

Арктика и Север. 2026. № 62. С. 81–98.

Научная статья

УДК [338.47:004](985)(045)

DOI: <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2026.62.81>

Концептуальная модель онтологии Арктической зоны РФ в контексте развития логистической и цифровой инфраструктуры

Трифонова Нина Викторовна¹

Фадеев Алексей Михайлович²✉, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник

Ильин Игорь Васильевич³, доктор экономических наук, доцент

Лёвина Анастасия Ивановна⁴, доктор экономических наук, доцент

Дубгорн Алиса Сергеевна⁵, кандидат экономических наук

^{1, 2, 3, 4, 5} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия

¹ trifonova_nv@spbstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1364-2363>

² FadeevTeam@yandex.ru ✉, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3833-3316>

³ igor.ilin@spbstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1834-4894>

⁴ levina_ai@spbstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4822-6768>

⁵ dubgorn@spbstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5012-0831>

Аннотация. Арктический регион обладает значительным потенциалом для добычи минеральных и энергетических ресурсов. Однако эффективное освоение ресурсов требует тщательных и сбалансированных решений, обеспечивающих минимизацию воздействия на окружающую среду и устойчивое управление ресурсами. В статье рассматривается разработка концептуальной модели онтологии Арктической зоны Российской Федерации, ориентированной на логистическую и цифровую инфраструктуру. Онтология является мощным инструментом для организации областей знаний, предоставляя формальное представление концепций и их взаимосвязей. Определены основные классы, отношения, атрибуты и правила функционирования онтологической модели. Показана значимость цифровизации и логистических маршрутов в условиях экстремального климата Арктики. Предлагаемая онтология систематизирует информацию о логистической и цифровой составляющих Арктического региона России. Она позволяет создать структурированную базу знаний, которая даст возможность заинтересованным сторонам анализировать сложные взаимосвязности, разрабатывать эффективные стратегии управления и принимать обоснованные решения, способствующие устойчивому развитию в данной уязвимой экосистеме. Разрабатывая онтологию, мы стремимся обеспечить единое представление о логистической и цифровой сфере Арктики, что помогает заинтересованным сторонам (стейкхолдерам) лучше ориентироваться в сложной системе вызовов и перспектив.

Ключевые слова: онтология региона, Арктика, логистическая инфраструктура, цифровая инфраструктура

Благодарности и финансирование

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-78-10190, <https://rscf.ru/project/23-78-10190/>.

* © Трифонова Н.В., Фадеев А.М., Ильин И.В., Лёвина А.И., Дубгорн А.С., 2026

Для цитирования: Трифонова Н.В., Фадеев А.М., Ильин И.В., Лёвина А.И., Дубгорн А.С. Концептуальная модель онтологии Арктической зоны РФ в контексте развития логистической и цифровой инфраструктуры // Арктика и Север. 2026; 62: 81–98. <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2026.62.81>

For citation: Trifonova N.V., Fadeev A.M., Ilin I.V., Levina A.I., Dubgorn A.S. Conceptual Model of the Ontology of the Russian Arctic Zone in the Context of Logistics and Digital Infrastructure Development. *Arktika i Sever* [Arctic and North], 2026; 62: 81–98. <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2026.62.81>

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Conceptual Model of the Ontology of the Russian Arctic Zone in the Context of Logistics and Digital Infrastructure Development

Nina V. Trifonova¹

Alexey M. Fadeev²✉, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Chief Researcher

Igor V. Ilin³, Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor

Anastasia I. Levina⁴, Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor

Alissa S. Dubgorn⁵, Cand. Sci. (Econ.)

^{1,2,3,4,5} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, ul. Polytechnicheskaya, 29, Saint Petersburg, Russia

¹trifonova_nv@spbstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1364-2363>

²FadeevTeam@yandex.ru ✉, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3833-3316>

³igor.ilin@spbstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1834-4894>

⁴levina_ai@spbstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4822-6768>

⁵dubgorn@spbstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5012-0831>

Abstract. The Arctic region has significant potential for the extraction of mineral and energy resources. However, effective resource development requires careful and balanced decisions that minimize environmental impact and ensure sustainable resource management. This article discusses the development of a conceptual model of the ontology of the Arctic zone of the Russian Federation, focused on logistics and digital infrastructure. Ontology is a powerful tool for organizing areas of knowledge, providing a formal representation of concepts and their interrelationships. The main classes, relations, attributes and rules of functioning of the ontological model are defined. The significance of digitalization and logistic routes in the extreme climate of the Arctic is demonstrated. The proposed ontology systematizes information about logistics and digital components of the Arctic region of Russia. It allows creating a structured knowledge base that will enable stakeholders to analyze complex interdependencies, develop effective management strategies and make informed decisions that contribute to sustainable development in this vulnerable ecosystem. In developing the ontology, we aim to provide a unified view of the Arctic's logistics and digital sphere, which helps stakeholders better navigate the complex system of challenges and opportunities.

Keywords: *regional ontology, Arctic, logistics infrastructure, digital infrastructure*

Введение

Суровый климат, непредсказуемые погодные условия и вечная мерзлота создают значительные технические и логистические препятствия для освоения ресурсов Арктики, в том числе энергетических, которыми богат этот регион [1–4]. Эти проблемы в сочетании с растущей обеспокоенностью по поводу воздействия на окружающую среду и необходимостью уделять внимание правам коренных народов требуют создания надёжной и адаптируемой структуры управления. В своих исследованиях авторы статьи рассматривают в качестве драйверов развития системы управления Арктической зоной развитие её ключевых коммуникационных подсистем — логистической и цифровой [4–8]. Обозначенные подсистемы делают возможным перемещение людей, материальных ценностей, информации, следовательно, обеспечивают ключевые каналы перемещения ценностей в регионе. Это делает их опорными элементами системы управления и развития региона и ставит задачу систематизации знаний об этих подсистемах.

