

Keywords: Arctic mining, mineral resources, Arctic shelf, extreme weather conditions, underwater mining, offshore field development technologies

For citation: Kislyakov V.E., Katyshev P.V., Anushenkov A.N., Linkov Ya.E., Kirsanov A.K. Study of the impact of low ambient air and seawater temperatures on the possibility of mining solid minerals in arctic waters. *Russian Mining Industry*. 2024;(4):81–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-4-81-88>

Введение

Арктический регион – обширная область, под ледяными водами которого скрываются значительные запасы твёрдых полезных ископаемых. По мере роста глобального спроса на основные ресурсы – редкоземельные элементы, золото, полиметаллы, железомарганцевые конкреции и т. д. (рис. 1) [1–5], привлекательность нетронутых минеральных богатств Арктики становится всё более очевидной [6].

Рассмотренные на рис. 1 месторождения с запасами критических полезных ископаемых представляют собой широкий спектр важнейших элементов, которые вносят значительный вклад в экономический и промышленный ландшафт страны, поскольку востребованы обществом в различных формах, будь то строительство, ювелирное дело или создание новых наукоёмких технологий, необ-

ходимых для потребления человеком. Таким образом, потребность в них растёт с каждым днём, поскольку население увеличивается быстрыми темпами [8; 9].

Вместе с тем такое перспективное направление, как подводная добыча твёрдых полезных ископаемых, может быть осложнено целым рядом преград, включая суровые природные условия, сложное строение арктического шельфа, отдалённость цивилизации, уязвимость экосистем и др. Одной из основных частей данных преград является влияние низких температур, которые пронизывают атмосферу и арктические воды, тем самым усложняя процесс добычи.

Таким образом, данная работа направлена на то, чтобы раскрыть взаимосвязь между отрицательными температурами и процессом добычи твёрдых полезных ископаемых со дна арктического шельфа.



Рис. 1
Карта твёрдых полезных ископаемых, расположенных на арктическом шельфе РФ
Источник: Составлено авторами на основе данных [5; 7]

Fig. 1
Map of solid minerals located on the Arctic shelf of the Russian Federation
Source: Compiled by the authors on the basis of data [5; 7]

Методология

В исследовании был использован комплексный подход для анализа информации:

1. *Выбор района исследования* и сбор актуальных данных. В качестве региона исследования температурных режимов была выбрана арктическая зона Российской Федерации.

2. *Обзор научно-технической литературы* (анализ информации в научных базах данных, академических журналах и авторитетных онлайн-источниках). Анализ температуры окружающей среды проводился с использованием данных, полученных из Межведомственной федеральной системы «Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане» (ЕСИМО) по пяти электронным атласам морей арктической зоны, омывающих берега РФ – Баренцево море, Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море и Чукотское море¹.

3. *Обобщение и анализ полученных данных* (структурирование информации). В ходе исследования авторами был выполнен анализ расчётов климатических характеристик воздушной и морской среды открытого моря с применением карт расчётных гидрометеорологических и океанографических полей на приповерхностном уровне морей, где в табличном виде по всем одноградусным квадратам и станциям вековых разрезов приводится статистика среднемесячных экстремальных значений параметров на стандартных горизонтах с повторяемостью значений параметров по многолетним месяцам и их годовой ход.

Недостающая часть значений параметров воздушной среды была принята и проанализирована из таблично-графических материалов климатических характеристик прибрежной зоны, содержащих расчётные данные средних и экстремальных значений параметров и их повторяемость по многолетним месяцам, а также межгодовой изменчивости параметров. Непосредственно в качестве точек оценки в прибрежной зоне были выбраны метеостанции интересующей акватории, максимально территориально приближенные к области со значениями открытого моря, такие как Остров Котельный, Мыс Кигиля, Остров Дунай, море Лаптевых и посёлок Уэлен Чукотского моря.

Всего в ходе исследования авторами были проанализированы значения 195 764 наблюдений за температурой морской воды и 882 237 наблюдений за температурой воздуха открытого моря, а также 45 697 наблюдений по данным береговых метеостанций.

