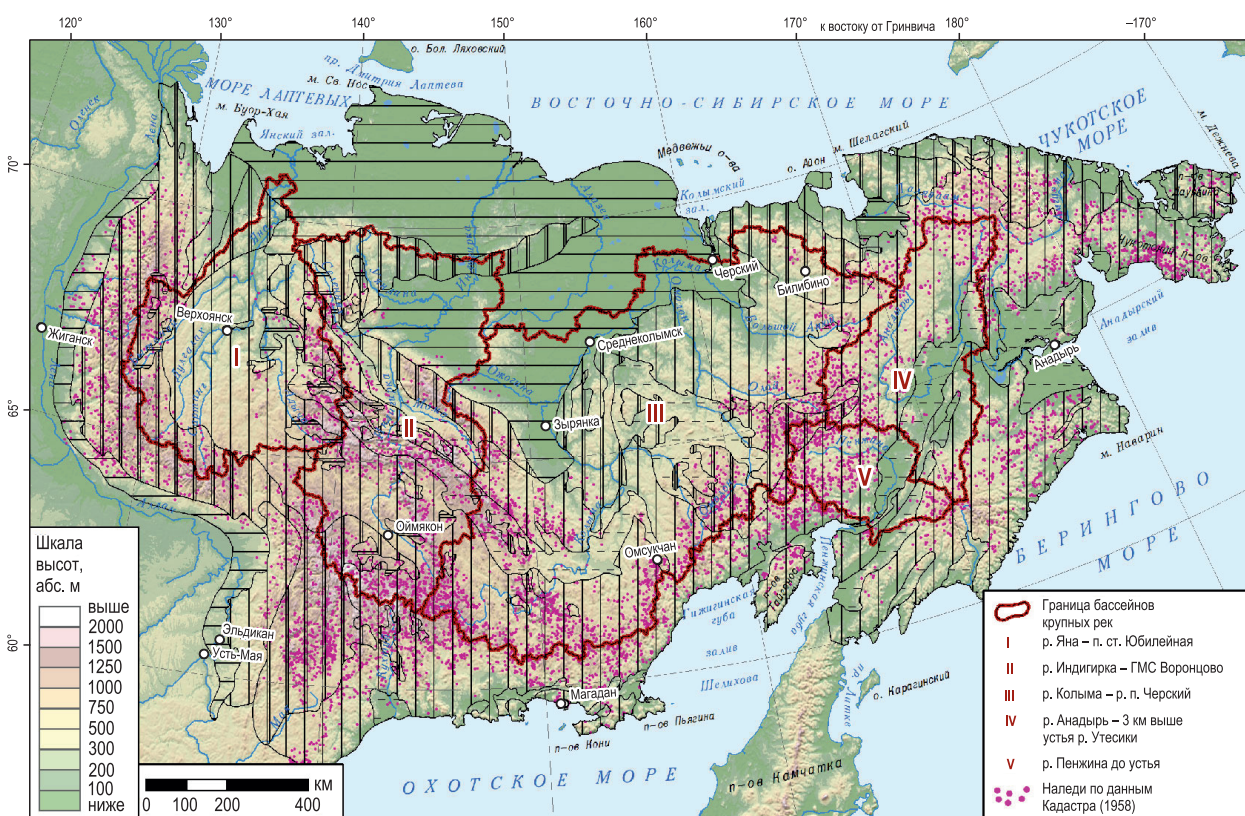


Рис. 1. Карта мерзлотных условий гидрогеологических структур по материалам О.Н. Толстихина [7].
Пример оцифрованной карты в первой части Атласа наледей-тарынов [16].