Онтологии — мощный инструмент для структурирования и организации областей знаний. Они обеспечивают формальное представление концепций и их взаимосвязей, облегчая обмен информацией, интеграцию знаний и принятие обоснованных решений. В

контексте нефтегазовой промышленности Арктики онтология служит критической дорожной картой, направляющей устойчивое развитие [9]. Создание онтологии Арктической зоны России позволит установить чёткое понимание многогранных аспектов арктической логистики и цифровой инфраструктуры, что, в свою очередь, станет первым шагом к эффективному анализу данных о состоянии региона. Установление взаимосвязей между основными сущностями рассматриваемой системы (рассматриваемых систем) создаёт предпосылки для более глубокого анализа и выявления возможностей реализации новых типов связей. Также онтология позволит создать общий язык для обмена информацией между различными заинтересованными сторонами — игроками отрасли: правительствами, исследователями и коренными общинами, что обеспечивает эффективное взаимодействие и совместное принятие решений.

Целью данной статьи является разработка концептуальной модели онтологии Арктической зоны РФ в контексте развития логистической и цифровой инфраструктуры.

Для достижения цели были сформулированы две задачи, которые легли в основу данной статьи:

- составление глоссария понятий предметной области;
- определение ключевых элементов онтологии.

Настоящее исследование включает в себя несколько структурных частей, каждая из которых выполняет свою функцию в процессе научного анализа. Первая часть, методология, охватывает определение основополагающих подходов, на которых базируется исследование, а также разработку глоссария ключевых понятий предметной области. Вторая часть, результаты, представляет собой обзор актуальной научной литературы в области разработки онтологий с последующим изложением предложенной онтологии, а также её уточнением и адаптацией в контексте логистической и цифровой инфраструктуры. Заключительная часть исследования посвящена подведению итогов проведённого анализа и формулировке выводов, основанных на полученных результатах.

Создавая онтологию, мы стремимся способствовать общему пониманию арктического логистического и цифрового сектора, позволяя заинтересованным сторонам ориентироваться в сложной системе проблем и возможностей. Эта инфраструктура знаний будет способствовать принятию обоснованных решений, обеспечивая устойчивое, ответственное и сбалансированное использование огромного энергетического потенциала Арктики с учётом уникальной окружающей среды региона и прав коренных народов.

Материалы и методы

Жизненный цикл онтологии строится вокруг уточнения прототипа. Он проходит через отдельные этапы, каждый из которых соответствует конкретным действиям, предусмотренным выбранным подходом. В итоге онтология переходит в состояние

сопровождения, в котором на протяжении всего жизненного цикла осуществляется сбор, оценка и документирование знаний [10].

Для унификации понятийного аппарата статьи предлагается глоссарий ключевых терминов:

- онтология — формализованное представление знаний в виде классов, атрибутов и отношений между ними;
- Арктическая зона РФ — территория Российской Федерации, включающая северные регионы, морские пути и островные образования;
- логистическая инфраструктура — совокупность транспортных путей, терминалов, складских мощностей, обеспечивающих перемещение грузов и пассажиров;
- цифровая инфраструктура — технологические решения, включающие центры обработки данных, телекоммуникационные сети и цифровые сервисы;
- коренные народы — этнические группы, традиционно проживающие в Арктическом регионе и ведущие традиционное хозяйство;
- экологические риски — потенциальные негативные воздействия логистических и промышленных проектов на окружающую среду;
- регуляторное воздействие — законодательные и нормативные меры, регулирующие логистическую и цифровую деятельность в Арктике;
- стейкхолдеры — заинтересованные стороны, участвующие в планировании, реализации и управлении инфраструктурными проектами.

Построение онтологии в контексте логистической и цифровой отраслей АЗРФ представляет собой сложный и многоэтапный процесс, который невозможно осуществить без чётко выстроенного алгоритма действий. Онтология в данном случае служит основой для более глубокого понимания и организации знаний, а также для эффективного внедрения новых технологий и процессов в данной специфической географической и экономической среде. Для успешного создания онтологии логистической и цифровой отраслей в Арктической зоне России необходимо разделить весь процесс на пять чётких и логически последовательных этапов, каждый из которых имеет свои цели и задачи. Такой подход обеспечит систематичность и структурированность работы, а также позволит эффективно интегрировать знания и инновации в этих областях (рис. 1):



Рис. 1. Алгоритм описания онтологии (составлено авторами).

Если первые четыре этапа ограничены функциональными возможностями тех или иных программных средств, то критерии, используемые на последнем этапе, могут быть

индивидуально подобраны в соответствии с целью использования онтологии. Так, критерии оценки онтологии могут быть как общими [11–12], так новыми, определёнными для конкретной онтологии. Оценка онтологии для логистического и цифрового секторов Арктики требует рассмотрения различных аспектов, охватывающих её структуру, содержание и актуальность для конкретных применений. Мы предлагаем использовать следующие критерии:

- **Покрытие и полнота:** охватывает ли онтология масштабы соответствующих концепций — от геологических формирований и методов извлечения до экологических норм и социально-экономических воздействий? Обеспечивает ли достаточную детализацию для конкретных применений? Охватывает ли онтология уникальные проблемы и возможности, представленные в арктической среде, такие как вечная мерзлота, экстремальные погодные условия и общины коренных народов?
- **Структура и организация:** структурирована ли онтология логически и последовательно, с чёткими определениями и отношениями между концепциями? Использует ли онтология чётко определенную иерархию для организации концепций, позволяющих эффективно осуществлять навигацию? Является ли онтология модульной, что позволяет добавлять или удалять конкретные модули в соответствии с различными приложениями?
- **Точность и обоснованность:** основаны ли определения и отношения в онтологии на научных знаниях и отраслевых стандартах? Точно ли онтология отражает реальные концепции и отношения в логистическом и цифровом секторах Арктики?
- **Удобство использования и применимость:** доступна ли онтология и понятна ли она как техническим, так и нетехническим пользователям? Соответствует ли онтология конкретным требованиям различных приложений, таких как разведка и планирование производства, оценка воздействия на окружающую среду или разработка политики?
- **Этические и социальные соображения:** уважает ли онтология права и интересы коренных народов? Включает ли онтология концепции и отношения, имеющие отношение к минимизации воздействия сектора на окружающую среду в Арктике?
- **Обслуживание и эволюция:** предназначена ли онтология для размещения будущих изменений и обновлений в секторе и арктической среде? Участвуют ли в разработке и обслуживании онтологии заинтересованные стороны из академической среды и соответствующие сообщества?

