



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра информационных технологий и систем безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему Разработка интерактивной автоматизированной
системы обеспечения долгосрочной гидрометеорологической
информацией морской деятельности в Арктике:
информационная система гидрометеорологического
обеспечения в условиях Арктики

Исполнитель Воробьев Илья Юрьевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Шевчук Олег Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор технических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Бурлов Вячеслав Георгиевич
(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 20__ г.

Санкт-Петербург
2025

Оглавление

1.1 Роль геоданных в современном мире	2
1.2 Особенности Арктического региона	3
1.3 Значение Арктической зоны для Российской Федерации.....	5
1.4 Стратегическое значение Северного Морского Пути	10
1.5 Инфраструктурное развитие и перспективы Северного Морского Пути	14
2.2 Анализ рынка геоинформационных систем и потребностей целевой аудитории.	23
2.3 Экономическое обоснование разработки геоинформационной системы для Северного Морского Пути.....	32
3.1 Архитектура решения	40
3.2 Выбор серверных технологий.....	41
3.3 Серверная часть	43
3.4 Реализация прототипа	45
3.5 Перспективы развития проекта	62

1. Актуальность мониторинга Арктического региона

1.1 Роль геоданных в современном мире

С развитием информационных технологий и цифровизации большинства сфер деятельности, человечество каждый год производит колоссальные объемы данных, которые исчисляются миллиардами гигабайт. Значительная часть этих данных создается пассивно — как побочный продукт деятельности технических систем. Например, это могут быть данные о движении айсбергов, автоматические спутниковые снимки земной поверхности, фиксируемые с заданной периодичностью, или навигационные данные судов. Такие данные представляют собой ценный ресурс для анализа, прогнозирования и поддержки принятия решений в различных областях, включая метеорологию, навигацию, экологический мониторинг и управление логистическими процессами. Однако, в первоначальном виде, эта информация бесполезна даже для специалистов, умеющих работать с подобными данными по следующим причинам:

1. Колоссальный объем данных. Источник данных может записывать данные по множеству показателей каждую секунду, обработка вручную без использования специальных инструментов становится невозможной. Более того, источников данных может быть много, что только усугубляет ситуацию.

2. Отсутствие, или частичная фильтрация данных. Значительная часть данных даже самых современных источников будет являться «шумом» из-за различных факторов: как высокочувствительное оборудование может ложно сработать, так и внешние факторы могут повлиять на объективность данных, делая их некорректными и непригодными для дальнейшего использования (например, физическое воздействие или электромагнитные помехи)

3. Разрозненность данных. При формировании комплексной картины локальной обстановки, необходимо учитывать множество данных из нескольких источников, данные которых могут использовать уникальные форматы хранения (например, спутниковые снимки – растровые данные в инфракрасном спектре, а данные с метеостанции – структурированный CSV файл), и иметь несовместимую частоту обновления). [3]

Формирование комплексной картины локальной обстановки является важным, поскольку оно позволяет точно и точно отслеживать вызванные деятельностью человека изменения в регионе, оперативно и качественно реагировать на возникающие вызовы, и с помощью прогнозирования уверенно выстраивать планы развития на будущее.

1.2 Особенности Арктического региона

Кроме своей актуальности в мировом сообществе, необходимость подробного формирования обстановки в Арктике заключается в следующих особенностях региона:

1. Экстремальные природные условия. Ранее, для человека арктический регион был труднодоступен из-за низкой температуры, толстых льдов и пустынности территории. Арктический регион – это территория, где

воздух в зимний период отличается экстремально низкими показателями, которые могут достигать критических значений, при которых даже хладоустойчивое оборудование может выйти из строя. Наличие морского льда также является характерной особенностью региона. Основные характеристики морского льда - его возраст, толщина, вид, и концентрация. Морской лёд замедляет, а до момента появления первых ледокольных классов полностью останавливал, навигацию. Для успешной навигации вне периода навигации, обязательным требованием для судов является наличие высокого ледокольного класса, в случае если ледокольный класс судна не высок, ему необходима ледокольная проводка – процесс, при котором ледокол пробивает канал во льду для прохождения судов, следующих за ним или параллельно с ледоколом. Так, в 2023 году, ледоколы Росатомфлота выполнили 1211 ледокольных проводок, средняя продолжительность операции составила 8,7 часов. Но даже при ледокольных проводках, состояние ледового покрова, его скорость и направление дрейфа - важные факторы для безопасности и экономической эффективности морской деятельности. С развитием технологий и глобальным потеплением, постоянное пребывание людей в регионе стало доступнее, но при этом сам регион не стал менее опасным. Штормы, ледовая обстановка и низкая температура по-прежнему являются опасными факторами, и требуют оперативного анализа.

2. Растущая экономическая активность. Северный Морской Путь и освоение арктического шельфа в целом являются серьезной нагрузкой для мониторинга, поскольку с возросшей деятельностью человека в регионе возросла и потребность в получении точных сведений о движении судов, климате и погодных условий. При этом, инфраструктура Арктического региона остаётся ограниченной даже при повышенном внимании и стратегической важности – большинство районов удалены от логистических центров, а сеть метеостанций в регионе на данный момент недостаточна для полного мониторинга климата в регионе. В условиях удаленности и суровости

арктических пустынь обеспечить выполнение такой задачи является технически сложным, но не невозможным процессом.

3. Наличие уникальной арктической экосистемы. Совокупность экстремальных условий и повышенного внимания человечества к региону ставит под угрозу сформированную там экосистему, из-за чего возможные ошибки при принятии решений могут стать катастрофическими, в том числе в следствии невозможности их оперативного обнаружения, из-за отсутствия или недостаточности подробного формирования обстановки, и ликвидации, из-за отчужденности, пустынности и опасности для человека на данный момент. Несмотря на то, что климатические изменения, сокращающие площадь льдов и вызывающие таяние мерзлоты в целом позитивно влияют на продолжительность периода навигации и экономические показатели, стоит помнить о хрупкости арктической экосистемы. Скорость восстановления экосистемы после вмешательства человека здесь гораздо меньше, чем, к примеру, в умеренных широтах.

Все эти факторы подчеркивают критическую важность создания решения, которое позволит объединить разнородные данные для формирования актуальной и объективной оценки обстановки, поскольку обработка, как и объединение большого количества данных в полную картину занимает много сил и времени, что затрудняет оперативное принятие решений.

1.3 Значение Арктической зоны для Российской Федерации

Для Российской Федерации, арктический регион имеет ключевое и стратегическое значение. Прежде всего, существует Арктическая зона Российской Федерации. Её определение, согласно федеральному закону №193-ФЗ от 13 июля 2020 года, звучит следующим образом:

«Под Арктической зоной Российской Федерации (далее — Арктическая зона) понимаются сухопутные территории и примыкающие к ним внутренние морские воды Российской Федерации и территориальное море Российской Федерации, участки континентального шельфа Российской Федерации, а также

земли и острова, которые в будущем могут быть открыты, не являются территориями иностранных государств, расположены в Северном Ледовитом океане к северу от побережья Российской Федерации до Северного полюса в пределах между меридианом тридцать два градуса четыре минуты тридцать пять секунд восточной долготы от Гринвича, проходящим по восточной стороне Вайда-губы через триангуляционный знак на мысе Кекурский, и меридианом сто шестьдесят восемь градусов сорок девять минут тридцать секунд западной долготы от Гринвича, проходящим по середине пролива, разделяющего острова Ратманова и Крузенштерна группы островов Диомида в Беринговом проливе, на которых в соответствии с настоящим Федеральным законом и другими федеральными законами устанавливаются меры государственной поддержки предпринимательской деятельности.»

Арктическая зона России обладает впечатляющими запасами природных ресурсов. Если рассматривать Арктический шельф в целом - то на нём сосредоточены до 30% мировых запасов газа, и 15% мировых запасов нефти, а учитывая обширную территорию Арктической зоны России, которая составляет примерно половину от Арктического шельфа, развитие региона даже с целью добычи этих природных запасов уже является перспективным направлением. Помимо нефтегазовых ресурсов, Арктическая зона, это богатый источник биоресурсов: до 60% морской добычи рыбы приходится на арктические моря. Освоение этих биоресурсов необходимо для обеспечения потребностей населения в морепродуктах.

Если рассматривать Арктическую зону в цифрах, это, на момент 2018 года, чуть больше 22% от площади Российской Федерации, или же 3754,6 тысяч квадратных километров. В её составе находятся 9 регионов:

- Полностью: Мурманская область, Ненецкий автономный округ, Чукотский автономный округ, Ямало-ненецкий автономный округ
- Частично: Республика Карелия (6 муниципалитетов), Республика Коми (4 муниципалитета), Республика Саха (Якутия) (13 муниципалитетов),

Красноярский край (4 муниципалитета), Архангельская область (9 муниципалитетов).

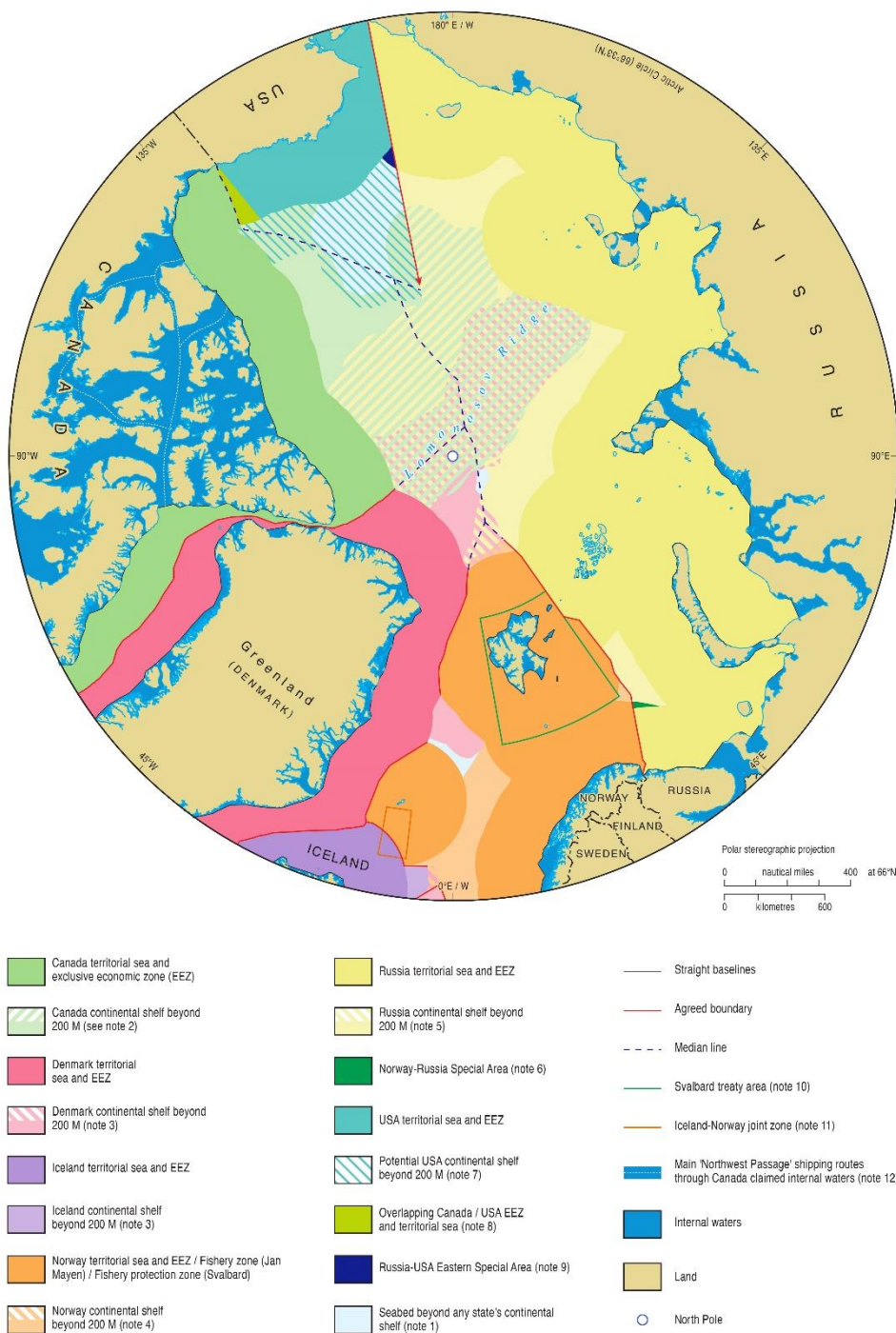


Рисунок 1. Арктическая зона Российской Федерации.

В состав Арктической зоны входит 131 населенный опорный пункт страны, а общее население составляет 2,4 млн человек, что составляет ~1,63% от населения России. Несмотря на низкую плотность населения, Арктическая зона обеспечивает до 20% ВВП России за счёт расположенной в ней добывающей промышленности.

