

ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ REVIEWS AND REPORTS

УДК: 332.1(045)

DOI: 10.37482/issn2221-2698.2021.45.184

Научное сотрудничество: мониторинг вечной мерзлоты циркумполярной зоны и обмен данными *

© **БУФФАР Трой**, магистр наук

E-mail: tjbouffard@alaska.edu

Университет Аляски в Фэрбенксе, Фэрбенкс, Аляска, США

© **УРЮПОВА Екатерина**, PhD, приглашённый научный сотрудник

E-mail: uryupova@gmail.com

Арктический институт, Акюрейри, Исландия

© **ДОДДС Клаус**, PhD, профессор географии

E-mail: K.Dodds@rhul.ac.uk

Университет Роял Холлоуэй, Лондонский университет, Эгхэм, Великобритания

© **РОМАНОВСКИЙ Владимир Евгеньевич**, доктор геофизических наук, профессор

E-mail: veromanovsky@alaska.edu

Геофизический институт (Emritus), Университет Аляски в Фэрбенксе, Фэрбенкс, Аляска, США

© **БЕННЕТТ Алек**, MSDM, научный сотрудник

E-mail: apbennett@alaska.edu

Школа менеджмента, Университет Аляски в Фэрбенксе, Фэрбенкс, Аляска, США

© **СТРЕЛЕЦКИЙ Дмитрий**, PhD, доцент

E-mail: strelets@gwu.edu

Университет Джорджа Вашингтона, Вашингтон, округ Колумбия, США

Аннотация. Научное сотрудничество — это востребованный нарратив и тематика, однако в реальности оно сопряжено с множеством проблем и контрпродуктивных трудностей. Более того, обмен данными представляет собой одно из наиболее важных требований к сотрудничеству, являясь частью «научного метода, который позволяет проверять результаты и расширять исследования на основе предыдущих результатов». Одним из важных фрагментов головоломки изменения климата является вечная мерзлота. В настоящее время большинство данных о вечной мерзлоте остаётся отрывочными и ограничивается национальными органами, включающими научные институты. Важные базы данных хранятся в государственных или университетских лабораториях, где они остаются практически неизвестными или ограниченно доступными. Отсутствие совместных исследований, особенно исследований данных, значительно снижает эффективность понимания вечной мерзлоты в целом. В то время как для одной страны невозможно эффективно проводить различные моделирования и исследования, необходимые для всестороннего понимания воздействия на вечную мерзлоту, мировое сообщество может это делать. Однако лица, принимающие решения и определяющие политику, особенно на международной арене,

* Для цитирования: Буффар Т., Урюпова Е., Доддс К., Романовский В.Е., Беннетт А., Стрелецкий Д. Научное сотрудничество: мониторинг вечной мерзлоты циркумполярной зоны и обмен данными // Арктика и Север. 2021. № 45. С. 184–208. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2021.45.184

Оригинал статьи опубликован в журнале «Land» (№ 10, 2021) и републикуется по просьбе авторов и с разрешения издательства «MDPI» (www.mdpi.com). Все права сохранены.

For citation: Bouffard T.J., Uryupova E., Dodds K., Romanovsky V.E., Bennett A.P., Streletskiy D. Scientific Cooperation: Supporting Circumpolar Permafrost Monitoring and Data Sharing. *Arktika i Sever* [Arctic and North], 2021, no. 45, pp. 184–208. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2021.45.184

The original article was published in “Land” magazine (No. 10, 2021) and is republished with the permission of MDPI publishing house (www.mdpi.com). All rights reserved.

испытывают трудности в понимании того, как лучше предвидеть изменения и подготовиться к ним, и, следовательно, поддержать научные рекомендации при разработке политики. В данной статье рассматриваются глобальные системы данных о вечной мерзлоте, которые остаются спорадическими, редко обновляются и почти не имеют данных о подводной вечной мерзлоте в открытом доступе. Авторы предлагают концепцию работы глобальной системы мониторинга вечной мерзлоты в режиме реального времени (в пределах технических и обоснованных возможностей), с частым обновлением и открытым доступом к базам данных. После краткого обзора в настоящей статье будут предложены три вспомогательные темы: 1) текущее состояние данных о вечной мерзлоте, 2) обоснование и методы обмена данными и 3) последствия для глобальных и национальных интересов.

Ключевые слова: вечная мерзлота, мониторинг вечной мерзлоты, данные о вечной мерзлоте, обмен данными, национальная безопасность.

Scientific Cooperation: Supporting Circumpolar Permafrost Monitoring and Data Sharing

© Troy J. BOUFFARD, MA

E-mail: tjbouffard@alaska.edu

University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska, USA

© Ekaterina URYUPOVA, PhD, Visiting Fellow

E-mail: uryupova@gmail.com

Arctic Institute, Akureyri, Iceland

© Klaus DODDS, PhD, Professor of Geography

E-mail: K.Dodds@rhul.ac.uk

Royal Holloway University of London, Egham, UK

© Vladimir E. ROMANOVSKY, PhD, Professor of Geophysics

E-mail: veromanovsky@alaska.edu

Geophysical Institute (Emritus), University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska, USA

© Alec P. BENNETT, MSDM, Research Professor Associate

E-mail: apbennett@alaska.edu

School of Management, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska, USA

© Dmitry STRELETSKIY, PhD, Associate Professor

E-mail: strelets@gwu.edu

George Washington University, Washington, DC, USA

Abstract. Scientific cooperation is a well-supported narrative and theme, but in reality, presents many challenges and counter-productive difficulties. Moreover, data sharing specifically represents one of the more critical cooperation requirements, as part of the “scientific method [which] allows for verification of results and extending research from prior results.” One of the important pieces of the climate change puzzle is permafrost. Currently, most permafrost data remain fragmented and restricted to national authorities, including scientific institutes. Important datasets reside in various government or university labs, where they remain largely unknown or where access restrictions prevent effective use. A lack of shared research—especially data—significantly reduces effectiveness of understanding permafrost overall. Whereas it is not possible for a nation to effectively conduct the variety of modeling and research needed to comprehensively understand impacts to permafrost, a global community can. However, decision and policy makers, especially on the international stage, struggle to understand how best to anticipate and prepare for changes, and thus support for scientific recommendations during policy development. This article explores the global data systems on permafrost, which remain sporadic, rarely updated, and with almost nothing about the subsea permafrost publicly available. The authors suggest that the global permafrost monitoring system should be real time (within technical and reasonable possibility), often updated and with open access to the data. Following a brief background, this article will offer three supporting themes, 1) the current state

of permafrost data, 2) rationale and methods to share data, and 3) implications for global and national interests.

Keywords: *permafrost, permafrost monitoring, permafrost data, data sharing, national security.*

Введение

В то время как мир продолжает работать над пониманием и прогнозированием последствий изменения климата, Арктика, по общему признанию, является важнейшим компонентом, выступая в качестве региона-показателя¹. Глобальное научное сотрудничество, включая обмен данными, признано неотъемлемой составляющей, однако в действительности оно сопряжено с множеством проблем и трудностей [1, Akiho S., Raita M., с. 129–162]. Как отметил Джон Портер в своей работе о Сети долгосрочных экологических исследований (созданной в 1980 г.): «В абстрактном плане преимущества обмена данными очевидны. Ни один учёный в отдельности или даже небольшая группа учёных не смогут собрать полную базу данных, необходимых для решения основных вопросов современных экологических исследований, в особенности тех, которые имеют дело с глобальными, региональными или долгосрочными явлениями» [2, Porter J., с. 14]. Как признал Портер, несмотря на интуитивность ценности обмена данными, учёные прикладывали максимум усилий для сотрудничества на протяжении 1980-х гг.

Исследование Портера, посвящённое обмену экологическими данными, является отражением других работ историков науки и техники, особенно тех, которые сосредоточены на эпохе холодной войны [3, Aronova E., с. 307–327]. Большая часть этих исследований выявила множество проблем, препятствий и возможностей для обмена данными, поднимая три вопроса:

- Во-первых, что делает возможным обмен данными?
- Во-вторых, какова предполагаемая и фактическая ценность обмена данными для локальных, национальных и международных заинтересованных сторон, и как протоколы обеспечения и контроля качества данных влияют на экономику их совместного использования?
- В-третьих, как преобладающая геополитика и динамика безопасности усложняют практику и опыт обмена данными? [4, Turchetti S., Roberts P.]

В зависимости от дисциплины и географического региона, история и область обмена данными связаны с пересечениями эпистемологий, идеологий, личностей, практик и технологий. Кроме того, хотя мы можем сосредоточиться на обмене данными как на механизме предоставления данных тем, кто не участвовал в создании этого материала, роль хранилищ данных (например, Всемирных центров данных во время и после МГГ) также является обла-

¹ The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change's Special Report on the Ocean and Cryosphere 2019. URL: <https://www.ipcc.ch/srocc/> (дата обращения: 17.12.2020).

стью научного интереса и имеет отношение к тому, что называют «дипломатией данных» [5, Boyd A., et al.]. Более того, повторное использование данных представляет собой одно из наиболее важных требований к сотрудничеству, являясь частью «научного метода, который позволяет проверять результаты и расширять исследования на основе предыдущих результатов» [6, Tanopir C., et al., с. 6; 7, Michener W.K., с. 33–44]. Повторное использование данных является неотъемлемой частью научной практики воспроизводимых исследований и поэтому считается весьма желательным.