Анализ онтологии по предложенным критериям обеспечит всестороннюю оценку её качества, пригодности и потенциала для логистического и цифрового сектора Арктики.

Результаты

Создание онтологии Арктической зоны России является важной задачей для систематизации знаний и разработки эффективных стратегий в области логистики, экологии и цифровых технологий. В научной литературе представлены различные подходы к построению онтологий в контексте Арктики.

В статье [7] рассматриваются вопросы создания онтологии Арктической зоны РФ, а также разработка и развитие базы знаний в этой области. Кроме того, в статье [13] анализируются экологические аспекты Арктической зоны, включая парниковые газы и таяние льдов, что также требует создания специализированных онтологий для оценки и управления экологическими рисками. В статье [14] обсуждаются различные подходы к классификации регионов Арктической зоны и необходимость разработки соответствующих онтологий для эффективного управления и развития этих регионов.

Однако в указанных работах не предлагается конкретная онтология Арктической зоны. В отличие от них, в настоящем исследовании предлагается разработка онтологии, которая будет служить основой для более глубокого понимания и организации знаний, а также для эффективного внедрения новых технологий и процессов в данной специфической географической и экономической среде.

Логистический и цифровой секторы Арктики представляют собой сложные системы, в которых множество заинтересованных сторон борются за влияние и выгоду. Однако эти системы нельзя рассматривать обособленно от их окружения. Арктическая зона предлагает различные потенциальные выгоды для заинтересованных сторон, но важно признать сложный и чувствительный характер региона.

Определим основные классы онтологии (рис. 2):

- логистическая инфраструктура;
- стейкхолдеры;
- коренные народы и их интересы;
- экономические субъекты;
- правовые и регуляторные аспекты;
- цифровая инфраструктура;
- природно-климатические факторы;
- географические объекты.

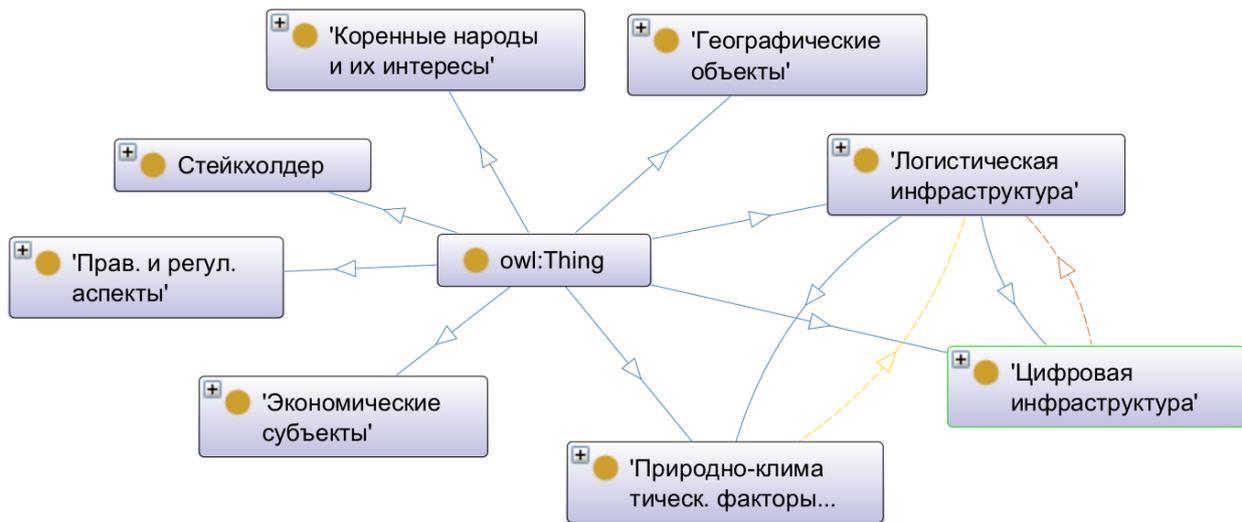


Рис. 2. Верхний уровень онтологии (составлено авторами).

Концептуальная модель онтологии Арктической зоны включает следующие ключевые классы:

- географические объекты: регионы, морские пути, порты, транспортные узлы, климатические зоны;
- логистическая инфраструктура: морские, речные, воздушные, автомобильные и железнодорожные маршруты, склады, терминалы, перевалочные пункты;
- цифровая инфраструктура: центры обработки данных (ЦОД), спутниковая связь, сети 5G, оптоволоконные линии, IoT-устройства;
- экономические субъекты: транспортные компании, промышленные предприятия, государственные органы, международные партнёры;
- природно-климатические факторы: ледовые условия, сезонность судоходства, метеорологические условия, экологические риски;
- правовые и регуляторные аспекты: международные соглашения, государственная политика, нормативные акты, стандарты безопасности;
- коренные народы и их интересы: традиционные хозяйственные практики, экосистемные услуги, этнокультурные аспекты;
- стейкхолдеры: государственные и частные организации, местные сообщества, инвесторы, международные структуры, научные институты.

Предлагаемая онтологическая модель учитывает следующие основные отношения (табл. 1):

Таблица 1

Основные отношения в разрабатываемой онтологии

Название	Описание отношений
Логистическая связь	Маршруты соединяют транспортные узлы и порты
Цифровая интеграция	Цифровая инфраструктура поддерживает логистическую инфраструктуру
Регуляторное воздействие	Нормативные акты регулируют логистическую и цифровую инфраструктуры

Экологическое влияние	Экономические субъекты влияют на экологические риски
Влияние на коренные народы	Логистическая и цифровая инфраструктуры влияют на местные сообщества
Роль стейкхолдеров	Взаимодействие различных заинтересованных сторон в планировании и реализации инфраструктурных проектов
Доступность объектов	Природно-климатические факторы влияют на логистическую инфраструктуру

Таким образом, рис. 3 отображает не только основные классы онтологии, но и связь между ними. На рисунке выделены два класса, о которых мы будем говорить далее более подробно.