Арктическая политика России заключается в обеспечении стабильности и мира в Арктике, использование природных ресурсов региона, защита и поддержание целостности экосистем, а также использование арктических морей в качестве логистической системы обеспечения транспортного судоходства. Геополитическая роль России в Арктике подкрепляется активными инвестициями в развитие региона, исследовательскую деятельность и логистику, разработку и постройку арктического флота. Поскольку Арктическая зона, как и сами территории Арктического шельфа граничат с зонами интереса иностранных государств и другими странами, в том числе недружественными России, регион обеспечен системами противовоздушной и противоракетной обороной, аэродромами круглогодичного действия и базами Северного флота для защиты национальных интересов и государственных границ.

Maritime jurisdiction and boundaries in the Arctic region



For an explanation of continental shelf submissions and other zones depicted on this map, please see briefing notes at <https://www.durham.ac.uk/research/institutes-and-centres/ibru-borders-research/maps-and-publications/maps/arctic-maps-series/>

Рисунок 2. Юрисдикции, морские границы и области влияния стран арктического региона

Огромное значение Арктическая зона имеет и для науки. Развернута спутниковая группировка «Арктика-М» для мониторинга гидрометеорологических показателей – ледовой обстановки, различных метеоданных и отслеживает климатические изменения в регионе. В регионе расположена единственная в мире сеть дрейфующих станций «Северный полюс» - научно-исследовательские платформы, работающие на естественных ледовых полях в Северном Ледовитом океане. Такие полярные лаборатории обеспечивают прямые измерения характеристик, которые недоступны для дистанционного зондирования, а их уникальность заключается в их автономности, и бесперебойной работе, даже в условиях полярной ночи и температурах до -50°C . Они выполняют целый спектр различных задач, обеспечивающих доступность и прозрачность региона для человека:

- Калибровка спутниковых данных (например сверка толщины льда)
- Моделирование дрейфа льда
- Осуществление замеров концентрации микропластика
- Мониторинг выбросов метана из тающей мерзлоты
- Измерения альбедо

1.4 Стратегическое значение Северного Морского Пути

Через территорию Арктической зоны Российской Федерации проходит Северный Морской Путь – не просто судоходный маршрут, а стратегический инфраструктурный проект, ключевая транспортная артерия России. Помимо того, что он обеспечивает связь между Европой и Азией, на шельфе Северного Морского Пути сосредоточено около 30% мировых запасов природного газа, и 15% нефтяного запаса. В настоящий момент, Северный Морской Путь можно рассматривать как:

- Источник, содержащий мировые запасы полезных ископаемых, в первую очередь нефти и природного газа
- Самый короткий маршрут, который может использоваться для транспортировки грузов в страны Тихоокеанского региона

- Маршрут внутренних грузоперевозок обеспечения северных регионов Российской Федерации, а также обеспечивающий их обороноспособность

В сравнении с похожим маршрутом из Европы в Азию через Суэцкий канал, СМП является более коротким (14 тысяч километров по сравнению и 23 тысячи километров), среднее время его прохождения составляет 20 дней, в то время как через Суэцкий канал около 36 дней.



Рисунок 3. Северный Морской Путь

Критерий	СМП (период навигации: июль-октябрь)	СМП (вне навигации: ноябрь-июнь)	Суэцкий канал (круглый год)
Расстояние	~14 000 км	~14 000 км	~23 000 км
Время в пути	18-22 дня	28-35 дней	34-38 дней
Страны на маршруте	3-5 (Россия, Норвегия, Канада)	3-5 (Россия, Норвегия, Канада)	15+ (включая зоны риска)
Основные риски	Ледовая опасность Экстремальные погодные условия Ограниченная инфраструктура	Экстремальные льды Темнота (полярная ночь)	Политическая нестабильность на Ближнем Востоке
			Пиратство (Аденский залив)
			Очереди в Суэцком канале
Доступность	Для судов Arc4 класса и выше	Только вместе с атомными ледоколами	Для всех судов
Стоимость перевозки	\$0,5-1,2 млн/рейс	\$1,5-2,5 млн/рейс	\$0,3-0,7 млн/рейс
Грузопоток (2023)	32 млн тонн (89%)	4 млн тонн (11%)	1,2 млрд тонн
Скорость	12-14 узлов	3-8 узлов	14-16 узлов
Риски	Высокие	Критически высокие	Высокие

Таблица 1. Сравнительная таблица СМП в период и вне периода навигации, и Суэцкого канала

С каждым годом объем грузовых перевозок по Северному Морскому Пути увеличивается. Это объясняется прежде всего геополитической обстановкой и

так называемым «поворотом» российской политики на восток, изменение приоритетов внешней торговли со стран Европы на страны Азии, где основным торговым партнером России является Китай. Согласно официальным данным, указанным на Инвестиционном портале Арктической зоны России, за 5 лет, с 2017 по 2022 год объем грузовых перевозок увеличился в 3,5 раза. В 2022 году показатель составил 34,1 млн тонн, в 2023 – 36 млн тонн, в 2024 году – 80 млн тонн.

Увеличение грузовых перевозок

За 5 лет, с 2017 до 2022 года, объем грузовых перевозок увеличился в 3,5 раза

График грузопотока до 2035 г, млн т

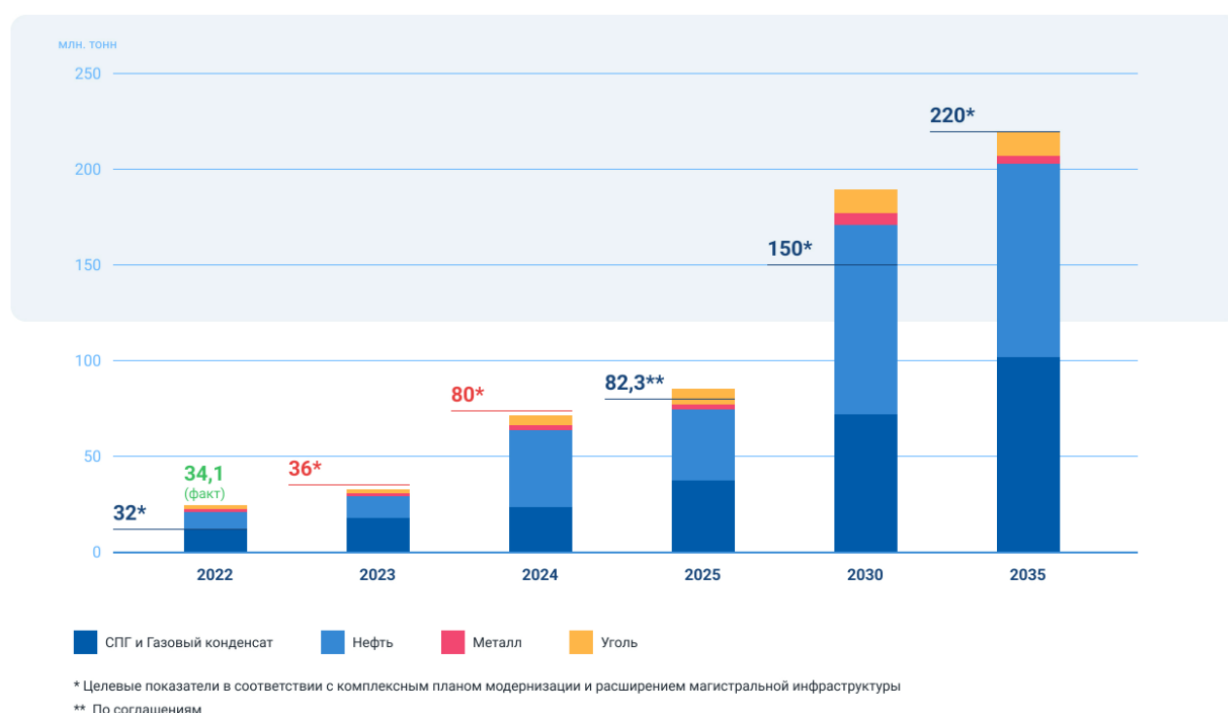


Рисунок 4. График грузопотока Северного Морского Пути с 2022 по 2035 год.

Тем не менее, несмотря на то что данные по грузовым перевозкам представленные здесь взяты с официального ресурса посвященного Северному Морскому Пути – они не являются точными, поскольку реальные показатели гораздо выше. Всё дело в так называемом «теновом» флоте.

Теновой флот – это приобретенные суда, которые почти выработали свой ресурс или были списаны. В обычных обстоятельствах, такие суда уже списывают и отправляют на переработку, или отправляют в док на серьёзный

ремонт, вплоть до полной реконструкции и замены ключевых элементов. Такие суда чаще всего обладают следующими характеристиками:

- Средний возраст от 15 до 25 и более лет, в то время как средний возраст обычного коммерческого флота 10-15 лет.
- Отсутствие/низкокачественная страховка. Из-за строгих требований классификационных обществ, банков и страховщиков – чем старше судно, тем оно сильнее не соответствует современным стандартам, и, следовательно на него сложнее или дороже получить страховку, которая разрешала бы им швартоваться, к примеру в странах Европы. Поскольку речь идёт о локальном грузовом обороте, или о торговле с ближайшими союзниками России, на такие требования могут закрыть глаза, или застраховать судно в компаниях, стандарты которых существенно отличаются от серьезных, увеличивая стоимость страхования, однако беря на себя более существенные риски.
- Суда под «удобными» флагами. «Удобные» флаги – это флаги государств, позволяющие иностранным владельцам судов быстро и дешево зарегистрировать суда, с минимальным контролем со стороны властей. В качестве таких государств обычно выступают Панама, Либерия, Маршалловы Острова или Камбоджа. Суммарно под флагами этих стран находятся ~16000 тысяч судов, или же ~40-45% от мирового торгового флота. Если смотреть по тоннажу, то доминанция относительно доли мировых судов ещё выше – ~50-55% от мирового флота.
- Выключенные транспондеры или искаженная передача сигнала на судах позволяет существенно усложнить их отслеживание и скрыть факт транспортировки санкционного груза.

Теневой флот может быть использован как для простой перевозки, так и для перевалки нефти в море. Это одновременно позволяет скрыть происхождение груза, и избежать возможного отслеживания. В то же время, использование теневого флота, это всегда высокие риски, причем не только для компании судовладельца, но и для поставщиков, покупателей, а также для

экологии в регионе. Это связано с тем, что страховка теневого флота как уже было ранее сказано либо отсутствует, либо не покрывает возможные аварии. Более того – при покупке такие суда не проходят полноценный осмотр из-за необходимости как можно скорее ввести их в эксплуатацию, что так же может привести к поломкам, простоям, или даже авариям. Так же и выключенные транспондеры, которые хоть и затрудняют отслеживания судов для сторонних наблюдателей, но также делают их «невидимыми» для других судов, что может повысить риск столкновений.

Даже при наличии ледового класса у судна, оно не может проходить через Северный Морской Путь без ледокольного сопровождения вне периода судоходства, который длится с июля по конец ноября. Но и укладываться исключительно в это окно, когда спрос, и показатели грузооборота постоянно растут невозможно. Неэффективно это и для портовой инфраструктуры, когда пиковая нагрузка приходится на пять месяцев в году, а остальное время трафик существенно снижен или и вовсе может отсутствовать. Для фирм, занимающихся перевозками по Северному Морскому Пути это не является хорошим показателем – при постоянных экстремальных условиях и ограничению по времени, когда судов на пути становится много и инфраструктура может быть перегружена, вероятность заключения масштабных долгосрочных контрактов снижается из-за высокого риска издержек при срыве сроков, и возможных аварий.

1.5 Инфраструктурное развитие и перспективы Северного Морского Пути

Всё вышеперечисленное, в совокупности со сменой курса на Восток, а также в целом необходимость развития и обеспечения Северного Морского Пути стало для России вызовом, с которым она успешно справляется:

- На данный момент, в составе национальной группировки арктического флота числится 41 ледокол, из которых 32 дизель-генераторные, а 9 являются атомными, что делает Россию единственной страной-обладательницей атомным ледокольным флотом.

- На стадиях планирования и постройки находятся ещё 3 атомных ледокола проекта 22220 типа «Арктика» - «Чукотка», «Ленинград» и «Сталинград, и запланирована постройка 3 атомных ледоколов проекта 10510 типа «Лидер».