Одним из важных фрагментов головоломки изменения климата является вечная мерзлота, и состояние обмена данными по вечной мерзлоте хорошо иллюстрирует, что такие научные практики, как воспроизводимость и верификация, не так просты, как могут казаться [8, Jasny B.R., с. 1–15]. В целом данные наблюдений за характеристиками вечной мерзлоты ограничены. Как признают Борис Бискаборн и его коллеги: «Текущий глобальный охват мониторингом температуры вечной мерзлоты ещё не идеален из-за ограниченного отбора проб и отсутствия сети сотрудничества в таких регионах, как Сибирь, центральная Канада, Антарктида, Гималаи и Анды». Безусловно, сотрудничество существует, но, возможно, оно не соответствует номинальным или идеальным стандартам для коллективных целей по вопросам вечной мерзлоты. В настоящее время большинство данных о вечной мерзлоте остаются фрагментированными и ограниченными национальными органами, включающими научные институты. Преобладающей части данных о вечной мерзлоте нет в открытом доступе: важные базы данных хранятся в различных государственных или университетских лабораториях, где они остаются в значительной степени неизвестными или где ограничения доступа препятствуют их эффективному использованию [9, Bush E., с. 86; 10, Joseph M.P., с. 24–28]. Несмотря на высокую авторитетность, отдельные попытки сбора данных, включающие их создание и управление, приводят к неполной картине состояния вечной мерзлоты, что в свою очередь затрудняет дальнейшее прогнозирование. В то время как страны поддерживают индивидуальные программы исследования вечной мерзлоты, отсутствие совместных исследований, особенно исследований данных, значительно снижает эффективность понимания вечной мерзлоты в целом. Так, например, отсутствие необходимости дублировать скважинные работы для получения данных, особенно в удалённых местах, повысит рентабельность. Нации, обладающие научными сравнительными преимуществами, могли бы помочь в предоставлении информации или услуг другим странам с целью внесения вклада в поддержку сбора общих данных. Текущие усилия Всемирной метеорологической организации (ВМО), Глобальной службы криосферы и Глобальной наземной сети вечной мерзлоты (GTN-P) демонстрируют необходимость продолжения прогресса в реализации операционной совместимости температур вечной мерзлоты. Наконец, единая база общих данных всегда будет стоить дешевле, чем существующие множественные системы.

Важность совместного использования научных данных продолжает демонстрироваться другими глобальными участниками, такими как ВМО. Глобальная телекоммуникационная система (ГТС) ВМО была создана в 1970-х гг. для обеспечения поддержки Всемирной службы погоды (ВСП). Эта всемирно скоординированная телекоммуникационная система позволяет обмениваться данными и продукцией друг с другом в поддержку оперативного прогнозирования погоды. В ноябре 2020 г. ВМО провела конференцию, посвящённую обзору потока данных и обновлённых протоколов по их производству, мониторингу и обмену. В Африке, по оценкам, только 25 процентов станций метеорологического мониторинга соответствуют требованиям ВОЗ, что свидетельствует о значительном разрыве в цифровых технологиях и оборудовании.

Страны используют различные ресурсы и подходы к изучению вечной мерзлоты, включающие всё более сложные методы научного моделирования². Некоторые из них более эффективны, другие — направлены на достижение иных целей. Если для одной страны невозможно эффективно проводить разнообразные моделирования и исследования, необходимые для всестороннего понимания воздействия на вечную мерзлоту, то глобальное сообщество исследователей вечной мерзлоты может это сделать. Другие исследования в таких областях, как геоника, показали, что научные сообщества не всегда заинтересованы в обмене данными по разным причинам: начиная от опасений по поводу прав интеллектуальной собственности, политики и протоколов обработки данных, военно-промышленных стратегических соображений, ограничений со стороны спонсоров и заканчивая межнациональным научным соперничеством. Однако лица, принимающие решения и определяющие политику, особенно на международной арене, пытаются понять, как лучше предвидеть и подготовиться к изменениям вечной мерзлоты, и, таким образом, связать научные рекомендации с разработкой надёжной политики [11, Kowarsch M., et al.].

На сегодняшний день не хватает исследований факторов, формирующих ограниченность данных о вечной мерзлоте в приполярном регионе, а также информации о том, что требуется для развития более активной политики обмена данными. В настоящей статье рассматриваются глобальные системы данных о вечной мерзлоте, которые остаются спорадическими, редко обновляются и почти не содержат данных о подводной вечной мерзлоте в открытом доступе. Авторы предполагают, что существуют возможности и потенциал для развития глобальной системы мониторинга вечной мерзлоты, которая должна стремиться к работе в режиме реального времени (там, где это возможно), часто обновляемой и с открытым доступом к данным. Другие предметные области, такие как океанография, пользуются преимуществами Межправительственной океанографической комиссии (созданной в 1960 г.), объединяющей почти 150 стран, взявших на себя обязательство обмениваться данными о

² Stanford Encyclopedia of Philosophy Stanford University. Models in Science. 2020. URL: <https://seop.illc.uva.nl/entries/models-science/> (дата обращения: 05.08.2020).

морских измерениях. Данные исследований вечной мерзлоты не получили такого высокого уровня инвестиций со стороны ООН по причинам, которые тесно связаны с географической спецификой и национальной чувствительностью в отношении исследований холодной среды [12, Herzberg J., et al.].

После краткого научного обзора вечной мерзлоты в настоящей статье будут рассмотрены три вспомогательные темы: 1) текущее состояние данных о вечной мерзлоте и их доступность, 2) обоснование и методы обмена данными, 3) последствия для глобальных и национальных интересов с особым акцентом на США, Канаду, Россию и новые научные державы в области вечной мерзлоты, такие как Китай, и 4) состояние области распознавания данных о вечной мерзлоте. Это междисциплинарное исследование вносит свой вклад в изучение исторической деятельности по обмену данными, а также раскрывает проблему того, как методы, ресурсы и инструменты, такие как системы обмена данными, служат посредниками между глобальным научным сотрудничеством и приоритетами национальной безопасности.

Общие положения

Вечная мерзлота

Вечная мерзлота обычно определяется как слой грунта, температура которого остаётся на уровне или ниже 0°C в течение как минимум двух лет подряд. Это относится к физическому состоянию, а не к материальной форме. Поверхностный слой мёрзлого грунта, который замерзает зимой, а летом оттаивает, называется активным слоем. Активный слой снова замерзает осенью. Изменение климатических условий влияет на состояние мерзлоты прямым и косвенным образом: среди факторов, влияющих на мерзлоту, — повышение температуры воздуха, изменение снежного режима, состояние растительности [13, Romanovsky V.E. et al., с. 106–116; 14, Rasmussen L.H., et al., с. 199–213]. Типовая классификация, впервые разработанная в 1927 г. [15, Сумгин М.И., с. 372], выделяет сплошную вечную мерзлоту (подстилающую 90–100% ландшафта), прерывистую вечную мерзлоту (50–90%) и спорадическую вечную мерзлоту (0–50%). Район вечной мерзлоты покрывает примерно 24% поверхности суши в Северном полушарии, включая большие территории Арктики. Вечная мерзлота (сплошная, прерывистая, спорадическая или единичная) покрывает около 22,8 млн км²: Канада и Россия содержат наиболее обширные площади вечной мерзлоты — примерно 50% и 65% их территорий соответственно [16, Streletskiy D., Shiklomanov N.I., с. 201–220]; 22% — Китай; и 82% — Аляска (примерно 15% всей суши в континентальной части США)³.

³ Canadian Geographic. Arctic Permafrost is Thawing: Here's What that Means for Canada's North and the World. URL: <https://www.canadiangeographic.ca/article/arctic-permafrost-thawing-heres-what-means-canadas-north-and-world> (дата обращения: 12.04.2021).

Согласно прогнозам, площадь приповерхностной вечной мерзлоты в Северном полушарии сократится на 20% по сравнению с сегодняшней площадью к 2040 г. и может сократиться на две трети к 2080 г. при условии высоких выбросов парниковых газов. Воздействие будет варьироваться в региональном и местном масштабах (местный эффект трудно спрогнозировать из-за недостаточной детализации моделей) и будет связано с рядом других экологических рисков, таких как загрязнение ртутью ⁴.

Почему важно следить за состоянием вечной мерзлоты? Таяние вечной мерзлоты, по прогнозам, приведёт к высвобождению значительного количества углерода и метана в ответ на изменение климата, а также станет причиной проседания грунта [17, Hjort J., et al., с. 5147], оно может даже пробудить дремлющие болезни. Повсеместная деградация вечной мерзлоты постоянно меняет местную гидрологию, увеличивая частоту пожаров и эрозионных нарушений. Более того, экологические преобразования, вызванные изменением климата, влияют на коренные народы и их традиционный образ жизни. Так, например, оленеводы вынуждены искать новые территории, доступные для использования в качестве пастбищ, из-за отсутствия питания и создания кемпингов, являющихся неотъемлемой частью оленеводства [18, Doloisio N., Vanderlinden J.P., с. 26]. В других частях Арктики тающая вечная мерзлота может нанести ущерб традиционным ледяным погребам. На севере Аляски инупиаты нередко выкапывают подземные хранилища, где мёрзлый грунт помогает сохранить мясо китов и тюленей. Оттаивание земли приводит к порче традиционных продуктов питания ⁵. Городские ландшафты кардинально изменились из-за таяния вечной мерзлоты. По мнению исследователей, к середине XXI в. следует ожидать существенного (примерно на 25%) снижения устойчивости городской инфраструктуры на всей территории России (в регионах вечной мерзлоты) [19, Shiklomanov N.I. и др., с. 125–142]. Кроме того, таяние вечной мерзлоты создаёт проблему для нефтегазовой отрасли, поскольку деградация мёрзлого грунта приводит к повреждению промышленных объектов ⁶.