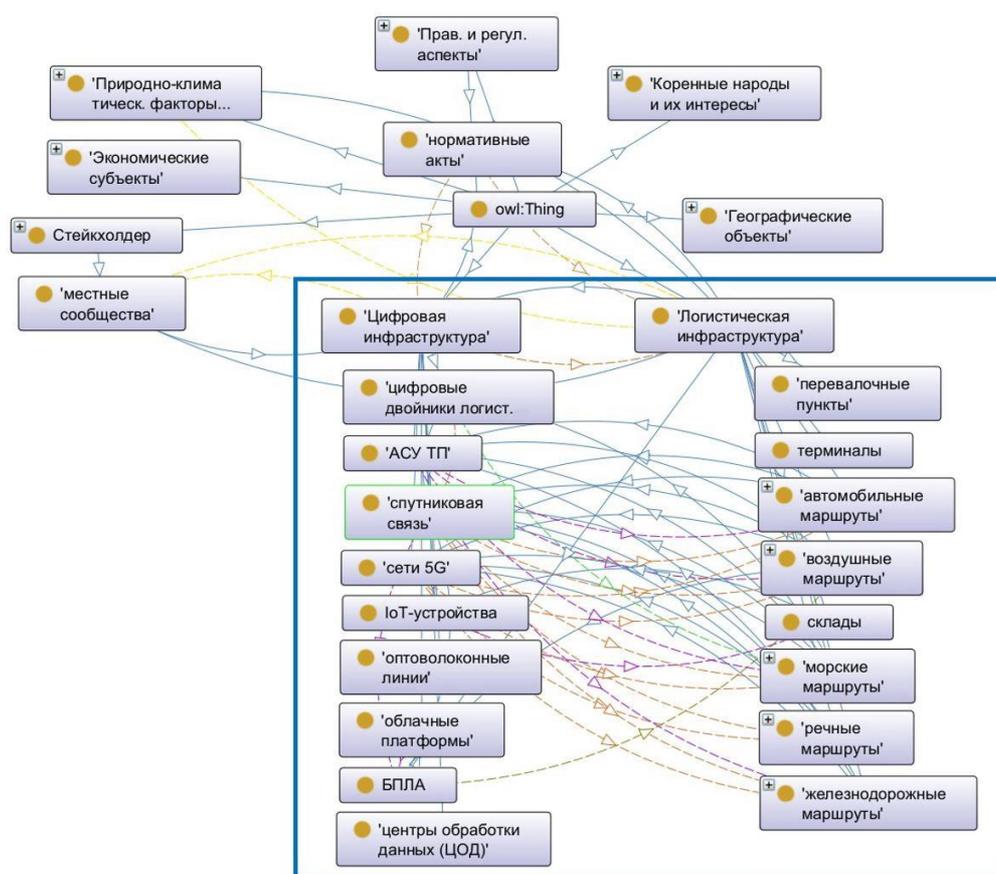


Рис. 3. Отношения в онтологии (составлено авторами).

Рассмотрим классы цифровая инфраструктура и логистическая инфраструктура.

Логистическая инфраструктура Арктической зоны России представляет собой сложную систему транспортных маршрутов, складских комплексов и терминалов, обеспечивающих доставку грузов и пассажиров в условиях сурового климата. Развитие этой инфраструктуры играет ключевую роль в освоении региона, поддержке местных сообществ и экономическом развитии страны [15–18].

Морской транспорт является основным средством передвижения грузов в Арктике [16–17]. Главной транспортной артерией является Северный морской путь (СМП), соединяющий европейскую часть России с Дальним Востоком. Преимуществами являются возможность транспортировки крупных партий грузов, независимость от дорожных условий,

сокращение маршрута между Европой и Азией. Однако сезонность судоходства из-за ледовой обстановки и высокая стоимость ледокольного сопровождения являются ограничениями в данной сфере.

Реки играют важную роль в транспортной системе Арктики, особенно в летний период, когда они становятся доступными для навигации. Основными типами перевозок являются доставка топлива, продовольствия, строительных материалов в труднодоступные регионы. Они ограничены коротким периодом навигации и необходимостью перевалки грузов в портах на другие виды транспорта.

Авиатранспорт обеспечивает оперативное сообщение между регионами, особенно в условиях вечной мерзлоты и отсутствия круглогодичных дорог. Пассажирские перевозки, доставка почты, медицинская эвакуация, снабжение удалённых населённых пунктов — основные направления использования авиатранспорта в условиях Арктического региона. Однако существуют проблемы, заключающиеся в высокой стоимости перевозок, ограниченной пропускной способности аэропортов и зависимости от погодных условий.

Автодороги в Арктике представлены зимниками (временными зимними дорогами) и постоянными трассами, но их протяженность крайне ограничена. Они характеризуются низким качеством дорожного покрытия, сложными климатическими условиями и высокой стоимостью содержания.

Железнодорожный транспорт обеспечивает перевозку грузов и пассажиров между крупными логистическими узлами [19]. Проекты по расширению железнодорожной сети в Арктике сопровождаются высокой стоимостью строительства и эксплуатации и необходимостью адаптации к вечной мерзлоте.

Важной частью логистической инфраструктуры являются места хранения и перегрузки грузов, такие как терминалы и хабы в крупных портах (Мурманск, Сабетта) и на железнодорожных узлах (Воркута, Лабытнанги).

Логистические центры обеспечивают распределение грузов, контейнеризацию, обслуживание судов и транспортных средств. Перевалочные пункты используются для перегрузки грузов между различными видами транспорта, например, с железной дороги на суда или с морского транспорта на авиацию.

Цифровая инфраструктура является основой для эффективного управления транспортными потоками, мониторинга климатических изменений и поддержки населения в удалённых районах. Её развитие критически важно для цифровизации экономики Арктики [20–22].

Центры обработки данных (ЦОД) — это ключевые элементы цифровой инфраструктуры, обеспечивающие хранение, обработку и анализ данных. К их функциям относятся: поддержка облачных сервисов, обработка данных с датчиков мониторинга, обеспечение работы государственных и корпоративных сервисов. ЦОД способствуют повышению устойчивости информационных систем, развитию удалённого

администрирования и снижению задержек передачи данных. Однако высокая стоимость эксплуатации из-за климатических условий и необходимость автономного энергоснабжения — основные проблемы, требующие решения.