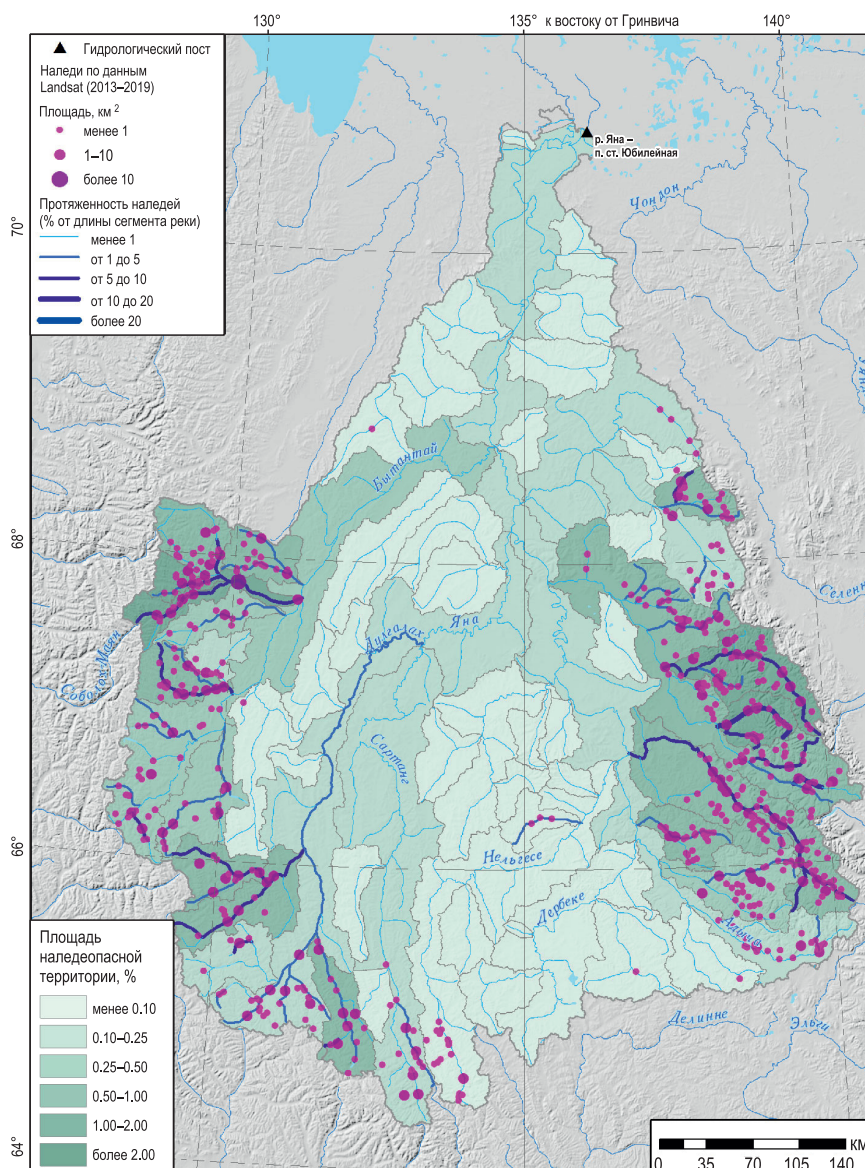


Рис. 2. Наледная опасность в бассейне р. Яны по данным современных снимков Landsat (2013–2019 гг.).
Пример карты из второй части Атласа наледей-тарынов [16].

¹ Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Наледи Северо-Востока России: ГИС каталог для Чукотского полуострова» № 2021620267 / О.М. Макарьева, А.Н. Шихов, А.А. Осташов, Н.В. Нестерова, А.А. Землянскова, А.В. Семакина, В.Р. Алексеев. Опубликовано 12.02.2021. Зарегистр. 24.12.2020; Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Наледи Северо-Востока России: ГИС каталог для бассейна реки Индигирка» № 2021620317 / О.М. Макарьева, А.Н. Шихов, А.А. Осташов, Н.В. Нестерова, А.А. Землянскова, В.Р. Алексеев. Опубликовано 24.02.2021. Зарегистр. 24.12.2020; Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Наледи Северо-Востока России: ГИС каталог для бассейна реки Колыма» № 2021620332 / О.М. Макарьева, А.Н. Шихов, А.А. Осташов, Н.В. Нестерова, А.А. Землянскова, В.Р. Алексеев. Опубликовано 26.02.2021. Зарегистр. 24.12.2020; Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Наледи Северо-Востока России: ГИС каталог для бассейна реки Яна» № 2021620333 / О.М. Макарьева, А.Н. Шихов, А.А. Осташов, Н.В. Нестерова, А.А. Землянскова, В.Р. Алексеев. Опубликовано 26.02.21. Зарегистр. 24.12.2020.

Наледные ресурсы основных бассейнов рек северо-востока России, по [16]

Река	Площадь бассейна, км ²	Относительная наледность, %	Площадь наледей, км ²	Объем наледей, км ³	Запас воды в наледях, мм
Яна	224 000	0,23	505	1,10	4,5
Индигирка	305 000	0,55	1663	4,25	11,0
Колыма	643 000	0,19	981	2,20	3,0
Пенжина	73 500	0,26	189	0,40	5,1
Анадырь	156 000	0,26	398	0,85	5,1
Амгуэма	26 400	0,39	192	0,20	7,5
Всего	1 427 900	—	3838	9,0	—
Среднее	—	0,31	—	—	4,4

Примечание. Прочерк — не определяется.