- На 2024 год на стадии постройки находятся 3 арктических порта – «Лавна», «Бухта Север» и «Суходол» с суммарной мощностью 68 млн.т/год, и 4 терминала – «Тулома», «Енисей» и «Наглейнын» с суммарной мощностью в 12,5 млн.т/год, и «Терминал Бухта Бечевинская перевалка», с суммарной мощностью СПГ до 20 млн.т/год

Название проекта	Назначение	Объем инвестиций, млрд руб	Мощность, млн тонн/год	Кол-во новых рабочих мест	Дата введения в эксплуатацию
Терминал «Порт Лавна»	Морской торговый порт преимущественно для перегрузки угля	89	18	655	Март 2024
Терминал «Русатом Карго»	Развитие международных транзитных (контейнерных) перевозок по СМП	33,844	11	700	2026 год
Морской комплекс по перевалке СПГ	Перегрузочный комплекс сжиженного природного газа (проект СПГ-2)	2,4	20,6	375	2026 год
Терминал «Тулома»	Перевалка минеральных удобрений	19	4 - 6	249	2025 год
ИТОГО		144,244	53,6-55,6	1979	

Рисунок 5. Стратегические инфраструктурные проекты, способные увеличить поток грузов по Северному Морскому Пути в обозримом будущем

Развитие портовой инфраструктуры СМП

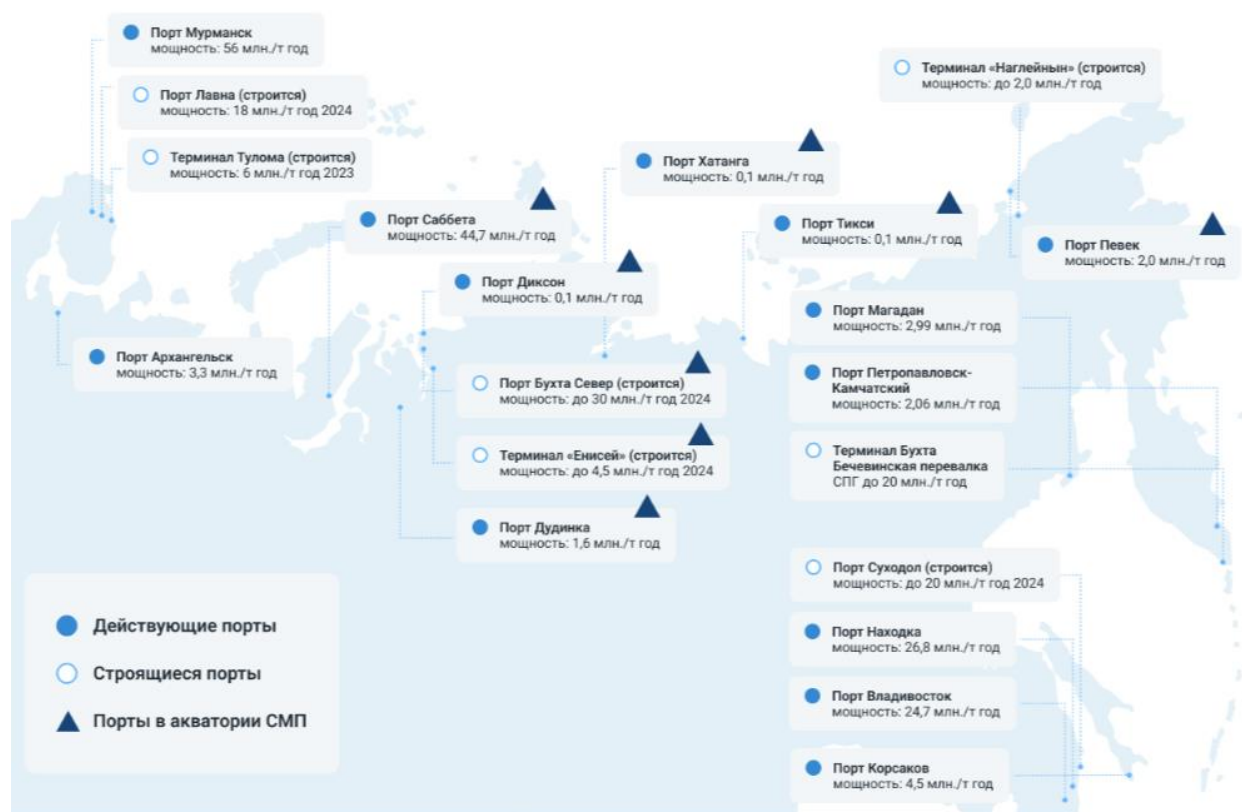


Рисунок 6. Действующие и запланированные к постройке порты в Арктическом регионе.

К 2030 году, запланировано достижение следующих результатов:

- Создание и модернизация 14 портов и терминалов от Мурманска до Владивостока
- Создание и обновление ледокольного флота – всего 153 судна ледокольного и транспортного флота ледового класса
- Создание 4 комплексных центров спасения и строительство 46 судов спасения

- Количество рейсов с ледокольным обеспечением достигнет 3300 в год, и более (на момент 2022 года было совершено 1211 таких ре

Направление	Меры	Результаты
Грузопоток	• Развитие экспортной базы	• 220 млн тонн грузов
	• Каботажные перевозки	• Долгосрочные соглашения с компаниями
	• Транзитные перевозки	
Инфраструктура	• 14 новых портов/терминалов	• Модернизированная логистическая сеть
	• ЖД и речные коридоры	• Пропускная способность 150 млн т/год и больше
Флот	• 5 ледоколов проекта 22220	• 41+ ледокол в составе флота
	• Ледокол "Лидер"	• 3300 ледокольных проводок в год
	• 4 био-топливных ледокола	
Безопасность	• Спутниковая группировка	• Полный мониторинг акватории
	• 46 судов спасения	• Система быстрого реагирования
	• 4 спасательных центра	
Цифровизация	• Единая сервисная платформа	• Автоматизированное управление судопотоком
	• Smart-навигация	• AI-прогнозирование ледовой обстановки

Рисунок 7. План развития Северного морского пути до 2035 года

Указанные ранее вызовы – потенциальный риск «теневого» флота, который ещё немало времени будет находиться в строю, ограниченные навигационные окна и что самое главное – рост грузопотока до 220 млн тонн к 2035 году, а следовательно увеличение количества рейсов и судов, которые будут введены в эксплуатацию формируют четыре ключевых потребности Северного Морского Пути.

Прежде всего, необходимо, насколько это возможно, увеличивать количество источников данных, а также оперативно получать и консолидировать данные из разрозненных источников. С этим в любом случае придётся столкнуться, поскольку на текущий момент информация о ситуации, складывающейся в зоне Северного Морского Пути, уже поступает из более чем двадцати независимых различных систем в разных форматах:

- Спутниковые снимки от орбитальной группировки «Арктика-М» могут быть в различных форматах, например NetCDF для непосредственно метеорологических данных, и GeoTIFF для отображения на картах.

- Метеостанции – показания метеостанций могут быть представлены в различных текстовых форматах, от бинарных потоков до более привычных CSV файлов.
- Ледоколы – могут передавать свои показания в виде отчётов Excel или PDF. Однако на их борту может так же находиться локальные метеостанции, которые так же должны быть интегрированы в общую систему для мониторинга определенного отрезка.
- Порты – могут предоставлять информацию о времени прибытия/отправления судов, их численности, продолжительности стоянки и статусе судов находящихся непосредственно в порту, или в его зоне ответственности. Кроме этого, у каждого порта должно быть собственное оборудование для сбора метеорологических показателей и взаимодействия с ними.

Конечно, с этими данными возможно работать как есть, их можно анализировать, сравнивать текущие показатели с архивными данными или ориентироваться по ним, но на текущий момент это всего лишь данные из одного конкретного источника, не связанные с другими данными, так как территория большая и показания метеостанции в порту маловероятно отразит ситуацию на судне в открытом море.

Но источников данных так много, что на их обработку и применение потребуется много опытных специалистов, и мощных вычислительных ресурсов. Обработка больших данных также занимает большое количество времени, и поэтому к моменту завершения анализа информации, дополнения её другими обработанными данными, к моменту попадания в порт их актуальность уже будет утрачена. Арктика – достаточно опасный регион с экстремальными условиями которые достаточно часто меняются, и из-за этого неактуальные данные могут привести к серьёзным последствиям:

- В случае предоставления неактуальных или неточных данных, судно подвергается серьезным рискам. Ледовая обстановка может меняться очень быстро из-за течений, ветрового дрейфа или внезапных изменений

температуры. А некоторые погодные явления, например полярные циклоны или ледяные туманы могут застать врасплох при определенных обстоятельствах.

- Отсутствие данных могут привести к негативным экономическим последствиям, поскольку на ожидание подходящих условий для отплытия могут понадобиться дни, в то время как ситуация на открытой воде будет спокойной и предсказуемой. Задержки в отправлении судов могут привести к меньшим показателям грузооборота, или и вовсе к срыву контрактов, что негативно скажется на прибыльных и репутационных показателях компании-оператора.

Использование неактуальной информации или не получение актуальной информации в срок может привести к прямым потерям в виде ущерба от аварии для судна, что в среднем составляет от 12 до 50 миллионов долларов, так и к простоям, где цифры хоть и не столь впечатляющие, но тем не менее это всё же негативная финансовая нагрузка для компаний – 1 день простоя судна обходится в среднем в 90 тысяч долларов в день.

Для больших компаний, обладающих большим флотом, более существенными рисками являются репутационные потери за срыв сроков при исполнении обязательств, а также экологические штрафы при разливе топлива или нарушении экосистемы в следствии аварии на судах.

В арктических условиях, обстановка не учитывающая все факторы, и предоставленная не в срок является крупным риском, поскольку может быть опасна как для компаний в плане репутации или финансов, так и привести к смертельным авариям и экологическим загрязнениям.

Текущая ситуация требует создания единой геоинформационной системы, которая будет способна автоматизировано и бесперебойно собирать, и анализировать данные разного типа из как можно большего числа источников, предоставляя целостную картину ситуации с учётом отслеживания судов, ледовой обстановки, и гидрометеорологической ситуации. Такое решение

позволит не только сделать использования Северного Морского пути безопаснее для компаний-перевозчиков, но и повысит экономическую эффективность и перспективность маршрутов.

2.1 Обоснование разработки геоинформационной системы для Северного Морского Пути.

Создание единой геоинформационной системы для Северного Морского Пути позволит повысить безопасность рейсов, и существенно сократить эксплуатационные и логистические издержки. Конечно, подобные системы существуют уже и сейчас, однако они не в полном объеме отвечают поставленным задачам оптимизации маршрутов и отслеживанию информации о гидрометеорологической и ледовой обстановках.



Рисунок 8. Возможные транспортные маршруты Северного Морского Пути

Важным является ещё и тот момент, что Северный Морской Путь – это стратегическая транспортная артерия России. В условиях санкций приобретение аналогичной зарубежной системы прежде всего затруднительна по ряду причин:

- Отсутствие на текущий момент полноценного готового решения, которое будет отвечать следующим задачам:
 - Учитывать специфику ледовой навигации (отслеживать сезонные изменения, дрейфы льдов, торосы)

- Действовать в рамках масштаба Арктического региона, а это более 5,5 млн км²
- Адаптировать множество различных данных, включая спутниковые снимки, показания метеостанции, трекинг кораблей, и унифицировать в одной системе
- Даже при условии существования подобной системы, её в текущий момент невозможно приобрести прежде всего из-за сложностей расчетов с западными контрагентами в связи с санкционными ограничениями.
- Более того, из-за санкционных ограничений действует запрет на поставку программного обеспечения для транспортной инфраструктуры России
- Из-за наличия теневого флота, который так же необходимо отслеживать в геоинформационной системе и обслуживать, при использовании зарубежного программного обеспечения велик риск рассекречивания поставок и наложения санкций на суда теневого флота

Что не менее важно, ранее уже были попытки закупить готовые решения для мониторинга и консолидации данных Северного Морского Пути, однако положительных результатов достигнуто не было:

- По данным отраслевых экспертов, в 2018 году была проведена попытка адаптации канадской системы «E-Navigation». Основной неудачей в рамках использования данной системы стала невозможность распознавания и обработки снимков орбитальной группировки «Арктика-М». Помимо этого, система не смогла справиться с плотностью судопотока на восточном участке Северного Морского Пути
- В 2021 году, проводились тестирования норвежской системы BarentsWatch. Система не смогла распознать около половины судов, из-за несовместимости с российскими АИС (Автоматическая идентификационная система), служащими для идентификации судов, их габаритов и курса в УКВ диапазоне.

2.2 Анализ рынка геоинформационных систем и потребностей целевой аудитории.

Для того, чтобы изучить потребность в данной геоинформационной системе был проведен анализ потенциальной целевой аудитории. Помимо представителей компаний участвующих непосредственно в работе СМП, были так же учтены исследователи, чья деятельность напрямую или косвенно связана с изучением гидрометеорологии:

- Судостроители/верфи/представители портов
- Транспортные компании, занимающиеся перевозками грузов
- Рыболовецкие предприятия ведущие свою деятельность в Арктической зоне
- Консалтинговые компании, занимающиеся аналитикой транспортных потоков и отчетами по выручке других компаний/секторов экономики
- Ответственные по вопросу транспортной безопасности и морского обеспечения арктических регионов (органы власти Арктической зоны)
- Военные
- МЧС
- Вузы и научно-исследовательские институты

В зависимости от сферы деятельности организации/структуры, их интересы будут различаться. Например, представителям рыболовецких предприятий не нужны архивные данные по грузопотоку или по простоям в портах. Их заинтересуют данные о ледовой обстановке, отслеживание судов без теневого флота, и прогноз опасных явлений, что может представлять собой определенный набор прав просмотра, где дополнительную информацию они смогут получить за отдельную плату.