Спутниковая связь играет важную роль в обеспечении коммуникации в удалённых районах. «Гонец», «Ямал», проекты Роскосмоса и частных компаний предоставляют интернет-соединение, осуществляют мониторинг окружающей среды и обеспечивают связь с морскими и воздушными судами. Недостатками являются задержки сигнала и высокая стоимость спутниковой передачи данных.

Развитие скоростных сетей связи обеспечивает высокую пропускную способность для цифровых сервисов и Интернета вещей (IoT). Экспериментальные зоны в крупных городах (Мурманск, Норильск) поддерживают автономный транспорт, мониторинг инфраструктуры и удалённое управление промышленными объектами.

IoT позволяет автоматизировать мониторинг состояния объектов инфраструктуры, включая датчики мониторинга состояния ледовой обстановки, системы контроля за состоянием трубопроводов и транспортных путей, устройства отслеживания движения судов, самолётов и автотранспорта, а также умные метеостанции для прогнозирования погодных условий.

Каждый из представленных классов обладает рядом атрибутов:

- для логистической инфраструктуры: длина, сезонность, пропускная способность.
- для цифровой инфраструктуры: уровень надёжности, зона покрытия, уровень киберзащиты.

Логистическая и цифровая инфраструктуры Арктической зоны РФ тесно взаимосвязаны, поскольку цифровые технологии обеспечивают оптимизацию транспортных потоков, мониторинг состояния маршрутов и управление объектами логистики в условиях экстремального климата. Основные типы взаимосвязей между этими инфраструктурами следующие:

- *поддерживает* — цифровая инфраструктура обеспечивает работу логистических систем;
- *реализует* — цифровые технологии позволяют внедрять автоматизированные логистические процессы;
- *может дублировать* — альтернативные цифровые решения (например, беспилотные летательные аппараты) могут заменять или дополнять традиционные логистические маршруты.

В данном разрезе необходимо ввести новые элементы и связи, такие как:

1. Автоматизированные и роботизированные склады

- ### 1.1. Связь «реализует»: IoT-устройства позволяют автоматизировать складские операции.

- 1.2. Связь «поддерживает»: спутниковая связь и сети 5G обеспечивают бесперебойную работу удалённых логистических центров в Арктике.
2. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для грузоперевозок
- 2.1. Связь «может дублировать»: БПЛА могут заменить традиционные авиационные маршруты, особенно в труднодоступных районах.
- 2.2. Связь «реализует»: системы спутниковой навигации, облачные платформы и искусственный интеллект обеспечивают автономное управление дронами.
3. Интеллектуальные транспортные коридоры
- 3.1. Связь «поддерживает»: цифровые двойники маршрутов позволяют прогнозировать ледовые условия и корректировать маршруты судов.
- 3.2. Связь «реализует»: автоматизированные системы управления транспортными потоками (АСУ ТП) сокращают затраты и время доставки.
- На рис. 4–14 отображены отношения между индивидами онтологии.



Рис. 4. Отношения индивидов цифровой инфраструктуры онтологии: IoT-устройства, облачные платформы (составлено авторами).



Рис. 5. Отношения индивидов цифровой инфраструктуры онтологии: цифровые двойники логистических маршрутов (составлено авторами).

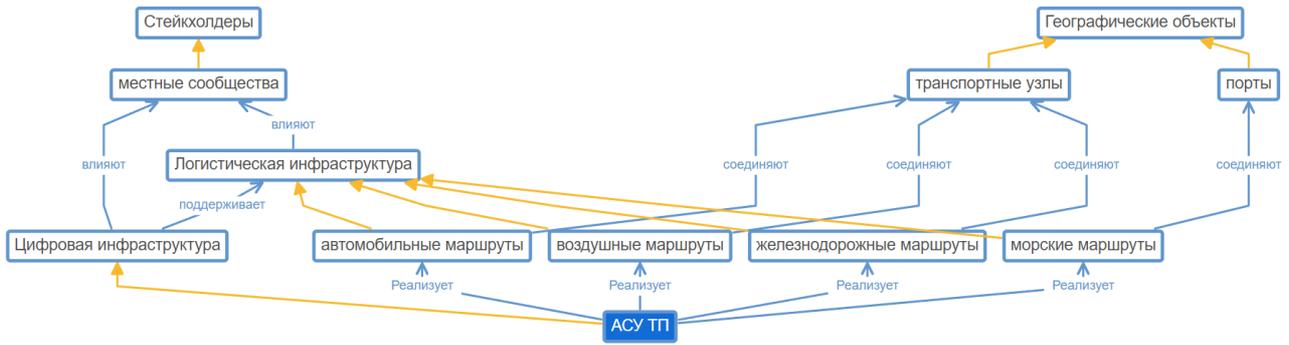


Рис. 6. Отношения индивидов цифровой инфраструктуры онтологии: АСУ ТП (составлено авторами).



Рис. 7. Отношения индивидов цифровой инфраструктуры онтологии: оптоволоконные линии, ЦОД (составлено авторами).

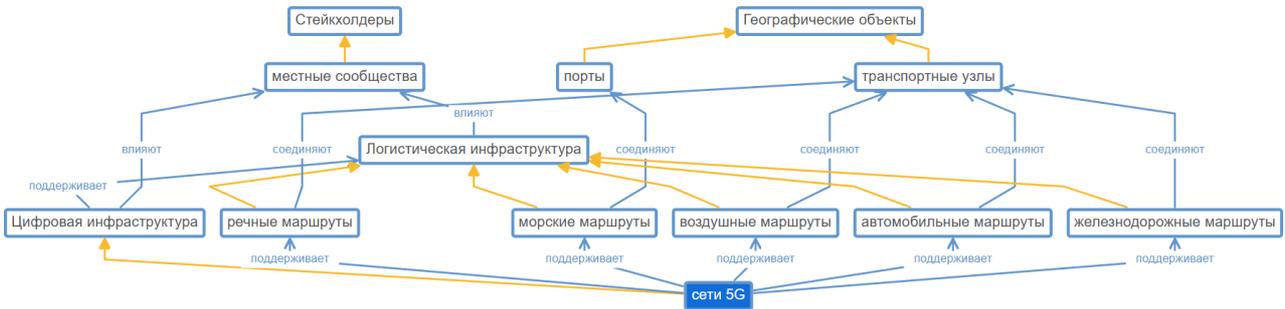


Рис. 8. Отношения индивидов цифровой инфраструктуры онтологии: сети 5G (составлено авторами).