4. *Определение дальнейших перспектив* (составление выводов). На основании проведённого исследования авторами была составлена укрупнённая категоризация проблем, с которыми сталкивается горнодобывающая промышленность в условиях отрицательных температур окружающего воздуха, а также выявлены закономерности, позволяющие обосновать технологию добычи твёрдых полезных ископаемых в условиях низких температур.

Результаты и обсуждение

Изучение влияния низких температур окружающего воздуха

На рис. 2 графически показаны среднемесячные значения температуры воздуха в Арктике по данным реанализа за ERA5 (усреднённая область к северу от 70° с. ш.).



Рис. 2
Средняя температура воздуха в Арктике в 2023 г.

Источник: Составлено авторами по данным: Monthly Arctic Temperature. Available at: <https://zacklabe.com/arctic-temperatures/> (accessed: 20.01.2024).

Fig. 2
Average air temperature in the Arctic in 2023

Source: Compiled by the authors according to: 11. Monthly Arctic Temperature. Available at: <https://zacklabe.com/arctic-temperatures/> (accessed: 20.01.2024).

Согласно представленному анализу за 2023 г. (см. рис. 2) можно заключить, что преобладание низких температур в рассматриваемом регионе будет создавать множество сложностей, которые повлияют на все аспекты производства подводных горных работ.

Известно, что для извлечения полезных ископаемых из земных недр необходимо горное оборудование, которое, как и любая техника, подвержено поломкам и выходам из строя. Так, например, в исследованиях многих учёных отмечается, что работоспособность горных машин и оборудования в регионах с преобладающими низкими температурами значительно снижается, – учащаются поломки в рабочих узлах, усложняются процессы ремонта и т. д. [10–16]. Данный факт не только нарушает плавный ход горных работ, но и ставит под сомнение экономическую целесообразность и устойчивость добычи полезных ископаемых в таких сложных условиях.

Учитывая существующие проблемы, возникающие в результате воздействия низких температур на горную технику, особенно в таком регионе, как российская Арктика, разведка и разработка месторождений на дне арктического шельфа требует взвешенного и стратегического подхода. Проблемы, связанные с низкими температурами, существенно влияют на целесообразность и эффективность подводной добычи полезных ископаемых, а их учёт может заложить основу для устойчивого и эффективного подхода к разработке таких месторождений.

На основе анализа профильной научно-технической литературы авторами категоризированы основные негативные проявления отрицательных температур окружающего воздуха, способные усложнить добычу твёрдых полезных ископаемых со дна арктического шельфа (рис. 3).

Согласно представленной категоризации (см. рис. 3) к основным проблемам можно отнести те, которые связаны непосредственно с эксплуатационными характеристиками оборудования, с влиянием низких температур на работу человека, а также проблемы общего характера. По сути, данные укрупнённые категории служат контрольным листом для горнодобывающей промышленности по

¹ Атлас «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана». Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане. Режим доступа: http://www.esimo.ru/atlas/index_atlas.html (дата обращения: 23.03.2024).



Рис. 3
Категоризация проблем, с которыми сталкивается горнодобывающая промышленность при наличии отрицательных температур окружающего воздуха

Fig. 3
Categorization of challenges that the mining industry faces in the presence of sub-zero ambient air temperatures

выявлению и дальнейшему преодолению проблем, связанных с экстремальными холодами.

Таким образом, дальнейшее проведение исследований в этом направлении позволит заинтересованным сторонам в горнодобывающей промышленности выявить конкретные проблемы, определить приоритетные области для дополнительного детального изучения, а также разработать комплексные стратегии, учитывающие сложную взаимосвязь между различными факторами в контексте отрицательных температур окружающей среды.

Изучение влияния низких температур морской воды

При начале планирования разработки того или иного месторождения со дна арктического шельфа одним из ключевых аспектов является определение продолжительности сезона работ. На продолжительность сезона напрямую влияют такие климатические показатели, как температура окружающего воздуха и морской воды на околонулевым горизонте мирового океана. Так, например, резкое понижение температуры воздуха и следующее за ним понижение температуры воды ниже точки её замерзания приводит к образованию льда на поверхности [17; 18], что сначала затрудняет проведение работ, а в конечном итоге делает практически невозможной работу без специальных мероприятий или средств.