Текущее состояние обмена данными о вечной мерзлоте

Глобальный сбор данных о вечной мерзлоте и обмен ими носят фрагментарный характер. Всемирная метеорологическая организация (ВМО), Глобальная наземная сеть вечной мерзлоты (GTN-P), Международная ассоциация вечной мерзлоты (IPA), Циркумполяр-

⁴ Strong W. Arctic Understanding Limited by Patchy Field Work, Scientist Say. CBC News. URL: <https://www.cbc.ca/news/canada/north/arctic-study-understanding-limited-climate-change-1.4781405> (дата обращения: 30.04.2021).; Schaefer K., Elshorbany Y., Jafarov E., Schuster P.F., Striegl R.G., Wickland K.P., Sunderland E.M. Potential impacts of mercury released from thawing permafrost. *Nat. Commun.* 2020. URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-020-18398-5> (дата обращения: 02.06.2021).

⁵ CBC News. Failing Ice Cellars Signal Changes in Alaska Whaling Towns. 2019. Available online: <https://www.cbc.ca/news/canada/north/alaska-ice-cellars-permafrost-whaling-1.5372449> (дата обращения: 02.06.2021).

⁶ Harball E. Oil Industry Copes with Climate Impacts as Permafrost Thaws. NPR, 2018. URL: <https://www.npr.org/2018/06/11/617240387/oil-industry-cope-with-climate-impacts-as-permafrost-thaws> (дата обращения: 05.05.2021).

ный мониторинг активного слоя (CALM), Арктическая прибрежная динамика (ACD), Тепловое состояние вечной мерзлоты (TSP), GlobPermafrost и другие организации прилагают усилия для улучшения координации и обмена данными. Две глобальные сети охватывают большинство участков вечной мерзлоты в Арктическом регионе: сеть TSP измеряет температуру вечной мерзлоты на различных глубинах в 860 скважинах, а сеть CALM определяет толщину активного слоя на 260 участках.

Глобальная наземная сеть вечной мерзлоты (GTN-P) была создана по инициативе Международной ассоциации вечной мерзлоты (IPA) для организации и управления глобальной сетью наблюдательных центров для обнаружения и мониторинга изменений в системе вечной мерзлоты, что имеет решающее значение для оценки воздействия изменения климата (рис. 1)⁷. Как видно из рис. 1, скважинные станции сосредоточены в отдельных районах Аляски, России, Северной Скандинавии, Китая и Северной Канады, но обширные районы канадской, гренландской и российской Арктики не имеют такого покрытия.

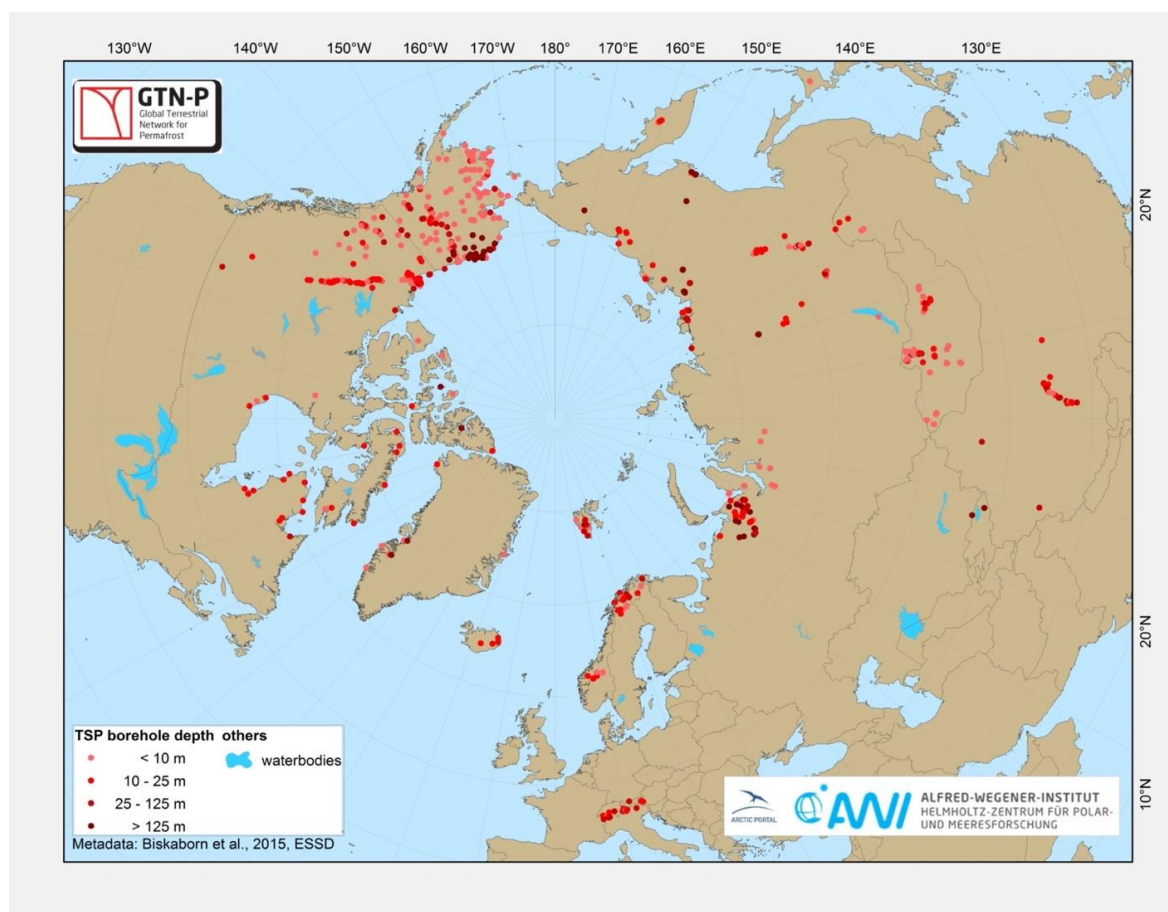


Рис. 1. Карта арктических скважин (по состоянию на 02 июня 2021 г.)⁸.

Сеть, созданная в рамках Глобальной системы наблюдения за климатом (GCOS) и связанных с ней организаций, состоит из двух компонентов наблюдений: активного слоя

⁷ IPA Arctic Portal. The Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P). URL: <https://ipa.arcticportal.org/products/gtn-p> (дата обращения: 20.04.2021).

⁸ Источник: URL: <https://gtnp.arcticportal.org/resources/maps/12-resources/37-maps-boreholes> (дата обращения: 20.04.2021).

(поверхностный слой, который ежегодно замерзает и оттаивает) и теплового состояния глубинной вечной мерзлоты⁹. Глобальная система наблюдений за климатом (GCOS) и Глобальная система наблюдений за сушей (GTOS) в рамках Группы наземных наблюдений за климатом (ТОРС) и Всемирной программы исследований климата (WCRP) определили термическое состояние вечной мерзлоты и активного слоя вечной мерзлоты в качестве ключевых переменных для мониторинга криосферы. Вечную мерзлоту невозможно наблюдать из космоса, но для понимания её состояния учёные могут использовать комбинацию данных, полученных в результате измерений на месте и со спутников (мониторинг показателей и параметров, используемых в моделях), чтобы составить общую картину происходящего.

Разработка пространственно-распределённой базы наблюдений за прошлым и настоящим состоянием термических характеристик вечной мерзлоты и толщиной активного слоя была в центре внимания Международной ассоциации вечной мерзлоты в течение Международного полярного года (2007–2008 гг.). Хотя важность и необходимость создания общей системы мониторинга вечной мерзлоты считается безусловной для многих экспертов, реализовать её оказалось непросто¹⁰. Ограниченный доступ к удалённым местам и редкая система точек отбора проб в Сибири, центральной Канаде, Антарктиде и альпийских регионах (Анды, Гималаи) приводят к существенным пробелам во временных рядах существующих данных [20, Biskaborn B.K., и др., с. 264].

В 2020 г. некоммерческий центр GRID-Arendal (Норвегия) в рамках исследовательского проекта Nunataryuk (проект Horizon 2020, финансируемый ЕС и координируемый Институтом Альфреда Вегенера в Германии) подготовил новую карту (рис. 2), на которой показана наземная и подводная часть вечной мерзлоты в Северном полушарии¹¹. Некоторые области наблюдаются лучше, чем другие, и это, в свою очередь, отражает национальные приоритеты финансирования, сформированные инфраструктурными и военными обязательствами на севере Канады и на Аляске, включая автодорогу Аляска—Канада (ALCAN) [21, Ferrians O.J., и др., с. 1–37; 22, Lackenbauer P.W., Farish M., с. 920–950].

При наличии более обширной сети скважин появятся возможности улучшить наше понимание наземной вечной мерзлоты, в то время как подводная её часть остаётся

⁹ Streletskiy D., Biskaborn B., Smith S.L., Noetzli J., Viera G., Schoeneich P. GTN-P—Strategy and Implementation Plan 2016. Technical Report, Global Terrestrial Network for Permafrost. URL: <http://library.arcticportal.org/1938/> (дата обращения: 03.04.2021).

¹⁰ Streletsky D. We Need a Permafrost Monitoring System. The Arctic. URL: <https://arctic.ru/analitic/20200616/948752.html> (дата обращения: 12.12.2020).

¹¹ GRID-Arendal. Permafrost in the Northern Hemisphere. URL: <https://www.grida.no/resources/13519> (дата обращения: 15.03.2021).