Потенциальная аудитория	Основные потребности в данных
Судостроители/верфи/представители портов	Данные о ледовой обстановке
	Прогноз сезонной навигации
	Статистика простоев в портах
Транспортные компании, занимающиеся перевозками грузов	Оптимальные и безопасные маршруты
	Прогноз ледовой обстановки
	Отслеживание судов (включая теневой флот)
Рыболовецкие предприятия ведущие свою деятельность в Арктической зоне	Данные о ледовой обстановке
	Миграция рыбных косяков
	Прогноз опасных явлений
Консалтинговые компании, занимающиеся аналитикой транспортных потоков и отчетами по выручке других компаний/секторов экономики	Архивные и актуальные данные по грузопотоку
	Аналитика эффективности маршрутов
	Статистика простоев в портах
Региональные министерства транспорта, администрации	Мониторинг экологической безопасности
	Выявление случаев контрабанды/браконьерства
	Отображение инфраструктурных объектов
Военные	Прогноз опасных явлений
	Прогноз ледовой обстановки
	Отслеживание судов (включая теневой флот)
Вузы и научно-исследовательские институты	Мониторинг ледовой обстановки
	Гидрометеорологические показатели
	Данные со спутников

Таблица 2. Потенциальная аудитория геоинформационной системы и их потребности.

Конечно, не все из указанных организаций/органов смогут платить одинаково много, поэтому в зависимости от типов стоит разработать индивидуальный подход для ключевых сфер потребителей – бизнес, госструктуры, научные организации.

Делать акцент только на одном типе клиентов, которые приносят максимальную прибыль будет неэффективным подходом – если есть возможность диверсификации доходов, то это будет благоприятно для самой системы и её обслуживания – возможно, что крупные транспортные компании, приносящие наибольший доход за использование системы будут рассматривать системы конкурентов в целях найти возможности подешевле, что приведёт к непостоянству. И чтобы обрести стабильный денежный поток, необходимо использовать любые возможности в плане целевой аудитории.

Потенциальная аудитория	Потенциальная инвестиционная привлекательность
Судостроители/верфи/представители портов	За доступ к системе от 5 до 15 млн руб./год
Транспортные компании, занимающиеся перевозками грузов	Подписка в среднем 0.5-2млн руб./судно/год. Премиум доступ для крупных операторов
Рыболовецкие предприятия ведущие свою деятельность в Арктической зоне	Тарифы от 200 до 500 тыс. рублей в зависимости от масштаба
Консалтинговые компании, занимающиеся аналитикой транспортных потоков и отчетами по выручке других компаний/секторов экономики	Корпоративная подписка (3-5 млн.руб./год), выплаты за отчёты
Региональные министерства транспорта, администрации	Федеральное финансирование, софинансирование регионов (от 25 до 100 млн.руб/год)
Военные	Бюджетные ассигнования, внебюджетные фонды безопасности (от 5 до 15 млн.руб./год)
Вузы и научно-исследовательские институты	Бесплатный доступ к архивным гидрометеорологическим данным/спутниковым снимкам. Грантовое финансирование исследований

Таблица 3. Потенциальная инвестиционная привлекательность различной аудитории

Причём, денежные средства не всегда будут являться наилучшим ресурсом, который мы можем получить. В случае с научно-исследовательскими институтами и высшими учебными заведениями куда более важным аспектом будет скорее взаимовыгодное сотрудничество.

Формат сотрудничества	Предоставляемые услуги/ресурсы	Выгода для разработчика ГИС	Выгода для учреждений
Обмен данными	Валидация алгоритмов обработки, калибровка спутниковых данных, экспертный анализ гидрометеопараметров	Повышение точности системы на 15-20%, экономия на тестировании.	Бесплатный доступ к актуальным данным
Совместные исследования	Совместная разработка новых прогностических моделей, анализ климатических изменений, обработка big data	Патентование технологий, грантовое финансирование (до 50 млн руб./проект)	Соавторство в инновациях, оборудование для лабораторий
Практика студентов	Подготовка кадров под специфику арктических условий, участие в разработке ГИС, полевые исследования, реальные условия и ситуации для анализа	Приток молодых специалистов, снижение затрат на рекрутинг (30-40%)	Трудоустройство выпускников, модернизация учебных программ
Инфраструктурное партнерство	Использование исследовательских судов, доступ к полярным станциям, метеорологические полигоны	Расширение сети датчиков, верификация данных в экстремальных условиях	Финансирование экспедиций, модернизация оборудования

Таблица 4. Модель взаимодействия с научно-исследовательскими институтами и высшими учебными заведениями

Благодаря сотрудничеству с научно-исследовательскими институтами в обмен на предоставление разноплановых данных на бесплатной основе, можно приобрести ценные знания опытных специалистов, существенно сократить затраты на тестирование, и повысить точность системы.

Кроме того, самим научно-исследовательским институтам будет выгодно сотрудничество ещё и потому, что комплексность данных разрабатываемой геоинформационной системы позволит расширить взгляд на ранее проводимые исследования не тратя время, силы и средства на обработку данных из других источников. Повышение количества открытий, статьи, новые технологии однозначно повысят престиж научно-исследовательских институтов России

При сотрудничестве с высшими учебными заведениями, открывается возможность рекрутинга молодых специалистов. Если рассматривать для сотрудничества профильные вузы, связанные с гидрометеорологическими, экологическими, аналитическими или корабельными специальностями, то в формате предоставления возможностей для проведения практик можно отбирать перспективных молодых людей и приглашать их на работу в дальнейшем. Также можно рассматривать различные мероприятия по типу олимпиад по обработке данных или подготовке конкретных решений, где какие-то задачи могут отдаваться на «аутсорс» студентам, а 10-15 самых перспективных, ответственных и целеустремленных по результатам отбора ставить на стипендиальное обеспечение. Если наладить более углубленное сотрудничество с высшими учебными заведениями, есть возможность совместной разработки образовательных программ на целевой основе, где оплату за обучение берёт на себя организация разработчик геоинформационных систем, а будущие выпускники для покрытия расходов должны будут отработать несколько лет после своего выпуска в компании. Это положительно повлияет и на статистику вузов в плане трудоустройства, и позволит студентам с невысокими доходами проявить себя.

Даже при отсутствии настолько углубленного сотрудничества, помимо места для проведения практик высшее учебное заведение получает бесплатный тарифный план позволяющий проводить анализ или обрабатывать архивные данные в качестве тренажера или для развития студенческой научной деятельности.

Помимо кадрового резерва, предоставлять бесплатное программное обеспечение для будущих исследователей полезно и для её распространения в дальнейшем. Если сделать пользовательский опыт комфортным, работу в ней приятной, студенты, а затем и будущие сотрудники различных организаций привычные к работе с программой сами будут предлагать внедрять её на

предприятия, где будут работать, что может привлечь новых корпоративных клиентов, так что помимо прямого распространения получается ещё и косвенное.

После того как мы выявили основную целевую аудиторию, следующим шагом должен стать анализ конкурентов на предмет существующего решения, которое могло бы сравниться с готовящейся геоинформационной системой. Для анализа были выбраны следующие конкуренты:

1. USGS Earth Explorer (United States Geological Survey) (Геологическая служба США) – официальная правительственная организация США, является классическим примером источника спутниковых данных. Предоставляет архивные спутниковые снимки за большой период, и используется научными и государственными организациями по всему миру уже долгое время.
2. Windy.com – один из самых популярных сервисов, предоставляющий гидрометеорологическую информацию. В сервисе присутствует широкий спектр визуализированных интерактивных гидрометеорологических данных, и для пользователя он может стать удобным и наглядным источником информации. Сотрудничает с Европейским центром среднесрочных прогнозов. [2]
3. Google Earth – является самым известным сервисом визуализации спутниковых снимков. Может использоваться для предварительного анализа маршрутов, содержит архивные снимки за продолжительный период, и позволяет отображать 3D-модели рельефа.
4. Marine Traffic – является лидером в отслеживании судов с помощью автоматической идентификационной системы. С его помощью можно не только отследить информацию о движении судна, но и информацию о нём, его характеристики, а также сервис предоставляет данные о грузопотоках и активности в портах.

5. Яндекс Карта погоды – самый популярный погодный сервис в России. Все данные локализованы по России, и представляют краткосрочные и среднесрочные прогнозы погоды в реальном времени. [1]

Вышеперечисленные конкуренты были выбраны по ряду причин:

- Прежде всего, данные сервисы являются лидерами в своих сферах, и с их популярностью, технологиями и подходами необходимо ознакомиться для формирования собственного видения ситуации.
- Они предоставляют информацию о движении судов, погоде, спутниковые снимки. Кроме этого, в этих сервисах так же производится прогнозирование и анализ данных, что говорит нам о том, что ключевые направления соответствуют с необходимой Северному Морскому Пути геоинформационной системой.

Кроме этих сервисов, были рассмотрены и другие, например «Яндекс Карты», Nasa Worldview, VesselFinder, и другие. Однако, они либо аналогичны представленным к анализу сервисам, либо являются узкоспециализированными и не могут рассматриваться в качестве серьёзного конкурента.

Функционал	USGS Earth Explorer	Windy.com	Google Earth	Marine Traffic	Яндекс Карта погоды
Визуализация погоды	Нет	Да	Нет	Нет	Да
Ледовая обстановка	Частично	Да	Нет	Нет	Нет
Модель рельефа	Да	Нет	Да	Нет	Нет
Отслеживание судов	Нет	Нет	Нет	Да	Нет
Доступ к архивным данным	Да	Ограничен	Да	Частично	Нет
Прогнозирование	Нет	Да	Нет	Нет	Да
Доступ к спутниковым снимкам	Да	Нет	Да	Нет	Нет
Мониторинг в реальном времени	Нет	Частично	Нет	Да	Частично

Таблица 5. Анализ конкурентов по функциональности.

Как можно понять из сравнительной таблицы – любая из проанализированных ранее систем не может в полном объеме обеспечить Северный Морской Путь, поскольку ни одна из рассматриваемых систем не

предоставляет комплексный мониторинг в реальном времени, что подразумевает под собой одновременное отслеживание гидрометеорологических показателей, судов, и ледовой обстановки.

Более того, одним из важнейших требований к системе – возможность отслеживания судов теневого флота. Далеко не всем, кто имеет доступ к системе, будет представлена такая возможность. В этом случае, важно понимать, что мы не можем доверить разработку такой системы даже дружественным странам, так как речь идёт о стратегическом значении Северного Морского Пути, только отечественное решение будет единственным верным вариантом.

Полный анализ требований к геоинформационной системе для Северного Морского Пути, негативный опыт внедрения зарубежных систем, а также потребность развития и обеспечения транспортной инфраструктуры Арктического региона говорит о необходимости создания отечественной системы мониторинга Северного Морского Пути, основными требованиями к которой становятся:

- Отечественная разработка геоинформационной системы мониторинга
- Адаптация данных (спутниковые снимки, трекинг судов, показатели метеорологических станций и метеобуев) разного формата из множества источников
- Обеспечение бесперебойного мониторинга гидрометеорологических показателей и ледовой обстановки
- Прогнозирование потенциальных опасных явлений в регионе в реальном времени
- Коррекция движения судов с учётом погодных условий и ситуации на воде
- Независимость от иностранных сервисов
- Совместимость с уже существующей и планируемой инфраструктурой

2.3 Экономическое обоснование разработки геоинформационной системы для Северного Морского Пути.

Проект геоинформационной системы Северного Морского Пути является экономически эффективным решением поскольку данный сервис позволяет оптимизировать и трансформировать большинство логистических процессов Северного Морского Пути, найдя отражение в выгодах для всех заинтересованных участников: представителей бизнеса, науки, экологии и государства в целом.

Ключевое преимущество системы - влияние на экономику арктических перевозок. На данный момент деятельность в Арктике сопровождается высокими издержками из-за неопределенности в погодных условиях и ледовой обстановки. Из-за этого путь приходится проходить медленнее, использовать длинные, но проверенные маршруты в обход льдов, или места, где судно с соответствующим ледовым классом способно будет пройти. В противном случае, необходимо ожидать ледокольной проводки какое-то время, что помимо задержек по времени из-за простоя является так же затратами финансовыми, из-за того, что проводить суда бесплатно никто не собирается. Конечно, со временем при увеличении численности ледокольного флота стоимость ледовой проводки будет постепенно снижаться, но даже так, её стоимость будет по-прежнему составлять значительный процент от расходов на арктические перевозки в целом.