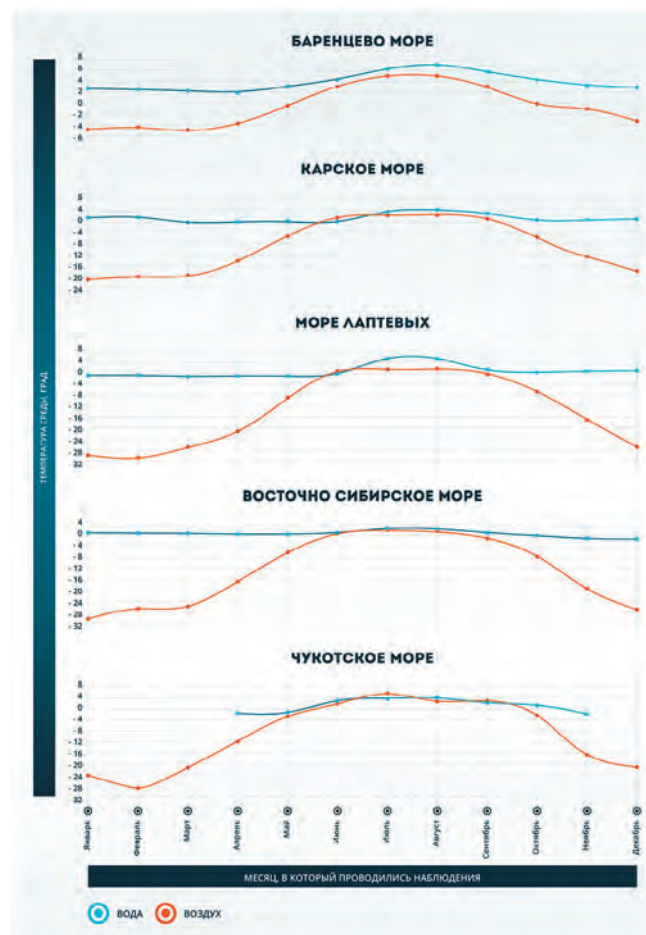


Рис. 4
Зависимость температуры морской воды и воздуха в течение года в морях арктической зоны РФ

Fig. 4
Correlation between the sea water and air temperature during the year in the seas of the Arctic zone of the Russian Federation

Ниже приведены закономерности, полученные по результатам данных анализа изменений температуры на контакте двух сред: воздушной и морской. Этот обширный массив данных составил основу проведённого авторами анализа, охватывая температурные колебания морей арктической зоны (Баренцево море, Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море и Чукотское море). На основе проведённого исследования были выявлены закономерности и тенденции, которые в значительной мере окажут влияние на обоснование технологических аспектов при разработке твёрдых полезных ископаемых арктического шельфа.

Взаимосвязь между периодом года и температурой окружающей среды – основополагающая при определении продолжительности добычного сезона. Необходимо отметить, что климатические условия, существенно изменяющиеся в зависимости от географической долготы, оказывают непосредственное влияние на принимаемые методы добычи. Географическая долгота (наряду с другими географическими особенностями) обуславливает различные климатические зоны, которые, в свою очередь, определяют целесообразность и эффективность применения тех или иных технологий добычи, применяемых в данном регионе.

Чтобы проиллюстрировать этот момент, на рис. 4 показан динамический характер колебаний температуры в

разные периоды года на рассматриваемых морях арктической зоны РФ. Это визуальное представление не только подчёркивает временные колебания температуры, но и служит основой для понимания нюансов влияния климатического разнообразия на технологии добычи полезных ископаемых.

Анализируя приведённые графики, можно сделать вывод, что месяцы с положительными температурами двух сред неоднородны и значительно изменяются между морями. Для каждого из морей явно выражена зона с наиболее благоприятными условиями при проведения добычных работ: так, для Карского моря, моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря эта зона начинается с точки пересечения двух графиков в весенне-летнем периоде и заканчивается при достижении отрицательных температур водной и воздушной среды при плавном понижении в отрицательные значения осенью. Что касается Баренцева и Чукотского морей, эта зона явно не выражена, но может быть определена резким повышением температур воздуха начиная с мая и значительным снижением температур воздуха в ноябре-декабре.