позволяющие оценить наледность бассейнов рек северо-восточной части России в современных условиях, рассмотреть распределение ледяных полей в зависимости от различных факторов.

Сведения о наледях северо-востока России. На данном этапе исследований удалось провести первичное сопоставление исторических и современных данных. Оно показало, что для бассейнов крупных рек — Яны, Индигирки, Колымы, а также рек Чукотского полуострова общее число наледей по [9] составило 4642, по данным снимков Landsat — 6683. Для той же территории площадь наледей по данным кадастра [9] составила 7181 км², а по данным космических снимков — только 3579 км². Таким образом, количество наледей увеличилось на 30 %, а площадь сократилась более чем в два раза. Однако данное сравнение приведено для площади льда, определенного на дату съемки, когда его часть могла уже стаять.

Уточненные размеры 6683 наледей, определенные по методу Б.Л. Соколова [11], показали, что до начала таяния общая площадь тарынов могла достигать 4529 км², т. е. она на 22 % больше по сравнению с данными, взятыми с космических снимков. Эти сведения легли в основу расчета наледных ресурсов (суммарный объем льда в период максимального развития наледей), а также позволили оценить роль наледных явлений в формировании криогенной опасности в регионе.

Общий объем наледей-тарынов в бассейнах крупных рек северо-востока России в начале периода их разрушения составил более 10,6 км³, что эквивалентно 5 мм слоя наледного стока. В таблице показано распределение наледных ресурсов для замыкающих створов крупных рек — Яны, Индигирки, Колымы, Пенжины, Анадыря и Амгуэмы. Высокая наледность горной части бассейна р. Индигирки вызвана повышенной степенью прерывистости криолитозоны, обусловленной неотектонической активностью территории и высокой энергией рельефа. Самая низкая относительная наледность (0,19 %) характерна для бассейна р. Колымы, в пределах которого большую площадь занимают низменные территории со сплошной вечной мерзлотой.

Информация о площади и объеме наледей позволила рассчитать среднюю толщину льда: для $F \leq 0,001$ км² она оказалась равной 1 м, средняя толщина наледей больших размеров по мере увеличения их площади повышается до 2,7 м.

Наледи создают опасные ситуации для жизни людей, растений и животных, для функционирования транспортных средств и инженерных сооружений. Нами выделено три типа наледной опасности в регионе. Склоновая наледная опасность возникает при намораживании грунтовых (надмерзлотных) вод на горных склонах, в тальвегах крутопадающих распадков, на скалах и береговых обрывах; пойменная — в результате функционирования незамерзающих источников подземных вод (межмерзлотных, подмерзлотных и вод глубокой циркуляции); русловая — при намораживании речных и подрусловых подземных вод.

В Атласе [16] представлены карты наледной опасности (см. рис. 2), составленные на все крупные речные бассейны региона. В качестве показателя опасности принята доля площади водосборов, занимаемая наледями-тарынами. Русловую наледнюю опасность характеризует относительная протяженность наледей в пределах речных русел. Анализ карт показал, что наибольшая степень данной опасности характерна для горных областей, где широко распространены наледи всех трех категорий. На равнинах преобладают наледи руслового типа, при этом на участках рек, удаленных от истоков на расстояние более 500 км, они встречаются эпизодически, преимущественно в прибрежной части водотоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые с 1958 г. выполнено обновление и обобщение данных о современном распространении гигантских наледей-тарынов на северо-востоке страны. Анализ исторических и современных материалов, помещенных в Атласе, показал, что данные кадастра 1958 г. [9], положенные в основу многочисленных научных работ, до сих пор широко используемые в качестве источника информации, не отражают современное состояние криолитозоны и распространение наледей. Авторами выявлены значительные изменения общего количества и максимальной площади наледей исследуемого региона: по данным космических снимков выявлено на 30 % больше наледей, чем указано в кадастре 1958 г. [9], однако их общая площадь сократилась почти в два раза. Согласно современным данным [16], общий объем наледей-тарынов в бассейнах рек Яны, Индигирки, Колымы, Пенжины, рек Чукотского полуострова в начале периода их разрушения составляет более 10,6 км³, или 5 мм слоя наледного стока. Эта величина более чем в два раза ниже значения, указанного в работе О.Н. Толстихина [7]. Современная совокупность наледей-тарынов (их местоположение, размеры и изменчивость) отражает термодинамическое состояние и пространственную структуру криолитозоны отдельных речных бассейнов и региона в целом.