Тарифы на ледокольную проводку устанавливаются государством через оператора российского ледокольного флота ФГУП «Атомфлот». Стоимость ледокольной проводки зависят от множества факторов – типа сопровождаемого судна, его ледового класса, сложности маршрута, времени года и валовой вместимости. Важно так же покрыть расходы на само движение ледокола – его топливо и обслуживание в зависимости от продолжительности проводки. В случае если ледокольная проводка проходит в условиях опасных явлений, или во время зимней навигации – это риски для ледокола и оператора, поэтому

стоимость становится ещё выше. Действующие тарифы на ледовую проводку транспортных судов в рамках акватории Северного Морского Пути можно найти на сайте оператора ледового флота:

Ледовый класс судна	тариф в рублях за единицу валовой вместимости судна						
	проводка в пределах 1 зоны	проводка в пределах 2 зон	проводка в пределах 3 зон	проводка в пределах 4 зон	проводка в пределах 5 зон	проводка в пределах 6 зон	проводка в пределах 7 зон
Нет	893,68	1072,42	1251,16	1429,90	1608,63	1787,37	1787,37
Ice 1	625,58	750,70	875,81	1000,93	1126,04	1251,16	1251,16
Ice 2	580,90	697,07	813,25	929,43	1045,61	1161,79	1161,79
Ice 3	536,21	643,45	750,70	857,94	965,18	1072,42	1072,42
Arc 4	446,84	536,21	625,58	714,95	804,32	893,68	893,68
Arc 5	442,37	530,85	619,32	707,80	796,27	884,75	884,75
Arc 6 - Arc 9	437,91	525,49	613,07	700,65	788,23	875,81	875,81

Рисунок 9. Тарифы для летне-осеннего периода навигации

Ледовый класс судна	тариф в рублях за единицу валовой вместимости судна						
	проводка в пределах 1 зоны	проводка в пределах 2 зон	проводка в пределах 3 зон	проводка в пределах 4 зон	проводка в пределах 5 зон	проводка в пределах 6 зон	проводка в пределах 7 зон
Arc 4	1117,11	1340,53	1563,95	1787,37	2010,79	2234,21	2234,21
Arc 5	1105,94	1327,12	1548,31	1769,50	1990,68	2211,87	2211,87
Arc 6 - Arc 9	1094,76	1313,72	1532,67	1751,62	1970,58	2189,53	2189,53
Icebreaker 6 - Icebreaker 8	1083,59	1300,31	1517,03	1733,75	1950,47	2167,19	2167,19

Рисунок 10. Тарифы для зимне-весеннего периода навигации

В качестве примера рассмотрим танкер для перевозки сжиженного природного газа класса Yamalmax – Christophe de Margerie. Судно соответствует ледовому классу Arc7 (способно самостоятельно передвигаться в сплоченных однолетних арктических льдах при толщине до 1.4м в весеннюю навигацию, и до 1.7м в осенний период навигации. Габариты судна: длина – 299м, ширина – 50.13м, высота по борту – 26.5м, осадка – 13м. Валовая вместимость – 128806 брт, вместимость 172 600 м³. Стоимость постройки танкера на момент 2013 года оценивалась в 320 млн долларов. На данный момент судно выполняет рейсы под флагом Кипра, и находится в собственности компании Совкомфлот.



Рисунок 11. Танкер Кристоф де Маржери в сопровождении ледокола «50 Лет Победы» проекта 10521.

Для того, чтобы рассчитать стоимость ледокольной проводки для судна Кристоф де Маржери воспользуемся калькулятором стоимости ледокольной проводки в акватории СМП. Данный калькулятор находится на официальном ресурсе Информационно Аналитико-Статистического Центра Росморречфлота (ИАСЦ) и позволяет рассчитать стоимость проводки для судна основываясь на его характеристиках – для расчета используется ледовый класс судна и его валовая вместимость. Так же учитывается период навигации, и количество зон, в которых навигация будет проводиться.

Период навигации	Летний	Зимний
Количество зон		
1	16 921 244,22 Р	42 203 754,58 Р
2	20 306 265,90 Р	50 765 020,72 Р
3	23 689 999,52 Р	59 224 998,80 Р
4	27 073 733,14 Р	67 686 264,94 Р
5	30 458 754,82 Р	76 146 243,02 Р

6	33 842 488,44 Р	84 607 509,16 Р
7	33 842 488,44 Р	84 607 509,16 Р

Таблица 6. Стоимость ледокольной проводки для судна Кристоф де Маржери

Для ледокольной проводки подобного судна цена является обоснованной и сформирована из таких факторов как тип сопровождающего ледокола, его затраты, потенциальное время в пути. Однако, данная стоимость не является конечной, поскольку необходимо также учитывать расходы на само обслуживание ледокола, его трансфер к началу проводки, а также время в пути при сопровождении и условия работы ледокола.

Для ФГУП «Атомфлот», чьей собственностью является данный калькулятор, подобные расценки на ледокольную проводку так же являются допустимыми, поскольку именно эта стоимость отражается после расчётов. Но, за счет использования комплексной системы мониторинга Арктической зоны, цену за ледокольную проводку возможно снизить за счёт снижения стоимости расходов, что впоследствии сделает стоимость проводки более привлекательной для потенциальных клиентов. Геоинформационная система позволит получать информацию о погодных условиях и опасных явлениях в реальном времени, в том числе видеть краткосрочное и среднесрочное прогнозирование ситуации, а также общую картину ледовой обстановки, и прогнозирование движения отдельных айсбергов.

Геоинформационная система позволит получить точные данные о ледовой обстановке на маршруте, и оптимизировать его следующим образом: выбирать кратчайший путь с наименьшей толщиной льда, в обход участков с айсбергами и торосами, что позволит сократить общее время проводки на 15-25%, а также соразмерно снизить расходы на топливо. В следствии сокращения общего времени проводки, оператор ледокольного флота сможет точнее вести график проводок, и эффективнее использовать ледокольный флот. Для коммерческих судов это означает минимизацию времени ожидания проводки, что позволит так же сократить издержки на простое судна.

Тот же «Атомфлот» для обеспечения ледокольной проводки использует множество различных информационных ресурсов:

Данные	Источник данных
Ледовая обстановка	- Спутники (Sentinel-1, RADARSAT, "Арктика-М")
	- Авиаразведка (Ил-18/20, БПЛА)
	- Дрейфующие станции "Северный полюс"
	- Наземные гидрометеостанции
Толщина льда	- Спутниковая альтиметрия (CryoSat-2)
	- Подлёдные датчики
	- Ледовые карты Росгидромета
Метеоданные	- Метеостанции Росгидромета
	- Спутниковые системы (Meteosat, NOAA)
	- Суда в акватории
Рельеф дна и глубины	- Электронные навигационные карты (ГУНИО МО РФ)
	- Батиметрические съёмки
	- Данные эхолотов судов
Движение льдов	- Радарные спутники (TerraSAR-X)
	- Дрифтеры с GPS-трекерами
	- Исторические базы данных
Положение судов (AIS)	- Береговые AIS-станции
	- Спутниковый AIS (Spire, exactEarth)
	- Данные судовых транспондеров
Технические характеристики судов	- Базы данных морских регистров (PMRC, IHS)
	- Судовые документы
	- Данные операторов флота
Прогнозы погоды	- Гидрометцентр России
	- Модели ECMWF, WRF (адаптированные для Арктики)
	- Локальные метеодатчики
Видеоданные в реальном времени	- Камеры на ледоколах
	- БПЛА наблюдения
	- Камеры на береговых станциях
Исторические ледовые данные	- Архивы ААНИИ (Арктический и антарктический НИИ)
	- Базы данных NASA NSIDC
	- Отчёты капитанов

Рисунок 12. Данные и источники данных, используемые «Атомфлот»

Все эти данные обходятся предприятию в крупную сумму, которая формируется в зависимости от объема закупаемых данных, проведение активных мероприятий, например проведение авиационной разведки или получение спутниковых снимков заданных районов, а так же обработка, аналитика и хранение всех этих данных требуют соответствующих серверов, достаточно ёмких для хранения как сырой так и обработанной информации, достаточно мощных для обработки информации и её аналитики. А также, оплата высококвалифицированных специалистов, кто будет заниматься обработкой и аналитикой этих данных, формируя для компании единую картину.

Категория данных	Стоимость (млн руб./год)
Спутниковые снимки льда	От 300 до 600 в зависимости от количества
Авиационная ледовая разведка	От 200 до 400 в зависимости от условий и продолжительности
Гидрометеорологические данные	От 150 до 300 в зависимости от количества источников
AIS-мониторинг судов	От 80 до 150
Обслуживание IT-инфраструктуры	От 50 до 100
Сервера для хранения	От 100 до 150
Вычислительные машины для обработки	От 150 до 200

Рисунок 13. Затраты на информацию для компании, собственноручно занимающейся мониторингом обстановки в Арктическом регионе.

При анализе текущей ситуации вырисовывается следующая картина: «Атомфлот» тратит более 1 млрд рублей на информацию, её хранение и обработку. Текущие проблемы, с которыми сталкивается «Атомфлот» в таких условиях:

- Предприятие является конечным пользователем всех разрабатываемых данных – не монетизирует собранную информацию и использует её только в своих целях.
- Для взаимодействия с большим объемом разноплановых данных необходимо содержать штат высококвалифицированных и узконаправленных специалистов, которые будут заниматься только определенным видом аналитики или сбора информацией.
- Штат людей так же необходим только для формирования заказов у поставщиков данных и заключения договоров. Поскольку информация дорогостоящая, и в случае ошибок последуют высокие затраты, необходимо осуществлять точечную выборку данных, иметь в наличии резервных поставщиков, которые смогут «прикрыть» основных поставщиков в случае технических проблем, и контролировать уровень цен на данные.
- Хранение и обработка данных требует дорогостоящей инфраструктуры – серверы, большие вычислительные мощности для оперативной обработки данных и помещения, где можно данную инфраструктуру расположить.

При внедрении геоинформационной системы мониторинга в Арктической зоне компанией «Атомфлот», ожидается значительное снижение операционных затрат, связанных с планированием маршрутов, навигационным сопровождением судов и мониторингом ледовой обстановки.

Всей работой по разработке и сопровождению геоинформационной системы мониторинга в Арктической зоне будет заниматься специализированная компания, что позволит автоматизировать процессы сбора, обработки и визуализации информации для компании «Атомфлот», сводя разрозненные источники данных в одну цельную картину. Это также означает минимизация затрат на интеграцию и интерпретацию разрозненных данных для компании «Атомфлот».

В результате внедрения такой системы, «Атомфлот» сможет повысить оперативность и иметь ввиду больше факторов в ситуациях, требующих принятия решения. Это так же позволит снизить риски, связанные с навигацией в сложных условиях Арктики, и повысить координацию с другими участниками грузового потока.

3. Реализация веб-ГИС для обеспечения Северного морского пути

3.1 Архитектура решения

Разработка геоинформационной системы для мониторинга ледовой обстановки и работы с гидрометеорологическими данными требует тщательной проработки архитектуры. В рамках данного исследования была выбрана **клиент-серверная архитектура** с распределением задач между серверной и клиентской частями.

Клиентская часть отвечает за отображение информации, взаимодействие с пользователем, визуализацию картографических данных, а также за отправку параметризованных запросов на сервер. Это обеспечивает интуитивное и удобное взаимодействие пользователя с системой, без необходимости установки дополнительного специализированного программного обеспечения.

Серверная часть системы сконцентрирована на хранении, обработке и агрегации данных. Такой подход позволяет централизовать ресурсоёмкие вычисления и операции с большими объёмами информации, а также минимизировать требования к клиентским устройствам. Кроме того, централизованная обработка способствует поддержанию содержательности данных и облегчает масштабирование системы.

Особенностью обрабатываемых данных является их разнородность: используются как спутниковые изображения, так и данные с метеостанций, обновляемые с высокой частотой (каждые 10 секунд). При этом данные распределены по различным источникам и форматам, что затрудняет их ручную обработку на стороне клиента. Работа с такими объёмами информации без промежуточной агрегации может оказаться невозможной даже на производительных устройствах.

Важным моментом является также объём гидрометеорологических данных. Поскольку они фиксируются в больших временных интервалах и с

высокой частотой, размер исходных данных может достигать десятков гигабайт для одной станции за год. Хранение и обработка таких массивов информации на клиентских устройствах нецелесообразны, тогда как использование серверной инфраструктуры позволяет динамически формировать выборки по заданным пользователем параметрам (например, период времени или координаты точки) и возвращать уже подготовленные данные.

3.2 Выбор серверных технологий

Современным веб-приложениям для обработки запросов и взаимодействия с базами данных требуются эффективные инструменты. В языке программирования Python, наиболее популярными фреймворками для серверной разработки являются Flask, Django и FastAPI.

Flask является микрофреймворком, и предоставляет только базовые компоненты – маршрутизацию, обработку HTTP-запросов и шаблонизацию. Все дополнительные функции предоставляются посредством расширений, из-за чего структура проекта может быть более гибкой, чем при выборе иных фреймворков. Его так же легко интегрировать с другими библиотеками что позволит выстроить необходимую архитектуру в зависимости от потребностей. Однако, минусом в данном случае является то, что Flask подходит для небольших проектов, что усложнит процесс масштабирования системы.