недостаточно изученной, а не просто подвергается выборочному сбору данных¹². Ввиду значительной нехватки скважинных данных о состоянии подводной части вечной мерзлоты стало известно лишь недавно. Кроме того, появляющиеся знания в области подводного плавания указывают на то, что такая разработка данных будет значительно дороже и будет зависеть от технологических проблем, которые всё ещё исследуются. Давление (клатраты) также играет решающую роль в состоянии подводной части вечной мерзлоты, в отличие от мерзлоты на суше.

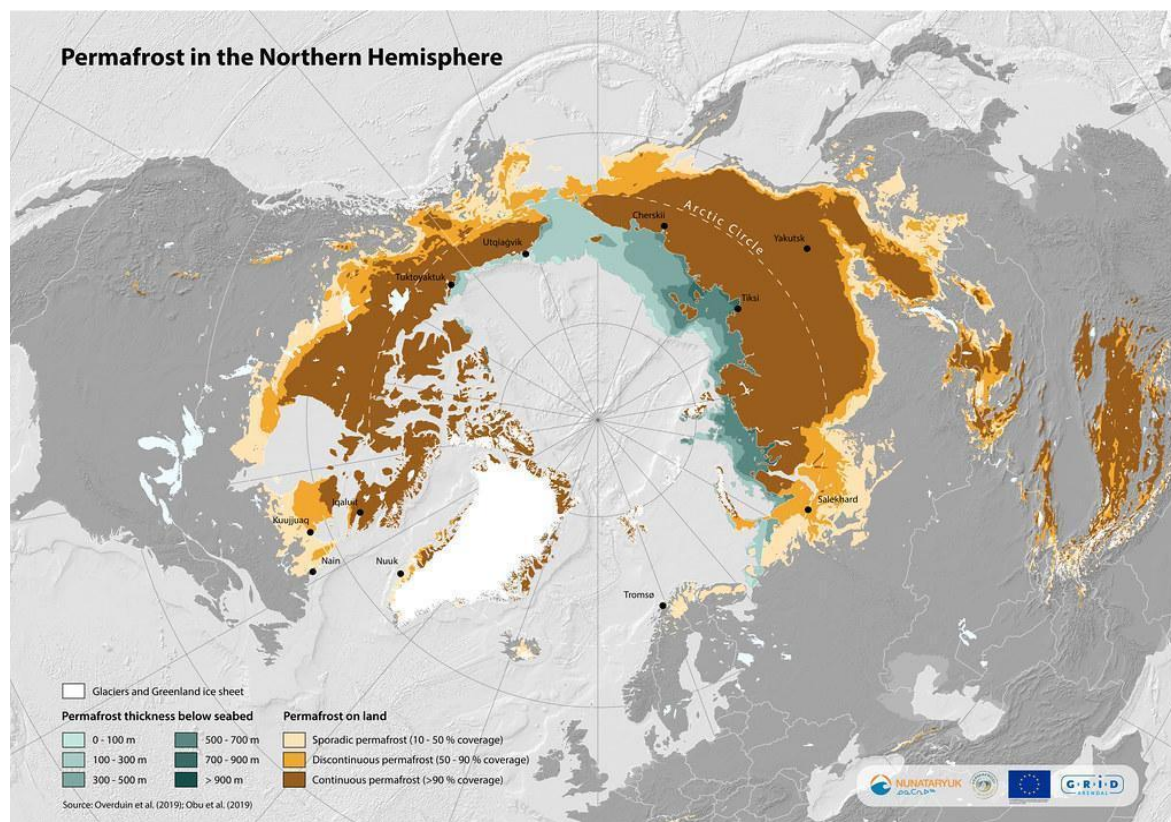


Рис. 2. Вечная мерзлота в Северном полушарии (13 января 2021 г.)¹³.

Здесь мы стремимся выявить критические пробелы, существующие в глобальном мониторинге вечной мерзлоты. В Арктике существует острая потребность в мониторинге наземной и подводной мерзлоты. Среди многочисленных пробелов можно выделить следующие:

- Существующие сети мониторинга температуры вечной мерзлоты и активного слоя должны быть расширены, чтобы получить надежный контроль и прогнозировать ситуации в районах вечной мерзлоты.
- Спутниковый мониторинг измеряет переменные, которые можно использовать для определения температуры и протяженности вечной мерзлоты, однако имеет

¹² MacKenzie S. UN Environmental Assessment Shows a Need for More Offshore Permafrost Research. Eye on the Arctic. URL: <https://www.rcinet.ca/eye-on-the-arctic/2020/12/24/un-environmental-assessment-shows-need-for-more-offshore-permafrost-research/> (дата обращения: 02.04.2021).

¹³ Источник: URL: <https://www.grida.no/resources/13519> (дата обращения: 02.04.2021).

высокую степень неточности и не дает информацию о более глубоких слоях мерзлого грунта, которые требуют полевых исследований.

- Различные типы вечной мерзлоты требуют соответствующих методов исследования. Другой проблемой является интеграция данных, полученных из разных источников (спутниковые и наземные).
- Неравномерно распределенная система точек отбора проб в Арктическом регионе с «пробелами» в северной Канаде и России, в частности — государственная поддержка в виде совместных сетей, персонала и оборудования для содействия исследованиям в конкретных областях, представляющих интерес, помогла сократить пространственные пробелы.
- Предыдущие ограничения и контроль доступа, особенно в России.

Обоснование и методы обмена данными о вечной мерзлоте

Проблемы сетей передачи данных

Данные имеют большое значение как в научных исследованиях, так и в принятии прикладных решений. Процесс сбора, обработки и предоставления данных часто требует значительных затрат времени, финансирования и ресурсов со стороны исследовательских групп или учёных, что делает эти данные активом (что влечёт за собой последствия для доступа к данным и обмена ими). Уровень качества данных влияет не только на способность извлекать полезные научные знания, но также на уровень доверия и надёжности лежащей в основе информации, и, следовательно, на способность разрабатывать планы или решения на основе этих данных ¹⁴. Однако одного качества данных недостаточно для их использования при принятии крупномасштабных решений. Для того чтобы они имели бóльшую пользу для исследовательского сообщества, важно, чтобы данные соответствовали полевым стандартам и были доступны заинтересованным группам; работа над этим всё ещё продолжается.

Исследования в Северной Европе, России и США относительно хорошо интегрированы, в то время как канадские исследования более разобщены и сосредоточены либо на Восточной Арктике, либо на Западной Арктике; Китай относительно изолирован, но имеет некоторые связи с учреждениями США. Респонденты нашего опроса отметили важность материалов конференций Международной ассоциации вечной мерзлоты как источников вдохновения, особенно более ранних (вспомогательная информация). Недавние усилия по международному сотрудничеству включают разработку баз данных, таких как

¹⁴ Elsevier Customer Insights. Trust in Research—Research Survey Results June 2019. URL: https://www.elsevier.com/__data/assets/pdf_file/0011/908435/Trust_evidence_report_summary_Final.pdf (дата обращения: 02.06.2021).

базы данных по почвенному углероду в районах вечной мерзлоты, водоёмов и теплового состояния вечной мерзлоты.

Стандартизация включает в себя такие задачи, как преобразование данных в общедоступные форматы для простоты использования, соответствие единицам измерения, надлежащие геопространственные ссылки для региона (где это применимо) и дополнительную информацию, такую как метаданные, которые помогают описать базу данных, её функции, и дополнительную информацию, которая может иметь отношение к использованию и пониманию. Общие форматы позволяют шире использовать стандартные отраслевые или полевые аналитические программы и наборы инструментов, снижая порог входа для работы с базой данных, что увеличивает вероятность его исследования учёными, не входящими в первоначальную исследовательскую группу — форма открытой науки, которая была описана как пример демократической школы — открытого доступа к данным и публикациям [23, Feche B., Friesike S., с. 17–47]. Метаданные также играют важную роль в широком внедрении, поскольку они несут важную информацию о сборе, полезности и даже ограничениях, которые могут применяться к определённым базам данных. Однако метаданные часто имеют ограниченную полноту, что затрудняет понимание конечными пользователями нюансов, необходимых для проведения последующих исследований или для поиска и идентификации соответствующих наборов данных [24, Streletskiy D. И др., с. 42]. Хотя стандарты для метаданных существуют в геопространственных данных, большая часть этих полей остаётся необязательной и зависит от времени и ресурсов производителей данных¹⁵. Последствия, связанные с нехваткой обмена данными о вечной мерзлоте, указывают и на более широкие, целостные проблемы, о которых говорят О’Нилл и другие (2019): «Северные сообщества и заинтересованные стороны нуждаются в экспертных знаниях и прогностических моделях для поддержки стратегий адаптации. Такие прогнозы полезны только при условии точного представления процессов ландшафтного масштаба. Использование упрощающих допущений для работы с глобальным моделированием может генерировать прогнозы, которые могут ввести в заблуждение».

Ещё одно серьёзное препятствие на пути к широкому распространению научных данных часто связано не столько с самими данными, сколько с лёгкостью доступа к ним. Проблемы доступности в этом случае включают аспекты, связанные с людьми, технологиями и политикой. В прошлом многие исследователи проявляли нежелание открыто делиться данными, когда существовало мнение о потере их ценности в результате обмена, опасения по поводу неправомерного использования данных и потенциальной конкуренции при более широком доступе к ним. Однако, когда ценность, полученная в результате совместного использования данных в ходе сотрудничества или появления новых исследовательских

¹⁵ International Organization for Standardization (ISO). ISO Geographic Data. URL: <https://www.iso.org/standard/53798.html> (дата обращения: 02.06.2021).