В контексте подводных горных работ, в частности, добычи твёрдых полезных ископаемых, эти выводы имеют практическое значение: стабильные положительные температуры определяют сезонную продолжительность ведения горных работ в конкретной акватории арктической зоны.

На основе ранее представленных наблюдений была получена зависимость среднегодовой температуры воздуха и воды на нулевом горизонте наблюдений для каждого из представленных морей, с запада на восток, согласно их географической долготы (рис. 5).

Анализируя полученную информацию (см. рис. 5),



Рис. 5
Распределение среднегодовых температур морской воды и воздуха арктической зоны

Fig. 5
Distribution of mean annual sea water and air temperatures in the Arctic zone

можно отметить, что среднегодовые температуры с запада на восток изменяются по дуге, где для Баренцева и Чукотского морей характерно значимое повышение температур морской воды относительно центральной зоны с практически неизменными средними значениями года на протяжении 3000 км водной глади. Подобная ситуация складывается и с температурой окружающего воздуха, где в рассматриваемых точках наблюдается тренд к повышению, хотя абсолютные показатели для Чукотского

моря остаются ещё достаточно низкими. Это напрямую связано с действием тёплых течений, проникающих в рассматриваемые регионы из Тихого и Атлантического океанов [19; 20]. Что касается средней части зависимости (Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море), то для неё характерно значительное расхождение рассматриваемых показателей, что обуславливается отсутствием каких-либо тёплых течений и более пресными водами, чем воды мирового океана [21]. Всё это приводит к замедлению процессов смешивания с соседними морями и плотностному расслоению, что, в свою очередь, порождает интенсивное образование льда в осенний период и длительное его таяние весной и летом.

В контексте добычи твёрдых полезных ископаемых этот вывод имеет практическое значение: схожие месторождения по горно-геологическим условиям, находясь на различной географической долготе, по всей исключительной экономической зоне РФ в Арктике будут иметь отличительные особенности в технологии отработки, связанные с колебанием температур водной и воздушной сред в течение года.

Таким образом, можно условно выделить три зоны, с запада на восток, от 50 град в.д. в Баренцевом море до 140 град з.д. в Чукотском море (см. рис. 5) по принципу сближенных показателей температур воздушной и морской сред:

- зона 1 – благоприятные условия ведения добычных работ;
- зона 2 – неблагоприятные условия ведения добычных работ;
- зона 3 – слабо благоприятные условия ведения добычных работ.

Крайние точки при оконтуривании зоны 1 и зоны 3 получены методом экстраполяции и вынесены на половину расстояния между соседними значениями. Внутренние границы получены методом интерполяции.

Исходя из вышесказанного можно предположить, что для разных рассматриваемых зон могут быть применимы различные технологии добычи. Авторами была разработана методика, позволяющая ранжировать конкурирующие технологии при разработке шельфовых месторождений в конкретном районе Арктики по критерию продолжительности сезона.

Продолжительность сезона рассматриваемой технологии в конкретных климатических условиях – начисленные баллы варьируется в диапазоне от 1 до 12 – по продолжительности добычного сезона в месяцах.

Месторождение полезных ископаемых, находясь в определённой точке арктического шельфа в проанализированном диапазоне, становится приурочено к одной из трёх зон, рассмотренных ранее (см. рис. 5). Далее на основе горно-геологических условий и известного подхода к выбору технологий отработки месторождений по условию глубины залегания участка недр на дне акватории [22; 23] выделяются конкурентные варианты. Затем экспертными оценками для каждой технологии по предложенному критерию назначаются баллы. По максимальному количеству начисленных баллов определяется целесообразность применения технологии в рассматриваемой зоне. Если две и более технологии в результате анализа набирают одинаковое количество баллов по критерию продолжительности сезона, то окончательный выбор технологии производится исходя из показателей экономической эффективности.