Django это полноценный фреймворк, содержащий уже готовый набор инструментов, предназначенный для упрощения процессов создания веб-приложений. Основной принцип Django «batteries included», подразумевает под собой то что внутри содержатся шаблоны решений задач, которые часто встречаются, позволяя сократить количество рутинных задач, которые рано или поздно потребуются к исполнению, и сосредоточиться на сути проекта.

FastAPI является полноценным веб-фреймворком для создания API и разработки веб-приложений. Он использует ASGI для асинхронной обработки запросов, что в сравнении с остальными фреймворками позволяет ему выполнять задачи быстрее, и иметь потенциал для масштабирования.

Каждый из представленных фреймворков имеют свои слабые и сильные стороны, ведь они используются в разных ситуациях и заточены под выполнение различных задач и под разный масштаб веб-приложений

Критерий	Flask	Django	FastAPI	Выбор для проекта
Производительность	Средняя	Средняя	Высокая	FastAPI
Гибкость	Высокая	Средняя	Средняя	Flask
Кривая обучения	Пологая	Крутая	Средняя	Flask
Поддержка REST API	Базовая	Полная	Продвинутая	FastAPI
Размер сообщества	Большое	Огромное	Растущее	Django

Таблица 7. Сравнение Flask, Django и FastAPI для использования в проекте геоинформационной системы.

Фреймворк	Запросов/сек	Средняя задержка (мс)
Flask	850	12
Django	620	18
FastAPI	1200	8

Таблица 8. Результаты нагрузочного тестирования при 1000 запросов

Хотя FastAPI показал наилучшую производительность, для задач геоинформационной системы разница в задержке в несколько миллисекунд не является критичной. Более важным фактором оказался уровень требуемой подготовки и скорость внедрения. Flask был выбран за свою простоту, гибкость, минимальные требования к обучению и отличную совместимость с научным стеком Python — такими библиотеками, как Pandas и NumPy, что позволило напрямую обрабатывать табличные и числовые данные без дополнительных преобразований.

Flask-RESTful был применён для организации REST API на сервере, обеспечивая стандартизированное взаимодействие между клиентом и сервером.

3.3 Серверная часть

Серверная часть реализована с использованием следующих технологий и библиотек:

- **Flask** — основной веб-фреймворк, организующий маршрутизацию запросов и ответов.
- **Flask-RESTful** — расширение для создания REST API и унификации обмена данными между клиентом и сервером.
- **PostgreSQL + PostGIS** — база данных с расширением пространственной поддержки. **PostGIS** позволяет хранить, индексировать и выполнять

запросы к пространственным данным, таким как координаты портов, маршруты движения судов, границы ледяных полей.

- **Celery + Redis** — для асинхронного выполнения фоновых задач (например, агрегация больших массивов данных или построение прогнозных моделей льдов без блокировки основного сервера).
- **Nginx** — в качестве балансировщика нагрузки и реверс-прокси, повышающего устойчивость системы и обеспечивающего эффективную маршрутизацию запросов.

Структура серверной части включает в себя несколько модулей:

- **API-сервер** — принимает запросы от клиента, обрабатывает параметры фильтрации (даты, координаты) и передаёт запросы в модули обработки данных.
- **Модуль обработки данных** — агрегация и фильтрация данных по заданным критериям пользователя.
- **Модуль авторизации** — регистрация пользователей, проверка подлинности токенов доступа (реализовано через JWT).
- **Фоновые сервисы** — выполнение ресурсоёмких задач в отдельных процессах через очередь сообщений Redis.

Такая структура позволяет добиться масштабируемости и устойчивости системы даже при высокой нагрузке.

Библиотека	Назначение	Причина выбора
Flask	Веб-фреймворк	Гибкость, совместимость с научным стеком
PostGIS	Обработка геоданных	Поддержка пространственных запросов
Celery	Асинхронные задачи	Фоновая обработка больших данных
Leaflet	Визуализация карт	Лёгкость интеграции, открытая лицензия
Pandas/NumPy	Анализ и агрегация данных	Высокая производительность

Таблица 9. Анализ выбора технологий для создания веб-приложения

3.4 Реализация прототипа

Для разработки прототипа геоинформационной системы мониторинга Арктической зоны применялись современные геоинформационные библиотеки и веб-технологии. Система была реализована в качестве веб-приложения, где обработка и процесс визуализации данных выполняется на стороне клиента, а сервер хранит данные, и предоставляет их.

Основные технологии, задействованные при разработке клиентской части системы:

- Leaflet.js – библиотека позволяющая взаимодействовать с интерактивными картами, обладающая широкой функциональностью для визуализации данных

- Интерфейс пользователя представляет основную карту с элементами управления – изменение масштаба карты, определение геолокации пользователя для того, чтобы оперативно найти на карте себя. Помимо этого, присутствует аналитическая панель для взаимодействия с разными типами данных – на данный момент реализовано построение температурных графиков по указанным координатам за указанный временной промежуток. Так же доступна краткая информация о ключевых портах, и переход к их местоположению.
- В активной разработке находится раздел с ледовой обстановкой. Система настроена на ежедневную актуализацию архивных данных с сайта ААНИИ. Данные за прошлые года на данный момент необходимо загружать вручную.
- Визуализация реализована с использованием слоёв (базовая карта, ледовые карты) для отображения различных типов данных. Настроены интерактивные маркеры портов, и ключевых объектов.

В начале работы программы импортируются несколько библиотек, которые используются для визуализации данных и построения графиков:

```
from flask import Flask, request, jsonify, render_template, send_from_directory

import pandas as pd

import numpy as np

import plotly.express as px

import io

import base64

from datetime import datetime, timedelta

import os
```

- Flask - основной класс для создания веб-приложения
- NumPy (np) — библиотека для работы с многомерными массивами и матрицами, а также для выполнения различных математических операций.
- Pandas (pd) — это одна из самых популярных библиотек для работы с данными в Python. Она позволяет легко манипулировать таблицами данных, такими как DataFrame, выполнять различные операции с данными, например, фильтрацию, агрегацию и группировку.
- Plotly Express (px) — библиотека для визуализации данных. Используется для создания графиков и диаграмм. В проекте применяется для построения графиков изменения температуры.
- Datetime и timedelta — эти два компонента модуля datetime позволяют работать с датами и временем. В проекте они используются для получения информации о датах и времени, чтобы воспроизводить информацию из внешних загружаемых файлов и определять их местоположение во времени.
- Io — позволяет взаимодействовать с потоками данных во временной памяти без использования записи на физический диск.
- Base64 — выполняет кодирование бинарных данных в ASCII-строки и обратно при необходимости, это необходимо для встраивания медиафайлов в HTML и CSS через URL.
- Os — модуль взаимодействующий с операционной системой, в данном случае серверным для того чтобы эффективно взаимодействовать с файловой системой и находить директории где хранятся загружаемые в систему файлы.

Использование данных библиотек позволяет видеть проект как он есть, защищая сервер от перегрузки большим объемом данных за счёт обнаружения точечных директорий хранения файлов, а также минимизируя контакт с диском, что так же положительно влияет на производительность системы и скорость обработки информации.

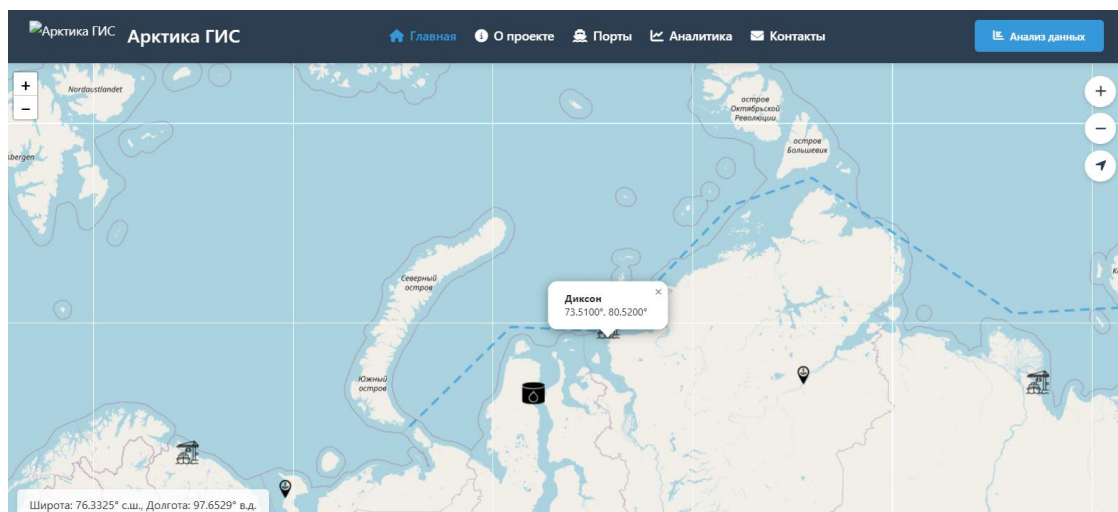


Рисунок 14. Интерфейс системы

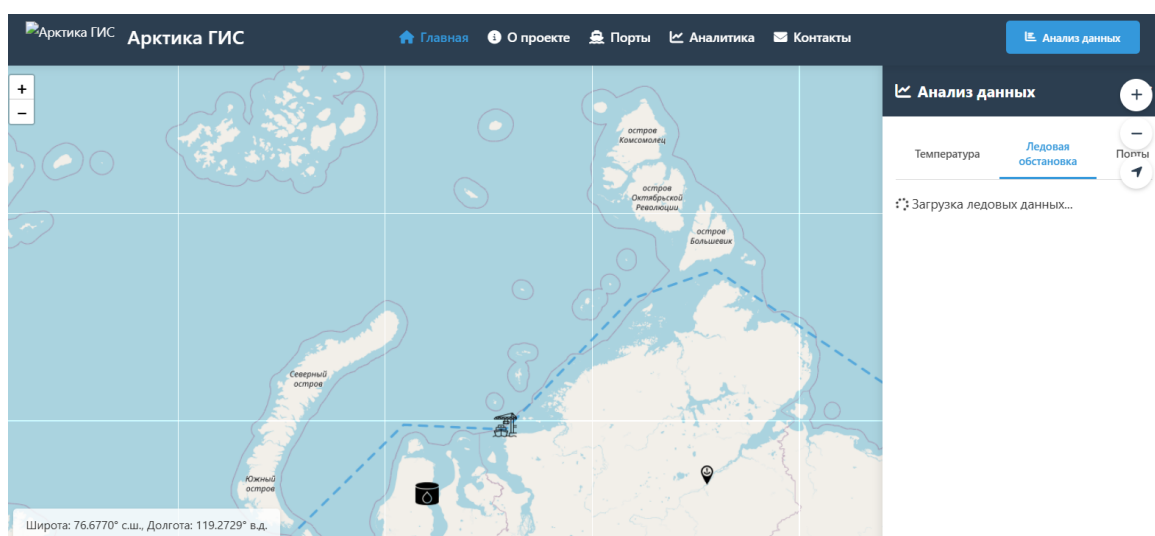


Рисунок 15. Обращение к ресурсу ААНИИ для загрузки ледовых карт

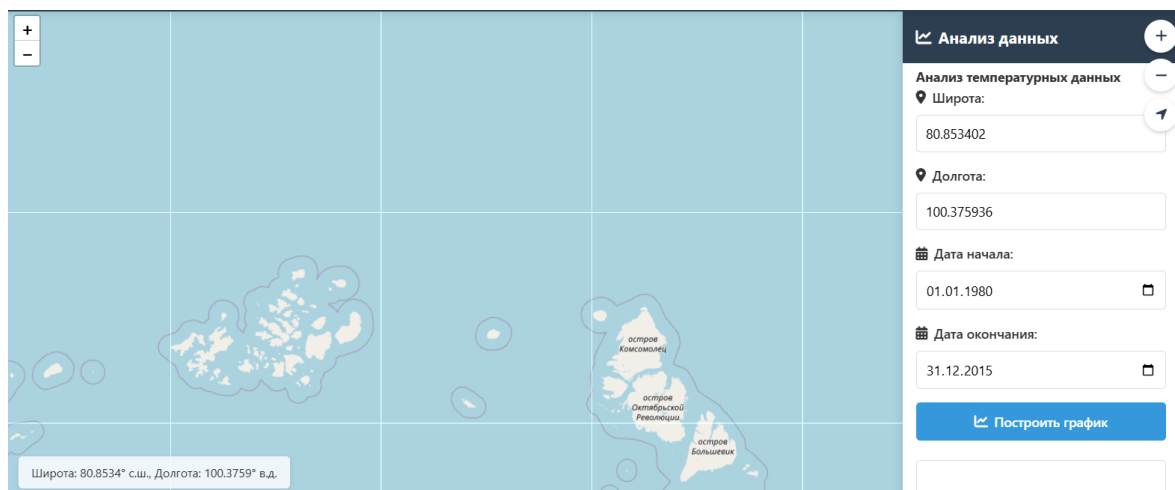


Рисунок 16. Построение графика средней многолетней температуры по выбранной координате за архивные года (настраиваемые параметры)

График средней многолетней температуры с 01-Января по 31-Декабря для точки с широтой 80°с.ш. и долготой 100°