возможностей, становится очевидной, большинство исследователей открыто для этой идеи, если преимущества перевешивают недостатки. Кроме того, недавние опросы показали, что при предоставлении надлежащих гарантий доверия данным, увеличении организационной и финансовой поддержки, интересы обмена данными увеличиваются [25, Steiglitz S., и др., с. 1–20; 26, Tenopir C. и др.]. Совместная работа с соответствующими объектами климатических наблюдений для размещения отдельных скважин с метеорологическими станциями может помочь улучшить мониторинг поверхностных и подповерхностных условий, улучшить понимание условий микроклимата и дать более полную оценку реакции мерзлоты на изменение климата, а также расширить возможности отдельных исследователей и расширить результаты. С технологической стороны, объём научных данных продолжает расти, поскольку возможности сбора данных с высоким разрешением быстро увеличиваются. Недорогие датчики, растущее число спутниковых систем с открытым доступом и вычислительные ресурсы для генерации массивных наборов данных способствовали этому росту, но вычислительные мощности, ресурсы хранения и сетевые технологии не успевают за увеличением объёма данных¹⁶. Обеспечение широкого и свободного доступа к данным для конечных пользователей требует постоянных финансовых ресурсов для поддержки активов, необходимых для эффективного обслуживания и распространения этих данных на большие расстояния, включая инфраструктуру хранения, сетевые услуги и персонал для поддержки и обслуживания этих систем. Одно из немногих исследований по долгосрочной доступности исследовательских данных показывает, что наборы данных, используемые в исследованиях, могут становиться недоступными со скоростью до семнадцати процентов в год после завершения публикаций, что указывает на более обширные проблемы в поддержании долгосрочных исследовательских данных [27, Vines H.T., и др., с. 94–97]. Эта постоянная потеря данных приводит к пробелам в долгосрочном анализе в одних областях и дорогостоящему воспроизведению результатов исследований в других. Усилия NSF и аналогичных финансирующих организаций направлены на то, чтобы изменить это, но для этого потребуется более широкое внедрение в исследовательские и информационные сообщества, аналогично текущим усилиям, которые демонстрирует финансируемый NSF Арктический центр данных¹⁷.

Помимо технологий и инфраструктуры необходима готовность к открытому обмену данными со стороны владельцев данных и правительств. Значимость базы данных может выходить за рамки её ценности для исследователей, включая стратегическую важность с

¹⁶ Business Wire. Data Creation and Replication Will Grow at a Faster Rate Than Installed Storage Capacity, According to the IDC Global DataSphere and StorageSphere Forecasts. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20210324005175/en/Data-Creation-and-Replication-Will-Grow-at-a-Faster-Rate-Than-Installed-Storage-Capacity-According-to-the-IDC-Global-DataSphere-and-StorageSphere-Forecasts> (дата обращения: 02.06.2021).

¹⁷ Arctic Data Center. Data and Software from NSF Arctic Research. URL: <https://arcticdata.io/> (дата обращения: 02.06.2021).

точки зрения бизнеса или государства. Когда речь идёт о данных по вечной мерзлоте, частные организации собирают большие объёмы данных по скважинам и используют их для оценки рисков на месте разработки или в целях инженерного проектирования. Без надлежащих стимулов к обмену этими данными они могут рассматриваться либо как частная собственность, либо как ненужное финансовое обременение. В других секторах данные, собранные государственными учреждениями, могут рассматриваться даже как угроза национальной безопасности, если они относятся к контролируемым объектам и / или предоставляют информацию иностранным конкурентам. В то время как некоторые организации, выдающие гранты, такие как Национальный научный фонд в США или Совет по исследованиям окружающей среды (NERC) в Великобритании, определяют долгосрочные обязательства по обмену данными, в таких странах, как Россия и Китай, решение остаётся за исследовательской группой¹⁸. Одного только обязательства не всегда достаточно без предоставления исследователям дополнительных ресурсов и инструментов [28, Couture J.L. и др., с. 1–13]. В то же время при строгом соблюдении условий усилия по обмену данными могут привести не только к повышению уровня хранения данных, но и к увеличению цитируемости авторов и соответствующих журналов [29, Garret C. и др., с. 1–13]. NERC делает шаг вперед и не только требует обмена данными, но и предоставляет это как услугу для финансируемых проектов помимо призовых фондов, однако в международном масштабе таких возможностей немного, и в основном они ограничены конкретными проектами¹⁹.

Несмотря на все сложности, предыдущие усилия по созданию сетей обмена данными в таких областях, как океанография, сейсмология и экология, успешно продемонстрировали важность многостороннего обмена, что подтвердило потенциал, например, в эпоху холодной войны [30, Kim J., с. 19].

Истории успеха в смежных дисциплинах

Ряд успешных проектов подчеркнул важность согласованных многосторонних соглашений о совместном использовании данных как в сфере безопасности, так и за её пределами. Глобальная сейсмографическая сеть, состоящая из более чем 150 сейсмических станций в 80 странах, была создана для содействия выявлению сейсмических событий в региональном и глобальном масштабах, их мониторинга, происхождения, интенсивности, а также для обеспечения механизмов уведомления и дальнейших исследований. Эта сеть ежегодно выявляет более 30 000 сейсмических событий и предоставляет большие объёмы данных для научных исследований²⁰. Она также позволяет предупреждать о возможных цунами или

¹⁸ National Science Foundation. PAPPG Chapter XI—Other Post Award Requirements and Considerations. URL: https://www.nsf.gov/pubs/policydocs/pappg20_1/pappg_11.jsp#XID4 (дата обращения: 02.06.2021).

¹⁹ Natural Environment Research Council (NERC). Data Policy. URL: <https://nerc.ukri.org/research/sites/environmental-data-service-eds/policy/> (дата обращения: 24.04.2021).

²⁰ Gee L.S., Leith W.S. The Global Seismographic Network. U.S. Geological Survey Fact Sheet 3021. URL: <https://pubs.usgs.gov/fs/2011/3021/pdf/fs2011-3021.pdf> (дата обращения: 02.06.2021).

начинать мобилизацию для ликвидации последствий стихийных бедствий. Более 50 станций в этой сети используются также для поддержки международных миротворческих усилий посредством мониторинга ядерных взрывов в рамках Международной системы мониторинга Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ). Эта сеть помогает уведомлять государства-члены о потенциальных ядерных испытаниях или негеологических событиях. Сеть тестирования совершенствовалась с течением времени и привела к достижениям как в обнаружении ядерных событий, так и в улучшении возможностей обнаружения сейсмических явлений в исследовательских целях.

Другой взгляд на ценность многостороннего обмена данными можно увидеть на примере сетей буёв Арго, обслуживаемых и эксплуатируемых консорциумом из 30 стран. Эта сеть, состоящая из более чем 4 000 буёв, используется для мониторинга ряда океанических условий, включая температуру, солёность, давление, биологические питательные вещества и другие переменные на глубине до 6 000 м, собирая вертикальные профили данных путём спуска и подъёма через регулярные интервалы²¹. Каждая страна несёт ответственность за приобретение, обслуживание и обработку данных, получаемых с помощью этих буёв. Затем данные стандартизируются и предоставляются заинтересованным лицам в свободном доступе через портал открытых данных. На сегодняшний день эти данные были использованы при подготовке более 4 000 исследовательских работ и послужили основой для улучшения стратегического планирования и принятия решений²².

История обмена данными восходит к XIX в. и признаётся полезной ввиду важности прогнозирования погоды. В последние десятилетия этот процесс ускорился из-за экспоненциального роста путешествий и перевозок по воздуху и морю, подверженности таким опасностям, как наводнения, засуха и повышение уровня моря, а также зависимости от интенсивных методов ведения сельского хозяйства для повышения продовольственной безопасности. В конце 1840-х гг. в Соединённых Штатах Америки была создана телеграфная сеть Смитсоновского института, который выпустил стандартизированное оборудование и организовал сбор данных наблюдений для разработки ранних карт и прогнозов погоды [31, Miller E.R., с. 59]. В последующие несколько десятилетий усилия по сбору данных часто сокращались или прерывались из-за проблем с финансированием или политических конфликтов. В 1950 г. была создана ВМО в рамках согласованной попытки поддержать международное сотрудничество в области метеорологии, при этом особое внимание уделялось координации международного обмена данными наблюдений. В 1957–1958 гг. в рамках Международного геофизического года была создана Всемирная служба погоды (WWW), которой было пору-

²¹ Roemmich D., Alford M.H., Claustre H., Johnson K., King B., Moum J., Oke P., Brechner Owens W., Pouliquen S., Purkey S. et al. On the Future of Argo: A Global, Full-Depth, Multi-Disciplinary Array. *Front. Mar. Sci.* 2019. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2019.00439/full> (дата обращения: 02.06.2021).

²² Argo Program Office. Argo Bibliography. URL: <https://argo.ucsd.edu/outreach/publications/bibliography/> (дата обращения: 02.06.2021).

чено собирать и обрабатывать данные наблюдений в режиме, близком к реальному времени, собираемые кольцом станций по всему миру. Глобальная система наблюдений ВМО координирует обмен данными, однако было отмечено, что обмен находится под давлением из-за повышенной коммерческой чувствительности к метеорологическим данным и отсутствия инвестиций и инфраструктуры, подходящей для долгосрочных наблюдений. В 2019 г. члены ВМО договорились создать Глобальную сеть базовых наблюдений и оказать финансовую поддержку странам глобального Юга, чтобы можно было собирать данные наземных наблюдений и обмениваться ими. В 2020 г. ВМО провела конференцию по обмену данными и подтвердила необходимость инвестиций и постоянной поддержки протоколов обмена.