Общая площадь наледоопасной территории в горах северо-востока России составляет не менее 5 %, причем подавляющая ее часть приходится на самые доступные места — дно речных долин и межгорные котловины. Составленный Атлас в совокупности с разработанными базами данных может служить информационной основой для дальнейших междисциплинарных исследований и планирования долгосрочного мониторинга наледей и криолитозоны северо-востока России в условиях изменения климата.

Работа выполнена в рамках НИР Санкт-Петербургского государственного университета Комплексная оценка естественных и антропогенных факторов интенсификации водообменных процессов криолитозоны в условиях изменения климата (id 75295776).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миддендорф А.Ф. Путешествие на север и восток Сибири. Ч. 1: Север и восток в естественно-историческом отношении. — СПб.: Типография Академии наук, 1862. — 360 с.
2. Дитмар К. Поездки и пребывание на Камчатке в 1851–1855 гг. Ч. 1: Исторический отчет по путевым дневникам. — СПб., 1901. — 353 с.
3. Майдель Г. Путешествие по северо-восточной части Якутской области в 1868–1870 гг. / Пер. с нем. — СПб.: Типография Академии наук, 1896. — Т. 2. — 309 с.
4. Швецов П.Ф., Седов В.П. Гигантские наледи и подземные воды хребта Тас-Хаяхта. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1941. — 81 с.
5. Корякин И.М., Лазарь А.А. Использование искусственных наледей и некоторые закономерности их формирования при грунтовым стоке на пересыхающих водотоках // Колыма. — 1984. — № 4. — С. 33–34.
6. Толстихин О.Н. Использование площадей наледей для ориентировочной оценки естественных ресурсов подземных вод // Подземные воды Якутии как источник водоснабжения. — М.: Наука, 1967. — С. 49–54.
7. Толстихин О.Н. Наледи и подземные воды Северо-Востока СССР // Изучение и охрана водных ресурсов. — М.: Наука, 1974. — 164 с.
8. Карта наледей Северо-Востока СССР. Краткая объяснительная записка. М-б 1:2 000 000 / Ред. А.С. Симанков, З.Г. Шильниковская. — Магадан: Сев.-Вост. геол. управление Главн. управления геологии и охраны недр при Совете Министров РСФСР, 1958. — 40 с.
9. Кадастр к Карте наледей Северо-Востока СССР масштаба 1:2 000 000 / Сост. А.С. Симанков, З.Г. Шильниковская. — Магадан: Сев.-Вост. территор. геол. управление, 1958. — 398 с.
10. Соколов Б.Л. Исследование и расчет таяния наледей // Сб. работ по гидрологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — № 9. — С. 106–123.
11. Соколов Б.Л. Наледи и речной сток. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 190 с.
12. Соколов Б.Л. Исследование закономерностей формирования наледей // Труды ГГИ. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — Вып. 182. — С. 73–97.
13. Корейша М.М., Романовский Н.Н. Зональность льдообразования в континентальных климатических условиях // Материалы гляциологических исследований. — 1984. — Вып. 51. — С. 159–163.
14. Корейша М.М. Оледенение Верхоянско-Колымской области. — М.: Междувед. геофиз. комиссия, 1991. — 143 с.

15. Makarieva O., Nesterova N., Shikhov A., Zemlianskova A., Luo D., Ostashov A., Alexeev V. Giant Aufeis — Unknown Glaciation in North-Eastern Eurasia According to Landsat Images 2013–2019 [Электронный ресурс]. — <https://doi.org/10.3390/rs14174248> (дата обращения 19.09.2021).
16. Алексеев В.Р., Макарьева О.М., Шихов А.Н., Нестерова Н.В., Осташов А.А., Землянскова А.А. Атлас гигантских наледей-тарынов Северо-Востока России. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2021. — 302 с.
17. Сервер Геологической службы США [Электронный ресурс]. — <http://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения 20.09.2020).
18. Макарьева О.М., Шихов А.Н., Осташов А.А., Нестерова Н.В. Наледи бассейна р. Индигирка по современным снимкам Landsat и историческим данным // Лед и снег. — 2019. — Т. 59, № 2. — С. 201–212.
19. Danielson J.J., Gesch D.B. Global multi-resolution terrain elevation data 2010 // U.S. Geological Survey: Open-File Report 2011–1073. — Reston: U.S. Geological Survey, 2011 [Электронный ресурс]. — <https://pubs.usgs.gov/of/2011/1073/pdf/of2011-1073.pdf> (дата обращения 20.08.2021).
20. Соколов Б.Л., Саркисян В.О. Подземное питание горных рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 239 с.

Поступила в редакцию 08.08.2022

После доработки 20.11.2022

Принята к публикации 05.04.2023