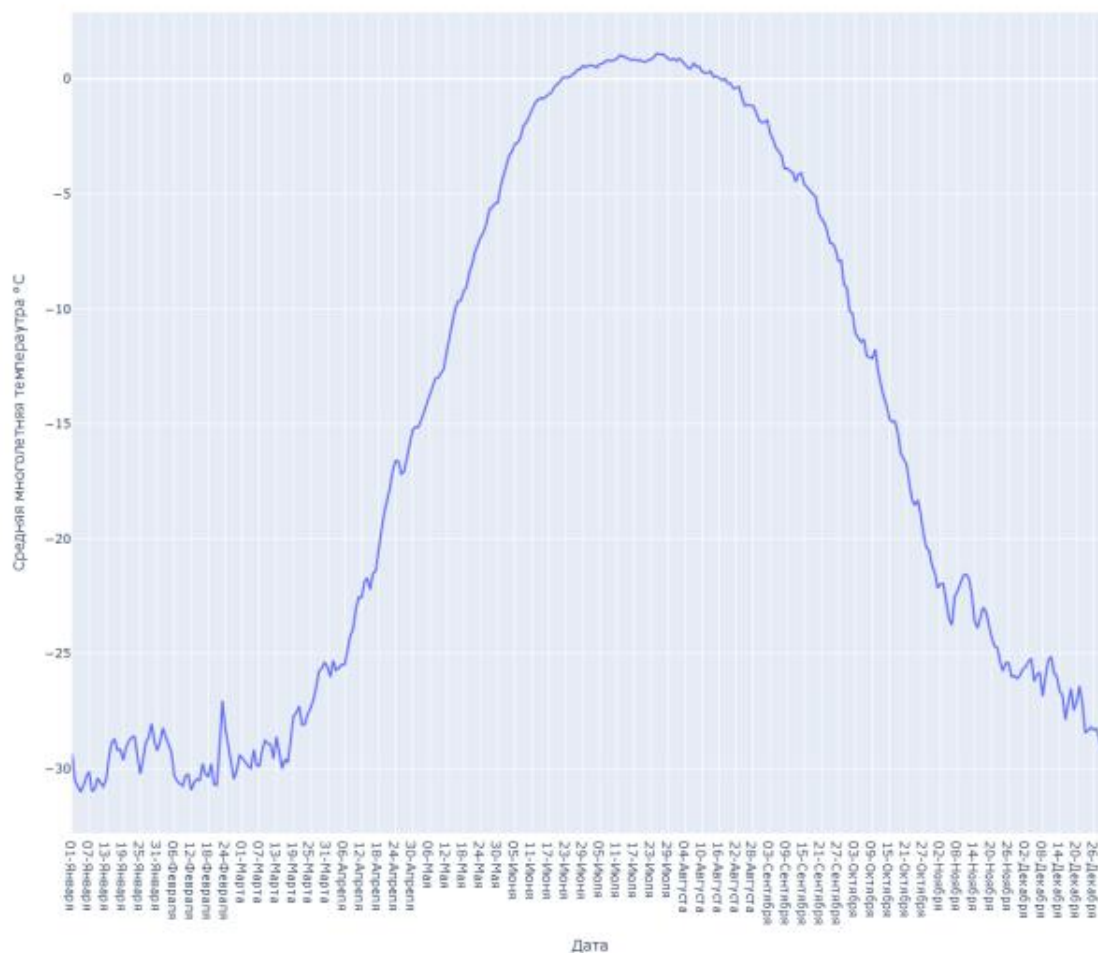


Рисунок 17. Вывод графика средней многолетней температуры для точки при использовании программы.

Серверная часть реализована на языке программирования Python, с использованием микрофреймворка Flask. Он обеспечивает:

- API для работы с данными:

```
@app.route('/api/ice-maps')
```

```
def get_ice_maps():
```

```
    ice_maps = scan_ice_maps_directory()
```

```
    return jsonify(ice_maps)
```

- обработку запросов на построение температурных графиков и статистических файлов:

```
@app.route('/get-temperature', methods=['POST'])
```

```
def get_temperature():
```

```
data = request.json  
return generate_temperature_graph(data)
```

```
@app.route('/static/<path:path>')  
def serve_static(path):  
    return send_from_directory('static', path)
```

Система на текущий момент поддерживает метеорологические данные в формате CSV, их обработкой занимается библиотека pandas:

```
df = pd.read_csv('temperature_data.csv')  
df['date'] = pd.to_datetime(df['date'])
```

Принцип работы представлен в файле main.js, через двойной слэш идут комментарии которые не влияют на функциональность программы и созданы исключительно в качестве комментария-описания действий функции:

```
// Инициализация приложения  
  
document.addEventListener('DOMContentLoaded', function() {  
  
    // Инициализация карты  
  
    initMap();  
  
    // Инициализация панели аналитики  
  
    initAnalyticsPanel();  
  
    // Загрузка данных портов  
  
    loadPortsData();  
  
    // Установка текущей даты по умолчанию  
  
    setDefaultDates();  
  
})  
  
// Установка дат по умолчанию
```

```
function setDefaultDates() {  
  
    const today = new Date();  
  
    const oneMonthAgo = new Date();  
  
    oneMonthAgo.setMonth(today.getMonth() - 1);  
  
    document.getElementById('start-date').valueAsDate = oneMonthAgo;  
  
    document.getElementById('end-date').valueAsDate = today;  
  
}  
  
// Обработчик для кнопки "Анализ данных"  
  
function initAnalyticsPanel() {  
  
    const toggleBtn = document.getElementById('toggle-analytics');  
  
    const closeBtn = document.getElementById('close-panel');  
  
    const panel = document.getElementById('analytics-panel');  
  
    toggleBtn.addEventListener('click', function() {  
  
        panel.classList.toggle('open');  
  
    });  
  
    closeBtn.addEventListener('click', function() {  
  
        panel.classList.remove('open');  
  
    });  
  
    // Инициализация табов  
  
    const tabBtns = document.querySelectorAll('.tab-btn');  
  
    tabBtns.forEach(btn => {  
  
        btn.addEventListener('click', function() {  
  
            // Удаляет активный класс у всех кнопок и контента
```

```
tabBtns.forEach(b => b.classList.remove('active'));

document.querySelectorAll('.tab-content').forEach(c =>
c.classList.remove('active'));

// Добавляет активный класс к текущей кнопке и соответствующему
контенту

this.classList.add('active');

const tabId = this.getAttribute('data-tab');

document.getElementById(tabId).classList.add('active');

});

});

}

// Загрузка данных портов

function loadPortsData() {

    const ports = [

        { name: "Мурманск", coords: [68.97, 33.08], description: "Крупнейший порт
Арктики" },

        { name: "Архангельск", coords: [64.54, 40.54], description: "Исторический
центр северного судоходства" },

        { name: "Петропавловск-Камчатский", coords: [53.01, 158.65], description:
"Главный порт Камчатки" },

        { name: "Несь", coords: [67.57, 44.13], description: "Порт в Ненецком
автономном округе" },

        { name: "Хатанга", coords: [71.98, 102.47], description: "Порт на полуострове
Таймыр" },
```

```
{ name: "Тикси", coords: [71.64, 128.87], description: "Порт в устье реки  
Лена" },
```

```
{ name: "Певек", coords: [69.70, 170.31], description: "Самый северный  
город России" },
```

```
{ name: "Мыс Шмидта", coords: [68.93, -179.50], description: "Порт на  
Чукотке" },
```

```
{ name: "Мыс Провидения", coords: [64.43, -173.23], description: "Порт в  
Беринговом проливе" },
```

```
{ name: "Диксон", coords: [73.51, 80.52], description: "Порт на берегу  
Карского моря" },
```

```
{ name: "Сабетта", coords: [71.25, 72.09], description: "Крупный газовый  
терминал" }
```

```
];
```

```
const portsList = document.querySelector('.ports-list');
```

```
portsList.innerHTML = "";
```

```
ports.forEach(port => {
```

```
    const portElement = document.createElement('div');
```

```
    portElement.className = 'port-item';
```

```
    portElement.innerHTML = `
```

```
        <h5>${port.name}</h5>
```

```
        <p>${port.description}</p>
```

```
        <button class="show-on-map" data-lat="${port.coords[0]}" data-  
lon="${port.coords[1]}">
```

```

        <i class="fas fa-map-marker-alt"></i> Показать на карте

    </button>

    `;

    portsList.appendChild(portElement);

});

// Обработчики для кнопок "Показать на карте"

document.querySelectorAll('.show-on-map').forEach(btn => {

    btn.addEventListener('click', function() {

        const lat = parseFloat(this.getAttribute('data-lat'));

        const lon = parseFloat(this.getAttribute('data-lon'));

        centerMapOnLocation(lat, lon);

        // Заполняет координаты в форме

        document.getElementById('latitude').value = lat.toFixed(6);

        document.getElementById('longitude').value = lon.toFixed(6);

        // Открывает вкладку с температурой

        document.querySelector('.tab-btn[data-tab="temperature"]').click();

    });

});

}

// Центрирует карту на указанных координатах

function centerMapOnLocation(lat, lon) {

    if (window.map) {

```

```
        window.map.setView([lat, lon], 8);

    }

}

// Экспорт функций для использования в других модулях

window.centerMapOnLocation = centerMapOnLocation;

// Инициализация карты

function initMap() {

    // Создает карту с центром в Арктике

    const map = L.map('map', {

        center: [75.0, 100.0],

        zoom: 3,

        minZoom: 2,

        maxZoom: 12,

        worldCopyJump: true

    });

    // Сохраняет ссылку на карту в глобальной области видимости

    window.map = map;

    // Добавляет базовый слой OpenStreetMap

    L.tileLayer('https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', {

        attribution: '&copy; <a

href="https://www.openstreetmap.org/copyright">OpenStreetMap</a> contributors',
```

```
maxZoom: 12
```

```
}).addTo(map);
```

```
// Добавляет слой с границами Арктики (в дальнейшем будет замена на  
специализированные тайлы)
```

```
L.tileLayer('https://maps.heigit.org/openmapsurfer/tiles/roads/webmercator/{z}/{x}/{  
y}.png', {
```

```
    maxZoom: 12,
```

```
    opacity: 0.5
```

```
}).addTo(map);
```

```
// Добавляет маркеры портов
```

```
addPortsMarkers();
```

```
// Обработчик движения карты для обновления координат
```

```
map.on('mousemove', function(e) {
```

```
    updateCoordinatesDisplay(e.latlng.lat, e.latlng.lng);
```

```
});
```

```
// Обработчик клика по карте
```

```
map.on('click', function(e) {
```

```
    if (document.getElementById('analytics-panel').classList.contains('open')) {
```

```
document.getElementById('latitude').value = e.latlng.lat.toFixed(6);  
  
document.getElementById('longitude').value = e.latlng.lng.toFixed(6);  
  
}  
  
});
```

```
// Добавляет кнопки управления масштабом  
  
initMapControls();  
  
}
```

```
// Добавление маркеров портов
```

```
function addPortsMarkers() {  
  
    const ports = [  
  
        { name: "Мурманск", coords: [68.97, 33.08], icon: "port" },  
  
        { name: "Архангельск", coords: [64.54, 40.54], icon: "port" },  
  
        { name: "Петропавловск-Камчатский", coords: [53.01, 158.65], icon: "port" },  
  
        { name: "Несь", coords: [67.57, 44.13], icon: "small-port" },  
  
        { name: "Хатанга", coords: [71.98, 102.47], icon: "small-port" },  
  
        { name: "Тикси", coords: [71.64, 128.87], icon: "port" },  
  
        { name: "Певек", coords: [69.70, 170.31], icon: "port" },  
  
        { name: "Мыс Шмидта", coords: [68.93, -179.50], icon: "small-port" },  
  
        { name: "Мыс Провидения", coords: [64.43, -173.23], icon: "small-port" },  
  
        { name: "Диксон", coords: [73.51, 80.52], icon: "port" },  
  
        { name: "Сабетта", coords: [71.25, 72.09], icon: "gas-terminal" }  
  
    ]  
  
}
```

```
];
```

```
// Создает пользовательские иконки
```

```
const portIcon = L.icon({  
  iconUrl: '/static/images/port-icon.png',  
  iconSize: [32, 32],  
  iconAnchor: [16, 32]  
});
```

```
const smallPortIcon = L.icon({  
  iconUrl: '/static/images/small-port-icon.png',  
  iconSize: [24, 24],  
  iconAnchor: [12, 24]  
});
```

```
const gasTerminalIcon = L.icon({  
  iconUrl: '/static/images/gas-icon.png',  
  iconSize: [32, 32],  
  iconAnchor: [16, 32]  
});
```

```
// Добавляет маркеры на карту
```

```
ports.forEach(port => {
```

```
let icon;

switch(port.icon) {

    case 'port': icon = portIcon; break;

    case 'small-port': icon = smallPortIcon; break;

    case 'gas-terminal': icon = gasTerminalIcon; break;

    default: icon = portIcon;

}
```

```
const marker = L.marker(port.coords, { icon: icon }).addTo(window.map);

marker.bindPopup(`<b>${port.name}</b><br>${port.coords[0].toFixed(4)}°,
${port.coords[1].toFixed(4)}°`);
```