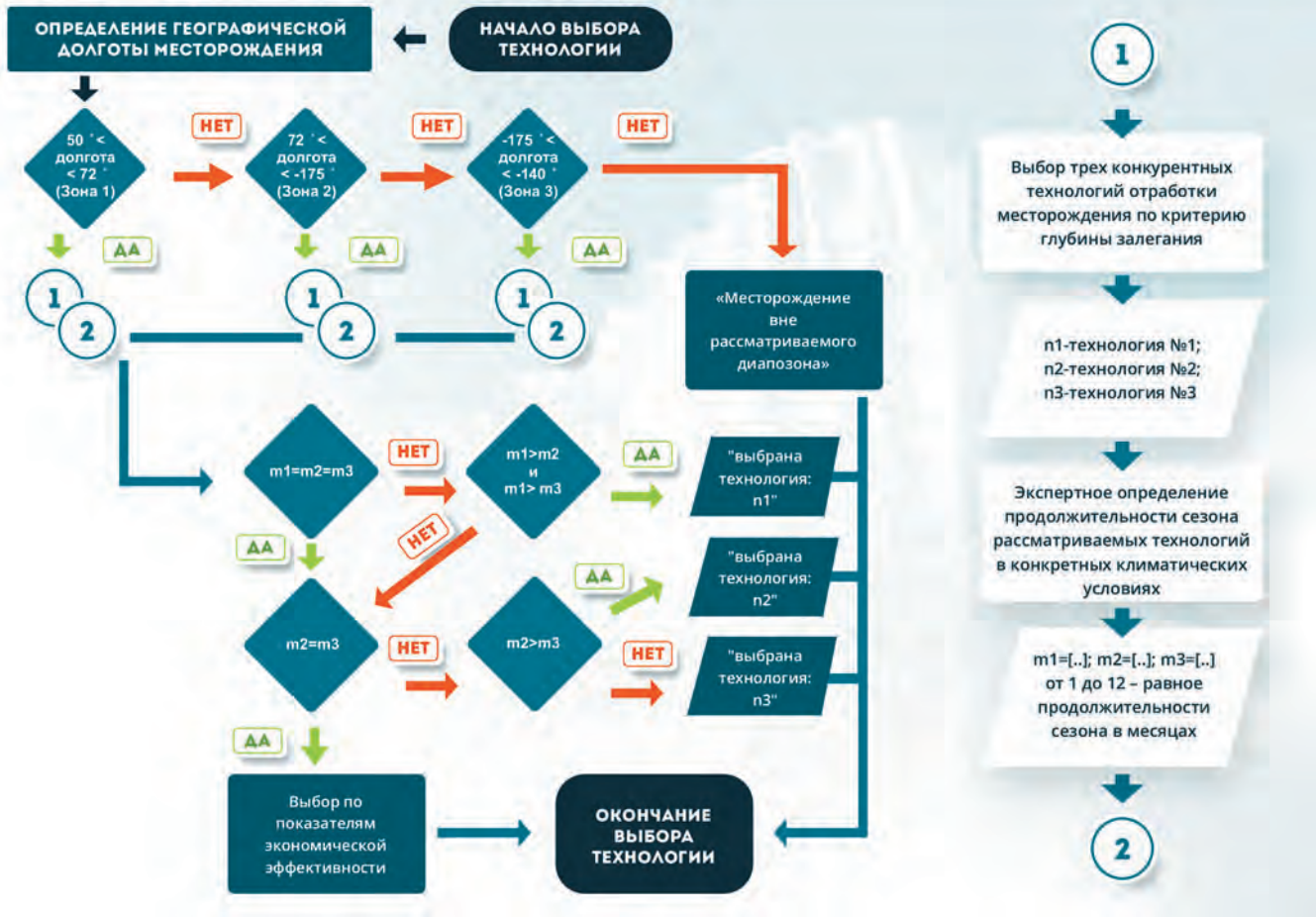


Рис. 6
Блок-схема по выбору технологии разработки шельфовых месторождений твёрдых полезных ископаемых в арктических водах

Fig. 6
Block diagram on the selection of technology for the development of offshore solid mineral deposits in Arctic waters

На рис. 6 представлена блок-схема по выбору технологии для разработки шельфовых месторождений твёрдых полезных ископаемых в арктических водах.