Рис. 9. Отношения индивидов цифровой инфраструктуры онтологии: спутниковая связь (составлено авторами).

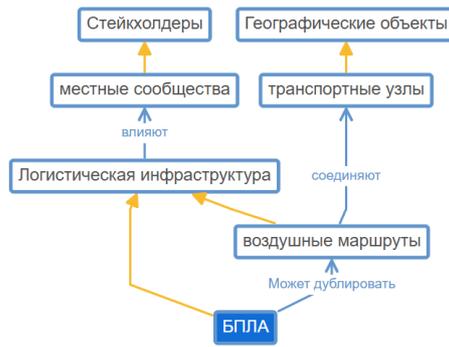


Рис. 10. Отношения индивидов логистической инфраструктуры онтологии: БПЛА (составлено авторами).

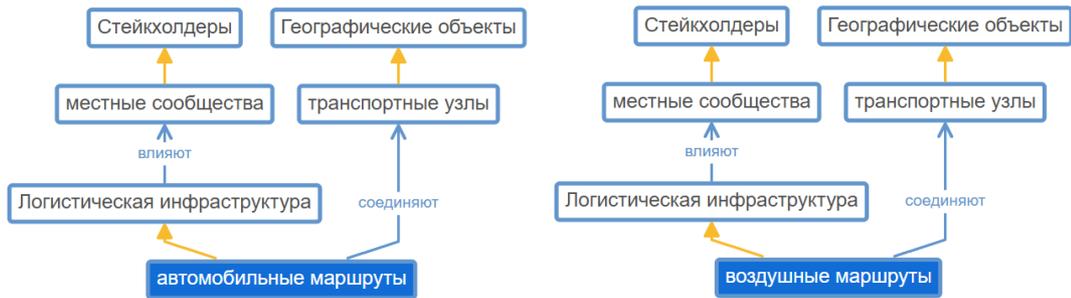


Рис. 11. Отношения индивидов логистической инфраструктуры онтологии: автомобильные маршруты, воздушные маршруты (составлено авторами).

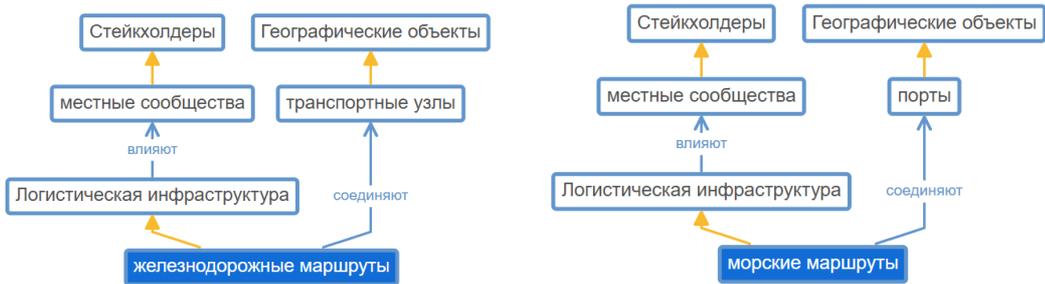


Рис. 12. Отношения индивидов логистической инфраструктуры онтологии: железнодорожные маршруты, морские маршруты (составлено авторами).



Рис. 13. Отношения индивидов логистической инфраструктуры онтологии: перевалочные пункты, речные маршруты (составлено авторами).



Рис. 14. Отношения индивидов логистической инфраструктуры онтологии: склады, терминалы (составлено авторами).

Для эффективного использования онтологии предложены следующие логические правила:

- оптимизация логистических потоков на основе цифровых данных;
- прогнозирование климатических условий и ледовой обстановки для судоходства;
- анализ уровня цифровизации инфраструктуры и её влияния на транспортные процессы;
- автоматизированная оценка рисков в логистических маршрутах на основе исторических данных;
- оценка влияния инфраструктурных проектов на традиционные практики коренных народов;
- разработка механизмов компенсации ущерба коренным народам и вовлечение их в процессы планирования и развития региона;
- управление взаимодействием между стейкхолдерами для координации экономических, экологических и социальных аспектов.

Предлагаемая онтология объединяет масштабы соответствующих концепций и обеспечивает достаточную детализацию для конкретных применений. Она охватывает уникальные проблемы и возможности, представленные в арктической среде, такие как вечная мерзлота, экстремальные погодные условия и общины коренных народов. Онтология структурирована логически и последовательно, с чёткими определениями и отношениями между концепциями, использует строгую иерархию для организации концепций, позволяющих эффективно осуществлять навигацию. Она является модульной, что позволяет добавить или удалять конкретные модули в соответствии с различными приложениями. Определения и отношения в онтологии основаны на научных знаниях и отраслевых стандартах. Модель точно отражает реальные концепции и отношения в логистическом и цифровом секторах Арктики. Онтология легко понятна как техническим, так и нетехническим пользователям и соответствует конкретным требованиям различных приложений. Она уважает права и интересы общин коренных народов, включает в себя концепции и отношения, имеющие отношение к минимизации воздействия сектора на окружающую среду в Арктике. Заинтересованные стороны в секторе, академические круги и

соответствующие сообщества, участвующие в разработке и обслуживании онтологии, могут производить необходимые изменения и обновления.