Однако эти «истории успеха» показывают пересечение научно-технического и геополитического порядка в обеспечении обмена данными. Национальные правительства и вооруженные силы оценили геофизические и океанографические данные для целей наблюдения и стратегического прогнозирования. Кроме того, учёные, некоторые из которых работали в организациях национальной безопасности, часто стремились поощрять обмен данными и международное сотрудничество. Во времена холодной войны было характерно стремление к сохранению и совместному использованию данных, поэтому исследователи в области океанографии и сейсмологии зачастую оказывались вовлечены в практику определения, какие материалы являются секретными, а какие разрешены для свободного доступа. Решение делиться или не делиться данными было неотъемлемой частью индивидуальных и коллективных расчётов, которые происходили во всём мире. Однако после распада Советского Союза стал возможен обмен информацией и международное сотрудничество между бывшими советскими и западными учеными. Безусловно, цифровая революция также внесла беспрецедентный вклад в возможность и способность обмена данными.

Последствия для национальных и глобальных интересов

Научная и политическая история вечной мерзлоты

В своей работе «Красная Арктика: полярные исследования и мифы о Севере в Советском Союзе» Джон Маккэннон пишет об исключительных усилиях, предпринятых Советским Союзом для освоения, развития и даже покорения «замороженного Севера» [32, McCannon J., с. 15–31]. Большая часть его исследования основывается на внимательном прочтении пересечения институциональных органов и ведущих личностей, ответственных за работу по развитию. Это не экологическая история «красной Арктики», где на такие объекты, как вечная мерзлота, обращено лишь некоторое, но не детальное внимание [33, McCannon J., с. 40]. Это сложная история, связанная с Советским Союзом и его постоянным желанием индустриализировать свои обширные северные территории посредством амбициозной и агрессивной эксплуатации природных ресурсов, инфраструктурных инвестиций и расстановки политических приоритетов. Два десятилетия спустя область экологической истории, касающаяся по-

лярных регионов, значительно расширилась. В 2020 г. экологический историк Пей-И Чу опубликовала книгу «Жизнь вечной мерзлоты: история замёрзшей земли в российской и советской науке», предлагая подробное прочтение того, как советские учёные концептуализировали вечную мерзлоту [34, Chu P.Y.]. Почти 50% территории Советского Союза было покрыто мерзлотой. Автор утверждает, что российское и советское представление о вечной мерзлоте / мёрзлых грунтах было обусловлено двумя историческими и культурными веяниями. Во-первых, мерзлота рассматривалась как инженерная задача, с которой нужно было справиться, «победить». Во-вторых, для того, чтобы связать вечную мерзлоту со всеобъемлющей, даже всемирной перспективой, в которой материальность Арктики понималась как обмен энергией и материей.

В своём обзоре советского мерзлотоведения Чу подчёркивает «разочаровывающее» качество мёрзлого грунта. С одной стороны, «природа» должна была стать ресурсом, который нужно эксплуатировать и развивать. Нельзя было допустить, чтобы воле советского народа препятствовала непокорность природы. С другой стороны, если замерзшая земля была препятствием для развития, то кто-то должен был нести за это ответственность. Были ли на Севере СССР элементы, тайно подрывающие попытки разработки и эксплуатации советских ресурсов? Проблема вечной мерзлоты не была такой, которую, как позже отметили советские исследователи, можно было легко «победить». В своей книге «Завоевание Севера (В области вечной мерзлоты)» учёный Сумгин и писатель Демчинский в 1938 г. писали, что мёрзлая земля была представлена как очень динамичный и сложный противник²³. Вечная мерзлота была опасна своей способностью манипулировать пересечением льда, воды, почвы, земли. Можно ли её переместить? Можно ли её разморозить? Как Советский Союз мог её одолеть? Официальные лица Коммунистической партии могли представить её как «хитрого противника», но на самом деле это более сложная история, включающая адаптацию и уступки. Согласно исследованию Чу, советские учёные и проектировщики перешли от «завоевания» к ряду прагматичных мер, включая антиобледенение дорог, подъём зданий и предотвращение случайного таяния из-за чрезмерной концентрации инфраструктуры.

Переломным моментом для науки о вечной мерзлоте стала холодная война. При содействии и поддержке милитаризации Арктики советская и американская администрации признали стратегическую важность наук о Земле, включая гляциологию, метеорологию, геологию, физическую географию, морскую биологию. Вечная мерзлота, морской лёд и погода в Арктике были темами, имевшими большое значение для тех, кто отвечал за защиту и развитие северных территорий. Как отметил исторический географ Мэтт Фэриш, мёрзлая земля была обозначена как «пограничный инженерный вызов», который влёл за собой целый ряд последствий для планирования национальной безопасности. Мёрзлый грунт воспринимался

²³ Sumgin M.I., Demchinskii B.N. The Conquest of the North (in the Region of Permafrost). 1938. URL: <https://www.prilib.ru/en/node/411707> (дата обращения: 02.06.2021).

как сложный, и даже дезориентирующий, так как он имеет динамичный характер — он меняется от замерзания, оттаивания и повторного замораживания. Глубина и динамичность «активного слоя» влечёт за собой целый ряд последствий для устойчивости инфраструктуры дорог, трубопроводов и военных баз с соответствующими финансовыми обязательствами в случае проседания и сдвига.

Что изменилось с момента холодной войны в отношении вечной мерзлоты до современной риторики, так это то, как эксплицируется материальность мёрзлого грунта — от пограничного инженерного вызова до подземной среды, которая, скорее всего, будет пониматься как метановая «бомба замедленного действия» и угроза скорее общественной устойчивости, чем инфраструктурной. Мёрзлая почва «заморожена ненадёжно», как отражено в Отчётах NOAA по Арктике (2017 г.). Это провоцирует неоднократные опасения, что таяние вечной мерзлоты нарушит существующие прогнозы относительно масштабов и темпов антропогенных изменений не только в Арктике, но и во всём мире²⁴. Вечная мерзлота на суше и в море считается неотъемлемой частью оценки и расчёта объёмов «запертого углерода», в то время как таяние приводит к появлению новых рисков, таких как передача болезней (например, сибирской язвы) из-за открытых и гниющих туш животных [35, Hueffer K. и др., с. 174–180]. К концу текущего столетия, согласно прогнозам, глобальная площадь вечной мерзлоты может сократиться на 30–70% в зависимости от тенденций потепления с «потенциально сотнями гигатонн» выбросов углерода в атмосферу. Сейчас выбросы углерода (двуокиси углерода и метана) в Арктике недооцениваются при анализе глобального углеродного запаса²⁵.

Одной из преюльностей, которая остаётся общей, являются затраты и проблемы адаптации для арктических сообществ. Если таяние и повторное замораживание вечной мерзлоты создаёт дополнительное финансовое давление на тех, кто стремится поддерживать арктическую инфраструктуру, увеличение темпов и масштабов таяния усугубляет опасность для местных сообществ на Аляске. Как недавно отметила Группа старейшин Берингова пролива (2020) в серии короткометражных фильмов, прибрежные деревни пострадали от морского льда и береговой эрозии, а также из-за оползней, вызванных таянием вечной мерзлоты. В некоторых случаях переселение становится единственным вариантом, поскольку доступ к непосредственной возвышенности невозможен²⁶.

²⁴ NOAA Report Card on the Arctic (2017) URL: <https://arctic.noaa.gov/Report-Card/Report-Card-2017> (дата обращения: 02.06.2021).

²⁵ Miceli R. Why Arctic permafrost is thawing and how it affects the planet National Academy of Sciences, Engineering, and Medicine 2020 URL: <https://www.nationalacademies.org/news/2020/05/why-arctic-permafrost-is-thawing-and-how-it-affects-the-whole-planet> (дата обращения: 02.06.2021).

²⁶ Bering Strait Elders Group. URL: <http://www.beringseaelders.org/> (дата обращения: 02.06.2021).

Действующие лица, вовлечённые в пробелы в данных о вечной мерзлоте и обмен ими

Как уже было отмечено ранее, обмен данными о вечной мерзлоте сталкивается с рядом долгосрочных проблем, которые мешают попыткам сформировать более полное понимание её текущего состояния и возможных будущих прогнозов. Учитывая, что площадь глобальной мерзлоты составляет около 14 млн км² и подавляющее большинство её находится в России, Китае и Северной Америке, включая Гренландию, здесь учитываются как геополитические, так и географические и научно-технические особенности. В качестве примера можно привести батиметрические данные в Северном Ледовитом океане и вокруг него и естественное нежелание американских и советских военно-морских сил делиться своими знаниями с гражданскими учёными из соображений национальной безопасности. Картирование и съёмка Северного Ледовитого океана были неотъемлемой частью планирования операций по подводному наблюдению и отслеживанию подводных лодок противника [36, Doel R., с. 605–626]. В обоих случаях нежелание делиться информацией может ослабить общее понимание масштабов и темпов экологических изменений, способствовать принятию решений, недостаточно учитывающих текущие и будущие траектории изменений, и затруднить планирование долгосрочных инвестиций в адаптацию, изменение и смягчение последствий. Арктические сообщества на Аляске сталкиваются с целым спектром проблем, и возможные последствия продолжающихся тенденций потепления варьируются от адаптационных мер (таких как перемещение на более возвышенные места) до болезненной дезориентации (например, заброшенности), что во многом зависит от стоимости и своевременности.