// При клике на маркер заполняем координаты в форме

```
marker.on('click', function() {

    document.getElementById('latitude').value = port.coords[0].toFixed(6);

    document.getElementById('longitude').value = port.coords[1].toFixed(6);
```

// Открываем панель аналитики, если она закрыта

```
document.getElementById('analytics-panel').classList.add('open');
```

// Переключаемся на вкладку температуры

```
document.querySelector('.tab-btn[data-tab="temperature"]').click();

});
```

```
});
```

```
// Добавляет слой с Северным морским путем
```

```
addNorthernSeaRoute();
```

```
}
```

```
// Добавление линии Северного морского пути
```

```
function addNorthernSeaRoute() {
```

```
    const routeCoordinates = [
```

```
        [70.49, 58.16],
```

```
        [73.90, 69.48],
```

```
        [73.75, 80.61],
```

```
        [77.27, 94.25],
```

```
        [77.95, 103.49],
```

```
        [74.31, 126.16],
```

```
        [74.51, 140.179],
```

```
        [70.35, 176.90]
```

```
    ];
```

```
    const route = L.polyline(routeCoordinates, {
```

```
        color: '#3498db',
```

```
        weight: 3,
```

```
        opacity: 0.7,
```

```
dashArray: '10, 10'

}).addTo(window.map);

route.bindPopup("<b>Северный морской путь</b>");
}

// Инициализация элементов управления картой
function initMapControls() {

    document.getElementById('zoom-in').addEventListener('click', function() {

        window.map.zoomIn();

    });

    document.getElementById('zoom-out').addEventListener('click', function() {

        window.map.zoomOut();

    });

    document.getElementById('locate-me').addEventListener('click', function() {

        if (navigator.geolocation) {

            navigator.geolocation.getCurrentPosition(function(position) {

                window.map.setView([position.coords.latitude, position.coords.longitude],

8);

            }, function(error) {

                alert("Не удалось определить ваше местоположение: " + error.message);
```

```

    });

    } else {

        alert("Геолокация не поддерживается вашим браузером");

    }

});

}

// Обновление отображения координат

function updateCoordinatesDisplay(lat, lon) {

    const latDirection = lat >= 0 ? 'с.ш.' : 'ю.ш.';

    const lonDirection = lon >= 0 ? 'в.д.' : 'з.д.';

    document.getElementById('coordinates-display').textContent =

        `Широта: ${Math.abs(lat).toFixed(4)}° ${latDirection}, Долгота:

        ${Math.abs(lon).toFixed(4)}° ${lonDirection}`;

}

```

Разработанный прототип геоинформационной системы мониторинга Арктической зоны позволяет обрабатывать пространственные данные являясь полнофункциональным веб-приложением. Поставленные задачи в рамках прототипа, поставленного при формировании пути развития проекта в рамках Акселератора успешно достигнуты.

3.5 Перспективы развития проекта

На данный момент, прототип не смотря на его положительные характеристики не является итоговой версией проекта. На текущий момент в систему не внесены данные ледовой обстановки и визуализации 3D модели рельефа, что предстоит сделать в будущем.

Помимо этого, в будущих версиях планируется уделить тщательное

внимание прогнозированию на основе архивных данных, и данных, получаемых в реальном времени, а также интегрировать API метеорологических служб. Получение данных в реальном времени уже удалось реализовать, однако из-за отсутствия данных по ледовой обстановке на 2025 год в открытом доступе, их получение в текущий момент не предоставляется возможным. Данный прототип является удобным инструментом для анализа пространственно-временных данных, является демонстрацией качественно выбранного технологического подхода, а из-за удачной архитектуры демонстрирует возможности к масштабированию. Создание данного проекта позволило оценить перспективность разработки и её реализуемость, а так же обозначила направления для дальнейшего развития и совершенствования системы, формируя конечный продукт, способный занять значительную долю аналитического обеспечения в рамках Северного Морского Пути.

Заключение.

Настоящая работа посвящена решению актуальной и практически значимой задачи разработки прототипа геоинформационной системы (ГИС), ориентированной на обеспечение морской деятельности в акватории Северного морского пути (СМП). Учитывая возрастающее стратегическое, экономическое и логистическое значение Арктического региона для Российской Федерации, а также необходимость устойчивого и безопасного освоения его ресурсов, возрастает потребность в специализированных цифровых инструментах, обеспечивающих эффективный доступ к пространственной информации о СМП.

Северный морской путь, являясь кратчайшим маршрутом между европейской частью России и Дальним Востоком, а также потенциальной альтернативой традиционным международным морским путям, представляет собой сложную и многокомпонентную транспортную систему, функционирующую в условиях экстремального климата, нестабильной ледовой обстановки и ограниченной инфраструктурной доступности. Всё это обуславливает особые требования к информационному обеспечению

судоходства и морской логистики, в том числе к системам визуализации и анализа геопространственных данных.

В работе обоснована необходимость создания ГИС, способной предоставить пользователю наглядные, интуитивно понятные и технически адаптируемые инструменты для мониторинга, анализа и планирования навигации по маршрутам СМП. Проведён обзор существующих отечественных и зарубежных решений в области геоинформационных систем и навигационного обеспечения, выявлены их основные недостатки: низкий уровень визуализации, ограниченность по данным, сложность пользовательского интерфейса, отсутствие русскоязычной локализации и узкая специализация, не охватывающая специфики арктического судоходства.

В ходе исследования разработан прототип ГИС, построенный с использованием современных веб-технологий. Ключевыми функциональными возможностями прототипа являются: отображение маршрута Северного морского пути с учётом его географической протяжённости, интеграция портов и ключевых логистических точек. Особое внимание уделено корректному прохождению маршрута по морю с использованием географических координат, что позволяет избежать наложения линии на сушу и обеспечивает более реалистичную картографическую визуализацию.

Проведено тестирование работоспособности системы в реальных условиях, включая проверку корректности визуализации маршрута, загрузку и отображение данных, а также устойчивость при расчетах. Отмечена высокая степень соответствия результатов ожиданиям, а также удобство восприятия информации конечным пользователем. Работа системы характеризуется устойчивой производительностью, а загрузка карты и активация слоёв не сопровождаются задержками.

Разработанный прототип может быть использован в ряде прикладных задач:

- Визуализация логистической инфраструктуры СМП, включая маршруты, порты и навигационные узлы.
- Информационная поддержка планирования арктических рейсов и взаимодействия с инфраструктурными объектами.
- Образовательные и научные цели, включая демонстрацию пространственного распределения судоходной активности, исследование морских маршрутов и подготовку специалистов.
- Интеграция с другими модулями более крупной системы, в том числе модулями гидрометеорологического анализа, мониторинга ледовой обстановки и прогнозирования рисков.

Для дальнейшего развития ГИС-прототипа предложены следующие направления:

- Интеграция с гидрометеорологическим модулем, включая визуализацию температур, ледовой обстановки, ветра и осадков в реальном времени или по архивным данным.
- Подключение баз данных с использованием PostgreSQL/PostGIS для более гибкого хранения и обработки пространственных объектов.
- Оптимизация интерфейса и расширение функционала, включая панель управления слоями, фильтры по дате, выбор порта или маршрута.
- Разработка REST API для интеграции с внешними системами и обеспечения доступа к данным по запросу.
- Добавление пользовательских аннотаций и поддержки загрузки пользовательских слоёв (например, судоходные происшествия, экологические инциденты).
- Реализация мобильной версии ГИС, адаптированной под условия работы в море с ограниченным доступом к интернету.
- Разработка системы авторизации и разграничения прав доступа для работы в рамках корпоративных или ведомственных систем.

Таким образом, поставленная цель – разработка прототипа геоинформационной системы для визуализации и анализа маршрутов Северного морского пути – достигнута. Созданный прототип демонстрирует основные принципы построения ГИС для Арктического региона и может служить основой для последующего масштабирования проекта, его внедрения в практическую деятельность и интеграции в более крупную автоматизированную информационную систему поддержки судоходства в Арктике.

Список литературы

1. Метеум — собственная технология прогноза Яндекс Погоды // Я.Погода.
URL: https://yandex.ru/pogoda/technology?utm_source=main_page (дата обращения: 16.04.2025)
2. Меню // Windy. URL: <https://www.windy.com/ru/-Меню/menu> (дата обращения: 16.04.2025)
3. Three types of satellite imagery // National Weather Service.
URL: <https://www.weather.gov/mrx/sattype> (дата обращения: 16.04.2025)
4. Remote Sensing // EARTHDATA.
URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/earth-observation-data-basics/remote-sensing> (дата обращения: 17.04.2025)
5. Prof. Dr. Peter Kogut Spatial Analysis: Data Processing And Use Cases // EOS DATA ANALYTICS. URL: <https://eos.com/blog/spatial-analysis/> (дата обращения: 17.04.2025)
6. GIS Tools and Resources // GISDegree.
URL: <https://www.gisdegree.org/resources/tools/> (дата обращения: 17.04.2025)
7. Spatial without Compromise // QGIS. URL: <https://qgis.org/> (дата обращения: 17.04.2025)
8. Comparing Top R and Python Libraries for Geospatial Data Visualization // MoldStud. URL: <https://moldstud.com/articles/p-comparing-top-r-and-python-libraries-for-geospatial-data-visualization> (дата обращения: 17.05.2025)
9. MATLAB vs Python: Ultimate Showdown of Programming Titans [2024] // Simplilearn.
URL: <https://www.simplilearn.com/matlab-vs-python-article> (дата обращения: 17.05.2025)

10. Why Choose Julia Over Python (or Vice Versa)? Full Breakdown // eLuminous.
URL: <https://eluminoustechnologies.com/blog/julia-vs-python/> (дата обращения: 17.05.2025)
11. Python mapping libraries // HEX. URL: <https://hex.tech/templates/data-visualization/python-mapping-libraries/> (дата обращения: 17.05.2025)
12. JavaScript Geo Library: Definition and Top 4 Geo Libraries // GeoPlugin.
URL: <https://www.geoplugin.com/resources/javascript-geo-library/> (дата обращения: 17.05.2025)
13. Python vs Java: Making the Right Choice for Your Software Development Project // MOBILUNITY. URL: <https://mobilunity.com/blog/python-vs-java/> (дата обращения: 17.05.2025)
14. ЖУКОВ Ю. Н., БАХМУТОВ В. Ю. СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ // Навигация и гидрография. 2018. С. 52
15. Жукова Н. А., Смирнова О. В. Методы адаптивной обработки и анализа метеорологических и океанографических данных в Арктическом регионе // Информатика и автоматизация. 2013. Т. 7. № 30. С. 258-272
16. Матишов Г. Г. и др. Совместные подходы ММБИ, ЮНЦ и Лаборатории климата океана НОАА (США) к организации океанографических и гидробиологических баз данных арктических и южных морей России // Труды Кольского научного центра РАН. 2013. № 1 (14). С. 135-152
17. Абрамов Н. С. и др. Современные методы интеллектуальной обработки данных ДЗЗ // Программные системы: теория и приложения. 2018. Т. 9. № 4 (39). С. 417-442
18. Наумова Т. Е., Михайлова Д. А. Международная научно-практическая конференция «Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и создание комплексных аварийно-спасательных центров в

- Арктике»: Материалы конференции. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012. 196 с.
19. Дружинин В. С., Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / под ред. А. М. Владимирова. СПб., 2001. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-417151342.pdf
20. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Том 11. Море Лаптевых. Л.: Гидрометеиздат, 1980. С. 98-163
21. Бородачев В. Е., Бородачев И. В. Ледовитость моря Лаптевых в условиях колебаний климата Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 3 (109). С. 60-73
22. Четверова В. А., Макаров А. С. Ледовая обстановка морей Лаптевых и Восточно-Сибирского как фактор переформирования береговой зоны // Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана. Петрозаводск, 2011. С. 49-52
23. Сычев В. И. Примеры использования спутниковых технологий для изучения современного состояния Заприпайной полыньи севернее острова Котельный // Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Майкоп, 2019. Ч. 2. С. 164-172
24. Йоханнессен О. М. и др. Дистанционное зондирование морских льдов на Северном морском пути: изучение и применение. СПб.: Наука, 2007. 512 с. (Научные исследования в Арктике: в 3 т.; т. 3)
25. Ludwig V., Spreen G., Haas C. et al. The 2018 North Greenland polynya observed by a newly introduced merged optical and passive microwave sea-ice concentration dataset // The Cryosphere. 2019. Vol. 13. P. 2051-2073

26. Salomonson V., Lindsey R., Herring D. et al. The MODIS instrument // NASA's Earth Observatory. 2001. 25 p.
[p.https://yandex.ru/video/preview/10991504132647439692](https://yandex.ru/video/preview/10991504132647439692)