Представленная методика поможет недропользователям произвести выбор подходящей технологии между конкурирующими вариантами.

Заключение

В заключение следует отметить, что всестороннее изучение каждой из представленных проблем, с которыми сталкивается горнодобывающая промышленность при работе в условиях отрицательных температур окружающей среды, даёт представление о возможных способах их решения.

На основе вышеизложенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Представленная категоризация проблем, осложняющих развитие горнодобывающей отрасли в арктическом регионе при пониженных температурах окружающего воздуха (см. рис. 3), демонстрирует комплекс взаимосвязанных сложностей, где решение одного подфактора часто требует рассмотрения множества смежных аспектов. Это предполагает заблаговременный учёт и разработку мер преодоления перечисленных проблем, каждая из которых может являться темой отдельного научного исследования.

2. Выявлены закономерности и тенденции по температурному фактору для пяти морей Арктики (Баренцево море, Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море и Чукотское море) в исключительной экономической зоне РФ. Это позволит проводить планирование будущих подготовительных и добычных работ на основе знания о продолжительности благоприятного климатического периода в конкретной области Арктики.

3. Выполнено зонирование морей арктических территорий с запада на восток согласно их географической долготы (см. рис. 5). Это позволило получить границы между зонами со схожими температурными значениями. Опираясь на результаты данного исследования, можно проводить выбор технологии обработки месторождения, учитывая его географическое положение.

4. Разработана блок-схема пошаговых действий при ранжировании конкурентных вариантов технологий обработки (см. рис. 6).

Список литературы / References

1. Мухарев А.А., Кубрин С.С. Вопросы детальной разведки твердых полезных ископаемых и ее маркшейдерское сопровождение на шельфе Арктики. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016;(2):231–235. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2016/2/231_235_2_2016.pdf (дата обращения: 29.05.2024).
Mukharev A.A., Kubrin S.S. Questions detailed exploration of solid minerals and surveying its support on the Arctic shelf. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 016;(2):231–235. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2016/2/231_235_2_2016.pdf (accessed: 29.05.2024).
2. Мухарев А.А. Кубрин С.С. Маркшейдерское и навигационное обеспечение разработки твердых полезных ископаемых на шельфе Арктики. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(8):106–112. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2015/08/106-112_8_2015.pdf (дата обращения: 29.05.2024).
Mukharev A.A., Kubrin S.S. Surveying and navigation support the development of solid minerals on the Arctic shelf. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(8):106–112. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2015/08/106-112_8_2015.pdf (accessed: 29.05.2024).
3. Иванова А.М., Смирнов А.Н., Ушаков В.И. Минерально-сырьевая база твердых полезных ископаемых шельфовых областей России: ресурсная значимость, перспективы наращивания и освоения. *Горный журнал*. 2012;(3):42–49. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/675/article/8724/> (дата обращения: 29.05.2024).
Ivanova A. M., Smirnov A. N., Ushakov V. I. Sources of the mineral raw materials of the sea shelf areas of Russia (solid minerals): resource value, perspectives for growth and development. *Gornyi Zhurnal*. 2012;(3):42–49. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/675/article/8724/> (accessed: 29.05.2024).
4. Смирнов А.Н., Иванова А.М., Пашковская Е.А. Подводные месторождения твердых полезных ископаемых в шельфовых областях России. *Горный журнал*. 2013;(11):51–58. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/1246/article/21186/> (дата обращения: 29.05.2024).
Smirnov A.N., Ivanova A.M., Pashkovskaya E.A. Underwater deposits of solid minerals in Russian shelf areas. *Gornyi Zhurnal*. 2013;(11):51–58. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/1246/article/21186/> (accessed: 29.05.2024).
5. Каминский В.Д., Супруненко О.И., Смирнов А.Н. Минерально-сырьевые ресурсы арктической континентальной окраины России и перспективы их освоения. *Арктика: экология и экономика*. 2014;(3):52–61. Режим доступа: <http://arctica-ac.ru/article/249/> (дата обращения: 29.05.2024).
Kaminsky, V.D., Suprunenko, O.I., Smirnov, A.N. Mineral resources of the Russian Arctic continental margin and prospects for their development. *Arctic: Ecology and Economy*. 2014;(3):52–61. (In Russ.) Available at: <http://arctica-ac.ru/article/249/> (accessed: 29.05.2024).
6. Kirsanov A.K., Katyshev P.V. Economic drivers of seabed mining. *Izvestiya vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2024;(1):20–26. Available at: <https://www.mining-science.ru/download/2024/1-2024/002.pdf> (accessed: 24.06.2024).
7. Smirnov A.N., Babaeva S., Manevich A.I. *Russian Arctic shelf mineral resource potential*. Paper No. 3286. Available at: <https://www.americangeosciences.org/sites/default/files/igc/3286.pdf> (accessed: 21.04.2024).
8. Стоцкая Д.Р. Демографические проблемы. Рост числа населения планеты. *Наука через призму времени*. 2020;(8):40–42. Режим доступа: <http://www.naupri.ru/journal/2638> (дата обращения: 29.05.2024).
Stotskaya D.R. Demographic problems. Global population growth. *Nauka Cherez Prizmu Vremeni*. 2020;(8):40–42. (In Russ.) Available at: <http://www.naupri.ru/journal/2638> (accessed: 29.05.2024).
9. Абдушева Е.А. Рост населения Земли как угроза для планеты. *Международный журнал Наука Плюс*. 2020;(1):87–90.
Abdusheva E.A. Earth's population growth as a threat to the planet. *International Journal Science Plus*. 2020;(1):87–90. (In Russ.)
10. Квагинидзе В.С., Козлов В.А. Влияние низких отрицательных температур на работоспособность металлоконструкций горных машин. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2003;(9):16–18.
Kvaginidze V.S., Kozlov V.A. Influence of low negative temperatures on serviceability of metal structures of mining machines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2003;(9):16–18. (In Russ.)
11. Охлопков Т.Н. Влияние низких температур на тепловой режим гидроагрегатов автогрейдера ДЗ-98. *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. 2020;17(3):316–327. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-3-316-327>
Okhlopkov T.N. Low temperatures effect on thermal conditions of DZ-98 autograder hydraulic units. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020;17(3):316–327. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-3-316-327>
12. Голубев И.А. Исследование причин нарушения работоспособности узлов горной техники в условиях Арктики и Северо-Востока. В кн.: *Актуальные научные исследования: сб. ст. 11-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Пенза, 5 апр. 2023 г.* Пенза: Наука и просвещение; 2023. С. 75–79.
Golubev I.A. Research of the causes of disturbance of the functionality of mining equipment unit in the conditions of the Arctic and the North-East. In: *Current scientific research: Collection of articles. 11th International Scientific and Practical Conference, Penza, April 5, 2023*. Penza: Nauka i prosveshchenie; 2023, pp. 75–79. (In Russ.)
13. Тоскунин И.С. Основные неисправности и особенности подготовки тяжелой техники на примере карьерного самосвала БЕЛАЗ 75131 в условиях Крайнего Севера. *Научный взгляд в будущее*. 2019;1(14):67–71.
Toskunin I.S. The main malfunctions and features of the preparation of heavy machinery on the example of the dump truck Belaz 75131 in the Far North. *Scientific Look into the Future*. 2019;1(14):67–71. (In Russ.)
14. Нафиков Р.З., Кисляков В.Е. *Технология дражной разработки россыпных месторождений в условиях Крайнего Севера*: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2021. 184 с.

15. Чооду О.А. Опыт эксплуатации и эффективность применения горных и горнотранспортных машин северного исполнения. *Вестник Тувинского государственного университета. Вып. 3. Технические и физико-математические науки.* 2022;(2):27–33.
Choodu O.A. Operational experience and efficiency of the use of mining and mining transport machines of northern design. *Vestnik of Tuvan State University. Issue 3. Technical Sciences, Physical and Mathematical Sciences.* 2022;(2):27–33. (In Russ.)
16. Ivanov S.L., Ivanova P.V., Kuvshinkin S.U. Weather conditions as a factor affecting the performance of modern powerful mining excavators. *Journal of Physics: Conference Series.* 2019;1399:044070. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044070>
17. Данилов А. Арктика: обеспечение гидрометеорологической безопасности освоения. *Деловой журнал Neftegaz.RU.* 2012;(11):С. 58–63.
Danilov A. The Arctic: ensuring hydrometeorological safety of development. *Delovoy Zhurnal Neftegaz.RU.* 2012;(11):С. 58–63. (In Russ.)
18. Корнишин К.А. *Обеспечение защиты от айсберговой угрозы объектов обустройства нефтегазовых месторождений арктического шельфа: дис. канд. техн. наук.* М.; 2022. 109 с.
19. Трофимов А.Г. Современные тенденции изменения океанографических условий Баренцева моря. *Труды ВНИРО.* 2021;186:101–118. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2021-186-101-118>
Trofimov A.G. The current trends in oceanographic conditions of the Barents Sea. *Trudy VNIRO.* 2021;186:101–118. (In Russ.) <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2021-186-101-118>
20. Якшина Д.Ф., Голубева Е.Н. Исследование климатических изменений в Чукотском море и море Бофорта на основе численного моделирования. *Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* 2022;15(2):60–75. <https://doi.org/10.59887/fpg/zkvg-71uu-xk44>
Iakshina D.F., Golubeva E.N. Recent Climatic Change Research in the Chukchi and Beaufort Seas Based on Numerical Simulation. *Fundamental and Applied Hydrophysics.* 2022;15(2):60–75. <https://doi.org/10.59887/fpg/zkvg-71uu-xk44>
21. Линьков Я.Е., Кисляков В.Е., Кирсанов А.К., Катышев П.В. Раскрытие взаимосвязи между свойствами морской воды и добычей полезных ископаемых со дна арктического шельфа. *Маркшейдерия и недропользование.* 2024;(1):10–16.
Linkov Ya.E., Kislyakov V.E., Kirsanov A.K., Katyshev P.V. Uncovering the relationship between seawater properties and mineral extraction from the arctic shelf floor. *Mine Surveying and Subsurface Use.* 2024;(1):10–16. (In Russ.)
22. Ржевский В.В., Нурок Г.А. *Технология добычи полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов.* М.: Недра; 1979. 381 с.
23. Козлов М.Ю. *Совершенствование технологий гидродождения при освоении шельфовых месторождений железомарганцевых конкреций на основе исследования гидродинамических процессов: дис. канд. техн. наук.* М.; 2016. 147 с.

Информация об авторах

Кисляков Виктор Евгеньевич – доктор технических наук, профессор кафедры открытых горных работ, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: VKislyakov@sfu-kras.ru

Катышев Павел Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры открытых горных работ, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: PKatyshev@sfu-kras.ru

Анущенков Александр Николаевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой подземной разработки месторождений им. Н.Х. Загирова, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: AAnushenkov@sfu-kras.ru

Линьков Ярослав Евгеньевич – аспирант кафедры открытых горных работ, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: Flash198@mail.ru

Кирсанов Александр Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры шахтного и подземного строительства, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: AKirsanov@sfu-kras.ru

Information about the authors

Victor E. Kislyakov – Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Surface Mining, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: VKislyakov@sfu-kras.ru

Pavel V. Katyshev – Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Department of Surface Mining, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: PKatyshev@sfu-kras.ru

Aleksandr N. Anushenkov – Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department of Underground Deposit Development named after N.H. Zagirov, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: AAnushenkov@sfu-kras.ru

Yaroslav E. Linkov – Post-Graduate Student of the Department of Surface Mining, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: Flash198@mail.ru

Aleksandr K. Kirsanov – Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Department of Mine and Underground Construction, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: AKirsanov@sfu-kras.ru

Article info

Received: 02.06.2024

Revised: 04.07.2024

Accepted: 09.07.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 02.06.2024

Поступила после рецензирования: 04.07.2024

Принята к публикации: 09.07.2024