Во-первых, существуют пространственные пробелы в сборе данных. Доступ в российскую Арктику для не западных учёных затруднён, и отчасти это связано с военными законами времен холодной войны и национальной безопасностью, что привело к существованию запретных зон или зон с ограниченным доступом (даже для советских / российских учёных). Исследования вечной мерзлоты были продиктованы геополитическими планами времен холодной войны, а военные не хотели делиться своими данными в некоторых из этих запретных зон. Во-вторых, существуют национальные различия в том, как организуются, собираются, архивируются и распространяются данные по скважинам. Отчасти это может быть связано с тем, что существует множество агентств по сбору данных: от энергетических и строительных компаний до местных и государственных властей, а также федеральных агентств. Картирование данных может, например, показать, где находятся скважины, не давая при этом представления, какие именно данные генерируются. Как следствие, доступ к данным о вечной мерзлоте может быть открытым, частичным и / или закрытым. В-третьих, если заинтересованные стороны не могут получить доступ к необработанным данным, это не только усложняет работу разработчиков моделей изменения климата (усложняя стандартизацию данных по обширным географическим областям), но и затрудняет учёт любой необъективности и ограничений данных, таких как относительное распределение мест расположения

скважин. В-четвёртых, роль традиционных знаний коренных народов и гражданской науки в изучении вечной мерзлоты, вероятно, игнорируется. Общины коренных жителей Аляски не только десятилетиями помогали и содействовали таким агентствам, как Инженерный корпус армии США и Геологическая служба США, но и приобрели непосредственный опыт и понимание таяния вечной мерзлоты и последствий для жизни и продовольственной безопасности. Активное взаимодействие с коренными народами, а также национальные и региональные обязательства по развитию и финансированию сети сотрудничества, которая стремится к совместному производству работ, рассматривая данные в многонациональном разрезе с учётом протоколов обмена. Актуальные вопросы человеческой безопасности, такие как загрязнение почвы и воды, связаны с повышением концентрации загрязняющих веществ в растениях и / или нарушением жизнедеятельности животных, от которых зависит натуральное хозяйство общин.

Последствия для безопасности

Еще в 2012 г. власти США начали предоставлять целенаправленные оценки воздействия изменения климата на оборонную инфраструктуру. В одном из случаев Счётная палата правительства получила информацию от должностных лиц Министерства обороны, что «сочетание таяния вечной мерзлоты, уменьшения количества морского льда и повышения уровня моря на побережье Аляски привело к усилению эрозии береговой линии на нескольких объектах раннего предупреждения и связи радаров BBC». Основываясь на высоких и низких прогнозах RCP8.5 и RCP4.5, а также моделировании инфраструктуры, Мелвин и его коллеги провели оценку, что в период с 2015 по 2019 гг., на втором месте после наводнений, «повреждения зданий, связанные с таянием приповерхностной вечной мерзлоты, стали причиной самых высоких затрат на большей части Аляски» [37, Мелвин А.М. и др., с. E122–E131]. В частности, Карлович в 2020 г. обнаружил, что на базе BBC Эйлсон в Фэрбенксе, Аляска, строительные работы, связанные с вечной мерзлотой, обошлись примерно в 164 млн долларов за последние три года, из которых 5 млн долларов были направлены на предотвращение таяния вечной мерзлоты под критически важными хранилищами боеприпасов (2020). Растущая осведомлённость и анализ угроз и воздействий таяния вечной мерзлоты на гражданскую и военную инфраструктуру по-прежнему демонстрируют тревожные уязвимости и проблемы инженерных аспектов меняющихся условий. И армия, и BBC США признают полный спектр проблем, связанных с таянием вечной мерзлоты, в своих первых арктических стратегиях, начиная от жилищных вопросов и заканчивая критически важными оборонными объектами²⁷.

Недавняя арктическая национальная стратегия Российской Федерации установила требование о создании государственной системы мониторинга и предотвращения негатив-

²⁷ United States Air Force. The Department of the Air Force Arctic Strategy; USAF: Washington, DC, USA, 2020. URL: <https://www.af.mil/Portals/1/documents/2020SAF/July/ArcticStrategy.pdf> (дата обращения: 02.06.2021).

ных последствий, связанных с деградацией вечной мерзлоты [38, Путин В.В.]. В Канаде, по мнению экспертов, примерно половина северных дорог, построенных в районах вечной мерзлоты, рискует выйти из строя в результате таяния²⁸. В оценке циркумполярного севера, проведённой Хьортом и коллегами, было подсчитано, что в среднем 69% панарктической фундаментальной человеческой инфраструктуры подвергается потенциальному риску в районах, где ожидается оттаивание приповерхностной вечной мерзлоты к середине века [17, Hjørt J. и др., с. 514]. Непосредственная связь с финансовыми нагрузками и компонентами дезинтегрирующего потенциала безопасности естественным образом становится ведущей осязаемой, а также концептуальной борьбой. Угрозы безопасности человека и национальной безопасности по-прежнему неразрывно связаны. Правительства продолжают думать, как лучше реагировать на растущую угрозу и куда направить финансирование. Ограниченность ресурсов и времени ещё больше усложняет проблему, особенно в тех областях, где большая часть населения не проявляет интереса или терпимости к распределению государственных средств на проблемные области в более отдалённых районах.

Научная дипломатия в области вечной мерзлоты

Наука получила признание в укреплении доверия и создании мер по усилению конфиденциальности в глобальной политике [39, Flink T., Schreiterer U., с. 665–677]. Такие термины, как научная дипломатия, были популяризированы для учёта и оценки усилий, предпринимаемых правительствами и соответствующими субъектами по созданию сетей и партнёрств, направленных на поощрение совместного производства и циркуляции авторитетных знаний²⁹. Наука и учёные являются частью так называемых «эпистемических сообществ», имеющих свои собственные глобальные кодексы, нормы, ценности и научные правила для производства и распространения знаний. Научные сообщества в арктическом контексте получили широкое признание в выявлении проблем, формировании политических программ и отстаивании большей координации между арктическими и неарктическими заинтересованными сторонами. Известные отчёты, такие как «Оценка воздействия на окружающую среду в Арктике» (2005 г.), организованные под эгидой Арктического совета, были расценены как важные примеры научной дипломатии — взаимной, неиерархической и междисциплинарной по направленности и результатам. Это также помогло подготовить почву для последующих отчётов, таких как «Оценка морского судоходства в Арктике» (2009 г.) и «Снежный водный лёд и вечная мерзлота в Арктике» (2017 г.), в которых на первый план выдвигается совместная социальная и научная работа в рамках такой деликатной темы, как доступность судоходных путей по периметру и в центре Северного Ледовитого океана [40, Berkman P.A.].

²⁸ BBC. The Fragile Future of Roads and Buildings Built on Permafrost. URL: <https://www.bbc.com/future/article/20210303-the-unsure-future-of-roads-and-buildings-on-melting-ground> (дата обращения: 02.06.2021).

²⁹ The Royal Society. New Frontiers in Science Diplomacy: Navigating the Changing Balance of Power; AAAS: Washington, DC, USA, 2010. URL: https://www.aaas.org/sites/default/files/New_Frontiers.pdf (дата обращения: 02.06.2021).

Соглашение о расширении международного арктического научного сотрудничества 2017 г. (Соглашение Фэрбенкс) стало значительной вехой для Арктического совета, поскольку оно появилось на фоне напряжённости отношений между США и Россией из-за Крыма, Украины и Сирии. Оно подтверждает важность научного сотрудничества внутри и за пределами международных границ, а также необходимость обмена информацией. В Соглашении менее конкретно говорится о том, как этот призыв к научной дипломатии будет реализован на практике и как он может дополнить дипломатию данных. Кроме того, такие организации, как Сеть молодых исследователей вечной мерзлоты (PYRN), Всемирная метеорологическая организация, Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде, Международная ассоциация вечной мерзлоты (IPA) и Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC) — представляют собой важные сетевые мосты и определяющие факторы, которые могут дать рекомендации, как и зачем эффективно обмениваться данными в рамках глобального сотрудничества.

Заключение

Таяние вечной мерзлоты, особенно приповерхностной, всё чаще создаёт проблемы для всех видов знаний, включая науки (естественные и социальные), инженерное дело и медицину. Страны продолжают поддерживать или расширять эффективные исследования и изыскания, связанные с проблемами таяния вечной мерзлоты. Свидетельства, как неявные, так и очевидные, указывают на то, что деградация вечной мерзлоты является частью глобальной дилеммы, требующей международных решений. Для того чтобы способствовать многонациональным подходам к решению таких проблем, соответствующим органам власти необходимо коллективно установить наиболее достоверную и надёжную научно обоснованную информацию, на основе которой можно в одностороннем порядке консультировать лиц, принимающих решения и определяющих политику. Однако потенциально конкурирующие научные модели могут повлиять на доверие к научным рекомендациям, что свидетельствует о том, что в нынешних условиях изменения климата слишком много неопределённости. Модели обеспечивают репрезентативное систематическое описание какого-либо явления с целью лучшего понимания и / или прогнозирования ключевых аспектов. Модели часто фокусируются на ответах на конкретные вопросы, включающие временные, тематические и / или пространственные компоненты, где суперкомпьютерные мощности становятся всё более необходимыми для обработки таких сложных взаимодействий. Фрагментарные, даже конкурентные, попытки представить авторитетные модели, включающие точное понимание или прогнозирование таяния вечной мерзлоты и его последствий, делают научное сообщество уязвимым для социально отчуждённого рассмотрения при разработке и реализации политики, а также вызывают непонимание, влияющее на дипломатию, связанную с вечной мерзлотой.

Безусловно, отдельные попытки моделирования действительно приносят пользу, особенно в поддержку достижения консенсуса в отношении передовых практик в будущем. Однако часть современной проблемы обмена данными связана с ограничительной национальной политикой, а другая часть — с отсутствием возможностей или мотивации, когда многие эксперты просто продолжают проводить поддерживающие карьеру исследования в рамках национальных систем. Авторы предполагают, что масштаб проблемы вечной мерзлоты и объём имеющихся данных требуют перехода глобального экспертного сообщества по вечной мерзлоте к коллективному предприятию, использующему общие данные, для разработки согласованных моделей. В настоящее время существует большое количество данных о вечной мерзлоте, на основе которых можно провести надёжный анализ и вычислительное моделирование, включая усовершенствованные методы мониторинга. Очевидно, что такое начинание потребует определённых затрат, но возможность консультировать национальные власти и широкую общественность с повышенной точностью и относительно быстро, учитывая объём имеющихся данных, очевидно, окупится в геометрической прогрессии как внутри страны, так и за рубежом.