Заключение

Развитие логистической и цифровой инфраструктуры в Арктической зоне России является стратегически важным направлением. Логистическая система включает в себя морские, речные, воздушные, автомобильные и железнодорожные маршруты, а также склады, терминалы и перевалочные пункты. Цифровая инфраструктура, представленная ЦОД, спутниковой связью, сетями 5G и IoT-устройствами, играет ключевую роль в управлении этими процессами. Её развитие позволит повысить экономическую эффективность, безопасность и устойчивость транспортных и промышленных систем в условиях экстремального климата Арктики.

Разработка онтологии Арктической зоны РФ в контексте логистики и цифровой инфраструктуры позволяет систематизировать знания, улучшить управление транспортными потоками и цифровыми активами региона. Внедрение цифровых технологий и онтологических моделей способствует более эффективному использованию ресурсов, снижению рисков и повышению конкурентоспособности Арктического региона. Важным аспектом является учёт интересов коренных народов, что позволит обеспечить баланс между экономическим развитием и сохранением их традиционного образа жизни. Включение стейкхолдеров в процесс разработки и принятия решений способствует более устойчивому и сбалансированному развитию региона.

Список источников

1. Dmitrieva D., Romasheva N. Sustainable Development of Oil and Gas Potential of the Arctic and Its Shelf Zone: The Role of Innovations // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020; 8 (12): 1003. <https://doi.org/10.3390/jmse8121003>
2. Katysheva E. Analysis of the Interconnected Development Potential of the Oil, Gas and Transport Industries in the Russian Arctic // *Energies*. 2023; 16 (7): 3124. <https://doi.org/10.3390/en16073124>
3. Stroykov G., Vasilev Y.N., Zhukov O.V. Basic Principles (Indicators) for Assessing the Technical and Economic Potential of Developing Arctic Offshore Oil and Gas Fields // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021; 9 (12): 1400. <https://doi.org/10.3390/jmse9121400>
4. Borremans A., Dubgorn A., Levina A., Trifonova N., Gugutishvili D. Arctic Sustainable Development: Digital and Logistics Infrastructure in the Region // *Understanding the Digital Transformation of Socio-Economic-Technological Systems. Lecture Notes in Networks and Systems*. Cham., Springer, 2024; 951: 3–15. https://doi.org/10.1007/978-3-031-56677-6_1
5. Fadeev A., Levina A., Esser M., Kalyazina S. Transport and logistic support of oil-and-gas offshore production in the Arctic zone / *Arctic Maritime Logistics. Contributions to Management Science*. Cham: Springer International Publishing. 2022: 45–62. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92291-7_3
6. Jahn C., Weigell J., Levina A., Iliashenko V. The Northern Sea Route as a Factor of Sustainable Development of the Arctic Zone / *Arctic Maritime Logistics. Arctic Maritime Logistics. Contributions to Management Science*. Cham: Springer International Publishing. 2022: 261–282. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92291-7_14

7. Лёвина А.И., Дубгорн А.С., Фадеев А.М., Калязина С.Е. Цифровая и логистическая инфраструктуры Арктической зоны: современное состояние исследований и пути развития // *Арктика и Север*. 2024; 56: 128–145. <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2024.56.128>
8. Gorbacheva A.R., Levina A.I. Digital support for sustainable development of the Arctic zone // *Technoeconomics*. 2024; 3 (1 (8)): 26–40. <https://doi.org/10.57809/2024.3.1.8.3>
9. Campos J.G., De Almeida V.P., De Armas E.M., Da Silva G.M.H., Corseuil E.T., Gonzalez F.R. INSIDE: an Ontology-based Data Integration System Applied to the Oil and Gas Sector // *Proceedings of the XIX Brazilian Symposium on Information Systems (SBSI '23)*. USA, New York, NY; 2023: 94–101. <https://doi.org/10.1145/3592813.3592893>
10. Jones D., Bench-Capon T., Visser P.R.S. *Methodologies for Ontology Development*; 1998. 14 p.
11. Gomez-Perez A. Some ideas and examples to evaluate ontologies // *Proceedings the 11th Conference on Artificial Intelligence for Applications*; 1995: 299–305. <https://doi.org/10.1109/CAIA.1995.378808>
12. Gómez-Pérez A., Fernández M., de Vicente A.J. *Towards a Method to Conceptualize Domain Ontologies*; 1996. 11 p.
13. Каранатова Л.Г., Кулев А.Ю. Социально-экономическое развитие Арктики: современные вызовы и приоритеты // *Управленческое консультирование*. 2022; 2: 49–62. <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2022-2-49-62>
14. Глухов В.В., Деттер Г.Ф., Туккель И.Л. Типологизация регионов Арктической зоны Российской Федерации и формирование локальных инновационных систем // *Россия в глобальном мире*. 2016; 8 (31): 458–486.
15. Ilin I.V., Trifonova N.V., Khusainov B.D. Digital Transformation in Russian Transport Companies // *Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure & Service. DTMIS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer, Cham. 2023; 684: 945–954. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32719-3_72
16. Abramov V.M., Schmullius Ch., Lukyanov S., Gogoberidze G., Borremans A., Petrieva O. Arctic Port Activity Management Digitalization in Ice Season // *Digital Technologies in Logistics and Infrastructure. ICDT 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies / Ed. by I. Ilin, C. Jahn, A. Tick*. Springer, Cham., 2023; 157: 273–280. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24434-6_25
17. Кузнецова М.Н., Васильева А.С. Транспортная инфраструктура регионов Западной и Центральной Арктики Российской Федерации: анализ, перспективы // *Арктика и Север*. 2024; 56: 49–73. <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2024.56.49>
18. Серова Н.А., Серова В.А. Основные тенденции развития транспортной инфраструктуры российской Арктики // *Арктика и Север*. 2019; 36: 42–56. <https://doi.org/10.17238/issn2221-2698.2019.36.42>
19. Chemeris O.S., Borremans A.D., Tick J. Analysis of Economic Consequences of Digital Solutions in Logistics on the Example of Russian Railways Holding // *Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure & Service. DTMIS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer, Cham., 2023; 684: 965–977. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32719-3_74
20. Козлов А.В. Определение уровня развития цифровой инфраструктуры в регионе: методика и сравнительный анализ на примере территорий российской Арктики // *Региональная экономика и управление: электронный научный журнал*. 2019; 2 (58): 13.
21. Мордвинова Т.Б. Цифровая «лихорадка» применительно к портовой инфраструктуре восточной Арктики // *Океанский менеджмент*. 2021; 1 (10): 52–59.
22. Митько А.В. Развитие инфокоммуникационных технологий в Арктическом бассейне // *Деловой журнал Neftegaz.RU*. 2024; 9 (153): 102–104.