References

1. Akiho S., Raita M. An Agreement on Enhancing International Arctic Scientific Cooperation: Only for the Eight Arctic States and Their Scientists? *The Yearbook of Polar Law Online*, 2017, pp. 129–162.
2. Porter J. A Brief History of Data Sharing in the U.S. Long Term Ecological Research Network. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 2010, pp. 14–20.
3. Aronova E. Geophysical Datascape of the Cold War: Politics and Practices of the World Data Centers in the 1950s and 1960s. *Osiris*, 2017, pp. 307–327.
4. Turchetti S., Roberts P. *The Surveillance Imperative: Geosciences during the Cold War and Beyond*. New York, Palgrave Macmillan, 2014, pp. xii + 278.
5. Boyd A., Gatewood J., Thorson S., Dye T. Data Diplomacy. *Sci. Dipl.*, 2019, vol. 8 (1).
6. Tenopir C., Allard S., Douglass K., Aydinoglu A.U., Wu L., Read E., Manoff M., Frame M. Data Sharing by Scientists: Practices and Perceptions. *PLoS ONE*, 2011, 6 (6), DOI: 10.1371/journal.pone.0021101
7. Michener W.K. Ecological Data Sharing. *Ecol. Inform.*, 2015, 29, pp. 33–44.
8. Jasny B.R. Realities of Data Sharing Using the Genome Wars as Case Study — an Historical Perspective and Commentary. *EPJ Data Science*, 2013, 2, pp. 1–15. DOI: 10.1140/epjds13
9. Buch E. Arctic in Situ Data Availability. *Copernicus Programme Services*, 2019, 102 p.
10. Joseph M.P. The Canadian Cryospheric Information Network: Facilitating Access to Sea Ice, Lake Ice, Snow Cover, Permafrost, and Glacier Data. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2002, vol. 1, pp. 214–216. DOI: 10.1109/IGARSS.2002.1024991
11. Kowarsch M., Garard J., Rioussat P. Scientific Assessments to Facilitate Deliberative Policy Learning. *Palgrave Communications*, 2016, 2, 16092. DOI: 10.1057/palcomms.2016.92
12. Herzberg J., Kerht C., Torma F. *Ice and Snow in the Cold War: Histories of Extreme Climatic Environments*. Oxford, Berghahn, 2018.
13. Romanovsky V.E., Smith S.L., Christiansen H.H. Permafrost Thermal State in the Polar Northern Hemisphere during the International Polar Year 2007–2009: a Synthesis. *Permafrost and Periglacial Processes*, 2010, vol. 21, iss.2, pp. 106–116.
14. Rasmussen L.H., Zhang W., Hollesen J., Cable S., Christiansen H.H., Jansson P.E., Bo E. Modelling Present and Future Permafrost Thermal Regimes in Northeast Greenland. *Cold Regions Science and Technology*, 2018, vol. 146, pp. 199–213. DOI: 10.1016/j.coldregions.2017.10.011

15. Sumgin M.I. *Vechnaya merzlota pochvy v predelakh SSSR* [Permafrost Soil within the USSR]. Russia, Vladivostok, Dal'nevostochnaya Geofizicheskaya Observatoriya Publ., 1927, 372 p.
16. Streletskiy D., Shiklomanov N.I. Russian Arctic Cities through the Prism of Permafrost. *Sustaining Russia's Arctic Cities: Resource Politics, Migration, and Climate Change*, 2016, pp. 201–220.
17. Hjort J., Karjalainen O., Aalto J., Westermann S., Romanovsky V.E., Nelson F.E., Etzelmüller B., Luoto M. Degrading Permafrost Puts Arctic Infrastructure at Risk by Mid-Century. *Nature Communications*, 2018, 5147. DOI: 10.1038/s41467-018-07557-4
18. Doloisio N., Vanderlinden J.P. The Perception of Permafrost Thaw in the Sakha Republic (Russia): Narratives, Culture and Risk in the Face of Climate Change. *Polar Science*, 2020, vol. 26. DOI: 10.1016/j.polar.2020.100589
19. Shiklomanov N.I., Streletskiy D.A., Swales T.B., Kokorev, V.A. Climate Change and Stability of Urban Infrastructure in Russian Permafrost Regions: Prognostic Assessment based on GCM Climate Projections. *Geographical Review*, 2017, vol. 107, iss. 1, pp. 125–142. DOI: 10.1111/gere.12214
20. Biskaborn B.K., Smith S.L., Noetzli J. Permafrost is Warming at a Global Scale. *Nature Communications*, 2019, vol. 10, 264. DOI: 10.1038/s41467-018-08240-4
21. Ferrians O.J., Kachadoorian R., Greene G.W. Permafrost and Related Engineering Problems in Alaska. *Geological Survey Professional Paper*, 1969, 37 p.
22. Lackenbauer P.W., Farish M. The Cold War on Canadian Soil: Militarizing a Northern Environment. *Environmental History*, 2007, vol. 12, no. 4, pp. 920–950.
23. Feche B., Friesike S. Open Science: One Term, Five Schools. *Opening Science*, 2014, pp. 17–47.
24. Streletskiy D., Biskaborn B., Smith S., Noetzli J., Viera G., Schoeneich P. *Strategy and Implementation Plan 2016–2020 for the Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P)*. USA, Washington, The George Washington University Publ., 2016, 42 p.
25. Stieglitz S., Wilms K., Mirbabaie M., Hofeditz L., Brenger B., López A., Rehwald S. When are Researchers Willing to Share Their Data? Impacts of Values and Uncertainty on Open Data in Academia. *PLoS ONE*, 2020, vol. 15, pp. 1–20. DOI: 10.1371/journal.pone.0234172
26. Tenopir C., Dalton E., Allard S., Frame M., Pjesivac I., Birch B., Pollock D., Dorsett K. Changes in Data Sharing and Data Reuse Practices and Perceptions among Scientists Worldwide. *PLoS ONE*, 2020, vol. 10(8). DOI: 10.1371/journal.pone.0229003
27. Vines H.T., Arianne K.Y., Rose A. et al. The Availability of Research Data Declines Rapidly with Article Age. *Current Biology*, 2014, vol. 24, iss. 1, pp. 94–97. DOI: 10.1016/j.cub.2013.11.014
28. Couture J.L., Blake R.E., McDonald G., Ward C.L. A Funder-Imposed Data Publication Requirement Seldom Inspired Data Sharing. *PLoS ONE*, 2018, vol. 13, pp. 1–13. DOI: 10.1371/journal.pone.0199789
29. Garret C., Dafoe A., Miguel E., Don A.M., Rose A.K. A Study of the Impact of Data Sharing on Article Citations Using Journal Policies as a Natural Experiment. *PLoS ONE*, 2019, vol. 14, pp. 1–13. DOI: 10.1371/journal.pone.0225883
30. Kim J. Overview of Disciplinary Data Sharing Practices and Promotion of Open Data in Science. *Science Editing*, 2019, vol. 6 (1), pp. 3–9.
31. Miller E.R. The Evolution of Meteorological Institutions in the United States. *Monthly Weather Review*, 1931, vol. 59, iss. 1, pp. 1–6.
32. McCannon J. To Storm the Arctic: Soviet Polar Exploration and Public Visions of Nature in the USSR, 1932–1939. *Cultural Geographies* 2, 1998, pp. 15–31.
33. McCannon J. *Red Arctic*. UK, Oxford, Oxford University Press, 1998, 40 p.
34. Chu P.Y. *The Life of Permafrost: A History of Frozen Earth in Russian and Soviet Science*. Canada, Toronto, ON, University of Toronto Press, 2021.
35. Hueffer K., Drown D., Romanovsky V.E., Hennessy T. Anthrax in the Circumpolar North: Thawing Permafrost and Other Factors Contributing to Outbreak on Siberia's Yamal Peninsula. *EcoHealth*, 2020, vol. 17, pp. 174–180. DOI:10.1007/s10393-020-01474-z
36. Doel R. Extending Modern Cartography to the Ocean Depths: Military Patronage, Cold War Priorities, and the Heezen–Tharp Mapping Project, 1952–1959. *Journal of Historical Geography*, 2006, vol. 32 (3), pp. 605–626. DOI: 10.1016/j.jhg.2005.10.011

37. Melvin A.M., Larsen P., Boehlert B. et al. Climate Change Damages to Alaska Public Infrastructure and the Economics of Proactive Adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2017, vol. 114, pp. E122–E131. DOI: 10.1073/pnas.1611056113
38. Strategiya razvitiya Arkticheskoy zony Rossii i obespecheniya natsional'noy bezopasnosti do 2035 goda [Strategy for Developing the Russian Arctic Zone and Ensuring National Security until 2035]. Moscow, Russia, 2020.
39. Flink T., Schreiterer U. Science Diplomacy at the Intersection of S&T Policies and Foreign Affairs: Toward a Typology of National Approaches. *Science Public Policy*, 2010, vol. 9, pp. 665–677.
40. Berkman P.A. Stability and Peace in the Arctic Ocean through Science Diplomacy. *Science & Diplomacy*, 2014, vol. 3, no. 2.

Статья принята 05.06.2021