References

1. Dmitrieva D., Romasheva N. Sustainable Development of Oil and Gas Potential of the Arctic and Its Shelf Zone: The Role of Innovations. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020; 8 (12): 1003. <https://doi.org/10.3390/jmse8121003>

2. Katysheva E. Analysis of the Interconnected Development Potential of the Oil, Gas and Transport Industries in the Russian Arctic. *Energies*. 2023; 16 (7): 3124. <https://doi.org/10.3390/en16073124>
3. Stroykov G., Vasilev Y.N., Zhukov O.V. Basic Principles (Indicators) for Assessing the Technical and Economic Potential of Developing Arctic Offshore Oil and Gas Fields. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021; 9 (12): 1400. <https://doi.org/10.3390/jmse9121400>
4. Borremans A., Dubgorn A., Levina A., Trifonova N., Gugutishvili D. Arctic Sustainable Development: Digital and Logistics Infrastructure in the Region. In: *Understanding the Digital Transformation of Socio-Economic-Technological Systems. Lecture Notes in Networks and Systems*. Cham., Springer; 2024; 951: 3–15. https://doi.org/10.1007/978-3-031-56677-6_1
5. Fadeev A., Levina A., Esser M., Kalyazina S. Transport and Logistic Support of Oil-and-Gas Offshore Production in the Arctic Zone. In: *Arctic Maritime Logistics. Contributions to Management Science*. Cham, Springer; 2022: 45–62. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92291-7_3
6. Jahn C., Weigell J., Levina A., Iliashenko V. The Northern Sea Route as a Factor of Sustainable Development of the Arctic Zone. In: *Arctic Maritime Logistics. Arctic Maritime Logistics. Contributions to Management Science*. Cham, Springer; 2022: 261–282. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92291-7_14
7. Levina A.I., Dubgorn A.S., Fadeev A.M., Kalyazina S.E. Digital and Logistical Infrastructures of the Arctic Zone: Current State of Research and Ways of Development. *Arktika i Sever [Arctic and North]*. 2024; 56: 128–145. <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2024.56.128>
8. Gorbacheva A.R., Levina A.I. Digital Support for Sustainable Development of the Arctic Zone. *Technoeconomics*. 2024; 3 (1 (8)): 26–40. <https://doi.org/10.57809/2024.3.1.8.3>
9. Campos J.G., De Almeida V.P., De Armas E.M., Da Silva G.M.H., Corseuil E.T., Gonzalez F.R. INSIDE: An Ontology-Based Data Integration System Applied to the Oil and Gas Sector. In: *Proceedings of the XIX Brazilian Symposium on Information Systems (SBSI '23)*. USA, New York, NY; 2023: 94–101. <https://doi.org/10.1145/3592813.3592893>
10. Jones D., Bench-Capon T., Visser P.R.S. *Methodologies for Ontology Development*. 1998. 14 p.
11. Gomez-Perez A. Some Ideas and Examples to Evaluate Ontologies. In: *Proceedings the 11th Conference on Artificial Intelligence for Applications*. 1995: 299–305. <https://doi.org/10.1109/CAIA.1995.378808>
12. Gómez-Pérez A., Fernández M., de Vicente A.J. *Towards a Method to Conceptualize Domain Ontologies*. 1996. 11 p.
13. Karanatova L.G., Kulev A.Yu. Socio-Economic Development of the Arctic: Modern Challenges and Priorities. *Administrative Consulting*. 2022; 2: 49–62. <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2022-2-49-62>
14. Glukhov V.V., Detter G.F., Tukkel J.L. Typology of Russian Arctic Regions and the Formation of Local Innovation Systems. *Russia in the Global World*. 2016; 8 (31): 458–486.
15. Ilin I.V., Trifonova N.V., Khusainov B.D. Digital Transformation in Russian Transport Companies. In: *Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure & Service. DTMIS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer, Cham. 2023; 684: 945–954. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32719-3_72
16. Abramov V.M., Schmullius Ch., Lukyanov S., Gogoberidze G., Borremans A., Petrieva O. Arctic Port Activity Management Digitalization in Ice Season. In: *Digital Technologies in Logistics and Infrastructure. ICDT 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. Springer, Cham., 2023; 157: 273–280. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24434-6_25
17. Kuznetsova M.N., Vasilyeva A.S. Transport Infrastructure of the Western and Central Arctic Regions of the Russian Federation: Analysis and Prospects. *Arktika i Sever [Arctic and North]*. 2024; 56: 49–73. <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2024.56.49>
18. Serova N.A., Serova V.A. Critical Tendencies of the Transport Infrastructure Development in the Russian Arctic. *Arktika i Sever [Arctic and North]*. 2019; 36: 42–56. <https://doi.org/10.17238/issn2221-2698.2019.36.42>
19. Chemeris O.S., Borremans A.D., Tick J. Analysis of Economic Consequences of Digital Solutions in Logistics on the Example of Russian Railways Holding. In: *Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure & Service. DTMIS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer, Cham., 2023; 684: 965–977. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32719-3_74

20. Kozlov A.V. Determining the Level of Digital Infrastructure Development in the Region: Method and Comparative Analysis on the Example of the Territories of the Russian Arctic. *Regional Economy and Management: Electronic Scientific Journal*. 2019; 2 (58): 13.
21. Mordovinova T.B. Digital “Fever” for the Port Infrastructure of the Eastern. *Okeanskiy Menedzhment*. 2021; 1 (10): 52–59.
22. Mitko A.V. Development of Infocommunication Technologies in the Arctic Basin. *Neftegaz.RU*. 2024; 9 (153): 102–104.

*Статья поступила в редакцию 12.02.2025; одобрена после рецензирования 16.04.2025;
принята к публикации 23.04.2025*

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов