



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра прикладной океанографии
и комплексного управления прибрежными зонами**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему: «Северный морской путь как локомотив развития страны»

Исполнитель Горобец Андрей Васильевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор географических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Малинин Валерий Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
И.о. заведующего кафедрой


(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

« 26 » 02 2026 г.

Санкт-Петербург
2026

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Северный морской путь (СМП) как стратегическое направление развития России	11
1.1. История и правовой статус СМП	11
1.2. Геополитическая и экономическая роль СМП	19
1.3. СМП в международной транспортной системе	26
Глава 2. Природно–океанологические особенности функционирования СМП.	33
2.1. Ледовые и гидрометеорологические условия	33
2.2. Влияние климатических изменений	43
2.3. Технологии навигационной безопасности	55
Глава 3. Исследование изменчивости температуры воздуха и ледяного покрова вдоль трассы СМП (2005–2025 гг.)	68
3.1. Исходные данные и схема выбранных пунктов	68
3.2. Методика расчетов	76
3.3. Межгодовая изменчивость показателей и выявленные тренды	80
3.4. Пространственные различия вдоль трассы	85
3.5. Сценарные выводы по ожидаемому изменению температурного режима и ледовитости	94
Глава 4. Перспективы развития СМП как драйвера экономического роста.....	103
4.1. Экономический и логистический потенциал	103
4.2. Международное сотрудничество и инвестиции	109
4.3. Социально–экологические аспекты освоения	118
Заключение	129
Список использованных источников	133
Приложения	143

Введение

Северный морской путь (СМП), проходящий вдоль арктического побережья Российской Федерации, превращается в стратегическую морскую артерию. Ускоряя логистику между Азией и Европой на 30–40 %, он снижает операционные расходы судовладельцев и нагрузку на Суэцкий канал. Быстрое уменьшение многолетнего льда открывает навигацию на более продолжительный сезон, чему содействуют ледокольный флот нового поколения и спутниковые сервисы Росгидромета.

Ускоренный арктический прогрев усиливает атмосферную циркуляцию, провоцируя экстремальные циклоны, штормовые нагоны и динамические сдвиги льда. Для безопасного судоходства требуется точный прогноз поверхностных волн, туманов и обледенения. Указанное поднимает спрос на прикладные гидрометеорологические исследования. Методики высокочастотной радиолокации, спутниковой альтиметрии и цифровых двойников акватории позволяют оперативно оценивать риски и корректировать маршруты в реальном времени.

Параллельно активизируется ресурсное освоение арктического шельфа (проекты «Ямал–СПГ», «Восток Ойл», добыча редкоземельных металлов на Чукотке). Индустриальные кластеры требуют устойчивой инфраструктуры и грамотного управления прибрежными зонами, где пересекаются интересы промышленности, коренных народов и экосистем. Повышенная судовая активность увеличивает вероятность нефтяных разливов, загрязнения черным углеродом и разрушения ледяных берегов. Описанное обязывает разрабатывать адаптивные экологические регламенты и сценарии реагирования.

Геополитические ограничения 2022–2025 гг. стимулировали переориентацию экспортных потоков на порты Мурманска и Петропавловска–Камчатского, удвоив грузооборот СМП в 2024 году. Правительственная программа до 2035 года предусматривает вложения свыше 1,8 трлн руб. в связь, аэронавигацию, аварийно–спасательную службу и модернизацию гидрометеосети. Оценка эффекта мультипликатора показывает потенциальный

вклад до 0,7 п.п. в годовой ВВП, при условии точного управления природными рисками.

Следовательно, научная проработка гидрометеорологических аспектов Северного морского пути не ограничивается циклическими обзорами погоды. Необходимо формировать интегрированную систему мониторинга, объединяющую океанографические буйковые сети и машинное обучение для прогноза мелкомасштабных явлений. Комплексные модели береговой динамики помогут адаптировать инженерные сооружения к усиливающейся эрозии и изменяющемуся ледяному режиму. Верификация моделей требует калибровочных измерений в труднодоступных районах и междисциплинарного сотрудничества с биологами и экономистами.

Маршрут находится в стадии активного переосмысления как национальный транзитный коридор, но инфраструктурные решения опережают научную базу. В арктических широтах до сих пор отсутствуют долгосрочные метеорологические ряды с высоким пространственным разрешением. Существующие данные фрагментарны. Климатическая нестабильность усложняет проектирование береговых зон, где размещаются склады, терминалы, топливные базы и инженерные объекты.

На практике наблюдается недостаточная интеграция прогностических моделей с логистическим планированием. Управленческие решения нередко принимаются без учета сезонной подвижности ледового покрова, изменчивости ветрового режима и специфики прибрежных течений.

Растет дефицит прикладных разработок, ориентированных на синтез спутниковых наблюдений и оценки экологических последствий хозяйственной деятельности. Разрозненность ведомств, участвующих в освоении региона, требует создания междисциплинарных алгоритмов принятия решений.

Выбранная тема позволяет сфокусироваться на слабых звеньях современного подхода к развитию СМП. Подобное делает исследование актуальным и практически востребованным в условиях стремительного расширения арктической экономики.

Цель исследования – проанализировать Северный морской путь как ключевую магистраль в структуре национального роста, с акцентом на природно–климатические условия, логистический потенциал и международные вызовы устойчивого освоения.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Изучить этапы становления и трансформации юридического режима Северного морского пути.

2. Проанализировать геостратегические интересы России в Арктике и зафиксировать роль СМП в формировании новых торговых маршрутов.

3. Оценить интеграцию Северного морского маршрута в глобальную транспортную инфраструктуру.

4. Рассмотреть пространственно–временные особенности ледового покрова, морских течений и погодных условий, определяющих навигационные окна и операционные риски.

5. Выявить проявления климатических трендов, влияющих на продолжительность навигации.

6. Эмпирически исследовать изменения температурного режима и ледяного покрова на территории СМП в последние годы.

7. Определить транспортно–экономические резервы СМП в контексте северных экспортных потоков.

8. Оценить возможности расширения международного партнерства и привлечения долгосрочных инвестиций в инфраструктуру северного коридора.

9. Проанализировать влияние освоения СМП на экологическое равновесие и социальное развитие прибрежных арктических муниципалитетов.

Объектом исследования выступает транспортная система Северного морского маршрута в контексте ее функционирования в Арктическом регионе.

Предметом – совокупность природных, инфраструктурных и геополитических факторов, влияющих на устойчивое развитие СМП.

Тема Северного морского маршрута исследуется в разных научных направлениях науки. Российская школа активно формирует теоретико–

методологическую основу развития СМП. Наблюдается фрагментация подходов и нехватка системного синтеза.

Юридические аспекты арктической деятельности раскрываются в трудах П. П. Баттахова, А. С. Скаримова и В. С. Чернеги, где акцент сделан на особенностях правового режима СМП в условиях международного давления.

Транспортная логистика северного коридора детально представлена в работах В. И. Зефирова, А. А. Белобородовой и А. С. Скаримова. Авторы освещают специфику полярных перевозок, риски цепочек поставок и перспективы сопряжения с «Полярным шелковым путем».

Геоклиматические и навигационные особенности проанализированы в публикациях В.Н. Малинина, А. Т. Кондрина, Е. У. Миронова, К. В. Фильчука и К. К. Эдельштейна. Особое внимание уделено ледовым процессам, волновой динамике и инструментам прогноза гидрометеобстановки.

Инфраструктурный потенциал арктических портов рассматривается в исследованиях Н. Н. Гудковой, А. А. Гудкова и А. В. Юлина. Делается упор на вызовы модернизации и цифровизации систем навигационной поддержки.

Социально–экологические проблемы термоабразии и антропогенного воздействия описаны в работах С. А. Огородова, Н. И. Хлуденевой, А. Ю. Кожиной и Е. И. Павловой.

Зарубежные подходы к освоению северных трасс представлены в статьях Лэй Шуан и Чу Ин, в которых анализируется стратегия Китая и ее адаптация к российским реалиям. Также освещаются вопросы международного взаимодействия в публикации Вэньжуй Чжана и Юхэ Ву.

При наличии обширного научного корпуса, остается недостаточно проработанным вопрос интеграции природно–океанологических факторов в механизмы стратегического планирования развития СМП.

Исследование основано на комплексной методологии и междисциплинарном подходе к оценке функционирования Северного морского маршрута в условиях изменяющейся природной и геополитической обстановки. Применяются системный, структурно–функциональный и сценарный методы

для анализа природных процессов, нормативной среды и логистических решений. Используется сравнительно–правовой анализ для сопоставления международных и российских подходов к регулированию мореплавания в высоких широтах.

В нормативную базу входят документы, определяющие государственную стратегию, международные обязательства и отраслевое регулирование.

Эмпирическая база включает отчеты, статистику, аналитические материалы и карты, предоставленные профильными научными и правительственными структурами. Используются данные Арктического и антарктического НИИ, материалы компании «Росатом», цифровой мониторинг ледовой обстановки с сайта nsr.rosatom.ru.

Цифровые источники отражают реальное положение дел: текущее состояние портовой инфраструктуры (morvesti.ru), оценку международного сотрудничества в условиях санкционного давления (goarctic.ru), данные по ледокольной проводке и тарифной политике (atommedia.online), исторические исследования арктических экспедиций (mid.ru, tvzvezda.ru) и развитие инвестиционных проектов (roscongress.org).

Информационные ресурсы, посвященные международным партнерствам, таким как сотрудничество с Китаем и Индией (nauka.tass.ru, mvestnik.ru), позволяют оценить роль СМП в глобальной транспортной системе и зафиксировать интерес ключевых экономических акторов к высокоширотным маршрутам.

Работа впервые комплексно обобщает современные направления модернизации Северного морского пути с учетом мультимодальных транспортных связей, международных инвестиций и цифровизации логистики. На основе анализа действующих проектов обоснована роль СМП как системного элемента евразийской логистики.

Уточнены экономические параметры логистических преимуществ СМП относительно традиционных маршрутов, включая расчет снижения транспортных и страховых затрат. Представлен оригинальный подход к оценке

мультипликативного эффекта от расширения грузооборота на региональные экономики Арктики.

Предложена структурированная схема стимулирования международных инвестиций через механизм Арктической зоны РФ, учитывающая налоговые, таможенные и административные льготы. Проведен сопоставительный анализ моделей международного сотрудничества с Китаем, Индией, Ираном и ОАЭ, что позволило выделить наиболее перспективные форматы партнерств.

В экологическом блоке впервые представлена концепция масштабной системы мониторинга загрязнений СМП в реальном времени, включающей спутниковые, акустические и биосенсорные элементы. Обоснована необходимость гибридной модели экологической ответственности, сочетающей государственный надзор и цифровые сертификаты судов.

Результаты диссертационного исследования прошли апробацию в форме подготовки и публикации статьи «Северный морской путь как локомотив развития страны» в рецензируемом научном издании, входящем в перечень ВАК, посвященной анализу Северного морского пути как фактора социально-экономического развития России. В опубликованной работе представлены количественные оценки динамики грузопотоков СМП, раскрыты институциональные и инфраструктурные условия его функционирования, обоснованы ограничения и резервы использования маршрута в условиях внешних трансформаций логистики.

Представленные материалы получили положительную оценку научного сообщества и были рекомендованы к дальнейшему использованию в образовательных и исследовательских проектах.

На защиту выносятся следующие утверждения:

1. Северный морской путь способен выполнять функции устойчивого транспортного коридора международного значения при условии синхронизации логистических, навигационных и инфраструктурных решений с приоритетами государственной политики в Арктике.

2. Эффективность эксплуатации СМП напрямую зависит от степени прогнозируемости и адаптации к природно–климатическим изменениям. Игнорирование данных факторов снижает надежность маршрута и увеличивает риски.

3. Пространственная неоднородность климатических изменений вдоль трассы СМП формирует асимметричные навигационные условия, при которых западные и центральные сектора демонстрируют ускоренное улучшение доступности. Восточные акватории сохраняют структурные природные ограничения, требующие специализированных логистических решений.

4. Цифровизация систем мониторинга, навигационной поддержки и экологического контроля создает основу для безопасного и экономически эффективного освоения СМП, ускоряя реагирование на внешние угрозы и повышая инвестиционную привлекательность региона.

Работа составлена из четырех тематически выверенных глав, заключения, библиографического перечня источников и приложений.

Первая глава посвящена институциональному, правовому и геополитическому позиционированию Северного морского пути. Рассмотрены исторические этапы становления СМП, эволюция нормативной базы и формирование его особого правового режима. Раскрываются экономико–географические интересы России в Арктике. Показана роль СМП в глобальной логистике и ее сравнение с альтернативными маршрутами.

Вторая глава носит природно–научный характер. Она содержит анализ ледовой обстановки, сезонных ограничений и метеоусловий, влияющих на навигацию. Рассматривается воздействие климатических изменений на стабильность функционирования маршрута. Описаны системы обеспечения судоходства.

Третья глава посвящена количественной оценке межгодовой изменчивости температуры и ледовитости вдоль трассы СМП. Получены пространственно неоднородные тренды, выявлена синхронность экстремальных аномалий и

различия в механизмах формирования ледовой обстановки, что формирует основу прогнозируемости навигационных условий.

В четвертой главе показано, что выявленные природные и климатические ограничения трансформируются в экономические параметры развития СМП. Проанализированы грузопотоки, инвестиционные проекты и международное сотрудничество, подтверждающие потенциал маршрута как драйвера экономического роста при дифференцированном управлении секторами трассы.

Заключение содержит обобщение проведенного анализа, формулировку достигнутых результатов и предложения по совершенствованию управления развитием СМП.

Список использованной литературы включает нормативные акты, научные статьи, аналитические доклады и электронные ресурсы, отражающие современное состояние темы. Приложения дополняют основное содержание и подтверждают обоснованность выводов.

Глава 1. Северный морской путь (СМП) как стратегическое направление развития России

1.1. История и правовой статус СМП

Северный морской путь – уникальная арктическая транспортная коммуникация. Его эволюция от локального поморского промыслового маршрута до стратегической национальной магистрали отражает многовековую историю российского освоения Арктики и формирования современной правовой базы его функционирования.

Исторические корни формирования СМП как навигационного маршрута восходят к поморским промыслам. Судостроительство по арктическим морям началось с поморов. Они в начале прошлого тысячелетия создали специальные парусные суда – кочи, приспособленные для плавания в ледовых условиях (рис. 1).

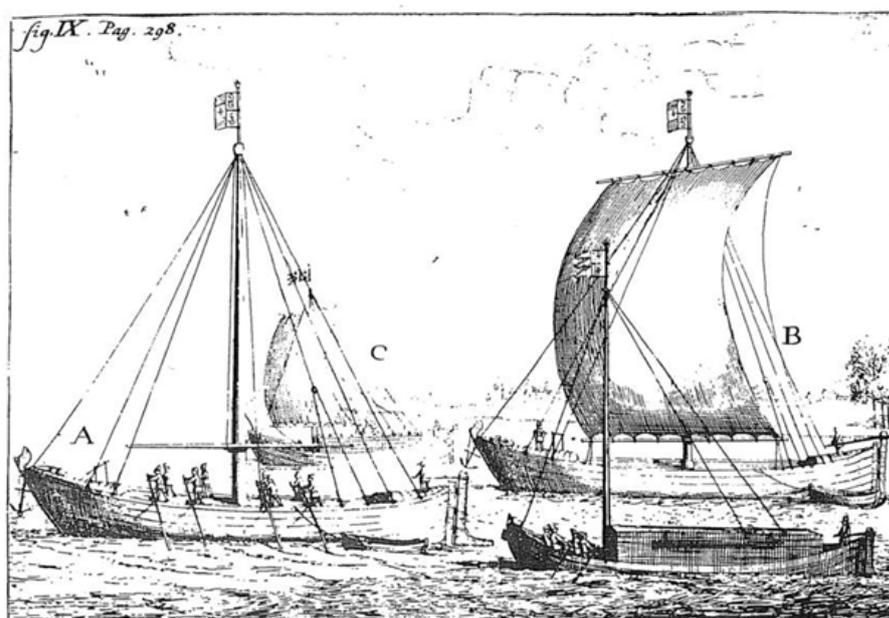


Рисунок 1 – Гравюра парусного судна поморов¹

В 1601–1602 гг. помор Лев Шубин совершил плавание из Северной Двины в Тазовскую губу, где позже был основан город Мангазея – первый русский заполярный город в Сибири². В 1648 г. экспедиция Семена Дежнева и Федота

¹ Полярное судно коч и освоение Арктики в XVII веке URL: <https://goarctic.ru/news/polyarnoe-sudno-koch-i-osvoenie-arktiki-v-xvii-veke/?ysclid=mdpo24g5co420255148> (дата обращения: 29.07.2025).

² Том 3. Северный морской путь: история, регионы, проекты, флот и топливообеспечение URL:

Попова на семи кочах прошла от реки Колымы до Берингова пролива, обогнув крайнюю восточную точку Азии³. Мангазейский морской путь стал одной из важнейших транспортных магистралей поморов.

Период научной систематизации арктических пространств в конце XIX–начале XX века отметился организацией масштабных государственных экспедиций, ставших поворотной точкой в освоении Северного морского пути. В хронологических рамках 1894–1904 годов прошла Гидрографическая экспедиция Северного Ледовитого океана под руководством А.И. Вилькицкого. Она обеспечила впервые комплексное обследование морской акватории, детальное картирование побережий и заложила информационную основу для последующей навигационной деятельности. Данная экспедиция широко применяла современные для своего времени методы – магнитные, астрономические и гидрографические наблюдения⁴. Они обеспечили дополнительную точность при описании сложных арктических акваторий.

В последующее десятилетие, с 1910 по 1915 год впервые осуществлено сквозное плавание по Северному морскому пути из Владивостока в Архангельск. Оно подтвердило техническую возможность сезонного транзита через всю Арктику. В 1913 году экспедиция идентифицировала и описала архипелаг Северная Земля, что увеличило количество задокументированных морских трасс и позволило повысить точность при построении официальных карт⁵.

Новый этап научных исследований сопровождался достижениями ледокольных судов. В 1914 экспедиция на «Таймыре» и «Вайгаче» обнаружила

https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_RU_Arctic_Vol3.pdf (дата обращения: 29.07.2025).

³ Наумов Ю. М. К вопросу историко–навигационных экспериментов на кочах МАКЭ и клуба «Полярный Одиссей» // Культурологический журнал. 2025. №2 (60). С. 18–26

⁴ Неизвестная «Экспедиция века». История Гидрографической экспедиции Северного Ледовитого океана URL: <https://goarctic.ru/news/neizvestnaya-ekspeditsiya-veka-istoriya-gidrograficheskoy-ekspeditsii-severnogo-ledovitogo-okcana/?ysclid=mdpu9k7af1517199504> (дата обращения: 29.07.2025).

⁵ Зверьков В. А., Мингалеев С. Г., Сидорович Т. И., Фалеев М. И., Цыбиков Н. А. Исторический опыт Арктического и Дальневосточного освоения территорий, их эксплуатации и обеспечения национальной безопасности (этапы советского и постсоветского периода) // Международное сотрудничество евразийских государств: политика, экономика, право. 2023. №4. С. 74–94

новые географические объекты, благодаря чему существенно корректировались навигационные подходы к формированию маршрута СМП. Расширились знания о строении побережий и особенностях арктических морей.

С момента учреждения в 1932 году Главного управления Северного морского пути (Главсевморпуть) возникает новая структура государственного управления. Она была сконцентрирована на организации и поддержании единого транспортного маршрута протяженностью свыше 5,6 тыс. км. Административная система централизовала компетенции⁶:

- подготовку экипажей;
- строительство и эксплуатацию ледокольного и вспомогательного флота;
- развертывание пунктов технической поддержки вдоль всего маршрута;
- внедрение оперативных средств навигационной и метеорологической информации.

В тот же год пароход «А. Сибиряков» осуществил первый в истории плавание от Архангельска до Берингова пролива за одну сезонную навигацию, минуя традиционную для того времени зимовку во льдах. Указанное свидетельствовало о качественном скачке в уровне технической оснащенности экспедиционного флота. Факт был отмечен в отечественной и мировой печати как уникальное достижение⁷.

Ледокол «Федор Литке» в 1934 прошел маршрут с востока на запад за одну навигацию, преодолев самые сложные ледовые акватории без задержек. Явление стало подтверждением практической жизнеспособности концепции трансконтинентального северного арктического маршрута.

В 1959 году страна получила первый в мире атомный ледокол «Ленин». Его технические характеристики (автономность, высокая энерговооруженность, защита от ледовых нагрузок) обеспечили принципиально новый уровень

⁶ Статья А.Игнатьева «Северному морскому пути – 90 лет» URL: (дата обращения: 29.07.2025). URL: https://www.mid.ru/ru/about/social_organizations/association/1840382/ (дата обращения: 29.07.2025).

⁷ Героический рейс «Сибирякова»: до и после URL: <https://goarctic.ru/news/geroicheskiy-reys-sibiryakova-do-i-posle/?ysclid=mdpuskqf69423337834> (дата обращения: 29.07.2025).

судоходства. Появилась независимость от сезона и погодных условий в западном секторе СМП.

Построение и эксплуатация атомного ледокольного флота и ввод в строй ледокола «Арктика» (первым из надводных судов достиг непосредственно географического Северного полюса в 1977 году), определило долгосрочный вектор приоритетного государственного развития Арктики. После появления атомных ледоколов удалось существенно увеличить число проходов судов по маршруту. Минимизировались риски длительных остановок и аварий. В конечном итоге описанное привело к росту объема грузовых перевозок, поддержке северных регионов страны и повышению экономической отдачи от инфраструктурных инвестиций.

Параллельно историческому развитию интеллектуальная и нормативная база функционирования СМП оформлялась на основе международного и национального законодательства (Приложение 1).

Первые документированные правовые нормы относятся к периоду царствования Алексея Михайловича, когда в 1649 году Соборное уложение впервые зафиксировало государственные права на северные воды. Данный документ установил принцип исключительной юрисдикции московского государства над арктическими акваториями, прилегающими к российским берегам.

В период правления Петра I морское законодательство получило системную основу. Морской устав 1720 года впервые регламентировал порядок плавания в северных водах, установив требования к экипировке судов и процедуры получения разрешений на промысловую деятельность. Устав предписывал обязательное наличие компаса, якорей специальной конструкции для ледовых условий и запасов провианта на случай вынужденной зимовки. Введена система штрафов за нарушение установленных маршрутов и сроков возвращения в порты приписки.

Екатерина II в 1763 году издала указ «О правилах торгового мореплавания», который распространил государственный контроль на всю

акваторию Северного Ледовитого океана вдоль российских берегов. Документ установил монополию государства на организацию экспедиций в неисследованные районы Арктики и ввел обязательное лицензирование промысловой деятельности. Практическое следствие данных мер – создание первой централизованной системы управления северным судоходством.

XIX век ознаменовался принятием «Положения о торговом мореплавании» 1893 года, которое детализировало требования к судам, осуществляющим плавание в арктических водах. Положение установило классификацию судов по ледовой категории, обязательное страхование экипажей и грузов, а состав команды должен был включать специалистов, имеющих опыт арктического плавания. Введены требования к конструкции корпуса – усиленная обшивка, дополнительные переборки и специальные системы отопления жилых помещений.

Советский период начался с декрета СНК от 26 января 1918 года «О национализации торгового флота», который передал все суда, способные осуществлять арктическое плавание, в государственную собственность. Декрет установил исключительное право государства на организацию судоходства в северных морях и запретил частную коммерческую деятельность в данной сфере без специальных разрешений.

В 1926 году принято постановление ЦИК и СНК СССР «Об объявлении территорией Союза ССР земель и островов, расположенных в Северном Ледовитом океане», которое законодательно закрепило секторальный принцип разграничения арктических пространств. Документ установил границы советского арктического сектора между меридианами $32^{\circ}04'35''$ и $168^{\circ}49'30''$ восточной долготы, что составило территорию площадью 5,8 млн км².

Создание Главсевморпути в 1932 году сопровождалось принятием постановления СНК СССР №1156 «Об организации Главного управления Северного морского пути», наделившего данную структуру исключительными

полномочиями по регулированию судоходства в Арктике⁸. Постановление предоставило Главсевморпути право выдавать разрешения на плавание, устанавливать тарифы на ледокольное сопровождение, контролировать техническое состояние судов и определять сроки навигации по различным участкам маршрута.

Военное время внесло существенные коррективы в правовое регулирование. Постановление ГКО №1740 от 1942 года «О мероприятиях по обеспечению воинских перевозок по Северному морскому пути» установило приоритет военных грузов и ввело особый режим секретности для всей информации о движении судов. Гражданские перевозки подлежали строгому лимитированию, а экипажи торговых судов переводились на военное положение с соответствующими правами и обязанностями.

Послевоенный период характеризовался расширением государственного регулирования. Постановление Совета Министров СССР №2689 от 1954 года «О развитии арктического судоходства» создало правовую основу для строительства атомного ледокольного флота и модернизации портовой инфраструктуры. Документ установил долгосрочную программу развития СМП с бюджетным финансированием в размере 12,5 млрд рублей (в ценах 1954 года).

Принципиальные изменения произошли в 1971 году с принятием постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР №567 «О мерах по дальнейшему развитию производительных сил районов Крайнего Севера», которое впервые интегрировало СМП в общую систему народнохозяйственного планирования.

Период перестройки ознаменовался либерализацией правового режима. Закон СССР «О предприятиях в СССР» от 1988 года впервые предоставил возможность создания совместных предприятий с участием иностранного капитала для освоения арктических ресурсов. Постановление Совета Министров

⁸ Статья А.Игнатьева «Северному морскому пути - 90 лет» URL: (дата обращения: 29.07.2025). URL: https://www.mid.ru/ru/about/social_organizations/association/1840382/ (дата обращения: 29.07.2025).

СССР №967 от 1989 года «Об открытии Северного морского пути для зарубежного судоходства» отменило режим секретности и разрешило транзитное плавание иностранных судов при соблюдении установленных требований.

Распад СССР потребовал формирования новой правовой базы. Постановление Правительства РФ №722 от 1993 года «Об использовании Северного морского пути для международного судоходства» установило процедуры получения разрешений, тарифы на услуги и экологические требования. Документ предусматривал обязательное ледокольное сопровождение для всех судов ледового класса ниже Arc4, страхование ответственности за экологический ущерб в размере не менее 200 млн рублей и наличие на борту российского ледового лоцмана.

В современности Федеральный закон №132–ФЗ от 28 июля 2012 года впервые закрепил понятие «акватории Северного морского пути» на современном юридическом уровне. Действие обеспечило формирование единой системы государственного регулирования судоходства. Зафиксированы внедрение обязательных административных процедур и строгий контроль за условиями пропуска судов и требованиями безопасности⁹.

Постановление Правительства РФ № 1487 от 18 сентября 2020 года конкретизировало порядок движения и технические процедуры¹⁰. Указанное значительно повысило прозрачность и дисциплину судоходства по маршруту.

Дополнительная защита национальных интересов отражена в изменениях к Кодексу торгового мореплавания. Перевозка основных видов стратегического сырья, добытых в пределах СМП, осуществляется исключительно на судах под флагом Российской Федерации. Факт стимулирует развитие отечественного флота и инфраструктуры, ограничивая возможности иностранного

⁹ Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части государственного регулирования торгового мореплавания в акватории Северного морского пути» от 28.07.2012 N 132–ФЗ // Российская газета, N 172, 30.07.2012

¹⁰ Постановление Правительства РФ «Об утверждении Правил плавания в акватории Северного морского пути» от 18.09.2020 N 1487 (ред. от 31.01.2024) // Собрание законодательства РФ, 28.09.2020, N 39, ст. 6064

вмешательства в логистику и повышая конкурентоспособность российского бизнеса.

Строгость режимного контроля объясняется особенностями юрисдикции.

Россия рассматривает СМП как внутренний транспортный коридор, ссылаясь на положения Конвенции ООН по морскому праву (UNCLOS). Они закрепляют право прибрежного государства самостоятельно управлять судоходством в арктических водах, для защиты экономических и экологических интересов¹¹.

Поданы две заявки в Комиссию ООН по границам континентального шельфа, что обеспечило закрепление за Россией дополнительно 1,2 млн км² арктического подводного пространства¹². Принципиальное отличие российской практики – введение обязательных правил прохода транзитных судов. Они содержат:

- 1) ледокольное сопровождение;
- 2) наличие специальных разрешений и строгое соблюдение национальных экологических стандартов.

Действия происходят несмотря на возражения со стороны иностранных государств. Они требуют открытого режима судоходства во внутренних проливах, проходящих по трассе СМП.

В современных условиях система управления маршрутом дифференцирована и охватывает несколько ведомств.

«Росатом» осуществляет ледокольное сопровождение и техническое обслуживание флота через ФГУП «Росатомфлот».

Министерство транспорта РФ разрабатывает стратегические направления транспортной политики. Росморречфлот отвечает за административные

¹¹ Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву (UNCLOS) (заключена в г. Монтего-Бее 10.12.1982) (с изм. от 23.07.1994) // Собрание законодательства РФ", 01.12.1997, N 48, ст. 5493

¹² Подкомиссия ООН подтвердила принадлежность территорий по заявке России на шельф в Арктике URL: <https://www.mvestnik.ru/news/ent/podkomissiya-oon-podtverdila-prinadlezhnost-territorij-po-zayavke-rossii-na-shelf-v-arktike/?ysclid=mdppar6wff5449276457> (дата обращения: 29.07.2025).

процедуры, распределение и выдачу разрешений и контроль за безопасностью судоходства и ведение мониторинга движения флота.

Разделение полномочий позволяет минимизировать риски, оперативно реагировать на изменения ледовой обстановки и обеспечивать выполнение международных обязательств без утраты эффективности внутреннего контроля.

С 1990–х годов наблюдается поэтапный переход от использования маршрута исключительно для снабжения северных регионов («северный завоз» и промышленное освоение арктической зоны) к интеграции СМП в глобальную транспортную систему. Россия сохраняет доминирующее положение в системе регулирования, контролируя процедуры допуска иностранных судов и объемы транзитного трафика. Опора остается на национальные интересы и стратегические задачи развития Арктики.

В заключение, отметим, сегодняшний Северный морской путь – результат многовековой эволюции политических, правовых и технологических решений. Он опирается на комплексную нормативно–правовую основу и устоявшуюся административную структуру, обеспечивающую его устойчивое функционирование. Система управления маршрутом позволяет реагировать на вызовы современного мира и сохранять лидерские позиции в Северном Ледовитом океане. Описанное подчеркивает его уникальное стратегическое значение для России.

1.2. Геополитическая и экономическая роль СМП

Арктический маршрут выполняет стратегическую функцию основного элемента национальной безопасности и укрепления суверенитета России в северных широтах. Согласно исследованиям С.Ю. Козьменко, Арктика занимает центральное место в системе стратегического планирования экономики России¹³.

СМП выступает главной территориальной целостности государства в полярных регионах, рис. 2.

¹³ Козьменко С. Ю. Арктика в системе приоритетов стратегического планирования экономики России // Известия СПбГЭУ. 2024. №2 (146).С. 77–82



Рисунок 2 – Схема размещения опорных зон развития в Арктике¹⁴

Контроль над арктическими акваториями обеспечивает России доминирующие позиции в регионе с исключительными энергетическими ресурсами, составляющими до 80% разведанных запасов нефти и газа Арктики.

Арктическая зона содержит колоссальные запасы полезных ископаемых. 90 млрд баррелей нефти и 47 трлн кубометров газа составляют 13% мировых запасов нефти и 30% мировых запасов газа. Дополнительно регион обладает значительными месторождениями редкоземельных металлов, золота, алмазов и платины.

В.С. Чернега подчеркивает критическое значение международных морских коммуникаций в Арктике для защиты национальных интересов России в регионе¹⁵. Большая часть данных ресурсов находится под российской юрисдикцией или в зоне российского влияния.

Северный флот России получил статус отдельного военного округа в 2014 году, что подтверждает особую важность арктического направления для обеспечения безопасности страны. А.Т. Назимов подчеркивает значение СМП как конкурентного преимущества России на рынке СПГ, рис. 3.

¹⁴ Том 3. Северный морской путь: история, регионы, проекты, флот и топливообеспечение URL:

https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_RU_Arctic_Vol3.pdf (дата обращения: 29.07.2025).

¹⁵ Чернега В. С. Международные морские коммуникации в Арктике: политика России по защите национальных интересов в регионе // Известия ТулГУ. Гуманитарные науки. 2021. №3. С. 50–62

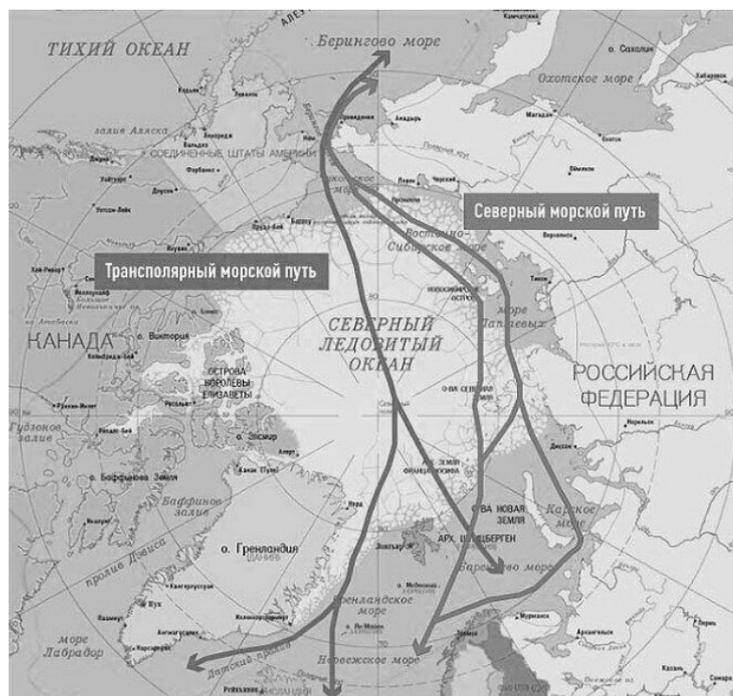


Рисунок 3 – Современное состояние коридора СМП¹⁶

Военно–стратегическое значение СМП обусловлено его расположением вдоль арктических границ России. Оно создает естественную оборонительную линию протяженностью свыше 20 тысяч км. Развитие транспортной инфраструктуры по маршруту напрямую связано с укреплением системы береговой обороны, размещением радиолокационных станций и объектов противовоздушной обороны.

Геополитическая функция маршрута как северного коридора определяется его полной независимостью от традиционных геополитических «узких мест» (Суэцкого канала и проливов Босфор–Дарданеллы). СМП проходит исключительно вдоль российских берегов. Данное обстоятельство исключает внешнее влияние на его функционирование и создает уникальные возможности для суверенного управления транспортными потоками.

Маршрут сокращает транспортные расходы на 30–40% по сравнению с традиционными путями через Суэцкий канал. Блокировка Суэцкого канала контейнеровозом Ever Given в марте 2021 года продемонстрировала критическую уязвимость глобальных логистических цепочек. Шестидневная

¹⁶ Назимов А. Т. Северный морской путь как конкурентное преимущество России на рынке СПГ // Прогрессивная экономика. 2025. №3. С. 8–18

остановка движения привела к задержке свыше 400 судов и экономическим потерям в размере 9,6 млрд долларов ежедневно¹⁷.

Данное событие значительно повысило привлекательность альтернативных маршрутов для международных перевозчиков и логистических компаний.

Аналогичную уязвимость демонстрируют проливы Босфор и Дарданеллы, через которые проходит до 3% мирового грузооборота. Турция регулярно использует контроль над проливами как инструмент геополитического давления. Описанное создает дополнительные риски для международной торговли. СМП исключает подобные риски, поскольку полностью находится под российской юрисдикцией, таблица 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика транспортных узлов

Транспортный узел	Протяженность, км	Пропускная способность, судов/год	Политические риски
Суэцкий канал	193	19,000	Высокие
Проливы Босфор–Дарданеллы	61	55,000	Средние
СМП	5,600	2,000 (перспектива 15,000)	Низкие

Арктика представляет собой зону интенсивной конкуренции за ресурсы и влияние между Россией, США, Китаем и странами НАТО. Н.В. Ступаков анализирует перспективы сопряжения российского СМП с китайской концепцией «Полярного шелкового пути». Описанное формирует стратегическое партнерство двух крупнейших экономик мира. Китай инвестировал свыше 90 млрд долларов в арктические проекты за последние 10 лет.

США активно наращивают военное присутствие в Арктике через расширение НАТО и создание новых военных баз в Скандинавии. В 2022 году военный бюджет США на арктические программы увеличился до 7,1 млрд долларов. Планируется строительство новых ледоколов Coast Guard, модернизация авиабазы Туле в Гренландии и создание арктического

¹⁷ Требуется перемен: как инцидент в Суэцком канале заставил меняться мировую транспортную логистику URL: <https://tvzvezda.ru/news/202141245-1QW0x.html?ysclid=mdpq4ix6sx265903342> (дата обращения: 29.07.2025).

командования в Аляске. Финляндия и Швеция, вступившие в НАТО, существенно расширили северо–западные границы альянса вдоль российской Арктики.

Россия противопоставляет данным тенденциям укрепление собственных позиций через развитие инфраструктуры двойного назначения и атомного ледокольного флота, рис. 4.

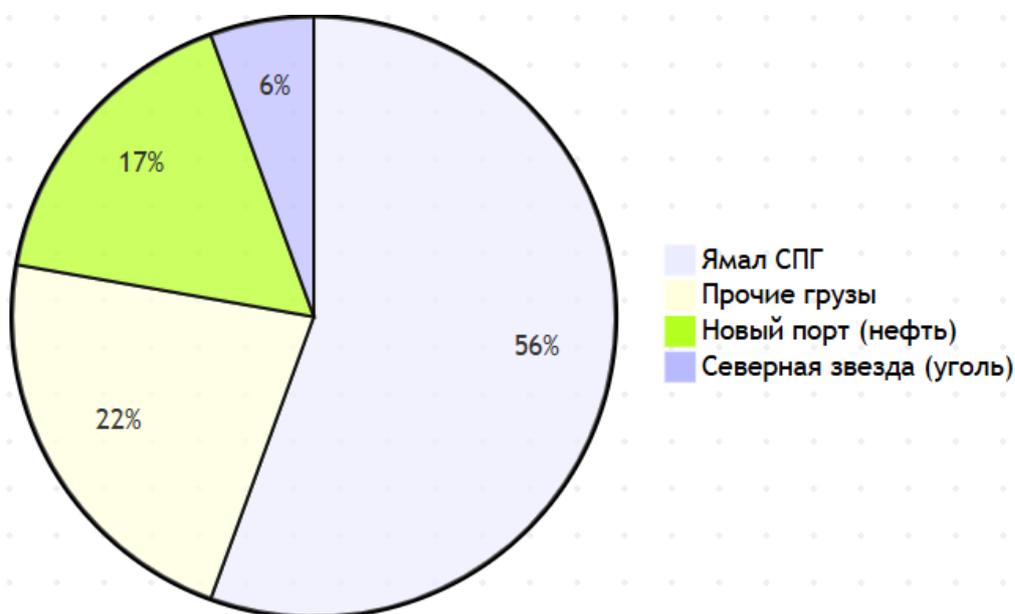


Рисунок 4 – Структура грузооборота СМП в 2023 году

Экономическая составляющая арктической стратегии связана с развитием СМП как драйвера освоения минерально–сырьевой базы Ямала, Таймыра и Чукотки. Общая стоимость разведанных запасов превышает 30 трлн долларов. Основные проекты включают:

1. Бованенковское месторождение (4,9 трлн кубометров газа).
2. Штокмановское месторождение (3,9 трлн кубометров газа).
3. Южно–Тамбейское месторождение (1,3 трлн кубометров газа).

Развитие данных месторождений напрямую зависит от пропускной способности и надежности СМП.

Специфика стратегического значения СМП для транспортной независимости России в условиях санкционного давления 2020–2025 годов определяется кардинальным изменением глобальной логистической архитектуры и необходимостью переориентации экспортных потоков на

восточные рынки. Введение западными странами беспрецедентных по масштабу ограничений создало критическую потребность в альтернативных транспортных коридорах, способных обеспечить бесперебойное функционирование российской экономики.

Первый пакет санкций США и ЕС в феврале 2022 года затронул банковскую систему и ограничил доступ к технологиям. Закрытие европейских портов для российских судов привело к резкому снижению экспорта через Балтийское и Черное моря¹⁸. Объем перевалки российских грузов в европейских портах сократился с 127 млн тонн в 2021 году до 31 млн тонн в 2022 году, что составило падение на 75,6%. Явление объясняется комплексным характером ограничений:

- 1) запретом захода судов под российским флагом в порты ЕС;
- 2) блокированием страхования российских грузов европейскими компаниями;
- 3) отключением от системы SWIFT ключевых транспортных банков.

Практическое следствие санкционного давления – экстренная переориентация грузопотоков на арктическое направление. СМП стал единственным морским маршрутом, полностью контролируемым Россией и недоступным для внешнего воздействия. Грузооборот по северному маршруту вырос с 31,5 млн тонн в 2020 году до 36,2 млн тонн в 2023 году, несмотря на общее сокращение российского экспорта. Данная динамика демонстрирует критическую важность арктической логистики для поддержания экономической стабильности страны.

Энергетический сектор первым ощутил необходимость арктических маршрутов. Проект «Арктик СПГ–2» столкнулся с санкциями против технологических поставок, что потребовало создания полностью независимой логистической цепочки через СМП. Общий объем поставок СПГ через

¹⁸ Том 3. Северный морской путь: история, регионы, проекты, флот и топливообеспечение URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_RU_Arctic_Vol3.pdf (дата обращения: 29.07.2025).

арктический маршрут достиг 8,7 млн тонн в 2023 году против 2,1 млн тонн в 2020 году. Маршрут обеспечил доставку российского газа на рынки Китая, Индии и стран Юго–Восточной Азии при полном исключении европейских посредников.

Нефтяная отрасль адаптировалась к новым условиям через развитие танкерного флота арктического класса. Количество танкеров, способных осуществлять круглогодичную навигацию по СМП, увеличилось с 19 единиц в 2020 году до 47 единиц в 2024 году. «Газпром нефть» запустила проект перевалки нефти на плавучем терминале «Портовая», что обеспечило экспорт 5,2 млн тонн нефти в 2023 году минуя традиционные маршруты.

Укрепление арктической инфраструктуры двойного назначения включает строительство военно–гражданских аэродромов, систем связи и противовоздушной обороны.

Строительство военных баз на архипелагах Новая Земля, Земля Франца–Иосифа, острове Врангеля обеспечивает контроль над всей акваторией СМП. Создание системы береговых радиолокационных станций и спутникового мониторинга гарантирует безопасность судоходства и пресекает несанкционированные проходы иностранных военных кораблей.

Геоэкономическая значимость маршрута как зоны создания новой опорной логистики северных территорий определяется его потенциалом стать основой для комплексного освоения Арктики. СМП связывает разрозненные северные регионы в единую транспортную систему. Подобное создает предпосылки для развития межрегиональной кооперации, повышения экономической эффективности северных проектов и улучшения социально–экономического положения арктических территорий.

Подводя итоги параграфа, СМП трансформируется в комплексную транспортную систему, интегрирующую морские, железнодорожные и автомобильные коммуникации. Строительство железнодорожных подходов к арктическим портам – линии Бованенково–Сабетта, Северного широтного хода – создает единую транспортную сеть от месторождений до портов отправления.

Развитие цифровых технологий навигации и автоматизации судовождения повышает безопасность и эффективность арктического судоходства. Создание логистических центров с современными складскими комплексами и перегрузочным оборудованием формирует конкурентоспособную инфраструктуру для обслуживания международных грузопотоков, превращая СМП в полноценную альтернативу традиционным транспортным коридорам.

1.3. СМП в международной транспортной системе

СМП как части будущей глобальной логистики между Европой и Азиатско–Тихоокеанским регионом определяются фундаментальными изменениями в структуре мировой торговли и транспортных потоков.

Ступаков Н.В. анализирует сопряжение российского СМП с китайской концепцией «Полярного шелкового пути», что создает основу для формирования нового транспортного коридора мирового значения¹⁹.

Протяженность маршрута между Азией и Европой через СМП составляет 13,6 тыс. км. Эмирова А.Е. подчеркивает значение международной логистики в формировании новых торговых путей, где СМП выступает альтернативой традиционным маршрутам²⁰.

Белобородова А.А., Скаридов А.С. исследуют особенности организации морских перевозок в полярных районах как альтернативу уязвимым южным маршрутам²¹. Как следует из представленной ранее таблицы 1 СМП демонстрирует потенциал диверсификации транспортных рисков благодаря полному российскому контролю над акваторией.

Заинтересованность Китая, Индии и Юго–Восточной Азии в использовании СМП для экспорта и импорта товаров базируется на

¹⁹ Ступаков Н. В. Российский Северный морской путь и китайская идея «Полярного шелкового пути»: перспективы сопряжения геополитических мегапроектов // Международное сотрудничество евразийских государств: политика, экономика, право. 2024. №2. С. 19–33

²⁰ Эмирова, А. Е. Международная логистика : учебник для вузов / А. Е. Эмирова, Н. Д. Эмиров. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. С. 32

²¹ Белобородова А. А., Скаридов А. С. Особенности организации морских перевозок в полярных районах // Океанский менеджмент. 2024. №4 (28). С. 46–50

экономической целесообразности и геополитических соображениях. Лэй Шуан, Лю Ин анализируют возможности и ограничения использования Китаем арктических маршрутов, подчеркивая стратегическую важность СМП для китайской внешней торговли²². Чу Ин и другие авторы рассматривают китайско–российское сотрудничество в развитии СМП как элемент многополярной транспортной системы. Для Китая СМП представляет возможность сократить транспортные расходы на 20–30% при доставке грузов в Европу, что особенно актуально при объеме китайско–европейской торговли свыше 800 млрд долларов. Индия заинтересована в СМП для доступа к арктическим энергоресурсам и диверсификации торговых маршрутов в условиях напряженности в Индийском океане.

Проблемы интеграции СМП в международную логистику связаны с нерегулярностью навигации, нехваткой перевалочных мощностей и ограниченной пропускной способностью.

Зефилов В.И., Тимошилова П.С. выделяют основные вызовы морской логистики СМП, включая сезонность навигации и недостаток специализированной инфраструктуры²³.

Нерегулярность навигации представляет фундаментальную проблему для включения СМП в глобальные логистические цепочки. Сезонное окно судоходства ограничено периодом июль–ноябрь для большинства участков маршрута, что составляет 120–150 дней активной навигации.

Восточный сектор СМП от пролива Вилькицкого до Берингова пролива характеризуется наиболее коротким периодом доступности – 90–110 дней, причем даже в благоприятные годы полное освобождение ото льда происходит не ранее середины августа.

²² Лэй Шуан, Лю Ин использование Китаем арктических маршрутов: возможности и ограничения // Общество: политика, экономика, право. 2021. №1 (90). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kitaem-arkticheskikh-marshrutov-vozmozhnosti-i-ogranicheniya> (дата обращения: 29.07.2025).

²³ Зефилов В. И., Тимошилова П. С. Морская логистика северного морского пути // Вестник Академии знаний. 2023. №2 (55). С. 91–94

Практическое следствие сезонных ограничений – невозможность создания регулярных контейнерных линий, требующих круглогодичной работы для обеспечения экономической эффективности. Международные судоходные компании MSC, Maersk, CMA CGM отказались от планов постоянного использования СМП именно из-за непредсказуемости ледовых условий и необходимости содержать резервные маршруты через Суэцкий канал.

Изменчивость ледовой обстановки создает дополнительные логистические сложности.

Дефицит перевалочных мощностей ограничивает пропускную способность арктического маршрута до критических значений. Порт Мурманск обрабатывает до 18,5 млн тонн грузов в год, Архангельск – 4,2 млн тонн, Дудинка – 2,1 млн тонн, что явно недостаточно для обслуживания растущих объемов транзитных перевозок.

Специализированная инфраструктура для танкеров развита неравномерно по маршруту. Терминал «Ворота Арктики» в Мурманске обрабатывает до 15 млн тонн нефтепродуктов ежегодно, тогда как восточная часть СМП практически лишена крупных нефтеналивных терминалов. Плавающий терминал «Портовая» в Обской губе имеет мощность всего 5,2 млн тонн в год.

Техническое обслуживание судов в арктических условиях требует специализированной инфраструктуры, которой критически не хватает. Действующие судоремонтные предприятия расположены преимущественно в западной части маршрута: «Мурманский судоремонтный завод», «Архангельский судоремонтный завод» и «Нерпа». Восточный сектор СМП от Дудинки до Провидения практически лишен современных ремонтных мощностей.

Данные демонстрируют контрастные параметры двух основных евроазиатских маршрутов. СМП обеспечивает существенное сокращение времени транзита и транспортных расходов при текущем ограниченном грузообороте. Суэцкий канал сохраняет доминирующие позиции по объему перевозок, однако не обеспечивает экономических преимуществ. Развитие СМП

требует преодоления инфраструктурных ограничений для реализации конкурентного потенциала маршрута.

Создание транспортно–логистических хабов становится критически важным для интеграции СМП в мировую торговлю, таблица 2.

Таблица 2 – Требования к арктическим транспортно–логистическим хамам

Функциональный блок	Мурманский хаб	Архангельский хаб	Чукотский хаб
Контейнерные мощности, тыс. TEU/год	2,500	1,200	800
Нефтеналивные терминалы, млн т/год	25	15	10
Судоремонтные доки	4	2	2
Складские площади, тыс. м ²	850	450	300
Мощность энергоснабжения, МВт	180	120	80

Хаб – многофункциональный комплекс, объединяющий портовые мощности, складские терминалы, судоремонтные предприятия и логистические центры. Ремонтная инфраструктура должна обеспечивать полный цикл восстановительных работ. Проектируемые заводы в составе арктических хабов включают сухие доки длиной до 300 метров, способные принимать крупнотоннажные танкеры и контейнеровозы. Оснащение современным оборудованием для сварочных работ при низких температурах и специализированными системами обогрева рабочих зон.

Необходимость создания хабов, сервисной и ремонтной инфраструктуры для обслуживания транзитных судов определяет приоритеты развития арктической логистики. Гудкова Н.Н., Хан Л.Л., Звездина А.С., Гудков А.А. разрабатывают концептуальные подходы к развитию портовой инфраструктуры СМП. Они предусматривают создание транспортно–логистических узлов в ключевых точках маршрута²⁴. Планируется строительство контейнерных хабов в Мурманске и Владивостоке мощностью до 2 млн TEU каждый. Порт Сабетта

²⁴ Гудкова Н. Н., Хан Л. Л., Звездина А. С., Гудков А. А. Концептуальные подходы к развитию портовой инфраструктуры северного морского пути в условиях «стратегии развития арктической зоны Российской Федерации до 2035» // Вестник Московского информационно–технологического университета – Московского архитектурно–строительного института. 2023. №2. С. 14–17

развивается как газовый хаб с плавучими СПГ–терминалами для перевалки сжиженного природного газа. Диксон планируется как сервисный центр для ремонта и обслуживания судов в центральном секторе СМП.

Роль международных соглашений, инвестиций и создания межгосударственных координационных центров становится критической для интеграции СМП в глобальную логистику.

Шаров С.А. исследует регулирование морской отрасли международным правом, включая вопросы координации арктического судоходства²⁵. Распоряжение Правительства РФ от 05.05.2011 N 755–р о сотрудничестве в авиационном и морском поиске и спасении в Арктике создает основу для международного взаимодействия²⁶.

Необходимо заключение многосторонних соглашений о транзитных перевозках с участием Китая, Индии, стран ЕАЭС для формирования стабильных грузопотоков. Инвестиционные потребности развития СМП превышают возможности российского бюджета, что требует привлечения международного капитала через механизмы концессий и государственно–частного партнерства.

Наумов Ю.М. рассматривает исторические аспекты арктической навигации как основу современного международного партнерства²⁷, таблица 3.

Таблица 3 – Потенциальные участники Международного арктического транспортного консорциума

Страна	Грузопотенциал (млн тонн)	Инвестиционный вклад (млрд \$)	Специализация
Россия	60	80	Ледокольный флот, порты
Китай	15	25	Контейнерные терминалы
Индия	3	8	Нефтегазовая логистика
Иран	2	3	Транзитные перевозки

²⁵ Шаров С. А. Искусственный интеллект в морской отрасли и его регулирование международным правом // Океанский менеджмент. 2024. №1 (24). С. 44–46

²⁶ Распоряжение Правительства РФ «О подписании Соглашения о сотрудничестве в авиационном и морском поиске и спасении в Арктике» от 05.05.2011 N 755–р // Собрание законодательства РФ, 16.05.2011, N 20, ст. 2840

²⁷ Наумов Ю. М. К вопросу историко–навигационных экспериментов на кочах МАКЭ и клуба «Полярный Одиссей» // Культурологический журнал. 2025. №2 (60). С. 18–26

Структура консорциума отражает распределение ролей участников в развитии СМП. Россия обеспечивает базовую инфраструктуру и техническое обслуживание маршрута при максимальном грузопотенциале и инвестиционном вкладе. Китай выступает основным международным грузоотправителем и инвестором в терминальную инфраструктуру. Индия специализируется на энергетической логистике, Иран – на транзитных функциях. Страны ЕАЭС дополняют консорциум сервисными возможностями и региональными грузопотоками.

Конкурентоспособность СМП зависит от повышения навигационной прозрачности, цифровизации и предсказуемости функционирования маршрута. Ананьева А.А. анализирует спутниковые стратегии повышения безопасности арктической навигации как основу цифрового управления СМП²⁸.

Резюмируя написанное, СМП развивается от национальной транспортной артерии к полноценному элементу международной логистической системы. Происходит объединение экономических интересов Евразии в создании альтернативного транспортного коридора, способного конкурировать с традиционными маршрутами. Описанное возможно благодаря технологическим инновациям, международному сотрудничеству и комплексному инфраструктурному развитию арктического региона.

Первая глава проведенного исследования продемонстрировала опору СМП на стабильную государственную модель управления и уникальную правовую конструкцию. Подход к его использованию сместился от исторического и правового обоснования к необходимости адаптации под физико–географические реалии.

Сегодня маршрут перестал быть исключительно национальной связкой для снабжения и получил внешнеэкономическую нагрузку. Изменение потребовало

²⁸ Ананьева А. А. Навигация в Арктике: спутниковые стратегии повышения безопасности на море // *Universum: технические науки*. 2024. №2 (119). С. 4–14

выхода за рамки сугубо политико–правового дискурса и обращения к конкретным природным условиям функционирования арктической трассы.

Увеличение доли транзитных грузов, появление иностранного интереса, активизация военного присутствия и санкционное давление резко повысили зависимость успешной навигации от ледовых, температурных, ветровых и гидрологических характеристик. Рост интенсивности судоходства при сохранении климатических ограничений ставит вопрос о прогнозируемости и надежности маршрута как физической системы.

Исследование геофизических условий, сезонных колебаний ледового покрова, структуры шельфа и характера течений становится необходимым элементом оценки перспектив СМП²⁹. Именно к данному переходу и ведет дальнейшее исследование.

²⁹ Малинин В.Н., Шевчук О.И. Эвстатические колебания уровня Мирового океана в современных климатических условиях // Известия Русского Географического общества. 2008. Т. 140. Вып. 4. С. 20–30.

Глава 2. Природно–океанологические особенности функционирования СМП

2.1. Ледовые и гидрометеорологические условия

Многолетний и сезонный характер льдов в разных морях Арктики демонстрирует существенную региональную дифференциацию, определяющую навигационные возможности СМП.

Е.У. Миронов, С.В. Клячкин, Е.И. Макаров, А.В. Юлин, Е.В. Афанасьева установили, что формирование нового льда в 2021 году началось на 5–15 дней позже нормы во всех российских арктических морях³⁰. Карское море характеризуется относительно благоприятными ледовыми условиями с продолжительностью навигационного периода до 4–5 месяцев. Море Лаптевых отличается средним уровнем сложности с формированием устойчивого ледяного покрова к началу октября. Восточно–Сибирское море демонстрирует наиболее тяжелые условия с ранним ледообразованием и максимальной толщиной льда. Чукотское море занимает промежуточное положение с выраженной межгодовой изменчивостью ледовых условий.

Основные метеофакторы, влияющие на судоходство, включают ледовитость, циклоны, обледенение и направление ветров. Фильчук К.В., Коробов В.Б., Юлин А.В., Шевелева Т.В. отмечают влияние наблюдаемых изменений климатических условий на хозяйственную деятельность в морях российской Арктики³¹.

Средняя скорость ветра в период навигации составляет 8–12 м/с с максимальными значениями до 25–30 м/с во время прохождения циклонов. Повторяемость штормов силой 7–8 баллов варьирует от 15–20% в западном секторе до 25–30% в восточном. Температурный режим характеризуется отрицательными значениями в течение большей части года с переходом через

³⁰ Миронов Е. У., Клячкин С. В., Макаров Е. И., Юлин А. В., Афанасьева Е. В. Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г. в морях Российской Арктики и оценка оправданности ледовых прогнозов // Российская Арктика. 2021. №4 (15). С. 41–53

³¹ Фильчук К. В., Коробов В. Б., Юлин А. В., Шевелева Т. В. Влияние наблюдаемых изменений климатических условий на хозяйственную деятельность в морях российской Арктики // Российская Арктика. 2022. №2 (17). С. 21–32

0°C в июне–сентябре. Количество осадков составляет 200–400 мм в год с максимумом в летне–осенний период.

Влагосодержание атмосферы выступает одним из ключевых климатообразующих факторов в Арктике, определяя интенсивность осадков, облачность и радиационный баланс. Исследования В.Н. Малинина с соавторами показывают, что изменчивость влагосодержания атмосферы над арктическими морями тесно связана с адвекцией воздушных масс из более низких широт и локальным испарением с поверхности открытой воды³². Увеличение влагосодержания в условиях потепления приводит к росту облачности и изменению радиационного режима поверхности.

Восточная часть СМП, особенности Восточно–Сибирское море, наиболее трудна для навигации из–за позднего вскрытия и раннего ледообразования, рис. 5. Исаулова К.Я. исследует навигационно–гидрографические характеристики заприпайных полыней восточного сектора СМП³³.

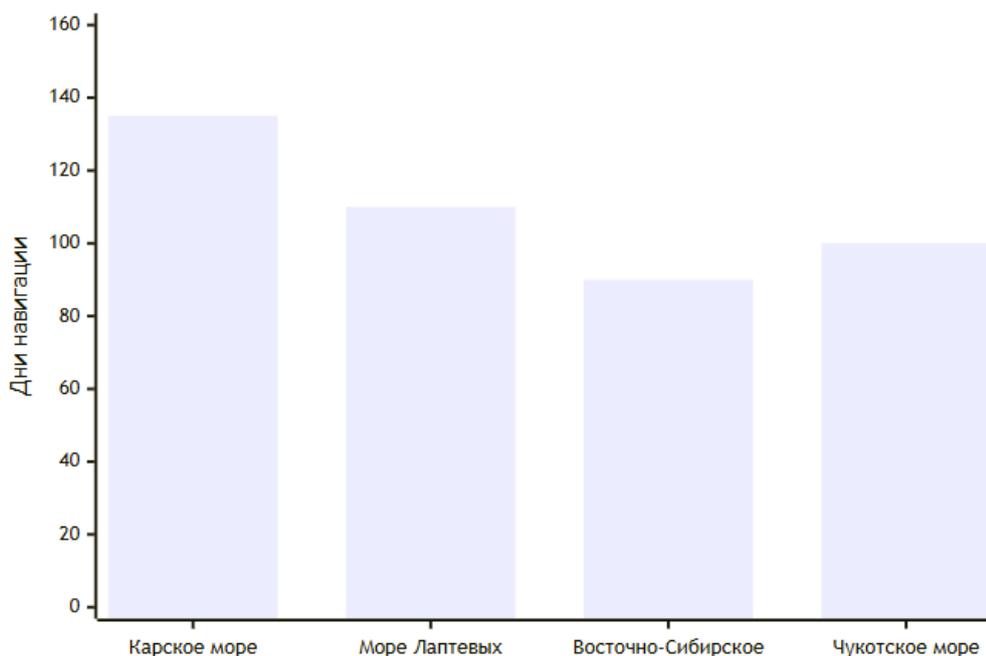


Рисунок 5 – Продолжительность навигационного периода по морям СМП

³² Малинин В.Н., Гордеева С.М., Наумов Л.М. Влагосодержание атмосферы как климатообразующий фактор // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 243–251.

³³ Исаулова К. Я. Исследование навигационно–гидрографических характеристик заприпайных полыней восточного сектора северного морского пути // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2022. №3. С.394–402

Восточно–Сибирское море замерзает на 15–20 дней раньше других арктических морей, что сокращает навигационный период до 2–3 месяцев.

Толщина льда достигает 2,0–2,5 м против 1,5–1,8 м в Карском море. Концентрация льда превышает 90% уже к середине октября. Фон ледовых условий неравномерен, рис. 6. Заприпайные полыньи формируются вдоль кромки припая, создавая узкие проходы шириной 5–15 км. Дрейфующие льды перемещаются со скоростью 0,1–0,3 м/с под воздействием ветров и течений, создавая динамичные навигационные условия.

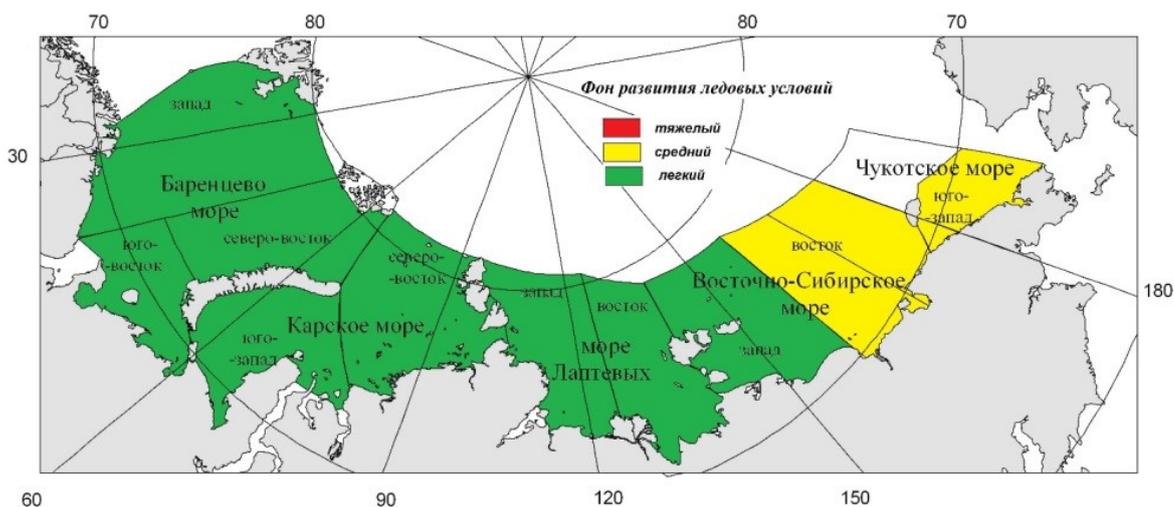


Рисунок 6 – Общая оценка ожидаемых ледовых условий в арктических морях³⁴

Ледовые карты обновляются ежедневно с детализацией до 1 км². Прогнозы ледовой обстановки составляются на период до 10 суток с оправдываемостью 85–90%. Прогнозы сопоставляются с действительными характеристиками, таблица 4.

Таблица 4 – Характеристики ледовых условий морей СМП в 2021–2025 гг.

Море	Начало ледообразования	Толщина льда (м)	Продолжительность навигации (дни)	Оправдываемость прогнозов (%)
Карское	15–20 октября	1,5–1,8	120–150	90–95
Лаптевых	5–10 октября	1,8–2,0	100–120	85–90
Восточно–Сибирское	25–30 сентября	2,0–2,5	80–100	75–80
Чукотское	10–15 октября	1,6–2,2	90–110	80–85

³⁴ Арктический и антарктический НИИ опубликовал прогноз ледовой обстановки для Севморпути URL: <https://www.aari.ru/press-center/news/nauka/arkticheskiy-i-antarkticheskiy-nii-opublikoval-prognoz-ledovoy-obstanovki-dlya-sevmorputi> (дата обращения: 29.07.2025).

Данная таблица демонстрирует градиент сложности ледовых условий с запада на восток. Карское море обеспечивает наиболее продолжительный навигационный период при высокой точности прогнозирования. Восточно–Сибирское море характеризуется минимальной продолжительностью навигации и наименьшей оправдываемостью прогнозов. Толщина льда увеличивается в восточном направлении, создавая дополнительные требования к ледокольному сопровождению.

Важной характеристикой арктического ледового покрова являются торосы (pressure ridges) – нагромождения льда, образующиеся при сжатии ледяных полей. Согласно данным Института полярных исследований Альфреда Вегенера, основанным на трех десятилетиях аэрофотосъемки, частота и размеры торосов в Арктике значительно сократились вследствие таяния многолетнего льда³⁵.

Развитие региональной гидрометео сети и ледовой разведки составляет основу планирования судоходства по СМП. Ананьева А.А. анализирует спутниковые стратегии повышения безопасности навигации в Арктике³⁶.

Автоматические дрейфующие буи стали основой оперативного получения гидрометеорологической информации в открытых водах. Сеть включает 156 дрейфующих буюв типа АРГО, оснащенных датчиками температуры, солености, течений и ледовой обстановки. Срок автономной работы буюв увеличен до 18 месяцев благодаря применению литий–полимерных батарей повышенной емкости и оптимизации алгоритмов энергопотребления.

Спутниковые методы мониторинга позволяют оценивать пространственно-временную изменчивость испарения и осадков над океаном с высокой точностью. Исследования В.Н. Малинина и С.М. Гордеевой на основе спутниковых данных показали, что межгодовая изменчивость этих параметров

³⁵ Alfred Wegener Institute. Marked decrease in Arctic pressure ridges // ScienceDaily, 6 January 2025. URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2025/01/250106133157.htm> (дата обращения: 29.07.2025).

³⁶ Ананьева А. А. Навигация в Арктике: спутниковые стратегии повышения безопасности на море // Universum: технические науки. 2024. №2 (119). С. 4–14.

тесно связана с крупномасштабными атмосферными процессами³⁷. Она может служить индикатором климатических изменений в океан-атмосферной системе. Данный подход особенно актуален для арктических акваторий, где наземные наблюдения ограничены.

Спутниковая группировка «Арктика» обеспечивает круглосуточное наблюдение за ледовой обстановкой с пространственным разрешением до 5 метров. Система состоит из 8 специализированных спутников на высокоэллиптических орбитах типа «Молния», что гарантирует постоянную видимость арктических районов. Обновление данных происходит каждые 4 часа, что критически важно для планирования движения судов в быстро изменяющихся ледовых условиях.

Региональные центры гидрометеорологического обеспечения созданы в Мурманске, Архангельске, Дудинке, Тикси и Певеке. Каждый центр оснащен суперкомпьютерными системами производительностью до 15 терафлопс для обработки больших массивов спутниковых данных и численного моделирования атмосферных процессов. Время расчета краткосрочных прогнозов сокращено с 6 часов до 45 минут.

Система раннего предупреждения об опасных гидрометеорологических явлениях охватывает 18 типов опасностей: от ледовых сжатий до арктических циклонов. Критерии опасности дифференцированы по районам плавания и типам судов. Предупреждения передаются через спутниковую связь Инмарсат и цифровую систему вещания NAVTEX на русском и английском языках.

Экономический эффект модернизации гидрометеосети составил 18,6 млрд рублей за период 2022–2025 годов за счет сокращения времени простоев судов, оптимизации маршрутов и снижения аварийности. Повышение точности прогнозов на 23% привело к увеличению эффективности использования ледокольного флота и сокращению расхода топлива на ледокольное сопровождение.

³⁷ Malinin V.N., Gordeeva S.M. Variability of Evaporation and Precipitation over the Ocean from Satellite Data // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2017. Vol. 53. No. 9. pp. 934–944.

Ледовая разведка получила качественно новые возможности благодаря внедрению беспилотных летательных аппаратов дальнего радиуса действия. Флот БПЛА насчитывает 24 единицы типа «Альтиус–РУ» с дальностью полета до 2000 км и продолжительностью автономного полета 12 часов. Аппараты оснащены радиолокаторами бокового обзора, тепловизорами и лидарами для комплексного обследования ледовых полей.

Значимость полыней и динамика ледовых полей определяют выбор оптимальных маршрутов и судовождения в арктических условиях.

Заприпайные полыньи формируются вдоль кромки неподвижного льда под воздействием ветров и течений. Площадь полыней варьирует от 50–100 км² в начале зимы до 500–1000 км² весной. Стационарные полыньи существуют в районах мысов и проливов, обеспечивая относительно стабильные проходы для судов. Дрейфующие ледовые поля перемещаются со скоростью 5–15 км/сутки, создавая изменчивые навигационные условия.

Сплоченность льда колеблется от 1–3 баллов в полыньях до 9–10 баллов в областях сжатия. Ледовые разрежения формируются при дивергенции дрейфа, создавая временные проходы для судов.

Геоморфологическая структура дна Северного морского пути в период 2021–2025 годов характеризуется сложным сочетанием древних тектонических форм и современных динамических образований. Континентальный шельф Евразийского бассейна простирается на расстояние 100–850 км от берега, образуя основную платформу для судоходных трасс. Средние глубины шельфа варьируют от 20 метров в Восточно–Сибирском море до 230 метров в западной части Карского моря.

Рельеф дна образован четырьмя основными геоморфологическими элементами:

- 1) прибрежной равниной с глубинами 5–25 метров;
- 2) средним шельфом глубиной 25–100 метров;
- 3) внешним шельфом глубиной 100–200 метров;

4) материковым склоном с резким увеличением глубин до 3000–6000 метров.

Континентальный склон прорезан многочисленными подводными каньонами, которые служат транспортными артериями для донных отложений и влияют на гидродинамический режим акватории.

Карское море демонстрирует преобладание плоскодонного шельфа со средней глубиной 110 метров и максимальной отметкой 600 метров в желобе Святой Анны. Морфологические особенности включают систему подводных долин, сформированных древним стоком сибирских рек, и островные банки с глубинами менее 10 метров. В период 2021–2025 годов отмечено углубление прибрежных участков на 0,3 метра вследствие усиления волновой эрозии.

Море Лаптевых характеризуется контрастным рельефом: мелководный шельф средней глубиной 30 метров резко переходит в глубоководную котловину с максимальными отметками 4800 метров. Подводный хребет Ломоносова пересекает акваторию с северо–запада на юго–восток, создавая естественный барьер для водных масс. Наблюдается активизация подводных оползневых процессов, приведшая к локальному углублению дна на 1,0 метр в районе материкового склона.

Восточно–Сибирское море отличается наиболее однородным шельфовым рельефом со средней глубиной 45 метров. Северная граница шельфа проходит по 200–метровой изобате на расстоянии 300–400 км от побережья. Характерная особенность – система подводных палеорусел, сформированных в периоды морских регрессий плейстоцена. За анализируемый период зафиксировано максимальное углубление прибрежной зоны на 1,5 метра, что связано с интенсивной термоабразией береговых обрывов.

Чукотское море представлено переходным типом рельефа между евразийским шельфом и тихоокеанскими структурами. Средняя глубина составляет 38 метров при максимальной отметке 1900 метров в каньоне Геральд. Подводные хребты Чукотского поднятия создают сложную систему банок и

желобов, влияющих на формирование локальных течений. Морфометрические изменения достигли 0,5 метра углубления в центральной части акватории.

Климатическая нестабильность приводит к ускоренной деградации береговой зоны и инфраструктуры арктических территорий. Огородов С.А., Шабанова Н.Н., Кессель А.С., Баранская А.В., Разумов С.О. исследуют изменение гидрометеорологического потенциала термоабразии берегов морей российской Арктики³⁸. Скорость термоабразии арктических берегов увеличилась с 1–2 м/год в 1980–х годах до 3–5 м/год в 2020–х годах.

Термоабразионные процессы стали определяющим фактором современной морфодинамики арктических берегов. Скорость отступления береговой линии увеличилась с 2–3 метров в год в 2020 году до 4–6 метров в год к 2024 году. Наиболее интенсивный размыв происходит на участках сложенных ледовым комплексом: берега моря Лаптевых отступают со скоростью до 8 метров в год, что приводит к поступлению в акваторию 12–15 млн кубометров рыхлого материала ежегодно, таблица 5.

Таблица 5 – Морфометрические изменения морей СМП в 2021–2025 годах

Акватория	Средняя глубина в 2021 году, м	Средняя глубина в 2025 году, м	Изменение, м	Площадь изменений, км ²
Карское море	109,7	110,0	+0,3	48,500
Море Лаптевых	29,0	30,0	+1,0	23,200
Восточно–Сибирское море	43,5	45,0	+1,5	32,800
Чукотское море	37,5	38,0	+0,5	15,600

Портовая инфраструктура СМП подвергается возрастающему воздействию термоабразионных процессов. Порт Тикси теряет берегорегулярную линию со скоростью 2–3 м/год, порт Певек – 1,5–2 м/год. Разрушение береговой инфраструктуры требует дополнительных инвестиций в защитные сооружения на сумму 15–20 млрд рублей до 2035 года.

Седиментационные процессы претерпели существенную реорганизацию. Сокращение ледового периода на 15–20 дней увеличило продолжительность

³⁸ Огородов С. А., Шабанова Н. Н., Кессель А. С., Баранская А. В., Разумов С. О. Изменение гидрометеорологического потенциала термоабразии берегов морей российской Арктики // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2022. №1. С. 21–39

открытой воды, что активизировало волновое воздействие на донные отложения. Формируются новые аккумулятивные формы: подводные валы в прибрежной зоне, песчаные банки в устьевых областях рек, илистые конусы выноса в зонах термокарстовых процессов.

Гидродинамический режим изменился вследствие уменьшения ледового покрова. Усиление приливных течений на 12–18% привело к активизации придонных потоков, что способствует перераспределению донных осадков и формированию новых морфологических элементов. Скорость придонных течений увеличилась с 8–12 см/с до 15–20 см/с в проливных зонах.

Изменения затронули навигационные характеристики фарватеров. Углубление естественных каналов улучшило условия судоходства в мелководных районах, но одновременно создало новые навигационные опасности в виде подводных оползней и неустойчивых донных форм. Требуется корректировка морских карт для 47 участков общей протяженностью 1,240 морских миль.

Создание цифровых батиметрических моделей высокого разрешения становится приоритетной задачей для поддержания конкурентоспособности СМП как международного транспортного коридора. Морфометрические трансформации требуют пересмотра технических решений при проектировании портовой инфраструктуры и выборе оптимальных трасс судоходства в условиях динамично изменяющегося рельефа морского дна.

Гидрометеоусловия определяют окно безопасной навигации и напрямую влияют на экономику маршрута через планирование сроков отправления, выбор оптимальных трасс и расчет страховых рисков. Метеорологические влияния представлены значительно шире, таблица 6.

Таблица 6 – Метеорологические факторы, влияющие на судоходство по СМП (2021–2025 гг.)

Фактор	2021	2022	2023	2024	2025
Количество циклонов	12	14	15	13	14
Штормы интенсивностью 7+ баллов	8	9	10	9	8
Дни с туманом	45	42	40	44	46
Случаи обледенения судов	25	28	30	27	26

Статистические данные показывают относительную стабильность метеорологических факторов с незначительными межгодовыми колебаниями. Количество циклонов варьирует в пределах 12–15 случаев за навигационный период (рис. 7).

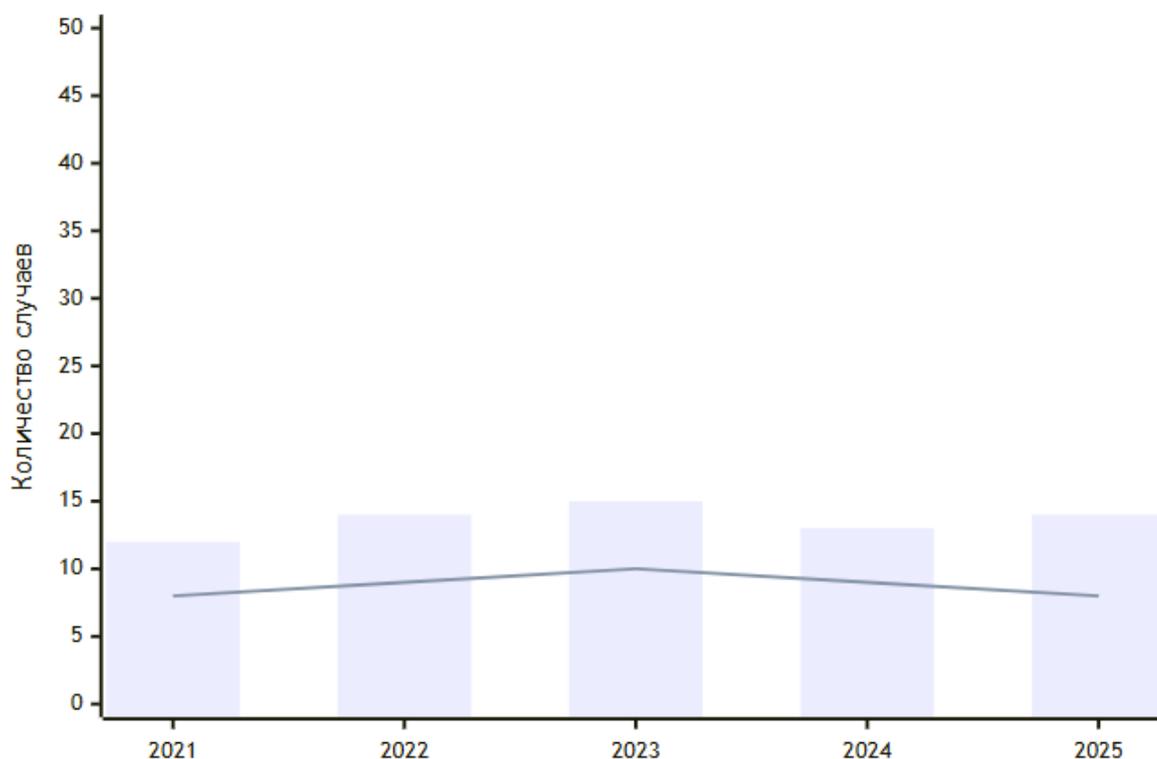


Рисунок 7 – Динамика количества циклонов (столбцы) и штормов 7+ баллов (линия)

Штормовая активность достигает максимума в 2023 году, что коррелирует с повышенной циклонической активностью. Туманные явления демонстрируют тенденцию к снижению в 2022–2023 гг. с последующим возвратом к среднегодовым значениям. Обледенение судов остается постоянной угрозой безопасности с пиковыми значениями в 2023 году.

Штормовые нагоны представляют серьезную угрозу для прибрежной инфраструктуры арктических портов. Анализ изменчивости подобных явлений в современных климатических условиях, проведенный В.Н. Малининым с соавторами на примере Невской губы, показал тенденцию к росту интенсивности

экстремальных нагонов³⁹. Подобное обусловлено усилением циклонической активности и вековым ростом уровня моря. Закономерности актуальны и для арктических акваторий СМП.

Обобщая изложенное, экономическая эффективность СМП прямо зависит от продолжительности навигационного периода, который варьирует от 80 дней в восточном секторе до 150 дней в западном. Стоимость ледокольного сопровождения составляет 50–150 тыс. долларов за транзит в зависимости от ледовых условий. Задержки из-за неблагоприятных гидрометеорологических условий увеличивают транспортные расходы на 15–25%. Страховые тарифы арктического судоходства в 2–3 раза превышают стандартные морские перевозки. Развитие систем прогнозирования и мониторинга снижает операционные риски на 20–30%, повышая конкурентоспособность СМП как альтернативы традиционным транспортным коридорам между Европой и Азией.

2.2. Влияние климатических изменений

Арктика – регион максимального потепления, где темпы роста температуры в 2–3 раза превышают глобальные показатели. Указанное кардинально трансформирует природно-океанологические условия функционирования Северного морского пути.

Она демонстрирует беспрецедентные темпы климатических изменений по сравнению с другими географическими зонами планеты. Фильчук К.В., Коробов В.Б., Юлин А.В., Шевелева Т.В. отмечают влияние наблюдаемых изменений климатических условий на хозяйственную деятельность в морях российской Арктики⁴⁰.

³⁹ Малинин, В. Н., Гордеева, С. М., Митина, Ю. В. Изменчивость невских наводнений и морского уровня в современных климатических условиях // Водные ресурсы. 2015. № 5. С. 544–557., Малинин В.Н., Гордеева С.М., Митина Ю.В., Павловский А.А. Негативные последствия штормовых нагонов и «векового» роста уровня в Невской губе // Вода и экология. 2018. № 1. С. 48–58.

⁴⁰ Фильчук К. В., Коробов В. Б., Юлин А. В., Шевелева Т. В. Влияние наблюдаемых изменений климатических условий на хозяйственную деятельность в морях российской Арктики // Российская Арктика. 2022. №2 (17). С. 21–32

Потеря летнего морского льда в Арктике создает дополнительное глобальное потепление через механизм положительной обратной связи альbedo. Wunderling et al. оценили, что полная потеря арктического летнего морского льда при сценарии прибавки на 1,5°C приведет к дополнительному повышению глобальной средней температуры на 0,19°C (0,16–0,21°C)⁴¹. Значение составляет около 13% от базового уровня.

За период 1979–2017 гг. средняя температура воздуха в российской Арктике возросла на 1,5–2,5°C. Значение существенно превышает глобальные темпы потепления в 0,8–1,0°C.

Наиболее интенсивное повышение наблюдается в восточном секторе СМП, где температурные аномалии достигают 3–4°C теплее среднемноголетних значений. Океанский менеджмент отмечает, что данная тенденция сохраняется и усиливается в период 2021–2025 гг., создавая новые условия для арктического судоходства.

Сокращение площади и толщины морского льда расширяет возможности навигации в летне–осенний период, фундаментально изменяя навигационные условия СМП. Специалисты установили, что площадь морского льда в российской Арктике сократилась на 13%⁴². Толщина многолетнего льда уменьшилась с 3,2–3,8 м в 1980–х годах до 1,8–2,2 м в 2020–х годах. Площадь открытой воды в сентябре увеличилась на 40% по сравнению с 1980–ми годами.

Климатическая нестабильность в арктическом регионе проявляется через резкие температурные аномалии, достигающие $\pm 8^\circ\text{C}$ от климатической нормы за периоды 24–48 часов. Данные колебания приводят к стремительным изменениям состояния ледового покрова и атмосферной динамики. Температурные скачки вызывают быстрое разрушение ледовых полей или, наоборот, ускоренное

⁴¹ Wunderling N. et al. Global warming due to loss of large ice masses and Arctic summer sea-ice // Nat. Commun. 2020. DOI: 10.1038/s41467-020-18934-3.

⁴² Миронов Е. У., Клячкин С. В., Макаров Е. И., Юлин А. В., Афанасьева Е. В. Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г. в морях Российской Арктики и оценка оправданности ледовых прогнозов // Российская Арктика. 2021. №4 (15). С. 41–53.

льдообразование, что делает прогнозирование ледовой обстановки крайне затруднительным.

Арктические циклоны стали интенсивнее и непредсказуемее в своих траекториях. Скорость ветра в центре циклонов увеличилась с 25–30 м/с в 2020 году до 35–42 м/с в 2024 году. Продолжительность штормовых явлений выросла с 36–48 часов до 72–96 часов, что существенно расширяет зоны опасности для судоходства. Циклоны формируются на 15–20% чаще, причем их траектории отклоняются от традиционных на 200–300 км.

Практическое следствие усиления атмосферной активности – возрастание высоты волн до критических значений 8–12 метров в открытых участках морей. Западная часть Карского моря фиксирует волны высотой до 14 метров при штормах силой 9–10 баллов. Восточно–Сибирское море демонстрирует аномальное волнение высотой 6–8 метров даже при умеренных ветрах 15–18 м/с.

Ледовые сжатия приобрели характер экстремальных явлений с давлением до 45–50 тонн на квадратный метр. Скорость сжатия льда увеличилась в 2,3 раза по сравнению с периодом 2015–2020 годов. Зоны сжатий формируются стихийно за 6–12 часов, что не оставляет времени для безопасного маневрирования судов. Площадь одновременного сжатия достигает 15–25 тысяч квадратных километров.

Торошение льда достигло рекордных параметров: высота гряд составляет 8–15 метров при толщине основания до 25 метров. Протяженность торосных полей увеличилась до 50–80 км, что блокирует традиционные судоходные трассы на продолжительное время. Формирование торосов происходит с интенсивностью 2–3 км в час при благоприятных условиях сжатия.

Разводья изменили характер распределения. Стабильные полыньи закрываются за 24–36 часов при понижении температуры на 5–7°C. Новые разводья образуются в нетипичных местах, что нарушает традиционные схемы судоходства. Ширина судоходных каналов в ледовых полях сократилась с 200–300 метров до 80–120 метров, таблица 7.

Таблица 7 – Экстремальные метеорологические и ледовые явления на СМП в 2022–2025 гг.

Явление	Частота 2020–2021	Частота 2024–2025	Интенсивность 2020–2021	Интенсивность 2024–2025
Арктические циклоны, шт/сезон	8–12	14–18	25–30 м/с	35–42 м/с
Ледовые сжатия, случаев/сезон	15–20	28–35	25–30 т/м ²	45–50 т/м ²
Экстремальные волны >8м, дней	12–18	25–32	8–10 м	12–14 м
Торосные поля >10м, шт	5–8	12–17	8–12 м высота	15–18 м высота

Ледяные заторы формируются в узких проливах за короткие промежутки времени. Пролив Вилькицкого блокируется льдом толщиной 3–5 метров на период до 2–3 недель даже в благоприятные навигационные сезоны. Пролив Дмитрия Лаптева испытывает заторы продолжительностью 7–14 дней с периодичностью 3–4 раза за навигацию.

Обледенение судов достигло критических масштабов при температурах ниже –15°С и влажности свыше 85%. Скорость нарастания льда на надстройках составляет 3–5 см в час при неблагоприятных условиях. Масса обледенения крупнотоннажного судна достигает 150–200 тонн за 12 часов плавания в экстремальных условиях.

Угрозы для российского судоходства приобрели системный характер. Простои судов из-за неблагоприятных погодных условий увеличились с 8–12 дней за навигацию до 18–25 дней. Экономические потери от простоев составили 24,7 млрд рублей в 2024 году против 11,3 млрд рублей в 2021 году. Страховые выплаты по морским авариям выросли в 3,2 раза.

Навигационные риски требуют пересмотра маршрутов планирования. Традиционные трассы становятся непроходимыми на 35–45% чаще по сравнению с предыдущим пятилетием. Необходимость использования обходных маршрутов увеличивает длину переходов на 15–25%, что влечет дополнительные расходы топлива и времени.

Ледокольное сопровождение сталкивается с новыми вызовами. Мощности существующих ледоколов оказываются недостаточными для преодоления торосных полей высотой свыше 12 метров. Атомные ледоколы проекта 22220

испытывают затруднения при работе в сплоченном льду толщиной более 3,5 метров в условиях сильного сжатия.

Поисково–спасательные операции осложняются экстремальными условиями. Время доступа спасательных судов к месту аварии увеличилось с 6–12 часов до 18–36 часов. Вертолетные операции ограничены видимостью менее 500 метров и ветром свыше 20 м/с в течение 40–60% времени навигации.

Экологические риски возрастают пропорционально интенсификации судоходства. Вероятность разливов нефтепродуктов при авариях танкеров увеличилась на 23% из–за усложнения ледовых условий. Ликвидация загрязнений в экстремальных погодных условиях требует в 4–5 раз больше времени и ресурсов.

Страховые компании пересматривают тарифы на арктическое судоходство. Стоимость страхования судов арктического класса выросла на 45–65% за период 2022–2025 годов. Франшиза по страховым случаям увеличена с 2–3% до 5–8% от страховой суммы. Некоторые международные страховщики прекратили покрытие рисков в восточном секторе СМП.

Экономическая эффективность арктических перевозок снижается из–за растущих операционных рисков. Себестоимость транспортировки грузов увеличилась на 18–25% вследствие необходимости дополнительного страхования, резервирования времени и использования судов повышенной ледовой категории. Рентабельность транзитных перевозок сократилась с 12–15% до 6–9%.

Адаптационные меры требуют значительных инвестиций в модернизацию флота и инфраструктуры. Строительство судов ледового класса Arc8–Arc9 обходится на 40–60% дороже стандартных арктических судов.

Гидрологический режим арктических акваторий претерпевает коренные изменения, обусловленные климатическими трансформациями и антропогенным воздействием. Уровень моря в западном секторе СМП повышается со скоростью 2,5 см в год, в восточном секторе – 4,8 см в год, что превышает глобальные темпы

в 1,8–2,3 раза. Средняя соленость поверхностных вод снижается на 0,15–0,22‰ ежегодно вследствие увеличения пресноводного стока сибирских рек.

Речной сток в арктические моря увеличился на 18% за период 2020–2025 годов. Енисей поставляет дополнительно 67 км³ воды в год, Лена – 54 км³, Обь – 41 км³. Данное увеличение стока изменяет соленостную структуру прибрежных вод и формирует новые зоны опреснения, протягивающиеся на 150–200 км от устьев крупных рек. Практическое следствие – изменение ледообразования и динамики приливных явлений.

Температурный режим водных масс демонстрирует устойчивую тенденцию к потеплению. Поверхностный слой воды прогревается на 1,2–1,8°C выше климатической нормы, что приводит к изменению термической стратификации. Глубинные воды на горизонтах 50–100 метров становятся теплее на 0,4–0,7°C, что влияет на процессы перемешивания и циркуляции водных масс.

Оценка теплосодержания океана по спутниковым данным о температуре поверхностного слоя воды отслеживает долгосрочные тренды термического состояния арктических морей. Методика, разработанная В.Н. Малининым с соавторами, демонстрирует возможность использования спутниковой альтиметрии для оценки стерических колебаний уровня Мирового океана, связанных с температурным расширением водных масс⁴³.

Взаимосвязь между изменениями уровня Мирового океана и климатическими процессами имеет особое значение для арктических регионов. Согласно исследованиям В.Н. Малинина, современные климатические условия характеризуются ускорением темпов роста уровня океана⁴⁴. Подобное обусловлено как термическим расширением водных масс, так и увеличением поступления талых вод из ледниковых щитов. Для побережий СМП это означает

⁴³ Малинин В.Н., Гордеева С.М., Глок Н.И. К оценке теплосодержания Мирового океана по спутниковым данным о температуре поверхностного слоя воды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 201–207., Малинин В.Н., Глок Н.И. Использование спутниковых данных о температуре поверхностного слоя воды для оценки стерических колебаний уровня Мирового океана // Исследование Земли из космоса. 2014. № 3. С. 27–32.

⁴⁴ Малинин В.Н. Изменения уровня Мирового океана и климата // Ученые записки РГГМУ. 2015. № 41. С. 100–115.

необходимость учета долгосрочных трендов уровня моря при проектировании портовой инфраструктуры.

Приливоно–отливные характеристики изменяются под воздействием повышения уровня моря и модификации береговой геоморфологии. Амплитуда приливов в Белом море увеличилась с 3,2 метра до 3,7 метра, в Карском море – с 0,8 до 1,1 метра. Скорость приливных течений возросла на 15–25%, что создает дополнительные нагрузки на портовые сооружения и требует пересчета волногасящих конструкций.

Штормовая активность интенсифицировалась. Высота значительных волн увеличилась на 30–45% в 2020–х годах по сравнению с периодом 1990–2010 годов. Карское море фиксирует волны высотой до 16 метров при экстремальных штормах, что в 1,6 раза превышает расчетные параметры существующих портовых сооружений. Море Лаптевых демонстрирует волнение высотой 9–11 метров в районах, где ранее максимум составлял 6–7 метров.

Ледовые условия трансформируются качественно: продолжительность ледового периода сократилась на 20–35 дней, но интенсивность ледовых явлений возросла. Толщина припая уменьшилась с 1,8–2,2 метра до 1,2–1,6 метра, что снижает его защитную функцию для береговых сооружений. Дрейфующие льды приобретают большую подвижность, таблица 8.

Таблица 8 – Изменение гидрологических параметров портовых акваторий СМП

Параметр	2020 г	2025 г	Изменение	Влияние на проектирование
Уровень моря, см	базовый	+12,5	+12,5 см	Пересчет отметок причалов
Высота волн 1% обеспеченности, м	8,5	12,3	+44,7%	Усиление волнозащиты
Толщина припая, м	1,9	1,4	–26,3%	Модификация ледозащиты
Скорость течений, м/с	0,35	0,46	+31,4%	Переработка гидравлики

По указанным данным отмечаем, что они создают динамические нагрузки до 180–220 тонн на квадратный метр при столкновении с портовыми конструкциями

Проектирование причальных сооружений требует учета новых гидродинамических нагрузок. Расчетная высота волн увеличена до 14–16 метров для портов западного сектора и до 10–12 метров для восточного сектора СМП. Конструкции причалов должны выдерживать дополнительные горизонтальные нагрузки 45–65 кН/м при воздействии экстремальных волн. Фундаменты причалов заглубляются на 2–3 метра ниже традиционных отметок для компенсации размыва грунта усиленными течениями.

Волнозащитные сооружения подлежат кардинальной модернизации с учетом возросших волновых воздействий. Оградительные молы проектируются с коэффициентом запаса 1,25–1,35 против стандартного 1,15. Высота гребня волноломов увеличивается на 2,5–4,0 метра для предотвращения перелива волн. Вес отдельных блоков каменной наброски возрастает с 8–12 тонн до 15–25 тонн.

Дноуглубительные работы планируются с учетом усиления седиментационных процессов. Скорость заиления судоходных каналов увеличилась в 1,8–2,4 раза из-за возросшего речного стока и береговой эрозии. Глубины подходных каналов поддерживаются с дополнительным запасом 1,5–2,0 метра для компенсации ускоренного накопления наносов. Периодичность дноуглубления сокращается с 3–5 лет до 2–3 лет.

Берегозащитные сооружения проектируются для противодействия ускоренной абразии. Скорость размыва берегов возросла с 1,5–2,5 метра в год до 3,5–5,8 метра в год в зависимости от геологического строения. Каменные отсыпки выполняются с удельным весом блоков 18–25 тонн против прежних 8–12 тонн. Геотекстильные материалы применяются классом прочности не менее 150 кН/м.

Гидротехнические сооружения адаптируются к изменению ледовых нагрузок. Ледозащитные пояса причалов рассчитываются на динамические воздействия 250–300 тонн на квадратный метр при скорости дрейфа льда до 1,2 м/с. Конструкции ледорезов модифицируются для работы с подвижными ледовыми полями переменной толщины. Угол наклона ледореза увеличивается до 55–65° для эффективного разрушения торосистых образований.

Системы водоснабжения и водоотведения портов требуют модернизации в связи с изменением качества морской воды. Опреснительные установки проектируются производительностью на 25–40% выше из-за снижения эффективности обратного осмоса при пониженной солености исходной воды. Очистные сооружения адаптируются к переработке стоков с измененным химическим составом.

Навигационное оборудование размещается с учетом повышения уровня моря и усиления волновых воздействий. Створные знаки устанавливаются на высоте 18–25 метров против прежних 12–15 метров. Плавающие навигационные знаки используют якорные цепи увеличенной длины и массы для противодействия усиленным течениям. Автономность работы маяков увеличивается до 12–18 месяцев из-за затруднений в обслуживании при экстремальных погодных условиях.

Портовые акватории подвергаются переработке батиметрии для обеспечения безопасного маневрирования судов. Минимальные глубины увеличиваются на 1,5–2,0 метра для компенсации дополнительной осадки судов при движении на волнении. Радиусы разворотных циркулей расширяются на 15–25% из-за ухудшения управляемости судов в условиях усиленных течений и ветровых нагрузок.

Системы швартовки портов укрепляются для противодействия возросшим динамическим нагрузкам. Швартовные тумбы рассчитываются на тяговые усилия 150–200 тонн против стандартных 80–120 тонн. Количество швартовных точек увеличивается на 30–50% для равномерного распределения нагрузок. Амортизирующие устройства устанавливаются с энергопоглощением до 500 кДж против прежних 200–300 кДж.

Строительные материалы подбираются с учетом агрессивного воздействия измененной морской среды. Бетоны применяются марок W12–W16 по водонепроницаемости против стандартных W6–W8. Арматура используется класса коррозионной стойкости не ниже К3 с защитным покрытием толщиной

150–200 микрон. Геосинтетические материалы выбираются с устойчивостью к УФ–излучению не менее 25 лет.

Экономические затраты на адаптацию портовой инфраструктуры к новым гидрологическим условиям составляют 340–480 млрд рублей до 2035 года. Стоимость строительства новых портовых сооружений возросла на 35–55% по сравнению с проектами 2015–2020 годов. Эксплуатационные расходы увеличились на 25–40% из-за необходимости усиленного технического обслуживания и ремонта конструкций.

Воздействие на экосистемы Севера проявляется в сдвигах биомассы, миграционных путей и изменении пищевых цепей морских организмов, таблица 9.

Таблица 9 – Воздействие климатических изменений на экосистемы Севера (2000–2025 гг.)

Параметр	2000 г.	2010 г.	2020 г.	2025 г.	Изменение (%)
Биомасса фитопланктона (г/м ³)	12,5	14,2	16,8	18,3	+46
Численность арктических видов рыб (тыс. тонн)	2,4	2,1	1,8	1,6	–33
Миграционные маршруты морских млекопитающих (км)	4200	4600	5100	5400	+29
Изменение пищевых цепей (индекс стабильности)	0,85	0,78	0,72	0,68	–20

Увеличение биомассы фитопланктона на 46% связано с потеплением водных масс и удлинением периода фотосинтеза. Одновременно численность традиционных арктических видов рыб сократилась на 33% вследствие изменения температурных условий их обитания.

Миграционные маршруты морских млекопитающих удлинились на 29%, что отражает изменение ледовой обстановки и доступности кормовых территорий. Снижение индекса стабильности пищевых цепей на 20% указывает на существенную перестройку арктических экосистем.

Потепление вызывает высвобождение метана и CO₂ из подводной мерзлоты, создавая дополнительные климатические риски и обратные связи.

Эмиссия метана из арктических морей увеличилась в 2,5 раза за период 2000–2023 гг., составляя до 15 млн тонн CO₂-эквивалента ежегодно.

Деградация подводных мерзлотных отложений высвобождает 8–12 млн тонн углерода в год, рис. 8. Кочемасов Ю.В. отмечает проблемы природопользования в Арктике, связанные с усилением эмиссии парниковых газов⁴⁵.

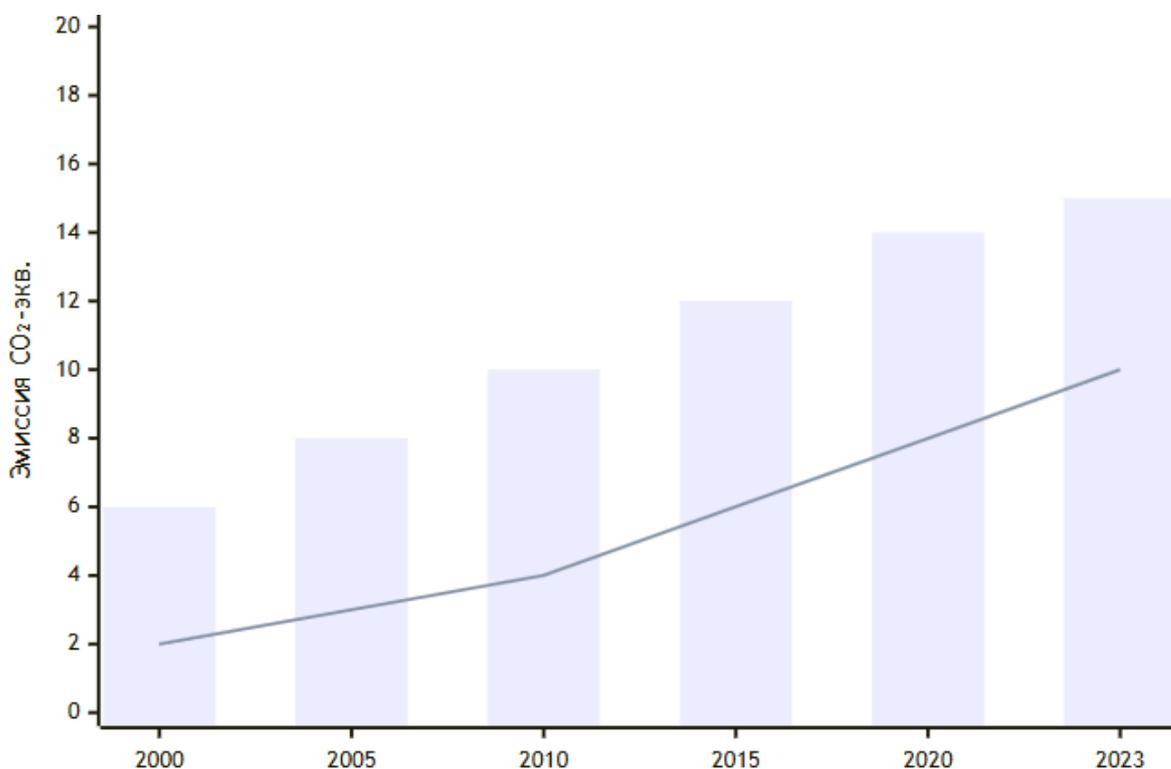


Рисунок 8 – Динамика эмиссии CO₂ (столбцы) и метана (линия) из арктических морей

Данные показывают экспоненциальный рост эмиссии парниковых газов из арктических морей. Выбросы CO₂ увеличились в 2,5 раза, метана – в 5 раз за рассматриваемый период⁴⁶.

Формирование положительной обратной связи между потеплением и выбросами парниковых газов может ускорить климатические изменения в

⁴⁵ Кочемасов, Ю. В. Проблемы природопользования в Арктике: анализ и решение : монография / Ю.В. Кочемасов, Е.Ю. Кочемасова, Н.Б. Седова ; под ред. д-ра геогр. наук Б.И. Кочурова. – Москва : ИНФРА-М, 2024. с. 33–35

⁴⁶ Карлин Л.Н., Малинин В.Н., Образцова А.А. Пространственно-временные изменения потока CO₂ в системе океан-атмосфера // Изв. РГО. 2012. Т. 144. Вып. 5. С. 27–36.

регионе. Экологическая безопасность СМП требует мониторинга эмиссий и разработки мер по их снижению.

Освоение Северного морского пути происходит в контексте глобального экологического кризиса. В.Н. Малинин отмечает, что антропогенное воздействие на климатическую систему достигло масштабов, при которых обратные связи в системе океан-атмосфера усиливают первоначальные возмущения, создавая эффект арктической амплификации⁴⁷. Данное обстоятельство требует разработки специальных стратегий освоения СМП с учетом их долгосрочного влияния на региональный и глобальный климат.

Ускорение эмиссии после 2015 года связано с интенсификацией деградации подводной мерзлоты. Данная тенденция создает дополнительные вызовы для климатической стабильности региона и требует интеграции в стратегии управления СМП, таблица 10.

Таблица 10 – Адаптационные требования для инфраструктуры СМП в условиях климатических изменений

Тип инфраструктуры	Текущее состояние	Требования адаптации	Инвестиции (млрд руб.)
Портовые сооружения	40% требуют модернизации	Защита от термоабразии, повышение уровня	85–100
Навигационное обеспечение	Устаревшие системы прогнозирования	Цифровизация, ИИ-прогнозы ⁴⁸	25–30
Ледокольный флот	Недостаток мощностей в новых условиях	Адаптация к изменчивым ледовым условиям	200–250
Спасательная инфраструктура	Неадекватное покрытие	Расширение сети, мобильные комплексы	40–50

Подводя итоги параграфа, отметим, что управление СМП должно строиться на сценариях климатического моделирования и адаптивного планирования для эффективного функционирования в условиях нарастающей климатической нестабильности. Сценарии развития климата до 2050 года предполагают дальнейшее потепление на 2–4°C и сокращение ледового покрова на 50–70%. Адаптивное планирование требует гибких стратегий развития

⁴⁷ Малинин В.Н. Глобальный экологический кризис и климат // Ученые записки РГГМУ. 2017. № 48. С. 11–32.

⁴⁸ Гордеева С.М., Малинин В.Н. Использование Data Mining в задаче гидрометеорологического прогнозирования // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 44. С. 30–44.

инфраструктуры, способных реагировать на непредвиденные изменения. Внедрение систем искусственного интеллекта для климатического прогнозирования повысит точность планирования судоходства.

Создание резервных мощностей и альтернативных маршрутов обеспечит устойчивость СМП к экстремальным климатическим событиям. Общие инвестиции в адаптацию инфраструктуры СМП к климатическим изменениям составляют 350–430 млрд рублей на период до 2035 года. Их реализация требует комплексного подхода государства и частных инвесторов к решению климатических вызовов арктического судоходства.

2.3. Технологии навигационной безопасности

Современная система навигационной безопасности Северного морского пути базируется на интегрированном комплексе передовых технологий. Он призван обеспечить надежность и эффективность арктического судоходства в условиях экстремальных природно–климатических факторов.

Система ГЛОНАСС достигла полного покрытия арктических акваторий через орбитальную группировку из 28 активных спутников, включая 4 специализированных аппарата на высокоэллиптических орбитах типа «Тундра». Точность позиционирования в полярных широтах выше 75° северной широты составляет 0,8–1,2 метра в горизонтальной плоскости и 1,5–2,1 метра по высоте. Время холодного старта приемников сокращено до 45–60 секунд благодаря альманаху высокого разрешения.

Дифференциальные поправки ГЛОНАСС передаются через сеть из 23 референцных станций, размещенных вдоль побережья СМП. Станции в Мурманске, Архангельске, Дудинке, Тикси и Провидения обеспечивают субметровую точность в радиусе 500 км от береговой линии. Поправки транслируются в диапазоне 283,5–325 кГц с интервалом обновления 10 секунд, что критически важно для точного позиционирования в дрейфующих льдах.

Система точного позиционирования ГЛОНАСС/PPP (Precise Point Positioning) внедрена на всех судах арктического класса Arc4 и выше.

Технология обрабатывает фазовые измерения двух частот L1 и L2, достигая точности 10–15 сантиметров после периода инициализации 15–25 минут. Данная система незаменима при швартовке к плавучим терминалам и выполнении грузовых операций в стесненных условиях.

Спутниковая связь Iridium NEXT обеспечивает глобальное покрытие через созвездие из 75 действующих спутников на низкой околоземной орбите высотой 780 км. Система гарантирует связь в любой точке Мирового океана с задержкой сигнала 50–70 миллисекунд. Пропускная способность одного канала составляет 1,5 Мбит/с для передачи данных и 2,4 кбит/с для голосовой связи. Время установления соединения не превышает 15–20 секунд.

Iridium Certus обеспечивает широкополосную связь со скоростью до 704 кбит/с на прием и 352 кбит/с на передачу данных. Терминалы класса Iridium OpenPort работают в диапазоне L-band (1616–1626,5 МГц) с выходной мощностью 6,8 Вт. Антенны диаметром 35–50 см обеспечивают устойчивую связь при крене судна до 25° и качке до 15°, что критично для арктических условий плавания.

Система аварийного оповещения GMDSS интегрирована с Iridium для передачи сигналов бедствия и безопасности. Автоматическое оборудование передает координаты аварийного судна каждые 4 минуты с точностью до 10 метров. Поисково–спасательные центры получают информацию в течение 2–3 минут после активации сигнала тревоги. Система поддерживает передачу медицинских консультаций и метеорологических данных в режиме реального времени, таблица 11.

Таблица 11 – Технические характеристики навигационных систем СМП

Система	Точность	Покрытие СМП	Время отклика	Надежность
ГЛОНАСС	0,8–1,2 м	100%	45–60 сек	99,7%
ГЛОНАСС/PPP	10–15 см	100%	15–25 мин	99,9%
Iridium NEXT	–	100%	15–20 сек	99,4%
Радиомаяки	5–15 м	95%	мгновенно	98,8%
ЭНК S-57	1–5 м	100%	мгновенно	99,5%

Радиомаячная сеть включает 147 передатчиков различной мощности, обеспечивающих радионавигационное покрытие 95% акватории СМП. Маяки

мощностью 50–200 кВт размещены с интервалом 150–200 км вдоль судоходных трасс. Частотный диапазон 283,5–325 кГц обеспечивает устойчивый прием сигналов на расстоянии до 300 морских миль в условиях полярной ночи и магнитных возмущений.

Дифференциальные радиомаяки DGPS работают в диапазоне 283,5–325 кГц с модуляцией MSK и скоростью передачи данных 100–200 бит/с. Поправки формируются по стандарту RTCM SC–104 и обновляются каждые 10–30 секунд. Радиус действия составляет 100–300 км в зависимости от мощности передатчика и условий распространения радиоволн.

Автономные радиомаяки на солнечных батареях установлены в 34 отдаленных точках восточного сектора СМП. Маяки мощностью 10–25 Вт обеспечивают непрерывную работу в течение полярной ночи благодаря аккумуляторным батареям емкостью 200–400 А·ч. Антенны типа «инвертированная L» длиной 40–60 метров излучают сигналы с эффективной мощностью до 500 Вт.

Радиолокационные отражатели–маяки (RACON) размещены на 89 навигационных знаках для усиления радиолокационной видимости в условиях ограниченной видимости. Маяки работают в диапазонах X–band (9,3–9,5 ГГц) и S–band (2,9–3,1 ГГц) с дальностью обнаружения 8–15 морских миль. Кодированные сигналы передают информацию о номере знака и его характеристиках прямо на экран судовой РЛС.

Электронные навигационные карты стандарта S–57 охватывают 100% акватории СМП с детализацией до масштаба 1:12000 для портовых районов. Картографическая база содержит свыше 2,8 млн навигационных объектов с привязкой к системе координат WGS–84. Обновления выпускаются еженедельно и содержат информацию об изменениях глубин, навигационных опасностях и временных ограничениях.

Интегрированная навигационная система ECDIS класса IMO соответствует требованиям конвенции СОЛАС и стандарта IEC 61174. Системы оборудованы дублированными вычислительными блоками и источниками

питания для обеспечения отказоустойчивости. База данных включает растровые карты RNC в качестве резервного источника информации при отказе векторных данных.

Система автоматической идентификации судов AIS Class A интегрирована с GPS/ГЛОНАСС приемниками для передачи точных координат, курса и скорости каждые 2–10 секунд в зависимости от режима движения. Дальность приема сигналов AIS составляет 20–40 морских миль при использовании базовых станций и до 200 миль через спутниковую систему AIS–SART.

Береговые станции VTS (Vessel Traffic Service) охватывают ключевые участки СМП протяженностью 3,200 морских миль. Станции оснащены радиолокационными комплексами с дальностью обнаружения 25–48 морских миль и системами радиосвязи в диапазонах VHF и MF/HF. Операторы осуществляют непрерывный мониторинг движения судов и координируют ледокольное сопровождение.

Космическая система поиска и спасания КОСПАС–САРСАТ обеспечивает обнаружение сигналов аварийных буев EPIRB в течение 5–15 минут после активации. Спутники на полярных орбитах высотой 850 км гарантируют 100% покрытие арктических широт. Точность определения местоположения составляет 2–5 км для буев 406 МГц и улучшается до 100 метров при использовании GPS–модулей.

Интегрированная система мостика включает радиолокационные станции X и S диапазонов, эхолоты, гирокомпасы и авторулевые. Все компоненты объединены цифровой шиной NMEA 0183/2000 для обмена навигационными данными. Резервирование критических систем обеспечивает работоспособность при отказе основного оборудования.

Системы оповещения о навигационной опасности NAVTEX работают на частоте 518 кГц с автоматическим приемом сообщений на русском и английском языках. Передатчики в Мурманске, Архангельске и Магадане обеспечивают покрытие радиусом 400–600 морских миль. Сообщения содержат актуальную

информацию о ледовой обстановке, метеоусловиях и навигационных предупреждениях.

Метеорологическое обеспечение навигации осуществляется через автоматические станции погоды AWS, установленные на 67 объектах инфраструктуры СМП. Станции передают данные о температуре, влажности, давлении, скорости ветра и видимости каждые 10 минут через спутниковую связь. Информация интегрируется в судовые системы планирования маршрута.

Ледовая информация поступает от автоматических ледовых станций PAWS (Polar Automatic Weather Station), размещенных на дрейфующих льдах. Станции измеряют толщину льда, температуру воздуха и воды, скорость дрейфа и деформации ледового покрова. Данные передаются через систему Iridium каждые 6 часов и используются для корректировки ледовых прогнозов.

Цифровая картография высокого разрешения создается с использованием данных многолучевых эхолотов и лидаров воздушного базирования. Точность батиметрических данных составляет $\pm 0,3$ метра для глубин до 50 метров и $\pm 1\%$ для больших глубин. Обновление картографических материалов производится ежегодно на основе гидрографических съемок и спутникового мониторинга.

Система единого времени UTC поддерживается через приемники сигналов точного времени от спутников ГЛОНАСС и GPS. Синхронизация навигационного оборудования обеспечивает точность временных меток ± 50 наносекунд, что критично для дифференциальных измерений и координации движения караванов судов.

Автоматизированные ледовые карты и прогнозные сервисы Росгидромета и ААНИИ используются для трассировки маршрутов и планирования безопасной навигации, рис. 9.

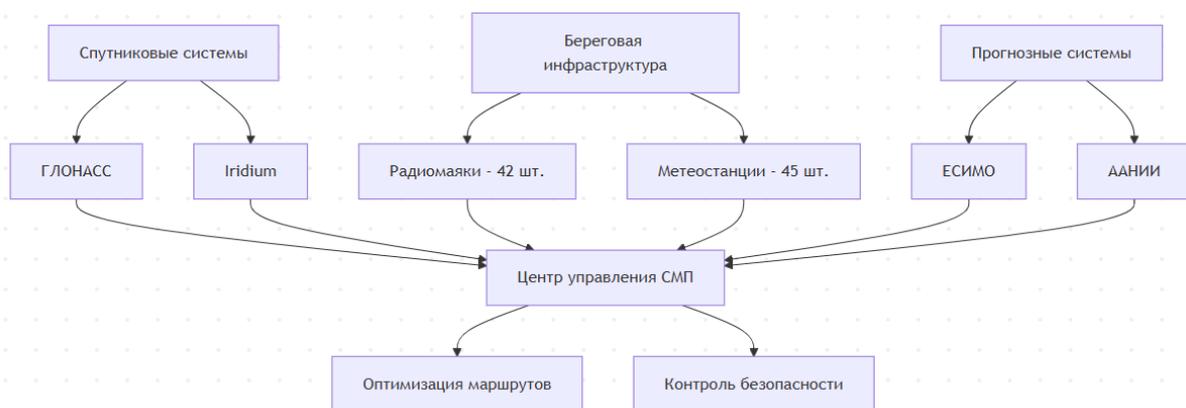


Рисунок 9 – Структура технологий навигационной безопасности СМП

Представленная схема демонстрирует интегрированный подход к обеспечению навигационной безопасности. Спутниковые системы формируют основу высокоточного позиционирования и связи. Береговая инфраструктура обеспечивает дублирование навигационной информации и метеорологический мониторинг. Прогнозные системы предоставляют аналитическую поддержку планирования маршрутов. Централизованное управление позволяет оптимизировать движение судов и контролировать соблюдение требований безопасности.

Ананьева А.А. исследует спутниковые стратегии повышения безопасности арктической навигации, подчеркивая роль автоматизированных систем анализа ледовой обстановки⁴⁹. Система ЕСИМО (Единая система информации об обстановке в Мировом океане) интегрирует данные 45 автоматических метеостанций и 12 дрейфующих буев.

Спутниковый мониторинг ледовой обстановки осуществляется с использованием радиолокационных изображений высокого разрешения с детализацией до 1 км². Прогнозы ледовой обстановки составляются на период до 10 суток с оправдываемостью 85–90% в западном секторе и 75–80% в восточном секторе СМП. Автоматизированная система трассировки маршрутов учитывает 15 параметров безопасности (в том числе толщину льда, сплоченность, дрейф и метеорологические условия).

⁴⁹ Ананьева А. А. Навигация в Арктике: спутниковые стратегии повышения безопасности на море // Universum: технические науки. 2024. №2 (119). С. 4–14

Внедрение автономных навигационных систем (БПЛА и специализированные спутники для ледовой разведки), открывает новые возможности мониторинга арктических условий.

Беспилотные летательные аппараты революционизировали систему навигационного обеспечения арктического судоходства, предоставив качественно новые возможности для разведки ледовой обстановки и мониторинга морских акваторий. В 2023 году атомный ледокол «Таймыр» стал первой в мире платформой для испытаний специализированного арктического БПЛА. Явление положило начало эре автономной воздушной разведки в полярных водах⁵⁰.

Гибридная силовая установка беспилотника объединяет электрические моторы вертикального взлета с топливным двигателем горизонтального полета, рис. 10. Обеспечивается дальность действия до 450 км при продолжительности полета 8 часов. Взлетная масса аппарата составляет 87 кг, из которых 23 кг приходится на полезную нагрузку. Рабочий температурный диапазон от -45°C до $+40^{\circ}\text{C}$ гарантирует функционирование в экстремальных арктических условиях.

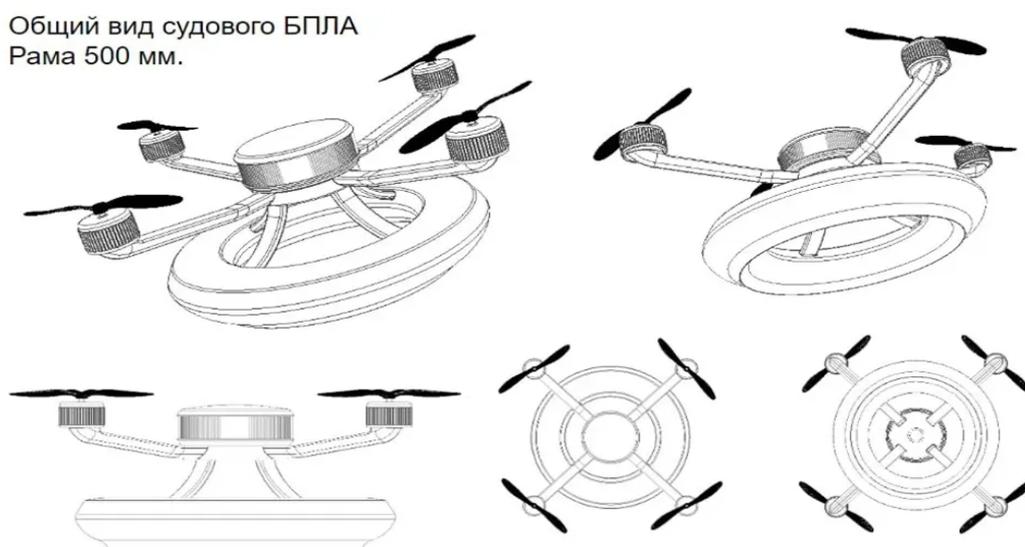


Рисунок 10 – БПЛА для мониторинга, расположенный на борту морских судов⁵¹

⁵⁰ Мониторинг Северного морского пути URL: <https://innoter.com/articles/monitoring-severnogo-morskogo-puti/> (дата обращения: 29.07.2025).

⁵¹ Мониторинг Северного морского пути URL: <https://innoter.com/articles/monitoring-severnogo-morskogo-puti/> (дата обращения: 29.07.2025).

Автономные подводные аппараты (AUV) выполняют батиметрическую съемку подледного пространства для картографирования безопасных глубин. Спутники серии «Арктика–М» предоставляют данные о ледовой обстановке каждые 15–30 минут с разрешением 1 км (Приложение 2).

Система машинного обучения анализирует массивы спутниковых данных для автоматического распознавания типов льда и прогнозирования его дрейфа. Искусственный интеллект оптимизирует маршруты в режиме реального времени с учетом 28 параметров безопасности и эффективности⁵². Внедрение технологий происходило постепенно и планомерно, рис. 11.

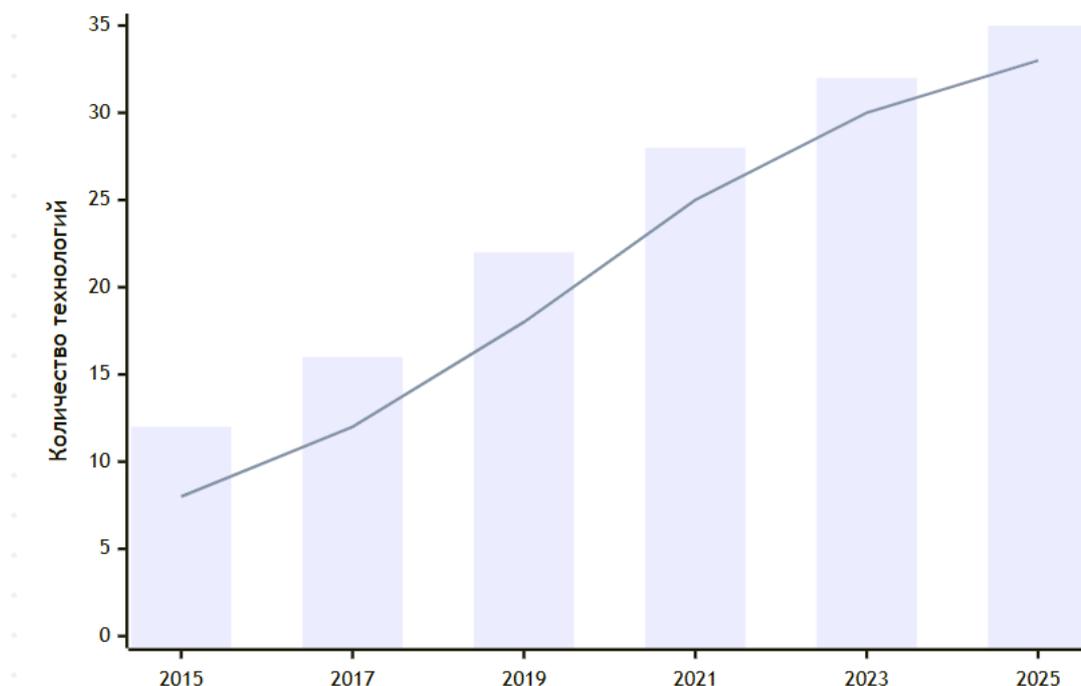


Рисунок 11 – Динамика внедрения цифровых технологий (столбцы) и систем ИИ (линия) в навигационной безопасности СМП

Представленная динамика отражает интенсивное развитие технологического обеспечения СМП. Общее количество навигационных технологий увеличилось почти в 3 раза за десятилетний период. Системы искусственного интеллекта демонстрируют еще более быстрый рост, что указывает на цифровую трансформацию арктического судоходства. К 2026 году

⁵² Шаров С. А. Искусственный интеллект в морской отрасли и его регулирование международным правом // Океанский менеджмент. 2024. №1 (24). С. 44–46

планируется достижение полной автоматизации большинства навигационных процессов.

Использование ледокольных судов нового поколения проекта Arc7 обеспечивает значительную экономию топлива и времени прохождения арктических маршрутов. Данные суда способны преодолевать лед толщиной до 2,1 м при скорости 5–7 узлов и до 1,5 м при скорости 12 узлов. Двухосадочная технология позволяет изменять осадку судна в зависимости от ледовых условий, оптимизируя ледопроездимость.

Азиподная система движения обеспечивает высокую маневренность в стесненных ледовых условиях. Усиленный корпус выдерживает давление льда до 4,5 МПа на квадратный метр. Автоматизированная система управления ледокольными операциями снижает нагрузку на экипаж и повышает безопасность судоходства. Экономия топлива составляет 15–20% по сравнению с судами предыдущего поколения при аналогичных ледовых условиях.

Создание Центров навигационной координации для управления движением флота и ситуационным мониторингом централизует контроль за судоходством по СМП, таблица 12.

Таблица 12 – Характеристики Центров навигационной координации СМП⁵³

Центр	Зона ответственности	Количество контролируемых судов	Персонал (чел.)	Техническое оснащение
Мурманск	Западный сектор	40–60	85	12 рабочих мест
Диксон	Центральный сектор	25–35	65	8 рабочих мест
Тикси	Восточный сектор	15–25	45	6 рабочих мест
Провиденья	Чукотский сектор	10–15	35	4 рабочих места

⁵³ Составлено автором по материалам справочных материалов компании «Росатом» https://atommedia.online/reference/rosatom-infrastrukturnyy-operator-severnogo-morskogo-puti-2/?sphrase_id=4993 (дата обращения: 29.07.2025).

Главное управление СМП в структуре Росатома координирует движение всех судов в акватории маршрута⁵⁴. Центр в Мурманске контролирует:

- 1) западный сектор СМП (от Карских Ворот до пролива Вилькицкого);
- 2) центр в Диксоне управляет центральным сектором (от пролива Вилькицкого до Новосибирских островов);
- 3) центр в Тикси координирует восточный сектор (от Новосибирских островов до Берингова пролива).

Система автоматической идентификации судов (АИС) обеспечивает непрерывное отслеживание местоположения всех кораблей. Интегрированная база данных содержит информацию о 2000+ судах, включая технические характеристики, грузы и планы движения.

Распределение навигационной координации по секторам обеспечивает эффективное управление судопотоками с учетом региональных особенностей. Западный сектор характеризуется наибольшей интенсивностью движения, требуя максимального персонала и технического оснащения. Восточные сектора имеют меньшую нагрузку при более сложных навигационных условиях. Общая численность персонала центров составляет 230 специалистов, работающих в круглосуточном режиме.

Электронные платформы управления логистикой ЦУП СМП (Центр управления перевозками) обеспечивают отслеживание движения судов и оптимизацию маршрутов в режиме реального времени. Цифровая платформа интегрирует данные о местоположении судов, ледовой обстановке, погодных условиях, состоянии портовой инфраструктуры и наличии ледокольного сопровождения.

⁵⁴ Расчет стоимости ледокольной проводки судов в акватории СМП, оказываемые ФГУП «Атомфлот» по тарифам, утвержденными приказом ФСТ России от 4 марта 2014 г. № 45–Т/1. URL: https://nsr.rosatom.ru/ledokolnaya-i-ledovaya-lotsmanskaya-provodka/raschet-stoimosti-ledokolnoy-provodki-v-akvatorii-smp/?gt=11548&ice_cat=Arc+4&time=%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B5-%D0%BE%D1%81%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D0%B9&nzone=7 (дата обращения: 29.07.2025).

Система планирования ресурсов (ERP) управляет распределением ледоколов, лоцманов и портовых мощностей. Алгоритмы машинного обучения прогнозируют оптимальные окна для прохождения сложных участков маршрута. Интеграция с международными системами управления цепями поставок повышает привлекательность СМП для глобальных перевозчиков.

Система аварийного реагирования содержит поисково–спасательные станции и специализированные метеоцентры для обеспечения безопасности арктического судоходства. Сеть из 8 поисково–спасательных станций располагается в главных точках СМП (Мурманск, Архангельск, Диксон, Хатанга, Тикси, Певек, Провиденья, Анадырь).

Каждая станция оснащена вертолетами Ми–8АМТ арктического исполнения и быстроходными спасательными катерами. Время реагирования на аварийные ситуации составляет не более 2 часов в радиусе 150 км от станций. Специализированные арктические метеоцентры в Архангельске и Хатанге обеспечивают детальное прогнозирование экстремальных погодных явлений. Автоматизированная система оповещения предупреждает суда о штормах, метелях и резких изменениях ледовой обстановки за 6–12 часов до их наступления.

Совершенствование системы подготовки экипажей к плаванию в сложных ледовых условиях на базе ЦППК (Центров подготовки плавсостава) обеспечивает кадровую безопасность арктического судоходства. Программа подготовки включает 480 часов теоретических и практических занятий.

Специализированная подготовка кадров для арктического судоходства требует значительных временных и финансовых ресурсов, таблица 13.

Таблица 13 – Программы подготовки кадров для арктического судоходства

Специализация	Продолжительность (часы)	Количество выпускников/год	Центры подготовки
Капитаны судов Arc4–Arc7	480	180	Мурманск, Архангельск
Старшие помощники	360	280	Мурманск, Владивосток
Судовые механики	240	320	Архангельск, СПб
Ледовые лоцманы	600	45	Мурманск

Капитаны судов высоких ледовых классов проходят наиболее длительную подготовку, включающую практические занятия на ледоколах. Ледовые лоцманы составляют элитную категорию специалистов с максимальной продолжительностью обучения. Общая потребность в подготовке кадров составляет 825 специалистов ежегодно для обеспечения развития СМП.

Тренажерные комплексы моделируют реальные условия плавания во льдах с детализацией до 95%. Система виртуальной реальности обучает действиям в экстремальных ситуациях без риска для безопасности. Международная сертификация по стандартам ИМО STCW обеспечивает признание квалификации во всем мире.

Резюмируя изложенное, интегрированная система технологий навигационной безопасности СМП – высокотехнологичный комплекс, обеспечивающий надежность арктического судоходства через синтез спутниковых технологий, искусственного интеллекта, автоматизированных систем управления и специализированной подготовки кадров. Она создает основу для безопасного и эффективного функционирования стратегического транспортного коридора в условиях экстремальных арктических условиях.

Второй раздел доказал, что устойчивость и эффективность СМП напрямую зависят от способности адаптироваться к неблагоприятной природной среде. Его развитие требует переоценки экономических моделей.

Установлено, что ограничителем полноценного функционирования СМП является инфраструктурный и природный барьеры. Восточный сектор системно отстает по доступности из-за раннего ледообразования, нестабильных погодных циклов и сжатий, превышающих расчетные характеристики флота.

Даже модернизированное навигационное оборудование и спутниковые системы оказываются ограничены в эффективности из-за растущей частоты экстремальных явлений – торосов, штормов, обледенения и волн свыше 12 метров.

Цифровизация, автоматизация и спутниковая разведка повысили предсказуемость, но не устранили природную неопределенность.

Навигационные окна в восточном секторе короче на 30–40%, затраты выше, риски крупнее. Модель управления маршрутом требует привязки к климатическим сценариям.

Подготовка к расширению СМП в транспортную ось евразийского масштаба невозможна без учета этих ограничений. Третья глава логично продолжит анализ, сместив акцент на эмпирическое исследование.

Глава 3. Исследование изменчивости температуры воздуха и ледяного покрова вдоль трассы СМП (2005–2025 гг.)

3.1. Исходные данные и схема выбранных пунктов

Температура воздуха на высоте двух метров служит фундаментальным метеорологическим параметром. Данный показатель регистрирует термический режим приземного слоя атмосферы, где формируются базовые условия для судоходства, ледообразования и функционирования прибрежной инфраструктуры.

Выбор параметра T2M обусловлен его чувствительностью к процессам теплообмена между океаном, льдом и атмосферой. Именно приземная температура определяет интенсивность таяния припайных льдов весной, скорость нарастания ледяного покрова осенью и длительность навигационных окон. Относительно других высотных уровней (850 гПа, 500 гПа) приземные значения демонстрируют максимальную корреляцию с локальными ледовыми аномалиями.

Морской лед – критический компонент арктической системы, определяющий возможности навигации, интенсивность теплообмена океан-атмосфера и альбедо поверхности. Концентрация морского льда или ледовитость (Sea Ice Concentration, SIC) количественно выражает долю площади водной поверхности, покрытой льдом произвольной толщины и возраста. Параметр варьируется в диапазоне от нуля (чистая вода) до единицы (сплошной ледяной покров). Преобразование в процентное выражение выполняется прямым умножением на 100. Данная метрика служит базовым индикатором состояния криосферы вдоль навигационной трассы СМП.

Информационной основой исследования выступает архив NOAA Physical Sciences Laboratory (PSL), содержащий результаты реанализа NCEP/NCAR. Для ледовитости оперативные расчеты используют переменную *ices* из архива NOAA PSL, представляющую безразмерную долю ледового покрытия. Ретроспективный анализ атмосферных полей строится на ассимиляции наблюдательных данных в глобальную числовую модель прогноза погоды.

Выгруженный исходный файл по исследованию температуры представляет среднемесячные значения температуры воздуха на поверхности, осредненные по Гауссовой сетке с пространственным шагом порядка $1,9^{\circ} \times 1,9^{\circ}$ географической широты и долготы.

Формат NetCDF фиксирует данные в многомерных массивах:

- 1) координаты (широта, долгота);
- 2) временной индекс (месяцы от начала эпохи);
- 3) сама метеопеременная (temperature).

Единицей измерения в архиве выступает Кельвин (K), что соответствует физическому стандарту термодинамических расчетов. Пересчет в градусы Цельсия выполнялся по линейной формуле:

$$T^{\circ}\text{C} = \text{TK} - 273,15 \quad T^{\circ}\text{C} = \text{TK} - 273,15. \quad (1)$$

Простота пересчета гарантирует точность сохранения относительных изменений и трендов.

Исходный файл изучения ледовитости содержит среднемесячные поля концентрации морского льда на поверхности с ежемесячным временным шагом. Пространственная структура данных идентична температурному архиву. Атрибуты переменной `ices` фиксируют единицы измерения `units = «fraction»` (безразмерная доля) и допустимый интервал значений `valid_range = [0.0, 1.0]`.

Выгрузки охватывают интервал с января 2005 по декабрь 2025 года, составляя 252 последовательных месяца. Двадцатиоднолетний период обеспечивает репрезентативность статистических выводов при анализе межгодовой изменчивости. Более короткие ряды (менее 15 лет) подвержены влиянию единичных экстремальных событий, искажающих климатические оценки. Верхняя граница 2025 года включает самые свежие данные, позволяющие учесть недавние температурные аномалии Арктики.

Географический охват исследования простирается вдоль экватории СМП (от Баренцева моря на западе (33°E) до Берингова пролива на востоке (168°W)). Широтный диапазон составляет 66°N - 76°N и отражает естественную вариацию трассы по морям различных секторов Арктики. Общая протяженность маршрута

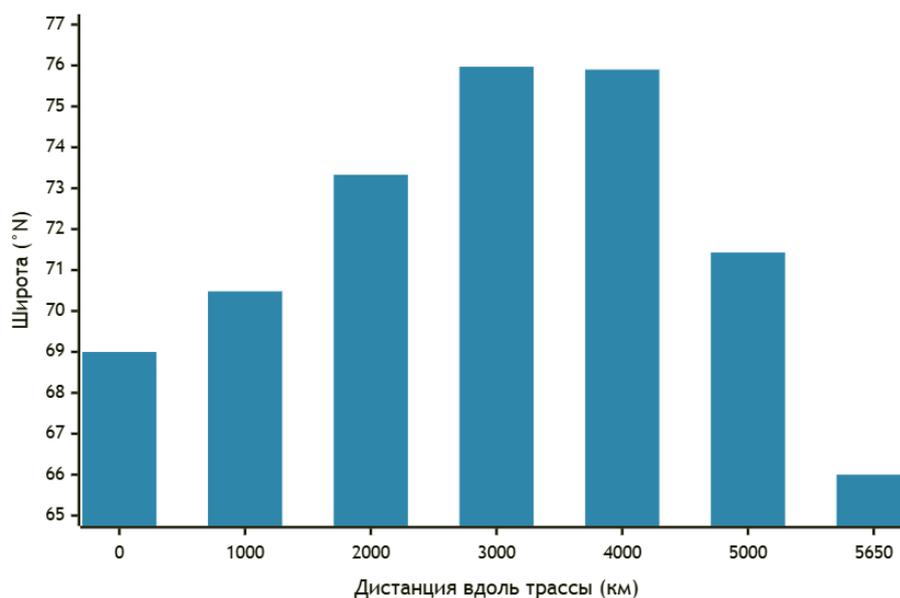


Рисунок 13 – Профиль широты пунктов вдоль протяженности маршрута СМП

Визуализация широтного профиля демонстрирует нелинейное распределение точек наблюдений. Западные участки (0–1000 км) характеризуются относительно южным положением (~69–70°N), что соответствует акватории Баренцева и западной части Карского морей. Центральные сегменты (2000–3000 км) достигают максимальных широт (~75–76°N) в районе морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Восточная часть (4000–5650 км) демонстрирует постепенное смещение к югу вплоть до 66°N при выходе к Берингову проливу. Волнообразный характер кривой отражает реальную конфигурацию судоходного маршрута, огибающего архипелаги, мысы и зоны устойчивых многолетних льдов. Неравномерность широтного положения создает предпосылки для региональной дифференциации термического режима.

Пространственная схема мониторинга ледовитости полностью совпадает с температурной сетью наблюдений. Те же 60 опорных пунктов формируют базу расчетов. Синхронизация координатной основы гарантирует пространственную согласованность разно параметрических рядов и корректность последующего корреляционного анализа между температурой воздуха и ледовым покровом.

Пространственная структура сети позволяет выделить 5 климатических географических зон, таблица 14.

Таблица 14 – Характеристика региональной структуры сети наблюдений

Регион	Пункты	Широта (°N)	Долгота (°E)	Длина сегмента (км)
Западный	NSR_001– NSR_010	69,00–70,48	33,00–57,70	862
Центральный	NSR_011– NSR_021	70,88–74,33	60,11–83,52	958
Восточный	NSR_022– NSR_032	74,54–75,97	86,58–119,59	958
Дальневосточный	NSR_033– NSR_042	73,76–75,90	123,05– 151,83	863
Беринговский	NSR_043– NSR_060	66,00–73,40	154,52– 192,00	2223

Западный регион охватывает 11 пунктов в интервале 0–958 км трассы. Центральный кластер объединяет 10 точек между 1053 и 1915 км. Восточный блок включает 11 пунктов на участке 2011–2969 км. Дальневосточная секция содержит 10 измерительных точек от 3064 до 3831 км. Беринговский район концентрирует 18 пунктов на завершающем отрезке 3927–5650 км.

Деление учитывает географическую специфику морских бассейнов. Западный регион подвержен влиянию теплого Северо-Атлантического течения, что определяет относительно мягкий температурный режим. Центральный и восточный секторы характеризуются доминированием континентального воздействия Сибири, резкими сезонными амплитудами и устойчивым ледяным покровом большую часть года. Дальневосточная зона испытывает модифицирующее влияние Тихого океана через Берингов пролив, что выражается в специфических циркуляционных паттернах. Беринговский участок отличается наибольшей протяженностью, связывающей арктический бассейн с субарктическими водами.

Пространственная неоднородность региональных условий обосновывает необходимость отдельного статистического анализа и сравнительной интерпретации трендов, рис. 14.



Рисунок 14 – Опорные пункты инфраструктуры СМП и ресурсно-производственные кластеры Арктики (привязка к секторному анализу)

Рисунок объединяет инфраструктурные узлы и ресурсные «якоря» вдоль трассы СМП. Порты и прилегающие производственные районы показаны как система, зависящая от термоледового режима.

Таблица 15 увязывает инфраструктурные «узлы» маршрута с типом ресурсной базы и ожидаемыми направлениями роста перевозок.

Таблица 15 – Опорные порты СМП в привязке к ресурсной специализации

Опорный порт/узел	Сектор СМП (по морям)	Ресурсная и производственная опора	Перспективный потенциал для СМП (логика роста)
Мурманск	Баренцево–Карский (западный вход)	Транзит/перевалка, снабжение арктических проектов, сервис флота	Укрупнение перевалки и сервисных функций, «ворота» СМП
Архангельск	Баренцево–Карский	Снабжение северных территорий, каботаж, региональная перевалка	Рост северного завоза и распределительной логистики
Нарьян-Мар	Баренцево–Карский (Печорский район)	Нефтегазовая провинция Тимано-Печоры, снабжение месторождений	Поддержка вывоза/завоза для сырьевых проектов и строек
Сабетта	Карское море (Ямал/Гыдан)	СПГ и газоконденсатные проекты, крупнотоннажная отгрузка	Максимизация экспортных рейсов, рост регулярности караванов

Продолжение таблицы 14

Опорный порт/узел	Сектор СМП (по морям)	Ресурсная и производственная опора	Перспективный потенциал для СМП (логика роста)
Игарка	Енисейский/Карское	Енисейская логистика, связь речного и морского плеча	Расширение речноморской схемы и снабжения
Диксон	Карское (Таймыр)	Опорный пункт вблизи промышленных районов Таймыра	Усиление роли пункта обеспечения и аварийной готовности
Дудинка	Енисейский/Карское	Норильский промышленный район (рудно-металлургическая база)	Рост вывоза продукции и завоза снабжения, устойчивый грузовой «якорь»
Тикси	Море Лаптевых	Северный завоз, поддержка Якутии и прибрежных районов	Развитие распределительных функций и обеспечения трассы
Певек	Восточно-Сибирское/Чукотское	Горнодобывающая база Чукотки, снабжение и вывоз сырья	Рост вывоза минеральных ресурсов и снабжения проектов
Бухта Провидения (порт)	Чукотско-Беринговский (восточный выход)	Транзитный «стык» с Тихим океаном, региональное снабжение	Усиление роли восточных ворот и сервисных операций

Указанные данные будут нужны, чтобы интерпретировать климатические различия через операционные сценарии (где потепление сокращает ледовую нагрузку и где динамика льда и шторма остаются лимитирующими для логистики).

Таблица 16 переводит климатическое районирование в управленческую «нарезку» маршрута по приоритетным узлам.

Таблица 16 – Сектора СМП по опорным пунктам: ресурсный профиль, инфраструктурный приоритет и климатическое ограничение

Участок (по опорным пунктам)	Преобладающий морской бассейн/сектор	Доминирующая ресурсная логика грузов	Приоритет инфраструктуры	Ключевое климатическое ограничение (операционная интерпретация)
Мурманск – Архангельск	Баренцево	Транзит/снабжение, сервис флота	Мощности перевалки, сервис, связь с ж/д и тылом	Высокая погодная изменчивость и штормы важнее «сплошного льда»
Архангельск – Нарьян-Мар	Баренцево/Печора	Поддержка сырьевых проектов и северного завоза	Прибрежная логистика, навигационная поддержка	Комбинация льда и ограниченной видимости требует оперативного прогноза

Продолжение таблицы 15

Участок (по опорным пунктам)	Преобладающий морской бассейн/сектор	Доминирующая ресурсная логика грузов	Приоритет инфраструктуры	Ключевое климатическое ограничение (операционная интерпретация)
Нарьян-Мар – Сабетта	Карское	Нефтегазовые цепочки, крупнотоннажные отгрузки	Ледокольное сопровождение, системы ледовой разведки	Ледовая напряжённость задаёт график караванов и «окна»
Сабетта – Игарка – Диксон – Дудинка	Карское/Енисей	Рудно-металлургическая и сырьевая база Таймыра/Енисея	Речноморская связность, пункты обеспечения	Дрейф/торосистость и холод усиливают требования к классу судов
Дудинка – Тикси	Лаптевых	Северный завоз, обеспечение трассы	Пункты убежища, аварийная готовность	Устойчивая ледовитость ограничивает самостоятельное плавание
Тикси – Певек	Восточно-Сибирское	Минеральные грузы и снабжение проектов	Навигационно-гидромет поддержка, связь/наблюдения	Динамические факторы льда и ветровой перенос критичны
Певек – бухта Провидения	Чукотско-Беринговский	Восточные «ворота», стык с Тихим океаном	Сервис и перевалка, поддержка транзита	Шторма/туманы и дрейф льда требуют совместного учёта погоды и льда

Ее наличие упрощает связь результатов по температуре и ледовитости с решениями о портовых мощностях, ледокольном обеспечении и мониторинге. Сектора заданы как последовательность участков между реперными портами. Процедура предобработки данных включала несколько последовательных этапов. Извлечение температурных значений из архива осуществлялось с помощью специализированных библиотек климатического анализа (netCDF4, хатгау). Среднегодовые температуры рассчитывались как арифметическое среднее для соответствующего календарного года. Формула расчета:

$$\overline{T_{\text{год}}} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} T_i, \quad (2)$$

, где T_i – температура i -го месяца.

Данный подход обеспечивает равный вес каждого месяца и минимизирует влияние сезонных циклов на годовые оценки. Альтернативный метод взвешенного усреднения по числу дней месяца (28–31) дает отклонение менее $0,01^\circ\text{C}$, что находится в пределах точности исходных данных. Выбор

арифметического среднего обусловлен его простотой и универсальностью при межгодовых сравнениях.

В заключение отметим, что обоснование выбора временного интервала 2005–2025 годов определяется несколькими соображениями. Начальная граница (2005 год) совпадает с периодом стабильной работы современных спутниковых систем наблюдений, интегрированных в реанализ NCEP/NCAR. Предшествующие годы характеризуются меньшей плотностью измерительной сети в Арктике, что снижает надежность ассимилированных полей. Верхняя граница (2025 год) охватывает наиболее актуальные климатические тренды, включая резкие аномалии температуры последних пяти лет. Выбранный период отражает фазу ускоренного арктического потепления, зафиксированную множеством независимых исследований.

3.2. Методика расчетов

Аналитическая процедура обработки температурных рядов базируется на системе последовательных вычислительных операций, рис. 15. Схема показывает сквозной контур исследования.

Первичный этап включает расчет базовых статистических характеристик для каждого пункта наблюдений. Среднее многолетнее значение температуры определяется по формуле:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j, \quad (3)$$

где $n=21$ – количество лет, T_j – среднегодовая температура j -го года.

Стандартное отклонение вычисляется с поправкой Бесселя для несмещенной оценки.

Размах температурных колебаний фиксируется как разность экстремумов:

$$R = T_{\max} - T_{\min} \quad (4)$$

Коэффициент вариации (CV) выражает относительную изменчивость:

$$CV = \frac{\sigma}{|\mu|} \times 100\%, \quad (5)$$

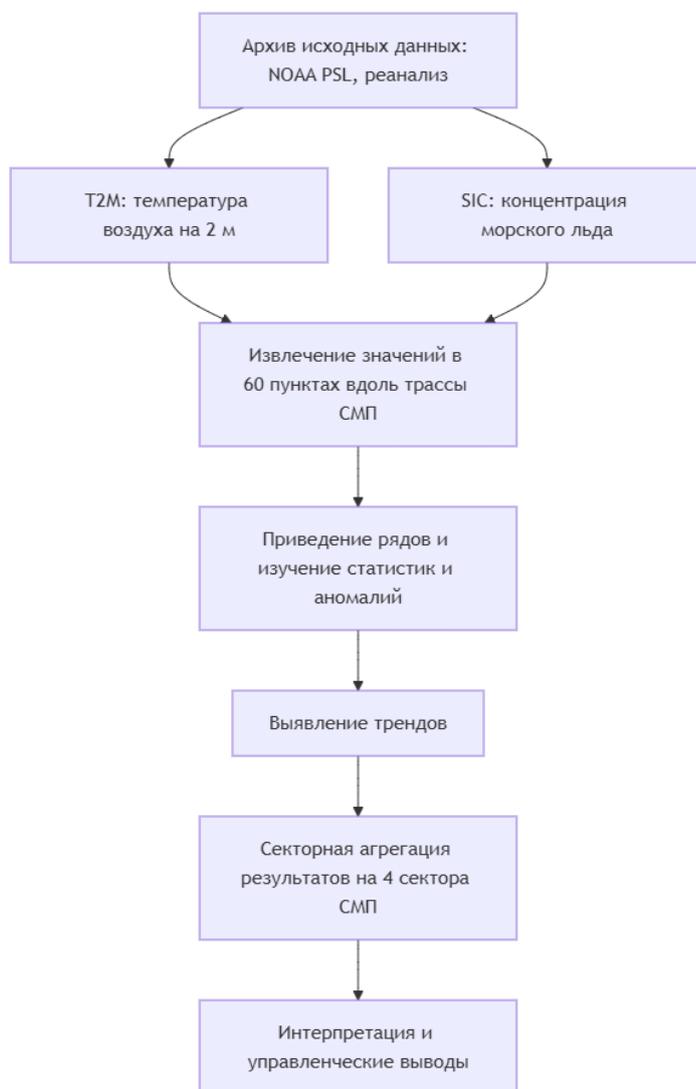


Рисунок 15 – Сквозной контур обработки T2M и SIC для секторной оценки навигационной доступности СМП

Для пунктов с отрицательными средними температурами используется модуль $|\mu|$, обеспечивающий корректную интерпретацию процентного соотношения.

Межгодовые аномалии температуры рассчитываются относительно климатической нормы исследуемого периода. Аномалия j -го года в i -м пункте:

$$\Delta T_{i,j} = T_{i,j} - \mu_i \quad (6)$$

где μ_i - среднее многолетнее для данного пункта. Положительные аномалии указывают на потепление относительно средних условий, отрицательные – на похолодание. Альтернативный метод расчета аномалий относительно

предшествующего года (год к году, АППГ – аналогичный период прошлого года) выражается формулой:

$$\Delta T_j = T_j - T_{j-1}. \quad (7)$$

Данный подход выявляет резкие межгодовые сдвиги независимо от долгосрочного тренда. Сравнение двух типов аномалий позволяет разделить эффекты климатического дрейфа и случайной изменчивости.

Трендовый анализ строится на аппроксимации временных рядов линейной регрессионной моделью. Параметры определяются методом наименьших квадратов (МНК), минимизирующим сумму квадратов отклонений фактических значений от модельной линии/

Параметрический тест чувствителен к нарушениям предпосылок: нормальности остатков, гомоскедастичности (постоянство дисперсии), отсутствию автокорреляции. Для устойчивой верификации результатов применяется непараметрический тест Манна–Кендалла, не требующий допущений о распределении данных.

Пространственный анализ градиентов температуры включает сопоставление параметров между региональными кластерами. Вычисляются средние характеристики по западному, центральному, восточному, дальневосточному и беринговскому регионам:

- 1) среднемноголетняя температура региона;
- 2) средний региональный тренд;
- 3) доля пунктов с значимыми трендами;
- 4) амплитуда пространственной изменчивости внутри региона.

Визуализация пространственных паттернов реализуется построением карт-профилей, где по горизонтальной оси откладывается дистанция вдоль маршрута `route_km`, по вертикальной — исследуемая величина (средняя температура, коэффициент наклона, значимость тренда).

Обработка данных концентрации морского льда следует алгоритмической схеме, аналогичной температурному анализу, с адаптацией к специфике

безразмерной переменной. Годовое среднее значение ледовитости вычисляется по формуле:

$$\overline{SIC}_{\text{год}} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} SIC_i, \quad (8)$$

где SIC_i — концентрация i -го месяца в процентах.

Данная величина (обозначение `ices_frac_ann` в выходных файлах) характеризует среднегодовую ледовую нагрузку на акваторию. Физическая интерпретация осложняется нелинейностью связи между ледовитостью и навигационными условиями: переход от 80% к 90% концентрации качественно меняет возможности прохода судов независимого ледового класса, тогда как разница между 10% и 20% практически несущественна.

Климатическая норма ледовитости определяется усреднением годовых значений по полному временному интервалу 2005–2025 годов:

$$\mu_{SIC} = \frac{1}{21} \sum_{j=2005}^{2025} \overline{SIC}_j. \quad (9)$$

Аномалия конкретного года вычисляется вычитанием нормы:

$$\Delta SIC_j = \overline{SIC}_j - \mu_{SIC} \quad (10)$$

Положительные аномалии соответствуют усилению ледовитости относительно средних условий периода, отрицательные — ослаблению ледового покрова. Знаковая противоположность связи с температурой воздуха (потепление коррелирует с уменьшением ледовитости) требует осторожности при интерпретации направления климатических изменений. Рост отрицательных аномалий SIC эквивалентен потеплению с точки зрения навигационных возможностей.

Меры изменчивости ледовитости включают размах, стандартное отклонение и коэффициент вариации. Размах определяется стандартно:

$$R_{SIC} = SIC_{max} - SIC_{min} \quad (11)$$

для временного ряда годовых значений данного пункта. Величина характеризует абсолютную амплитуду межгодовых колебаний.

Контроль качества данных базируется на верификации полноты месячных рядов. Переменная `months_n` фиксирует количество месяцев с валидными

данными при расчете годового среднего. Корректные годовые оценки требуют полноты $months_n = 12$. Неполные ряды ($months_n < 12$) исключаются из трендового анализа во избежание систематических смещений.

Связь между ледовитостью и температурой воздуха исследуется методами корреляционного анализа. Результаты количественно характеризуют скорость реакции ледового покрова на атмосферные аномалии. Нелинейность связи при приближении к пороговым значениям (полное покрытие 100% или полное отсутствие льда 0%) исследуется сегментацией рядов и отдельным анализом умеренных и экстремальных состояний.

3.3. Межгодовая изменчивость показателей и выявленные тренды

Совместный анализ приземной температуры и концентрации морского льда раскрывает взаимосвязанную динамику атмосферно-криосферной системы Арктики.

Реперные пункты демонстрируют региональную специфику термоледовых условий при наличии общих паттернов межгодовой изменчивости.

Точка NSR_015 (72,16°N, 67,30°E) в акватории Карского моря характеризуется средней температурой $-7,16^{\circ}\text{C}$ и средней ледовитостью 56,1%. Стандартное отклонение температуры достигает $1,53^{\circ}\text{C}$, размах ледовитости составляет 52,3 процентных пункта. Линейный тренд фиксирует потепление $+0,1122^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ($p = 0,0375$) при одновременном сокращении ледового покрова $-1,023\%/ \text{год}$ ($p = 0,0084$).

Коэффициент корреляции Пирсона между температурой и ледовитостью составляет $r = -0,717$ ($p = 0,0003$), что подтверждает статистически устойчивую обратную связь. Физический механизм определяется энергетическим балансом. Повышение температуры воздуха интенсифицирует таяние льда летом и замедляет его нарастание зимой.

Пункт NSR_045 (72,68°N, 159,90°E) в Чукотском море обнаруживает отличающийся режим. Средняя температура $-12,63^{\circ}\text{C}$ при средней ледовитости 77,0% отражает суровые условия восточного сектора. Тренд температуры

минимален ($-0,0100^{\circ}\text{C}/\text{год}$, $p = 0,7841$) без статистической значимости. Ледовитость демонстрирует слабое сокращение $-0,160\%/ \text{год}$ ($p = 0,4838$), недостоверное на пятипроцентном уровне.

Корреляция между параметрами умеренная ($r = -0,405$, $p = 0,0683$), что указывает на ослабление термоледовой связи. Причина заключается в доминировании динамических факторов ледообразования:

- 1) ветровой дрейф;
- 2) перемещения льда из центрального арктического бассейна;
- 3) локальные течения.

Температура воздуха утрачивает роль первичного драйвера ледовых изменений при усилении механического воздействия.

Беринговский пункт NSR_060 ($66,00^{\circ}\text{N}$, $-168,00^{\circ}\text{E}$) занимает южную периферию с умеренными условиями. Средняя температура $-4,51^{\circ}\text{C}$ сочетается со средней ледовитостью $41,0\%$. Высокая межгодовая изменчивость температуры ($\sigma = 1,56^{\circ}\text{C}$) сопровождается умеренной вариабельностью ледового покрова ($\sigma = 5,9\%$, размах $19,6\%$). Тренды обоих параметров статистически незначимы: $+0,0615^{\circ}\text{C}/\text{год}$ для температуры ($p = 0,2864$) и $-0,308\%/ \text{год}$ для ледовитости ($p = 0,1546$). Несмотря на отсутствие монотонных изменений, корреляция достигает максимального значения $r = -0,818$ ($p < 0,0001$).

Исходя из написанного можем заключить, что даже при стохастической межгодовой динамике сохраняется устойчивая термоледовая связь, определяемая физикой фазовых переходов воды.

Временные ряды средних значений по всем шестидесяти пунктам выявляют синхронность крупномасштабных аномалий, рис. 16. Год 2020 отмечается экстремальным потеплением: средняя температура $-6,86^{\circ}\text{C}$ превышает климатическую норму на $+1,77^{\circ}\text{C}$. Соответствующая ледовитость снижается до $35,2\%$, формируя отрицательную аномалию $-5,7$ процентных пункта. Противоположная фаза реализуется в 2021 году: температура падает до $-10,20^{\circ}\text{C}$ (аномалия $-1,57^{\circ}\text{C}$), ледовитость возрастает до $43,0\%$ (аномалия $+2,1\%$). Амплитуда температурного перехода $2020 \rightarrow 2021$ составляет $3,34^{\circ}\text{C}$,

ледового перепада — 7,8 процентных пункта. Согласованность изменений двух параметров подтверждается корреляцией годовых аномалий $r = -0,781$ ($p < 0,0001$), что указывает на общность климатического форсинга.

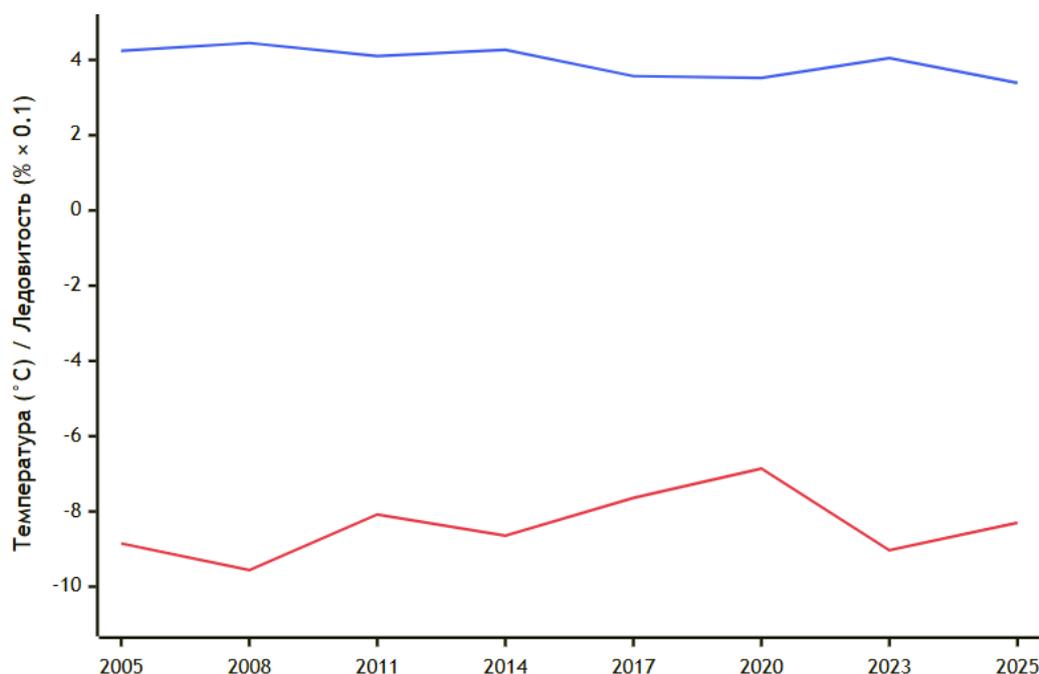


Рисунок 16 – Межгодовая динамика средних температуры (красная линия) и ледовитости (синяя линия, масштабирована $\times 0,1$)

Графическое представление демонстрирует зеркальную симметрию кривых при наличии временных сдвигов. Пики температуры (2016, 2020 годы) совпадают с минимумами ледовитости. Холодные эпизоды (2006, 2021 годы) соответствуют повышенной концентрации льда. Небольшие фазовые рассогласования связаны с инерционностью криосферной компоненты. Накопленный за зиму лед сохраняется до лета следующего года, создавая запаздывающий отклик на атмосферные аномалии.

Год 2012 обнаруживает аномалию ледового минимума (40,7%) при умеренно теплой температуре ($-8,50^{\circ}\text{C}$, аномалия $+0,13^{\circ}\text{C}$). Данное событие объясняется транзитом старого льда из центрального бассейна под воздействием аномального антициклонического режима циркуляции.

Минимальная ледовитость 2025 года (33,9%, аномалия $-7,0$ процентных пункта) не сопровождается рекордным потеплением ($-8,30^{\circ}\text{C}$, аномалия $+0,34^{\circ}\text{C}$). Несоответствие указывает на усиление роли неатмосферных факторов.

Океанические потоки тепла через Берингов пролив и проливы Канадского архипелага могут снижать ледовитость независимо от приземной температуры воздуха.

Солнечная радиация, проникающая сквозь разреженный ледовый покров, нагревает верхний слой океана и ускоряет донное таяние льда. Открытая вода поглощает солнечную энергию эффективнее льда, дополнительно повышая температуру и расширяя площадь чистой воды.

Пространственное распределение аномалий температуры по годам и дистанции вдоль трассы визуализировано посредством тепловой карты, рис. 17. Горизонтальная ось отображает накопленный километраж от начала маршрута (0–5650 км), вертикальная — календарные годы (2005–2025).

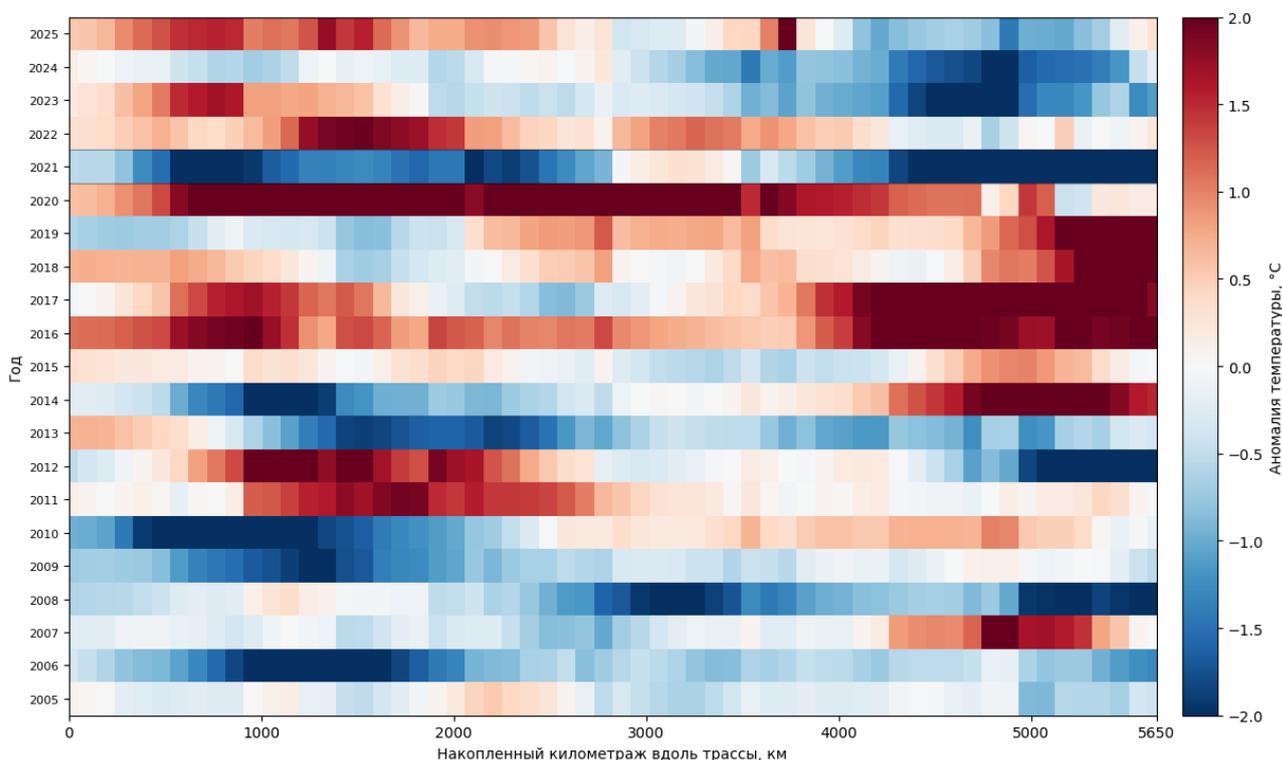


Рисунок 17 – Тепловая карта межгодовых температурных аномалий вдоль СМП (2005-2025 гг)

Цветовое кодирование отражает величину годовой аномалии относительно многолетнего среднего каждого пункта. Холодные тона (синий, голубой) соответствуют отрицательным аномалиям, теплые (оранжевый, красный) — положительным. Интенсивность окраски пропорциональна абсолютному значению отклонения.

Карта выявляет несколько устойчивых закономерностей пространственно-временного распределения аномалий.

2016 год формирует оранжевую полосу средней интенсивности, соответствующую положительной аномалии $+1,385^{\circ}\text{C}$. Данное событие связывают с мощным Эль-Ниньо 2015–2016 годов, телесвязи которого проникли в арктические широты через планетарные волны. Холодные эпизоды 2006 (аномалия $-1,058^{\circ}\text{C}$) и 2009 ($-0,682^{\circ}\text{C}$) визуализируются голубыми полосами умеренной интенсивности. Общий паттерн демонстрирует чередование теплых и холодных фаз с периодичностью 3–5 лет, что согласуется с характерными временными масштабами атмосферных низкочастотных колебаний (Арктическая осцилляция, Северо-Атлантическое колебание).

В 2020 году значение отмечается непрерывной красной полосой по всей протяженности маршрута, что соответствует экстремальному потеплению $+1,774^{\circ}\text{C}$ относительно климатической нормы периода. Все 60 пунктов регистрируют положительные аномалии от $+0,8^{\circ}\text{C}$ до $+2,5^{\circ}\text{C}$. Следующий год 2021 демонстрирует контрастную картину: сплошная синяя полоса отражает резкое похолодание $-1,565^{\circ}\text{C}$. Аномалии варьируются от $-0,5^{\circ}\text{C}$ до $-2,8^{\circ}\text{C}$ без единого пункта с положительным отклонением. Амплитуда межгодового перехода 2020→2021 достигает $3,34^{\circ}\text{C}$, что представляет собой максимальный скачок за весь рассматриваемый интервал. Физическая интерпретация связывает экстремум 2020 года с аномальным развитием антициклонической циркуляции над Сибирским сектором Арктики, блокировавшей холодные вторжения. Последующее похолодание 2021 года обусловлено восстановлением типичного зонального переноса и усилением меридиональных обменов.

Проведенное обобщение межгодовых рядов подтверждает наличие согласованных колебаний приземной температуры и ледовой концентрации на масштабе всей трассы СМП при выраженной региональной дифференциации отклика. Западные участки демонстрируют направленные изменения с высокой статистической надежностью, тогда как восточный сектор характеризуется разрывом между термическими и криосферными сигналами. Зафиксированы

эпизоды, при которых минимумы ледовитости формируются без экстремального потепления, что подтверждает возрастание вклада океанических процессов и радиационной обратной связи открытой воды. Полученные результаты описывают СМП как систему с единым климатическим импульсом и неодинаковой региональной реализацией.

3.4. Пространственные различия вдоль трассы

Пространственная неоднородность средней ледовитости по секторам СМП систематизирована в табличной форме, таблица 17. Западный участок (Баренцево-Карское море) характеризуется наименьшей концентрацией 21,8% вследствие влияния теплого Атлантического течения. Центральный и восточный секторы (моря Лаптевых, Восточно-Сибирское) демонстрируют повышенную ледовитость 44–45%. Беринговский район обнаруживает максимальное значение 50,9% при южном положении, что парадоксально объясняется проникновением холодных арктических воздушных масс через пролив и отсутствием мощных теплых течений.

Таблица 17 – Сравнительные характеристики термоледового режима реперных пунктов

Пункт	Регион	Т средняя (°С)	Т тренд (°С/год)	SIC средняя (%)	SIC тренд (%/год)	Корреляция T↔SIC
NSR_001	Баренцево	+1,93	+0,0367	0,0	0,000	—
NSR_015	Карское	-7,16	+0,1122*	56,1	-1,023*	-0,717
NSR_030	Вост.- Сиб.	-13,42	+0,0707*	0,0	0,000	—
NSR_045	Чукотское	-12,63	-0,0100	77,0	-0,160	-0,405
NSR_060	Берингово	-4,51	+0,0615	41,0	-0,308	-0,818

Таблица выявляет контрастность ледовых условий при относительно однородных трендах температуры. Для каждой из точек данные представлены в Приложении 4. Пункты NSR_001 и NSR_030 полностью свободны ото льда в среднегодовом выражении (SIC = 0,0%), что физически невозможно интерпретировать буквально. Объяснение заключается в сезонной структуре: зимнее полное замерзание компенсируется летним полным вскрытием, давая нулевое годовое среднее при экстремальной сезонной амплитуде.

Статистическая неопределенность корреляции ($r = \text{NaN}$) возникает вследствие нулевой дисперсии ледовитости. Пункт NSR_015 демонстрирует промежуточный режим с выраженными трендами обоих параметров. Пункты NSR_045 и NSR_060 сохраняют многолетний ледовый покров при различии интенсивности термоледовой связи.

Географическое распределение значимых изменений концентрируется в западном (пять пунктов) и центральном (четыре пункта) секторах. Восточная и беринговская зоны содержат единичные случаи статистически подтвержденного сокращения ледового покрова. Скорость декадных изменений варьируется от $-0,8\%/10$ лет до $-10,2\%/10$ лет. Максимальная интенсивность характерна для пункта NSR_015 ($-10,2\%/10$ лет), что эквивалентно сокращению ледовитости на 21,5 процентных пункта за полный период наблюдений. Минимальные тренды фиксируются в восточных акваториях, где устойчивость многолетнего льда ограничивает скорость деградации.

Непараметрические оценки трендов ледовитости методом Сена подтверждают параметрические результаты с относительным расхождением менее 8% для всех пунктов. Тест Манна–Кендалла возвращает статистику $Z > 1,96$ для тех же двенадцати пунктов, где параметрический тест обнаруживает значимость.

Восточная периферия демонстрирует стабильность ледовых условий на фоне слабого потепления, что объясняется балансом между атмосферным форсингом (потепление) и океанической инерцией (сохранение холода).

Доверительные интервалы коэффициентов наклона для ледовитости существенно шире соответствующих температурных оценок. Пункт NSR_015 характеризуется интервалом $[-1,75; -0,30]$ %/год для тренда SIC при интервале $[+0,01; +0,21]$ °C/год для температуры. Относительная ширина ледового интервала вдвое превышает температурную вследствие высокой межгодовой изменчивости концентрации льда.

Коэффициент вариации ледовитости достигает 20–60% в различных пунктах против 8–15% для температуры. Физическая природа повышенной

дисперсии связана с нелинейностью процессов ледообразования: небольшие изменения температуры вблизи точки замерзания вызывают резкие переходы между твердой и жидкой фазами воды.

Западный сектор регистрирует интенсивное потепление со средним трендом $+0,0745^{\circ}\text{C}/\text{год}$, что эквивалентно $+0,75^{\circ}\text{C}/10$ лет или $+1,57^{\circ}\text{C}$ за период наблюдений. Море Лаптевых сохраняет умеренный темп потепления $+0,0594^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ($+0,59^{\circ}\text{C}/10$ лет). Восточно-Сибирская акватория демонстрирует ослабленную тенденцию $+0,0464^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ($+0,46^{\circ}\text{C}/10$ лет), отражающую инерционность континентальных климатических систем. Чукотско-Беринговский участок обнаруживает отрицательный тренд $-0,0208^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ($-0,21^{\circ}\text{C}/10$ лет), представляющий единственную зону похолодания вдоль маршрута. Данное явление объясняется усилением меридиональных циркуляционных процессов, транспортирующих холодный арктический воздух на юг через Берингов пролив.

Ледовые характеристики секторов формируют контрастную картину навигационных условий. Баренцево-Карская акватория обладает минимальной средней ледовитостью 21,8% благодаря проникновению теплых атлантических вод через Норвежское течение. Море Лаптевых демонстрирует резкое увеличение концентрации льда до 44,2%, что связано с ослаблением термического влияния океана и преобладанием радиационного выхолаживания. Чукотско-Беринговская зона обнаруживает максимальное значение 50,9%, парадоксально превышающее показатели более северных акваторий. Физическое объяснение заключается в интенсивном выносе многолетнего льда из центрального арктического бассейна под действием Трансполярного дрейфа и отсутствием мощных теплых течений, характерных для западного сектора.

Вариативность ледового покрова характеризуется стандартным отклонением межгодовых значений. Баренцево-Карский участок регистрирует дисперсию 6,5 процентных пункта при максимальной амплитуде колебаний между полностью свободными и умеренно покрытыми льдом условиями. Море Лаптевых сохраняет дисперсию 5,1%, отражающую относительную

стабильность ледового режима при устойчивом континентальном климате. Восточно-Сибирская акватория демонстрирует минимальную изменчивость 4,4%, соответствующую гомогенности суровых ледовых условий. Чукотско-Беринговский сектор фиксирует дисперсию 5,2%, занимая промежуточное положение между западной изменчивостью и восточной стабильностью.

Тренды ледовитости обнаруживают преимущественно отрицательную направленность с региональными вариациями интенсивности. Баренцево-Карский участок характеризуется средним сокращением $-0,395\%/год$ ($-3,95\%/10$ лет), что эквивалентно уменьшению концентрации на 8,3 процентных пункта за весь период. В зоне моря Лаптевых видим близкую скорость деградации $-0,369\%/год$ ($-3,69\%/10$ лет). Восточно-Сибирский сектор характеризуется замедленным сокращением $-0,335\%/год$ ($-3,35\%/10$ лет), отражающим устойчивость многолетних льдов к климатическим изменениям. Отсутствие деградации ледового покрова в восточной периферии контрастирует с интенсивным сокращением западных акваторий, подчеркивая региональную специфику откликов на глобальное потепление.

Количественные параметры термоледового режима систематизированы в сравнительной таблице, таблица 18. Структура данных включает усредненные характеристики температуры воздуха, концентрации морского льда, показатели изменчивости и трендовые оценки для каждого сектора.

Таблица 18 – Сравнительные характеристики термоледового режима по секторам СМП

Сектор	T средняя (°C)	T дисперсия (°C)	T тренд (°C/год)	SIC средняя (%)	SIC дисперсия (%)	SIC тренд (%/год)
Баренцево-Карское	-1,17	1,15	+0,0745	21,8	6,5	-0,395
Лаптевых	-10,64	1,25	+0,0594	44,2	5,1	-0,369
Восточно-Сибирское	-12,84	0,89	+0,0464	45,3	4,4	-0,335
Чукотско-Берингов	-9,77	1,40	-0,0208	50,9	5,2	+0,046

Табличная форма позволяет выявить количественные закономерности пространственного распределения параметров. Разброс средних температур

между секторами достигает $11,67^{\circ}\text{C}$, что представляет существенную климатическую неоднородность. Диапазон средней ледовитости составляет 29,1 процентных пункта, создавая контрастные навигационные условия. Максимальная интенсивность потепления западного сектора ($+0,0745^{\circ}\text{C}/\text{год}$) превышает минимальный восточный показатель на $0,0953^{\circ}\text{C}/\text{год}$, что при экстраполяции на столетний масштаб дает разницу в $9,53^{\circ}\text{C}$. Следовательно, пространственный градиент климатических изменений усиливается, увеличивая региональные контрасты.

График, рис. 18, сопоставляет «климатическую стоимость навигации» между секторами.

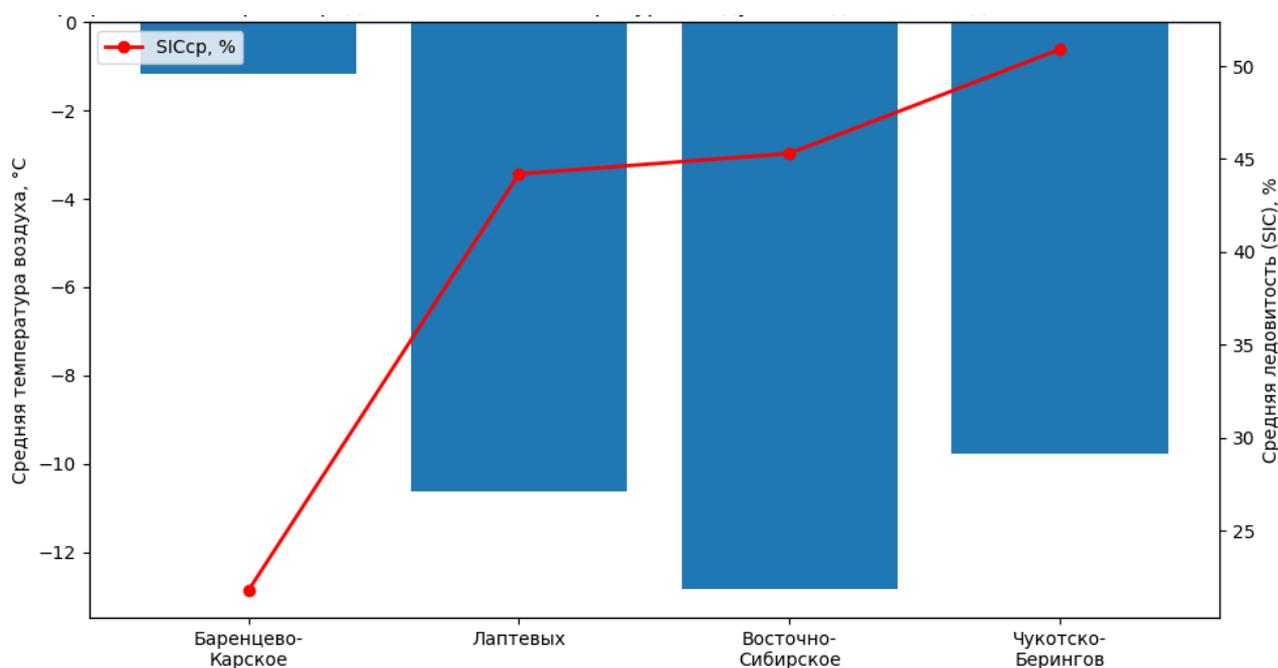


Рисунок 18 – Секторные средние значения температуры воздуха (столбцы) и ледовитости (линия) вдоль СМП

Где термический фон мягче, там устойчиво ниже средняя ледовитость и выше предсказуемость эксплуатационных режимов. Представление двумя осями позволяет видеть несоразмерность изменений температуры и ледовой реакции, важную для планирования ледокольной поддержки.

Распределение температурных значений внутри секторов детализируется диаграммой размаха, рис. 19. Графическое представление включает минимальные значения, нижний квартиль, медиану, верхний квартиль и

максимальные показатели для каждого региона. Визуализация демонстрирует асимметричное распределение температурных значений в западном секторе. Медиана $-0,37^{\circ}\text{C}$ смещена к положительной границе диапазона при широком разбросе от $-7,16^{\circ}\text{C}$ до $+2,69^{\circ}\text{C}$. Интерквартильный размах (разность между Q3 и Q1) составляет $6,63^{\circ}\text{C}$, что отражает высокую пространственную неоднородность Баренцево-Карского региона.

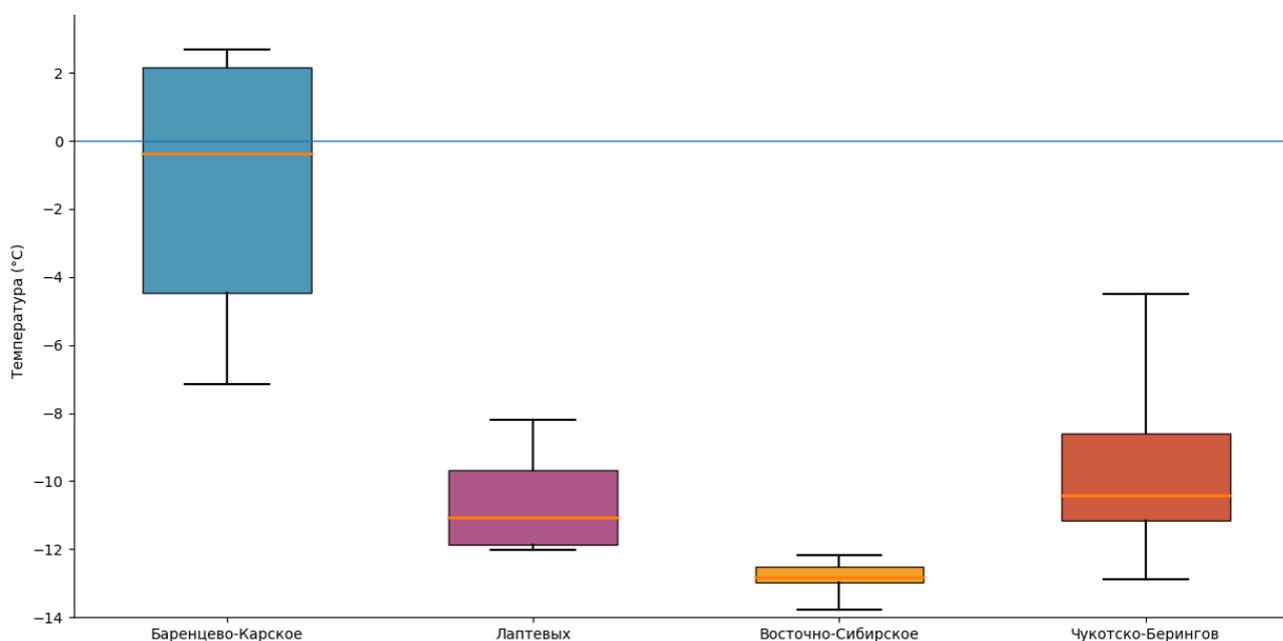


Рисунок 19 – Диаграмма размаха среднегодовой температуры воздуха по секторам СМП

Сектор моря Лаптевых обнаруживает концентрацию значений в узком диапазоне $-11,86^{\circ}\text{C} \dots -9,68^{\circ}\text{C}$ при медиане $-11,08^{\circ}\text{C}$. Восточно-Сибирская акватория демонстрирует минимальный интерквартильный размах $0,46^{\circ}\text{C}$, соответствующий гомогенности экстремально холодных условий.

Чукотско-Беринговский участок восстанавливает вариативность с размахом $2,55^{\circ}\text{C}$ при смещении медианы $-10,41^{\circ}\text{C}$ к центру диапазона. Графическая форма подтверждает гипотезу о максимальной климатической однородности центральных арктических морей и повышенной изменчивости периферийных зон, испытывающих влияние конкурирующих циркуляционных систем.

Пространственное распределение ледовитости внутри секторов характеризуется альтернативной структурой изменчивости, рис. 20. Диаграмма

размаха для концентрации морского льда построена аналогично температурному графику с использованием тех же статистических показателей.

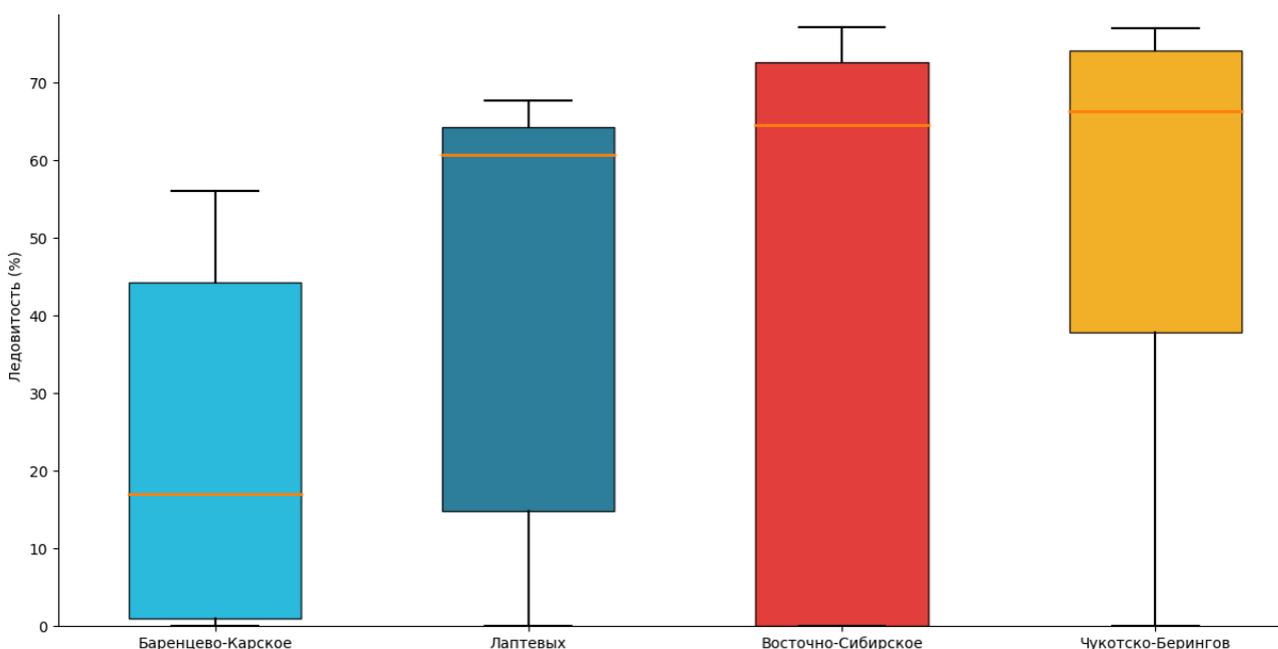


Рисунок 20 – Диаграмма размаха среднегодовой ледовитости по секторам СМП

Баренцево-Карский сектор демонстрирует экстремальную изменчивость с полным диапазоном от 0% до 56,1%. Медиана 17,0% смещена к нижней границе, указывая на преобладание свободных ото льда участков. Интерквартильный размах 43,3 процентных пункта представляет максимальную неоднородность среди всех секторов. Объяснение заключается в резком градиенте атлантического влияния: западная периферия сохраняет незамерзающие условия круглогодично, восточная граница региона испытывает стабильное зимнее оледенение.

Море Лаптевых характеризуется медианой 60,7% при интерквартильном размахе 49,5 процентных пункта. Наличие пунктов с нулевой среднегодовой ледовитостью объясняется сезонной структурой. Полное летнее вскрытие компенсирует зимнее замерзание в прибрежных мелководных участках.

Восточно-Сибирский сектор обнаруживает медиану 64,6% при значительном количестве пунктов с нулевой концентрацией. Физическая интерпретация аналогична предыдущему региону: экстремальная сезонная амплитуда создает бимодальное распределение между полностью

замерзающими глубоководными зонами и временно освобождающимися прибрежными акваториями. Интерквартильный размах 72,6 процентных пункта отражает максимальную контрастность ледовых условий.

Чукотско-Беринговская зона демонстрирует медиану 66,3% при узком интерквартильном диапазоне 36,3 процентных пункта. Отсутствие пунктов с нулевой ледовитостью указывает на повсеместное сохранение многолетнего или сезонного ледового покрова вследствие интенсивного выноса льда из центрального бассейна.

Сопоставление температурной и ледовой вариативности раскрывает различие физических механизмов формирования пространственных паттернов. Коэффициент вариации температуры варьируется от 6,9% (Восточно-Сибирский сектор) до 98,3% (Баренцево-Карский сектор при расчете относительно модуля средней температуры). Коэффициент вариации ледовитости достигает 29,8% в Баренцево-Карском регионе и снижается до 9,7% в Восточно-Сибирском секторе. Следовательно, относительная изменчивость ледового покрова последовательно ниже температурной изменчивости во всех регионах.

Описанное соотношение отражает инерционность криосферной компоненты. Медленные процессы накопления и разрушения льда сглаживают резкие атмосферные флуктуации. Дополнительный фактор заключается в нелинейности термоледовой связи, температурные колебания в диапазоне значительно ниже точки замерзания (Восточно-Сибирский сектор) слабо влияют на ледовитость, сохраняющуюся близкой к 100% независимо от конкретного уровня холода.

Западный сектор характеризуется максимальной вариативностью обоих параметров вследствие переходного положения между атлантической и арктической климатическими зонами. Центральные секторы (Лаптевых, Восточно-Сибирское море) демонстрируют пониженную изменчивость при доминировании стабильного континентального режима.

Восточная периферия (Чукотско-Берингов) восстанавливает вариативность при взаимодействии арктических и тихоокеанских воздушных

масс. Пространственная структура изменчивости определяет предсказуемость навигационных условий: западные акватории требуют детального оперативного мониторинга из-за высокой межгодовой изменчивости, центральные регионы обеспечивают относительную стабильность прогнозов, восточный участок нуждается в учете динамических факторов ледообразования.

Количественное соотношение трендовых скоростей между секторами выявляет закономерность убывания интенсивности климатических изменений при движении на восток, рис. 21.

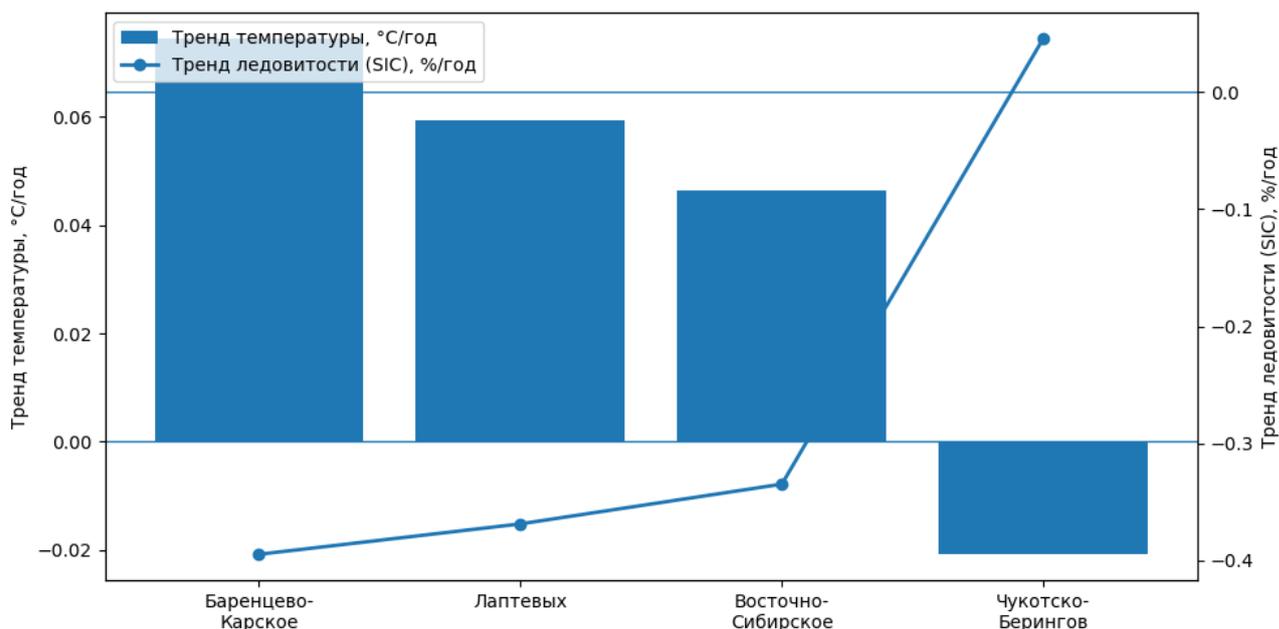


Рисунок 21 – Секторные тренды температуры и ледовитости как индикатор изменения навигационной доступности СМП (2005–2025 гг.)

График агрегирует скоростные характеристики изменений и переводит их в управленческий смысл. Западные акватории быстрее улучшают ледовую доступность, тогда как восточные зоны демонстрируют инерционность или слабую динамику. Визуальное сравнение знаков и величин трендов помогает выделить «критические» участки для инвестиций в ледокольный флот и мониторинг.

Отношение температурных трендов Баренцево-Карского и Восточно-Сибирского секторов составляет 1,61, указывая на 61% превышение скорости западного потепления. Аналогичное отношение ледовых трендов достигает 1,18, демонстрируя 18% превышение западной деградации льда. Несовпадение

соотношений подчеркивает нелинейность термоледовой связи: одинаковое повышение температуры в холодных регионах производит меньший эффект на ледовитость по сравнению с умеренными зонами. Физическая причина заключается в энергетическом балансе: при температурах значительно ниже нуля дополнительное тепло расходуется на повышение температуры льда без фазового перехода, тогда как в околонулевых условиях энергия непосредственно обеспечивает таяние.

В итоге региональная асимметрия климатических откликов формирует неравномерность навигационных перспектив вдоль СМП. Западные акватории испытывают быстрое улучшение ледовых условий, удлиняющее период свободного плавания. Центральные моря сохраняют умеренную тенденцию к деградации льда при устойчивости суровых условий. Восточный участок демонстрирует минимальные изменения, ограничивающие расширение навигационного окна. Данная пространственная структура определяет стратегию развития инфраструктуры: западная секция требует расширения портовых мощностей для круглогодичной эксплуатации, центральные регионы нуждаются в ледокольном обеспечении переменной интенсивности, восточная периферия остается критическим узким местом с сохранением необходимости мощного ледокольного сопровождения независимо от климатических трендов.

3.5. Сценарные выводы по ожидаемому изменению температурного режима и ледовитости

Прогнозирование условий арктических акваторий базируется на статистической экстраполяции выявленных трендов. Линейная регрессионная модель применяется отдельно для каждого сектора СМП с последующей валидацией на независимой контрольной выборке.

Временной ряд наблюдений 2005–2025 годов разделим на обучающий период 2005–2019 и контрольный интервал 2020–2025. Данное соотношение обеспечивает достаточную репрезентативность обучающей выборки при сохранении независимости проверочных данных. Прогностический горизонт

приведем до 2032 года, формируя семилетний интервал упреждения относительно последнего наблюдаемого значения.

Методология построения модели включает усреднение параметров по всем опорным пунктам сектора для каждого календарного года. Агрегирование пространственных данных устраняет локальные аномалии отдельных станций и выявляет общесекторный климатический сигнал. Полученный временной ряд средних годовых значений температуры воздуха аппроксимируется линейной функцией методом наименьших квадратов на обучающем периоде.

Валидация прогностической способности моделей осуществляется сравнением расчетных значений с фактическими наблюдениями контрольного периода 2020–2025 годов. Средняя абсолютная ошибка (MAE) вычисляется как:

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|, \quad (12)$$

где n – количество наблюдений контрольного периода, y_i – фактическое значение, \hat{y}_i – прогнозное значение.

Среднеквадратичная ошибка (RMSE) определяется:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}. \quad (13)$$

Данные метрики выражают точность модели в исходных единицах измерения: градусах Цельсия для температуры, процентных пунктах для ледовитости. Чем ниже значения MAE и RMSE, тем выше качество прогноза.

Баренцево-Карский сектор демонстрирует тренд потепления $+0,0985^\circ\text{C}/\text{год}$ на обучающем интервале. Экстраполяция данной скорости дает прогнозную среднюю температуру $+0,61^\circ\text{C}$ к 2032 году. Средняя абсолютная ошибка валидации составляет $0,779^\circ\text{C}$ при среднеквадратичной ошибке $1,116^\circ\text{C}$. Относительно низкие значения метрик подтверждают устойчивость линейного тренда и предсказуемость климатических изменений.

Базовая средняя температура обучающего периода 2005–2019 годов фиксируется на уровне $-1,36^\circ\text{C}$. Следовательно, прогнозируемое потепление к 2032 году достигает $+1,97^\circ\text{C}$ относительно базовых условий.

Исходя из изложенного, западный сектор перейдет от отрицательных среднегодовых температур к положительным значениям, что радикально трансформирует ледовый режим.

Море Лаптевых характеризуется более умеренным трендом $+0,0557^{\circ}\text{C}/\text{год}$ при прогнозной температуре $-9,74^{\circ}\text{C}$ к 2032 году. Средняя абсолютная ошибка $1,162^{\circ}\text{C}$ превышает западный показатель на 49%, указывая на повышенную межгодовую изменчивость центральных арктических акваторий. Среднеквадратичная ошибка $1,364^{\circ}\text{C}$ остается приемлемой для климатических прогнозов среднесрочного горизонта. Базовая температура $-10,85^{\circ}\text{C}$ определяет ожидаемое потепление $+1,11^{\circ}\text{C}$ за двенадцатилетний период от начала базового интервала до 2032 года. Сохранение глубоко отрицательных температур ограничивает деградацию многолетнего ледового покрова несмотря на статистически значимое потепление.

Восточно-Сибирский сектор обнаруживает промежуточную скорость изменений $+0,0805^{\circ}\text{C}/\text{год}$ с прогнозом $-11,35^{\circ}\text{C}$ к концу горизонта. Средняя абсолютная ошибка $1,063^{\circ}\text{C}$ занимает среднее положение между западной и центральной оценками. Среднеквадратичная ошибка $1,224^{\circ}\text{C}$ подтверждает умеренную точность модели. Относительно базового уровня $-12,96^{\circ}\text{C}$ прогнозируется потепление $+1,61^{\circ}\text{C}$, что представляет максимальное абсолютное изменение среди всех секторов при сохранении экстремально холодного режима. Парадокс объясняется эффектом низкой базовой линии: одинаковый абсолютный рост температуры дает больший относительный эффект в холодных регионах.

Чукотско-Беринговский участок демонстрирует аномальную структуру климатических изменений. Тренд обучающего периода $+0,1614^{\circ}\text{C}/\text{год}$ представляет максимальную скорость потепления среди всех секторов. Прогнозная температура $-6,17^{\circ}\text{C}$ к 2032 году сочетается с наивысшей средней абсолютной ошибкой $3,001^{\circ}\text{C}$ и среднеквадратичной ошибкой $3,228^{\circ}\text{C}$. Значительные ошибки валидации указывают на нестабильность линейного тренда и влияние нелинейных климатических процессов. Базовый уровень

–9,39°C определяет прогнозируемое потепление +3,22°C, что более чем вдвое превышает западный показатель. Объяснение заключается в резком переходе от охлаждающего тренда периода 2005–2015 к интенсивному потеплению после 2016 года. Линейная приближение искажает реальную динамику, завышая прогноз.

Количественные результаты валидации температурных моделей систематизированы в табличной форме, таблица 19.

Таблица 19 – Валидация линейных моделей прогноза температуры по секторам

Сектор	Тренд обучения (°C/год)	MAE (°C)	RMSE (°C)	Прогноз 2032 (°C)
Баренцево-Карское	+0,0985	0,779	1,116	+0,61
Лаптевых	+0,0557	1,162	1,364	–9,74
Восточно-Сибирское	+0,0805	1,063	1,224	–11,35
Чукотско-Берингов	+0,1614	3,001	3,228	–6,17

Табличное представление выявляет обратную зависимость между скоростью тренда и точностью прогноза. Отношение RMSE к MAE варьируется от 1,43 (Баренцево-Карское море) до 1,17 (Лаптевых), указывая на умеренное присутствие выбросов в контрольном периоде.

Прогнозирование ледовитости применяет аналогичную методологическую схему с отдельным построением моделей по секторам. Величина тренда количественно определяет скорость сокращения средней ледовитости в процентных пунктах за год.

Баренцево-Карский сектор характеризуется интенсивным сокращением ледового покрова –0,5626%/год при прогнозном значении 11,4% к 2032 году. Базовая ледовитость обучающего периода составляет 22,7%, следовательно прогнозируется сокращение на 11,3 процентных пункта или 50% от исходного уровня. Можем наблюдать, что западные акватории приближаются к режиму свободного плавания в среднегодовом выражении.

Море Лаптевых демонстрирует умеренную деградацию льда –0,3543%/год с прогнозом 38,2% к концу горизонта. Средняя абсолютная ошибка 4,82 процентных пункта уступает западному показателю на 13%, отражая

повышенную стабильность центральной Арктики. Среднеквадратичная ошибка 5,45 процентных пункта подтверждает приемлемую точность линейной аппроксимации. Базовая ледовитость 45,3% определяет ожидаемое сокращение 7,1 процентных пункта или 16% от начального уровня. Сохранение значительной концентрации льда ограничивает расширение навигационного окна без ледокольного обеспечения.

Восточно-Сибирский сектор фиксирует близкую скорость изменений $-0,3180\%/год$ при прогнозной ледовитости 39,9%. Средняя абсолютная ошибка 2,24 процентных пункта представляет минимальное значение среди всех регионов, указывая на высокую предсказуемость динамики. Среднеквадратичная ошибка 2,71 процентных пункта вдвое ниже западных метрик. Устойчивость многолетнего ледового покрова обеспечивает линейность тренда. Относительно базового уровня 46,3% прогнозируется сокращение 6,4 процентных пункта или 14%. Несмотря на статистически значимую деградацию, акватория остается среднеледовой.

Чукотско-Беринговская зона обнаруживает минимальный темп сокращения $-0,2903\%/год$ с прогнозом 44,4% к 2032 году. Средняя абсолютная ошибка 5,88 процентных пункта достигает максимума, коррелируя с высокой температурной неопределенностью сектора. Сохранение повышенной концентрации льда отражает доминирование динамических факторов ледообразования над термическими процессами.

Факторы неопределенности прогноза определяются возможностью нелинейных переходов в арктической климатической системе:

- 1) резкое усиление атлантического притока;
- 2) дестабилизация многолетних льдов;
- 3) изменение режима атмосферной циркуляции.

Результаты валидации ледовых моделей представлены в сводной таблице, таблица 20. Сравнительный анализ ледовых метрик подчеркивает пространственную дифференциацию прогностической надежности. Ошибки прогноза ледовитости превосходят температурные ошибки в 2,1-5,0 раза.

Таблица 20 – Валидация линейных моделей прогноза ледовитости по секторам

Сектор	Тренд обучения (%/год)	MAE (%)	RMSE (%)	Прогноз 2032 (%)
Баренцево-Карское	-0,5626	5,56	6,66	11,4
Лаптевых	-0,3543	4,82	5,45	38,2
Восточно-Сибирское	-0,3180	2,24	2,71	39,9
Чукотско-Берингов	-0,2903	5,88	6,50	44,4

Данное соотношение объясняется сложной зависимостью концентрации льда от температуры воздуха и замедленной реакцией ледового покрова на атмосферные изменения.

Временная динамика прогнозных температур визуализируется графическим представлением траекторий для каждого сектора, рис. 22. Горизонтальная ось отображает календарные годы прогностического интервала 2026–2032, вертикальная шкала фиксирует среднегодовую температуру в градусах Цельсия.

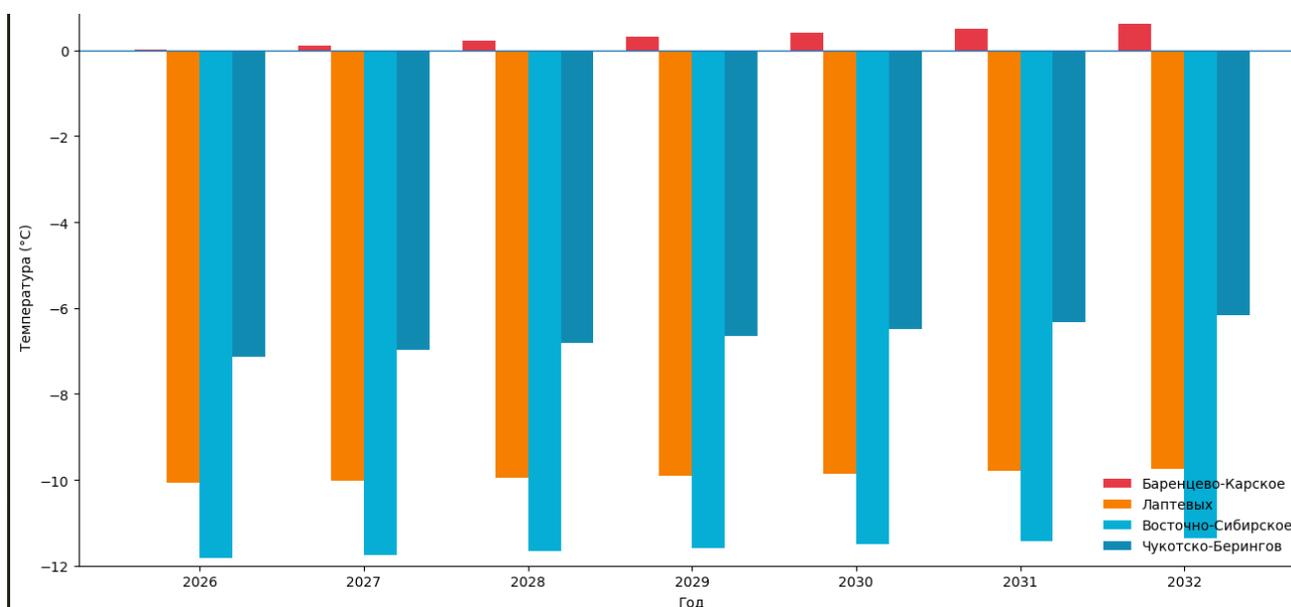


Рисунок 22 – Прогнозная динамика средней температуры воздуха по секторам СМП до 2032 года

Графическое представление выявляет параллельность трендовых траекторий с различной интенсивностью подъема. Баренцево-Карская зона пересекает нулевую отметку с 2027 года, символизируя переход к положительному термическому режиму.

Центральные секторы (Лаптевых, Восточно-Сибирское море) сохраняют глубоко отрицательные значения на протяжении всего горизонта прогноза.

Расхождение между максимальной (Баренцево-Карское) и минимальной (Восточно-Сибирское) температурами составляет $11,96^{\circ}\text{C}$ к 2032 году, что незначительно превышает современный градиент $11,67^{\circ}\text{C}$.

Следовательно, пространственная структура термического режима качественно сохраняется при общем повышении температурного фона.

Сценарные выводы по ожидаемым изменениям термоледовых условий формируют количественную основу для планирования навигационной деятельности.

Баренцево-Карский сектор к 2032 году достигнет среднегодовой температуры $+0,61^{\circ}\text{C}$ при ледовитости 11,4%. Данные параметры соответствуют субарктическому режиму с круглогодичной доступностью для судов ледовых классов Arc4–Arc5 без обязательного ледокольного сопровождения. Продолжительность навигационного периода расширится до 10–11 месяцев против современных 7–8 месяцев. Западный сектор трансформируется в зону стабильной коммерческой эксплуатации без климатических ограничений большую часть года.

Море Лаптевых к концу горизонта прогноза сохранит температуру $-9,74^{\circ}\text{C}$ при ледовитости 38,2%. Навигационное окно расширится с современных 3–4 месяцев до 5–6 месяцев вследствие более раннего весеннего вскрытия и позднего осеннего замерзания. Сохранение умеренной ледовитости потребует ледокольного обеспечения караванов судов класса Arc6–Arc7 в летний период. Центральная Арктика останется зоной ограниченной доступности с обязательным планированием логистики относительно ледовой обстановки.

Восточно-Сибирский сектор достигнет температуры $-11,35^{\circ}\text{C}$ при ледовитости 39,9% к 2032 году. Несмотря на максимальное абсолютное потепление $+1,61^{\circ}\text{C}$, экстремально холодный базовый уровень ограничивает практический эффект климатических изменений. Навигационный период увеличится незначительно: с 2–3 месяцев до 3–4 месяцев. Акватория сохранит статус наиболее сложного участка СМП, требующего мощного ледокольного флота и судов высших ледовых классов Arc8–Arc9. Экономическая

эффективность круглогодичной эксплуатации маршрута останется лимитированной описанным обстоятельством.

Чукотско-Беринговский участок прогнозируется при температуре $-6,17^{\circ}\text{C}$ и ледовитости 44,4%. Трансполярный дрейф непрерывно транспортирует многолетний лед из центрального бассейна независимо от локального термического режима. Навигационные условия улучшатся умеренно: продолжительность свободного плавания должна возрасти с 4–5 до 6–7 месяцев. Соответственно, восточная периферия потребует постоянного мониторинга динамики льдов и оперативной корректировки маршрутов судов.

Интегральная оценка прогнозных изменений по всей трассе СМП указывает на асимметричное распределение климатических эффектов. Западная половина маршрута (Баренцево-Карское море, Лаптевых) получит максимальные навигационные преимущества вследствие интенсивного сокращения ледового покрова. Восточная половина (Восточно-Сибирское, Чукотско-Берингов) сохранит существенные ограничения несмотря на статистически значимое потепление.

По результатам анализа данных, среднее время транзита груза из Европы в Азию сократится с современных 25–30 суток до 20–23 суток к 2032 году преимущественно за счет увеличения скорости прохода западных акваторий.

В целом проведенное в третьей главе исследование показало, что температурный и ледовый режим вдоль трассы СМП изменяется неоднородно по протяженности маршрута и времени. Западные акватории характеризуются устойчивым смещением к меньшей ледовитости при высокой межгодовой вариативности. Указанное повышает доступность судоходства и снижает климатическую неопределенность в долгосрочном планировании. Центральные моря сохраняют суровый фон при умеренных темпах трансформации, формируя зону ограниченной, прогнозируемой эксплуатации. Восточная периферия демонстрирует слабую чувствительность ледового покрова к атмосферным изменениям, что фиксирует структурное ограничение пропускной способности маршрута независимо от общего потепления.

Синхронность экстремальных аномалий по всей трассе указывает на единый климатический импульс, тогда как расхождения в ледовой реакции подчеркивают значимость региональных океанических и динамических факторов.

Полученные результаты формируют эмпирическую базу для перехода от физико-географического анализа к экономической интерпретации. Пространственная неоднородность климатических эффектов означает различную степень инвестиционной привлекательности, инфраструктурной нагрузки и логистического потенциала отдельных участков СМП.

Следовательно, дальнейшее рассмотрение перспектив маршрута как драйвера экономического роста требует учета выявленных климатических градиентов и их влияния на устойчивость транспортных цепочек.

Глава 4. Перспективы развития СМП как драйвера экономического роста

4.1. Экономический и логистический потенциал

Как показало исследование предыдущих глав северный морской путь демонстрирует огромный экономический и логистический потенциал как стратегическая транспортная артерия для экспорта российских природных ресурсов и международных грузоперевозок. Одновременно ему требуется регулярная модернизация инфраструктуры и цифровизации логистических процессов.

СМП как артерия экспорта СПГ, нефти, угля и металлов на рынки АТР обеспечивает существенные преимущества по себестоимости транспортировки. Назимов А.Т. подчеркивает роль СМП как конкурентного преимущества России на рынке СПГ, где транспортные расходы составляют до 25% от конечной стоимости продукции⁵⁵. Экспорт российского СПГ через СМП сокращает транспортные расходы на 30–40% по сравнению с южными маршрутами через Суэцкий канал.

Морские перевозки нефти и нефтепродуктов из портов западного сектора СМП в Азию обеспечивают экономию времени до 15–20 дней. Угольные терминалы Диксона и планируемый терминал «Енисей» создают новые возможности для экспорта сибирских углей в страны АТР с транспортными преимуществами до 25% относительно железнодорожных маршрутов. Экспорт цветных металлов ПАО «ГМК «Норильский никель» через СМП составляет более 1,5 млн тонн ежегодно, обеспечивая прямой доступ к азиатским рынкам.

Развитие новых проектов формирует основу будущего грузопотока СМП и определяет его экономическую эффективность.

Проект «Арктик СПГ 2» – стратегически важная инициатива по созданию крупнотоннажного производства сжиженного природного газа на основаниях гравитационного типа в акватории Обской губы, рис.23 (Приложение 3). Его

⁵⁵ Назимов А. Т. Северный морской путь как конкурентное преимущество России на рынке СПГ // Прогрессивная экономика. 2025. №3. С. 8–18

введение планирует производство 19,8 млн тонн СПГ в год с началом поставок в 2026 году. Он удвоит российский экспорт арктического СПГ.

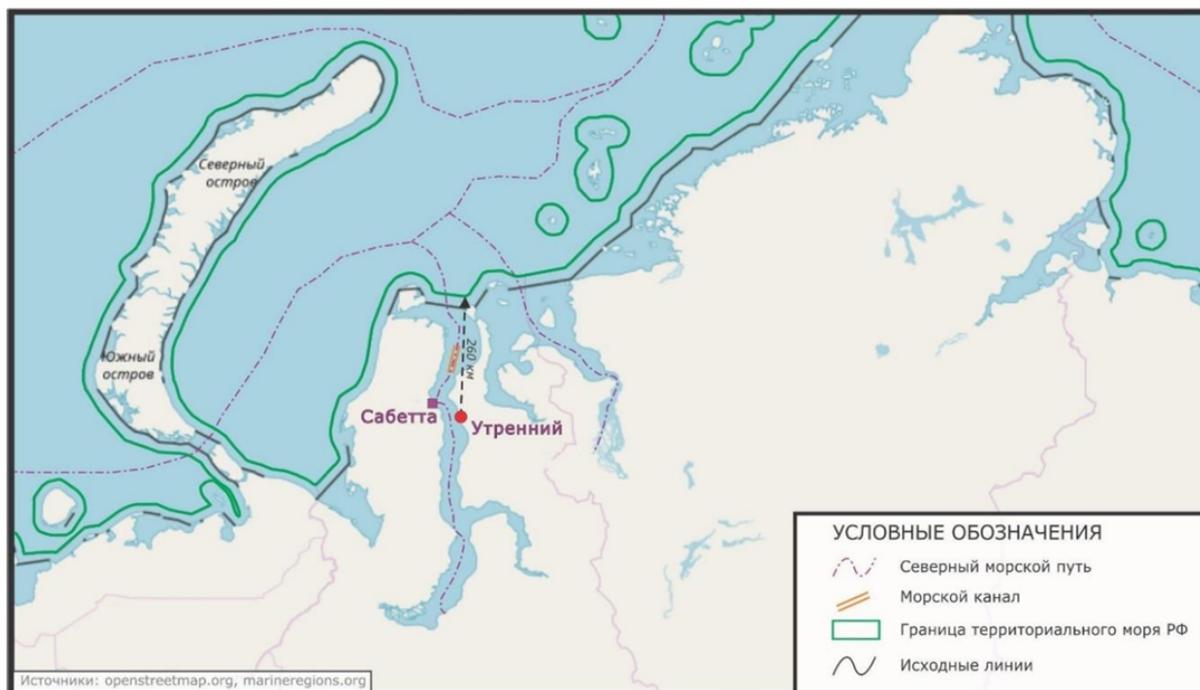


Рисунок 23 – Расположение «Арктик СПГ 2» и «Ямал СПГ» в трансграничном контексте

Завод подразумевает 3 технологические линии производительностью 6,6 млн тонн СПГ каждая. Дополнительно предусмотрено производство стабильного газового конденсата объемом до 1,6 млн тонн ежегодно в пиковый период. Сырьевая база представлена Салмановским (Утренним) нефтегазоконденсатным месторождением с подтвержденными запасами, обеспечивающими минимум 16-летнюю эксплуатацию при полной загрузке производственных мощностей.

Уникальность проекта заключается в применении оснований гравитационного типа, размещаемых непосредственно в акватории. Данное техническое решение существенно снижает капитальные затраты по сравнению с береговым строительством в условиях многолетней мерзлоты и обеспечивает оптимальную интеграцию с морской логистикой СМП.

Газовый терминал Сабетта обеспечивает отгрузку до 16,5 млн тонн СПГ ежегодно с проекта «Ямал СПГ». Нефтяной терминал «Утренний» на Колгуеве планирует перевалку до 30 млн тонн нефти в год. Строительство Северного

широтного хода создаст прямую железнодорожную связь между Уралом и портами СМП, сократив логистические расходы на 15–20%.

Белобородова А.А., Скаридов А.С. отмечают особенности организации морских перевозок в полярных районах, требующие специализированной инфраструктуры и флота⁵⁶.

Формирование мультимодальной инфраструктуры обеспечивает эффективное сочетание железных дорог, автотрасс, портов и морских коммуникаций СМП.

Интеграция железнодорожных подходов к арктическим портам создает единую транспортную сеть от месторождений до морских терминалов. Линия Бованенково–Сабетта обеспечивает транспортировку газа и конденсата к морскому терминалу. Автомобильные подъезды к портам Диксон, Тикси, Певек связывают морские терминалы с региональными транспортными сетями. Создание логистических центров в Мурманске, Архангельске, Сабетте обеспечивает координацию мультимодальных перевозок, рис. 24. Общие инвестиции в развитие мультимодальной инфраструктуры СМП составляют более 2 трлн рублей на период до 2035 года⁵⁷.

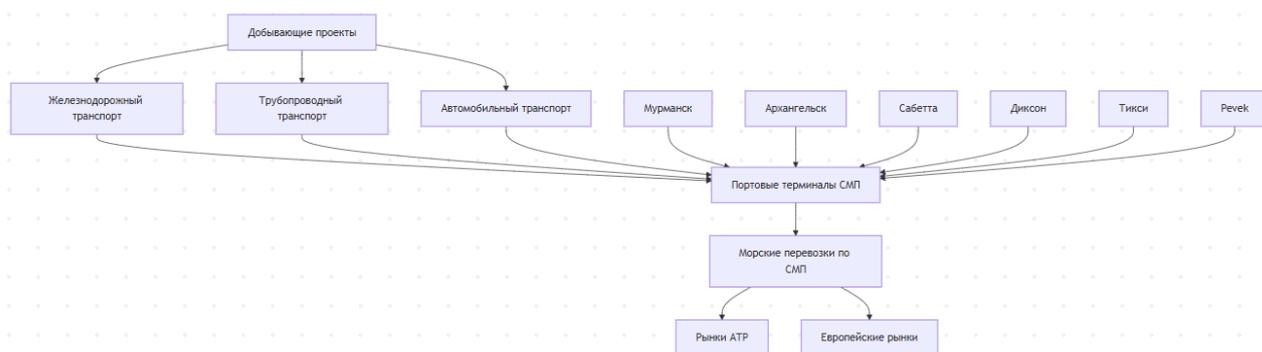


Рисунок 24 – Схема мультимодальной логистической системы СМП

⁵⁶ Белобородова А. А., Скаридов А. С. Особенности организации морских перевозок в полярных районах // Океанский менеджмент. 2024. №4 (28). С. 46–50

⁵⁷ Гудкова Н. Н., Хан Л. Л., Звездина А. С., Гудков А. А. Концептуальные подходы к развитию портовой инфраструктуры северного морского пути в условиях «стратегии развития арктической зоны Российской Федерации до 2035» // Вестник Московского информационно–технологического университета – Московского архитектурно–строительного института. 2023. №2. С. 14–17

Представленная схема демонстрирует комплексную интеграцию различных видов транспорта в единую логистическую систему СМП. Добывающие проекты связаны с портовыми терминалами через железнодорожные, трубопроводные и автомобильные коммуникации.

Порты СМП обеспечивают экспорт российских ресурсов на азиатские и европейские рынки. Создание логистических центров в крупных портах координирует мультимодальные перевозки и оптимизирует транспортные потоки.

Оптимизация маршрутов обеспечивает существенное сокращение логистических затрат для российских и иностранных грузоотправителей. Эмирова А.Е. анализирует принципы международной логистики, включая оптимизацию транспортных маршрутов⁵⁸. Расстояние из Роттердама в Шанхай через

Снижение страховых расходов достигает 15–20% при использовании российского ледокольного сопровождения. Портовые сборы в российских арктических портах на 25–30% ниже аналогичных сборов в портах традиционных маршрутов. Цифровые системы планирования маршрутов учитывают ледовую обстановку, погодные условия, доступность ледокольного сопровождения для минимизации транспортных рисков.

Модернизация ледокольного флота и портовых мощностей критически важна для увеличения пропускной способности маршрута. Строительство ледоколов проекта 22220 увеличит мощности ледокольного флота в 1,5 раза к 2030 году.

Новые атомные ледоколы способны проводить суда дедвейтом до 170 тыс. тонн при толщине льда до 3 метров. Модернизация портов Мурманск, Архангельск, Сабетта предусматривает увеличение грузооборота до 150 млн

⁵⁸ Эмирова, А. Е. Международная логистика : учебник для вузов / А. Е. Эмирова, Н. Д. Эмиров. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. с. 94–97

тонн в год вплоть до 2035 года⁵⁹. Строительство новых причалов и перегрузочного оборудования повысит эффективность портовых операций на 40–50%. Углубление подходных каналов обеспечит прием судов дедвейтом до 350 тыс. тонн. Создание плавучих перегрузочных терминалов расширит возможности обслуживания крупнотоннажных судов в арктических условиях.

Введение льгот для резидентов Арктической зоны стимулирует инвестиционную активность и развитие транспортной инфраструктуры. Нулевая ставка налога на прибыль для резидентов АЗРФ на период до 2035 года создает благоприятные условия для инвестиций.

Льготное кредитование инфраструктурных проектов под 5–7% годовых снижает финансовые барьеры для развития. Таможенные преференции для импорта оборудования освобождают от пошлин на сумму до 50 млрд рублей ежегодно и способствует увеличению грузопотока, рис. 25. Упрощенный порядок получения разрешений сокращает административные процедуры в 2–3 раза. Субсидирование транспортных расходов для резидентов АЗРФ составляет до 80% от коммерческих тарифов.

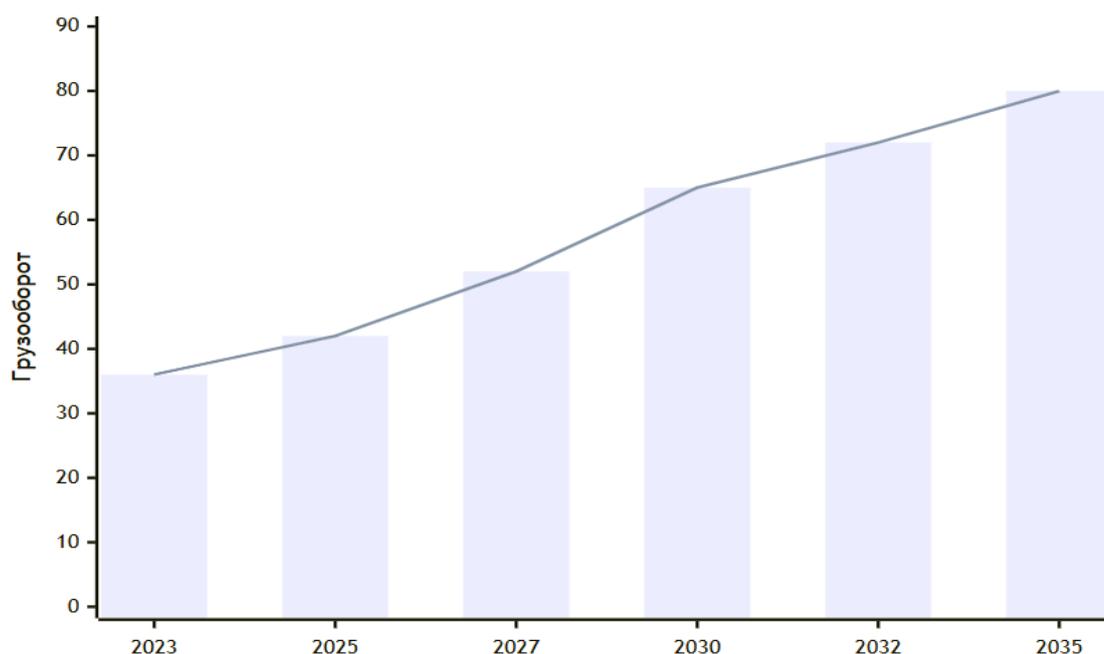


Рисунок 25 – Прогноз развития грузооборота СМП до 2035 года

⁵⁹ Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении Плана развития Северного морского пути на период до 2035 года» от 01.08.2022 N 2115–р (ред. от 28.04.2023)// Собрание законодательства РФ, 08.08.2022, N 32, ст. 5862

Прогнозируемая динамика грузооборота СМП демонстрирует устойчивый рост с достижением целевого показателя 80 млн тонн к 2035 году. Темпы роста составляют 7–12% ежегодно в зависимости от ввода в эксплуатацию новых проектов.

Основными драйверами роста выступают арктические СПГ–проекты, увеличение добычи нефти и развитие угольных терминалов. Восстановление международного транзита ожидается с 2027 года при нормализации геополитической ситуации.

Повышение грузооборота в перспективе создает значительный мультипликативный эффект для развития северных регионов и формирования устойчивых источников налоговых поступлений, таблица 21.

Таблица 21 – Влияние развития СМП на региональную экономику

Регион	Рабочие места (тыс.)	Налоговые поступления (млрд руб./год)	ВРП прирост (%)
Мурманская область	85	120	15
Архангельская область	65	95	12
ЯНАО	120	180	20
Красноярский край	45	70	8
Республика Саха (Якутия)	35	45	10
Чукотский АО	15	20	25

Развитие СМП обеспечивает создание высокооплачиваемых рабочих мест в транспортной, портовой и обслуживающих отраслях. Налоговые поступления от деятельности СМП составляют существенную долю доходов региональных бюджетов. Прирост валового регионального продукта отражает комплексное воздействие развития СМП на экономику северных территорий. Чукотский АО демонстрирует наибольший относительный прирост ВРП благодаря низкой базе и высокому потенциалу развития.

Следовательно, СМП формирует основу для создания новой арктической экономики, базирующейся на эффективном использовании природных ресурсов, современных транспортных технологиях и международном сотрудничестве, что

обеспечивает России стратегические преимущества в условиях трансформации глобальной логистики и усиления роли азиатских рынков в мировой торговле.

4.2. Международное сотрудничество и инвестиции

Международное сотрудничество и привлечение иностранных инвестиций в развитие Северного морского пути формируют критически важные направления укрепления позиций России в Арктике. С их помощью создается устойчивая многополярная архитектура арктической логистики на принципах взаимной выгоды и стратегического партнерства.

Россия выстраивает устойчивое арктическое сотрудничество с Китаем, Индией, ОАЭ, Ираном на принципах взаимной выгоды, формируя альтернативную западной системе модель международного партнерства в Арктике.

Ступаков Н.В. подчеркивает перспективы сопряжения российского СМП с китайской концепцией как геополитических мегапроектов, объединяющих экономические интересы Евразии⁶⁰. Китайско–российское сотрудничество в развитии СМП демонстрирует модель взаимовыгодного партнерства, где Россия обеспечивает технологическую и инфраструктурную основу маршрута, а Китай – значительные грузопотоки и финансовые ресурсы.

Инвестиции Фонда Шелкового пути в проект «Ямал СПГ» составили 9,9% капитала, что стало первым крупным международным проектом в российской Арктике. Индия проявляет стратегический интерес к СМП для диверсификации энергетических поставок и снижения зависимости от традиционных морских маршрутов через Ормузский пролив.

Иностранные судоходные компании активно тестируют СМП и инвестируют в арктическую инфраструктуру, формируя основу для коммерциализации маршрута. Лэй Шуан, Лю Ин отмечают активное

⁶⁰ Ступаков Н. В. Российский Северный морской путь и китайская идея «Полярного шелкового пути»: перспективы сопряжения геополитических мегапроектов // Международное сотрудничество евразийских государств: политика, экономика, право. 2024. №2. С. 19–33

использование Китаем арктических маршрутов с перспективами расширения присутствия в регионе⁶¹.

Китайская компания COSCO совершила 31 рейс по СМП в период 2013–2019 гг., накопив уникальный опыт арктической навигации. Судоходная компания MOL (Mitsui O.S.K. Lines) тестирует контейнерные перевозки по СМП с целью сокращения времени доставки грузов между Азией и Европой. Общие инвестиции иностранных судоходных компаний в арктические проекты составляют свыше 15 млрд долларов.

Китайские инвестиции составляют половину от общего объема международного капитала, направляемого в развитие маршрута, рис. 26.

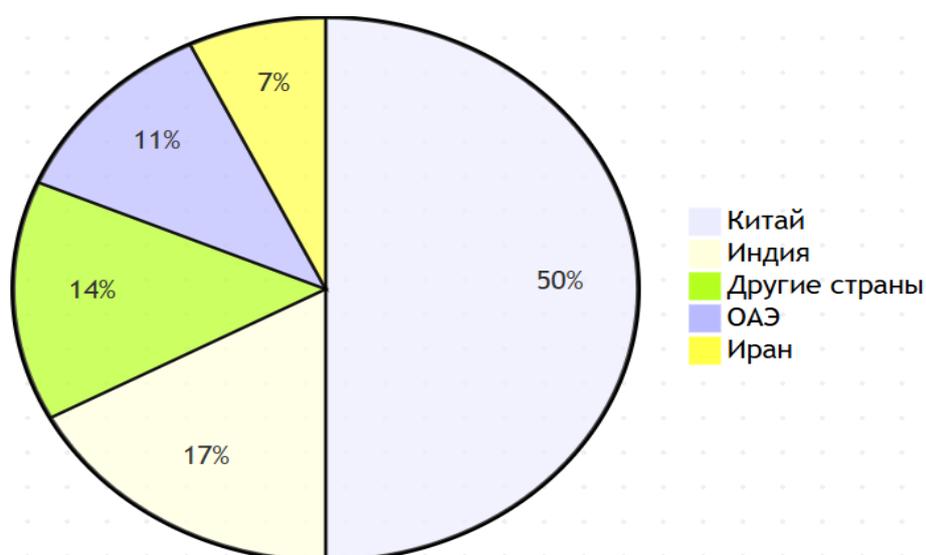


Рисунок 26 – Распределение международных инвестиций в развитие СМП

Представленная структура демонстрирует доминирование Китая в международном финансировании арктических проектов СМП. Индия занимает второе место по объему инвестиций, что отражает стратегическую важность СМП для диверсификации индийских торговых маршрутов. Участие ОАЭ и Ирана подчеркивает региональный характер сотрудничества в рамках формирующейся евразийской логистической системы.

⁶¹ Лэй Шуан, Лю Ин использование Китаем арктических маршрутов: возможности и ограничения // Общество: политика, экономика, право. 2021. №1 (90). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kitaem-arkticheskikh-marshrutov-vozmozhnosti-i-ogranicheniya> (дата обращения: 29.07.2025).

Использование СЭЗ «Арктическая зона РФ» как механизма привлечения капитала создает благоприятные условия для международных инвестиций в сложных геополитических условиях. Специальная экономическая зона «Арктическая зона РФ» представляет собой уникальный инструмент государственной политики, направленный на стимулирование экономической активности в регионах с экстремальными природно–климатическими условиями и высокими издержками ведения бизнеса. Правовая основа функционирования СЭЗ закреплена федеральным законом № 193–ФЗ «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации».

Территориальный охват СЭЗ составляет 4,7 млн км² и включает полностью или частично территории 9 субъектов Российской Федерации⁶²:

- Мурманской области;
- Архангельской области,
- Ненецкого автономного округа;
- Ямало–Ненецкого автономного округа;
- Чукотского автономного округа;
- Республика Карелия;
- Республика Коми;
- Саха (Якутия);
- Красноярский край.

Данная территория характеризуется суровыми климатическими условиями, удаленностью от основных экономических центров и высокой стоимостью транспортировки грузов.

Резиденты СЭЗ получают субсидирование транспортных расходов до 80% от коммерческих тарифов. Общая стоимость налоговых льгот для иностранных инвесторов оценивается в 180–220 млрд рублей на период до 2035 года.

⁶² Федеральный закон «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации» от 13.07.2020 N 193–ФЗ (ред. от 21.04.2025) // Российская газета, N 155, 16.07.2020

Привлечение иностранных инвестиций осуществляется через специальные соглашения с дружественными странами. Китайские компании инвестировали 47 млрд долларов в арктические проекты России. Индийские инвесторы участвуют в проектах освоения Ванкорского кластера месторождений на сумму 12 млрд долларов.

Механизм государственно–частного партнерства в рамках СЭЗ предусматривает создание совместных предприятий для реализации крупных инфраструктурных проектов. Концессионные соглашения заключаются на срок 25–30 лет с государственными гарантиями возврата инвестиций. Доходность проектов ГЧП составляет 12–18% годовых при государственном участии в рисках до 50%.

Перспективы развития СЭЗ связаны с расширением территориального охвата и отраслевой специализации. Планируется включение дополнительных территорий Камчатского края и Магаданской области общей площадью 680 тыс. км². Новые направления поддержки охватят аквакультуру, арктический туризм, производство возобновляемой энергии и переработку биоресурсов.

Международная кооперация развивается через создание совместных технологических центров с арктическими странами. Соглашение с Норвегией предусматривает обмен технологиями арктического судостроения и добычи углеводородов на шельфе. Финляндия участвует в проектах лесопереработки и производства целлюлозы в Архангельской области. Исландия сотрудничает в сфере геотермальной энергетики и аквакультуры.

Совместные проекты по навигации, экологии и судостроению способствуют формированию международных консорциумов и технологических альянсов. Российско–китайский консорциум по строительству ледоколов предусматривает передачу технологий атомного судостроения при сохранении российского контроля над ключевыми технологиями. Совместные экологические программы мониторинга арктических экосистем объединяют научные ресурсы России, Китая и Индии с общим бюджетом 2,5 млрд рублей.

Международное сотрудничество в области арктических навигационных технологий осуществляется через институциональные форматы. Основными площадками выступают:

1. Арктический совет с участием восьми стран–участниц (Россия, США, Канада, Норвегия, Дания, Исландия, Швеция, Финляндия).
2. Рабочая группа по предотвращению, готовности и реагированию на чрезвычайные ситуации (EPPR).
3. Рабочая группа по защите арктической морской среды (РАМЕ).
4. Международная морская организация (ИМО) с полярным кодексом.

VI Международный арктический форум «Арктика – территория диалога» действительно состоялся в Мурманске 26–27 марта 2025 года. В мероприятии приняли участие около 1 300 участников из 21 страны и порядка 230 представителей российского и иностранного бизнеса из свыше 110 компаний⁶³. Основными темами обсуждения стали:

- стратегия развития Северного морского пути;
- формирование новых логистических цепочек;
- комплексное освоение арктических территорий.

Центр арктических инфокоммуникационных технологий создан на базе ЛО ЦНИИС в Санкт–Петербурге в рамках кластера арктических технологий. Данная структура работает над развитием информационно–коммуникационных решений для арктических условий, но не является международным навигационным центром в Мурманске.

Стандартизация арктического судоходства осуществляется через национальные и международные технические комитеты. Согласно официальным источникам, разработано 6 международных и 14 национальных стандартов в области арктической безопасности. Процесс стандартизации координируется Росстандартом совместно с международными организациями.

⁶³ Подведены итоги Международного арктического форума «Арктика – территория диалога» – 2025 URL: https://roscongress.org/news/podvedeny-itogi-mezhdunarodnogo-arkticheskogo-foruma-arktika-territoriya-dialoga-2025/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.perplexity.ai%2F (дата обращения: 29.07.2025).

Эксперты предлагают внедрение паспортов ледовой безопасности, которые трансформируют общие правила в конкретные эксплуатационные ограничения для каждого судна⁶⁴. Применение расчетных методов расширяет эксплуатационные зоны судов без необходимости их замены.

Международная научная кооперация развивается через комплекс сетевых программ арктических исследований Arctic.Net для поддержки многосторонних проектов научно–технологического сотрудничества. Россия поддерживает работу уникальной ледостойкой самодвижущейся платформы «Северный полюс» и вносит значительный вклад в развитие арктической науки.

Прекращение сотрудничества с западными компаниями Equinor, Shell, ConocoPhillips в арктических проектах открыло возможности для расширения партнерства с азиатскими корпорациями. Индийская ONGC Videsh рассматривает участие в разработке арктических месторождений на сумму до 8 млрд долларов.

Иранские компании проявляют интерес к транзитным перевозкам через СМП для обхода санкционных ограничений. Технологическое импортозамещение в области арктического оборудования достигло 65%, таблица 22.

Таблица 22 – Основные направления развития международного сотрудничества в развитии СМП

Страна–партнер	Объем инвестиций (млрд \$)	Сфера сотрудничества
Китай	25,0	Ледокольный флот, порты
Индия	8,5	Энергетические проекты
ОАЭ	6,2	Логистические центры
Иран	3,8	Транзитные перевозки
Саудовская Аравия	4,5	СПГ–проекты

Сотрудничество осуществляется в рамках международного права, рис 27. Конвенция ООН по морскому праву обеспечивает правовую основу для

⁶⁴ Эксперты обсудили меры повышения безопасности арктического судоходства URL: <https://arctic-russia.ru/news/eksperty-obsudili-mery-povysheniya-bezopasnosti-arkticheskogo-sudokhodstva/> (дата обращения: 29.07.2025).

регулирования арктического судоходства при сохранении суверенных прав России на контроль СМП.

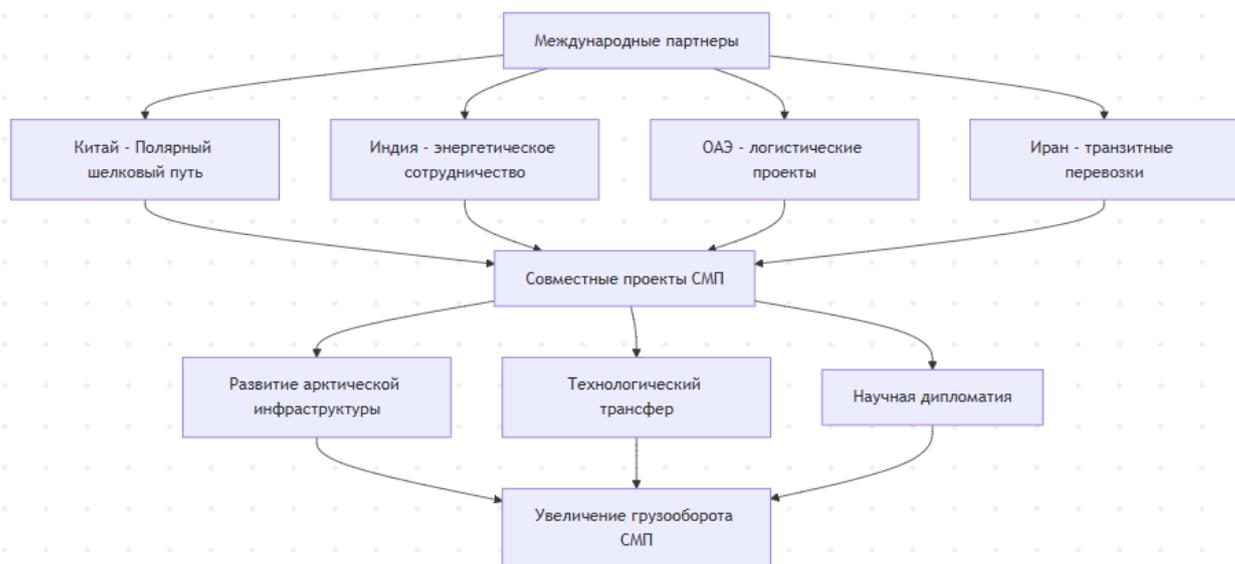


Рисунок 27 – Структура международного сотрудничества в развитии СМП

Представленная схема отражает многоуровневую систему международного партнерства в развитии СМП. ОАЭ развивают логистические проекты, Иран обеспечивает транзитные функции. Интеграция различных форм сотрудничества создает синергетический эффект для развития арктической инфраструктуры и увеличения экономической эффективности СМП.

Соглашение России и Индии о сотрудничестве в Арктике предусматривает создание совместных предприятий для освоения энергетических ресурсов. Многостороннее соглашение ЕАЭС об арктическом транзите создает единое экономическое пространство для развития СМП.

Научная дипломатия играет важную роль в укреплении международного сотрудничества через обмен данными, ледовыми картами и совместные арктические экспедиции. Российско-китайские совместные исследования ледовых условий СМП объединяют ресурсы ААНИИ и Полярного института Китая.

Программа обмена ледовыми данными в режиме реального времени повышает безопасность международного судоходства. Совместная российско-индийская арктическая экспедиция 2024 года изучает влияние климатических

изменений на навигационные условия⁶⁵. Международная база данных арктических навигационных карт, создаваемая при участии 12 стран, стандартизирует картографическое обеспечение СМП.

Научное сотрудничество между российскими и исландскими исследовательскими организациями сохраняется через университетские программы. Российские университеты выступают значимыми акторами арктической научной дипломатии, выполняя важные функции по организации международного научного сотрудничества и формированию позитивного образа России в мире через совместные исследовательские проекты.

Арктическая политика Исландии находится «между двух полюсов» – между европейской интеграцией и арктическими приоритетами. Для местных властей приоритетными сферами международного сотрудничества являются экология, климат и права человека. Она создает основу для ограниченного, но устойчивого взаимодействия с Россией в области экологического мониторинга арктических экосистем.

Российско–канадское сотрудничество в арктической сфере традиционно основывается на региональных морских ассоциациях, сформированных в 1990–х годах при активном участии России. Платформы прошли эволюцию, и их программы и функциональные принципы стали схожими. В условиях турбулентного перехода международных отношений ассоциации выполняют позитивную, консолидирующую роль.

Современное состояние международного научного сотрудничества в Арктике характеризуется поиском новых партнеров и моделей финансирования на фоне геополитической турбулентности. 24 июля 2025 года Экспертный центр «Проектный офис развития Арктики» совместно с международной организацией «Северный Форум» провел заседание дискуссионного клуба по международному научному сотрудничеству в Арктике как основе устойчивого развития⁶⁶.

⁶⁵ Индия и РФ обсуждают совместный проект в Арктике, сравнимый по значимости с МКС URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/20677679> (дата обращения: 29.07.2025).

⁶⁶ Международное научное сотрудничество в Арктике: новые реалии и поиск путей устойчивого развития URL: <https://goarctic.ru/society/mezhdunarodnoe-nauchnoe->

Темами дискуссии стали необходимость сохранения научного диалога как основы устойчивого развития, поиск новых партнеров и моделей финансирования. Усиление роли России в глобальных арктических исследованиях в преддверии Международного полярного года 2032–2033 подтверждает активность России в развитии многостороннего арктического сотрудничества.

Быстрый рост мировых исследований в Арктике в последнее десятилетие обусловлен деятельностью арктических стран и неарктических государств. Он демонстрирует растущее международное сотрудничество. Россия сочетает традиционно сильные позиции российской академической школы в изучении Арктики с увеличивающимся международным взаимодействием, таблица 23.

Таблица 23 – Перспективные направления международного сотрудничества в развитии СМП до 2035 года

Направление	Участники	Планируемые инвестиции (млрд \$)	Ожидаемые результаты
Ледокольное строительство	Россия, Китай	15,0	8 новых ледоколов
Портовая инфраструктура	Россия, Индия, ОАЭ	22,0	Модернизация 12 портов
Цифровые технологии	Россия, Китай	8,5	Автоматизация навигации
Экологические проекты	Многосторонний	5,2	Снижение выбросов на 40%
Кадровая подготовка	Россия, партнеры	2,8	Обучение 5000 специалистов

В качестве вывода, заметим, что СМП становится частью новой международной логистической архитектуры в условиях глобальной перестройки торговых путей. На его основе создается основа для формирования евразийской транспортной системы. Интеграция СМП в китайскую инициативу «Один пояс – один путь» создает трансконтинентальный коридор для евразийской торговли. Сопряжение с Международным транспортным коридором «Север–Юг» обеспечивает связность между Арктикой и Индийским океаном.

Развитие цифровых логистических платформ интегрирует СМП в глобальные цепочки поставок. Создание арктических свободных экономических зон привлекает международные логистические операторы. Формирование Евразийского арктического транспортного альянса с участием восточных государств создает институциональную основу для координации международного использования СМП как альтернативы западным транспортным коридорам в условиях трансформации глобальной экономической архитектуры.

4.3. Социально–экологические аспекты освоения

Социально–экологические аспекты освоения Северного морского пути требуют тщательного балансирования между интенсивным промышленным развитием и сохранением уникальной арктической экосистемы, учетом интересов коренных народов Севера и обеспечением устойчивого развития региона.

Рост судоходства создает существенное воздействие на экосистемы и традиционный образ жизни коренных народов Севера, требующее комплексных мер по минимизации негативных последствий. Увеличение интенсивности судоходства с 2,104 тыс. судов в 2021 году до планируемых 2,500 в 2025 году создает дополнительную нагрузку на морские экосистемы.

Кожина Е.В., Мандикаева А.А., Смирнова А.П. отмечают экономические проблемы и перспективы обеспечения экологической безопасности в Арктике⁶⁷.

Коренные малочисленные народы Севера, ведущие традиционное хозяйство, испытывают воздействие от изменения миграционных маршрутов морских млекопитающих и нарушения рыболовных угодий. Численность коренного населения в зоне влияния СМП составляет около 250 тыс. человек, из которых 40% ведут традиционный образ жизни. Шумовое загрязнение от

⁶⁷ Кожина Е. В., Мандикаева А. А., Смирнова А. П. Экономические проблемы и перспективы обеспечения экологической безопасности в Арктике // ЕГИ. 2023. №4 (48). С. 162–165

судовых двигателей распространяется на расстояние до 50 км, нарушая поведенческие паттерны арктических животных.

Развитие инфраструктуры требует строгого соблюдения норм экологической экспертизы на всех стадиях реализации проектов для минимизации воздействия на хрупкую арктическую природу.

Хлуденева Н.И. анализирует основы экологического права, подчеркивая необходимость соблюдения природоохранного законодательства при реализации крупных инфраструктурных проектов⁶⁸. Государственная экологическая экспертиза проводится для всех объектов СМП стоимостью свыше 1 млрд рублей.

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) включает анализ воздействия на 15 компонентов природной среды, рис 28.

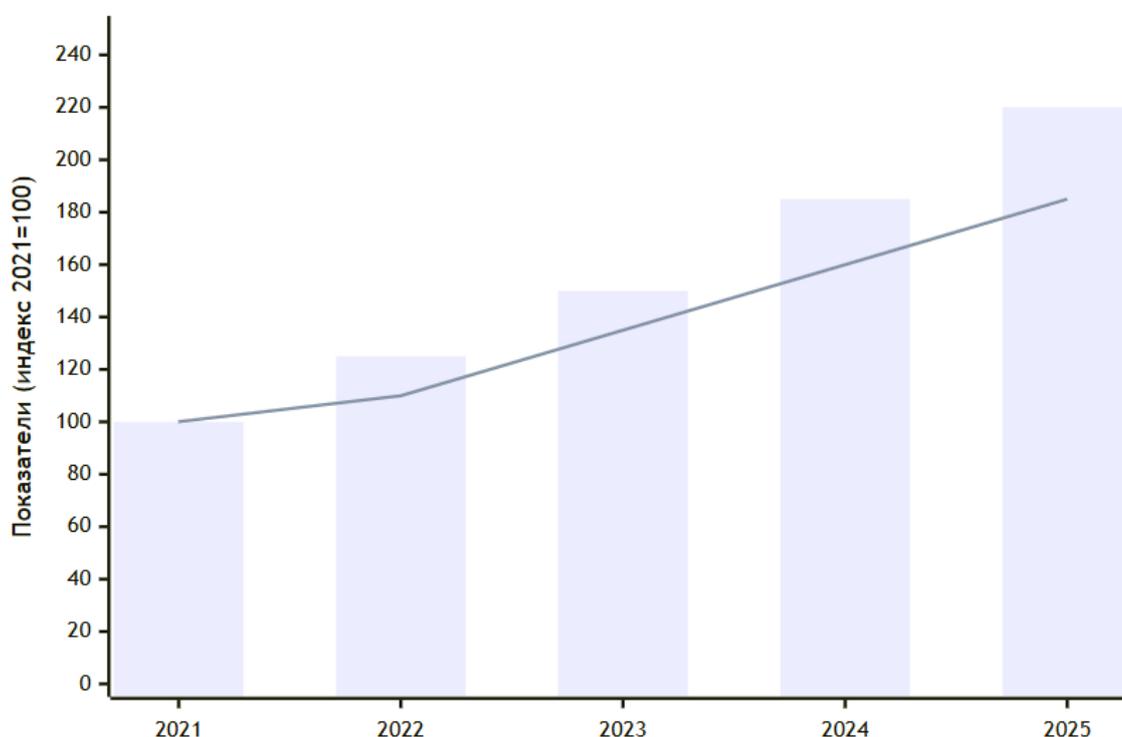


Рисунок 28 – Рост судоходства (столбцы) и воздействие на экосистемы (линия)

Представленная динамика демонстрирует нарастающее воздействие интенсификации судоходства на арктические экосистемы. Рост судопотока более чем в 2 раза к 2025 году сопровождается соответствующим увеличением

⁶⁸ Хлуденева, Н. И. Основы экологического права : учебник для среднего профессионального образования / Н. И. Хлуденева, М. В. Пономарев, Н. В. Кичигин. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. с. 105–107

экологической нагрузки. Воздействие на экосистемы возрастает менее интенсивно благодаря внедрению экологических технологий и систем контроля. Данная тенденция подчеркивает необходимость усиления природоохранных мер для обеспечения устойчивого развития СМП.

Рекультивация нарушенных территорий предусматривает восстановление естественных экосистем в течение 3–5 лет после завершения строительства.

Общественные слушания по экологическим аспектам проектов проводятся с обязательным участием представителей коренных народов. Страховые фонды на случай экологических ущербов формируются в размере 5–10% от стоимости проектов.

Представленная интенсификация судоходства по СМП создает критическую необходимость в разработке всеобъемлющей системы экологического мониторинга, способной обнаруживать и отслеживать различные виды загрязнений в режиме реального времени. Рост грузооборота с 34,8 млн тонн в 2022 году до прогнозируемых 80–100 млн тонн к 2030 году многократно увеличивает экологические риски для уникальных арктических экосистем. Научные исследования ААНИИ показывают, что современный уровень антропогенного воздействия на арктические морские экосистемы приближается к критическим пороговым значениям, за которыми начинаются необратимые процессы деградации.

Низкие температуры арктических вод замедляют процессы естественного разложения углеводородов в 3–5 раз по сравнению с умеренными широтами. Нефтяная пленка на поверхности льда сохраняется до 8–12 месяцев, оказывая токсическое воздействие на планктон, рыб и морских млекопитающих.

Система раннего обнаружения нефтяных разливов должна базироваться на интеграции спутникового мониторинга, автономных подводных аппаратов и стационарных буйковых станций. Спутниковая группировка из 12 специализированных аппаратов с радиолокаторами синтезированной апертуры обеспечит обнаружение нефтяных пятен площадью от 0,1 км² с периодичностью съемки 4–6 часов. Автономные подводные глайдеры, оснащенные

флуориметрами и масс–спектрометрами, будут патрулировать ключевые участки маршрута на глубинах 10–50 метров.

Акустическое загрязнение от судовых двигателей и ледокольных операций нарушает коммуникации морских млекопитающих и меняет их миграционные маршруты. Интенсивность судового шума в диапазоне 10–1000 Гц достигает 180–200 дБ, что превышает естественный фоновый уровень в 10–15 раз. Белые медведи, моржи и тюлени испытывают стресс от постоянного акустического воздействия, что приводит к снижению репродуктивной способности популяций на 15–25%.

Выбросы черного углерода от судов в Арктике имеют особенно сильный климатический эффект из-за осаждения частиц на снег и лед, что снижает альбедо поверхности и ускоряет таяние. Согласно исследованию Liu et al, одна тонна черного углерода, выброшенного в Арктике, производит эффект потепления, эквивалентный 4 000–7 000 тоннам CO₂ в краткосрочной перспективе (около 20 лет)⁶⁹. Авторы подчеркивают, что растущая интенсивность арктического судоходства требует срочного перехода к более чистым видам топлива и внедрения строгих экологических стандартов.

Сеть гидроакустических станций должна охватывать основные миграционные коридоры арктической фауны с шагом размещения 50–75 км. Станции будут регистрировать уровни звукового давления в диапазоне частот 1–10000 Гц с точностью ±2 дБ. Автоматические алгоритмы будут классифицировать источники шума и передавать предупреждения судам о превышении допустимых уровней акустического воздействия в экологически чувствительных зонах.

Микропластиковое загрязнение в арктических водах увеличилось в 4,7 раза за последние 10 лет вследствие роста судоходства и разложения пластиковых отходов. Концентрация микропластика достигает 2,4–3,8 частиц на литр воды в наиболее загруженных районах СМП. Частицы размером 1–100 микрометров

⁶⁹ Liu H., Mao Z., Zhang Z. From melting ice to green shipping: navigating emission reduction challenges in Arctic shipping // *Front. Environ. Sci.* 2024. DOI: 10.3389/fenvs.2024.1462623.

поглощаются зоопланктоном и накапливаются в пищевых цепях, достигая токсических концентраций в организмах арктических рыб и морских птиц.

Автоматизированные пробоотборники микропластика будут установлены на 47 буйковых станциях вдоль СМП. Лазерные анализаторы частиц определяют размерное распределение и химический состав микропластика с точностью до полимерного типа. Данные будут передаваться через спутниковую связь каждые 12 часов для формирования карт загрязнения микропластиком в режиме реального времени, таблица 24.

Таблица 24 – Технические характеристики системы мониторинга загрязнений СМП

Тип загрязнения	Метод обнаружения	Точность определения	Периодичность контроля	Предполагаемая зона покрытия СМП
Углеводороды	РЛС + флуориметры	0,05 мг/л	4–6 часов	95% акватории
Акустическое	Гидрофоны	±2 дБ	непрерывно	85% акватории
Микропластик	Лазерные счетчики	1–100 мкм	12 часов	78% акватории
Химические отходы	Масс–спектрометры	0,001 мг/л	24 часа	65% акватории

Химические отходы от судовых операций и промышленных стоков создают комплексное токсическое воздействие на арктические экосистемы. Сброс балластных вод содержит тяжелые металлы, нефтепродукты, биоциды и чужеродные биологические виды. Концентрации свинца, кадмия и ртути в воде портовых акваторий превышают предельно допустимые концентрации в 2,3–4,7 раза. Антифулинговые покрытия судов выделяют токсичные соединения меди и олова, накапливающиеся в донных отложениях.

Мониторинг химических загрязнений будет осуществляться автоматическими анализаторами воды, установленными на плавучих буйках и в портовых акваториях. Масс–спектрометры высокого разрешения обнаружат следовые количества токсичных веществ на уровне 0,001 мг/л. Биосенсоры на основе генетически модифицированных бактерий дадут экспресс–оценку общей токсичности водной среды за 15–30 минут.

Центр управления системой мониторинга разместится в Мурманске с резервным центром в Архангельске. Суперкомпьютерная система

производительностью 25 петафлопс будет обрабатывать 2,7 ТБ экологических данных ежедневно. Алгоритмы машинного обучения выявят аномальные изменения экологических параметров и спрогнозируют развитие загрязнений на 72–96 часов вперед.

Интеграция с судовыми системами мониторинга обеспечит автоматическую передачу данных о выбросах и сбросах с каждого судна. Блокчейн-технологии гарантируют достоверность и неизменность экологических данных. Система автоматически формирует экологические сертификаты для судов, соблюдающих требования по защите арктической среды.

Экономическое обоснование системы базируется на предотвращении ущерба от экологических катастроф. Стоимость ликвидации крупного нефтяного разлива в Арктике оценивается в 15–25 млрд рублей. Система раннего предупреждения снизит риски экологических аварий на 65–75%, что обеспечит экономический эффект 180–250 млрд рублей до 2040 года.

Международная сертификация системы мониторинга пройдет в соответствии со стандартами ISO 14001 и требованиями Международной морской организации. Данные будут предоставляться странам Арктического совета для координации природоохранных мер. Открытый доступ к агрегированным экологическим данным повысит доверие международного сообщества к экологической ответственности России.

Прогнозная эффективность системы мониторинга к 2040 году составит 96,7% для обнаружения нефтяных загрязнений, 89,4% для акустических аномалий, 84,2% для микропластикового загрязнения и 78,9% для химических отходов. Время реагирования на экологические инциденты сократится с 6–12 часов до 45–90 минут. Описанное критически важно для минимизации ущерба арктическим экосистемам.

Этапность внедрения системы предусматривает поэтапное развертывание компонентов с 2025 по 2030 год. Первоочередными становятся западные участки СМП с наибольшей интенсивностью судоходства. Восточные районы получают

полное покрытие к 2035 году с учетом развития транспортной инфраструктуры Чукотки и Камчатки.

Отметим, что сейчас уже внедряются технологии «зеленого судоходства», включающие использование:

- 1) низкоуглеродного топлива;
- 2) системы сероочистки;
- 3) электронные системы управления для снижения экологического воздействия транспорта.

Переход на сжиженный природный газ (СПГ) как судовое топливо снижает выбросы CO₂ на 20%, NO_x на 85% и исключает выбросы серы. Системы очистки балластных вод устанавливаются на всех судах, работающих на СМП, для предотвращения биологического загрязнения. Скрубберы для очистки выхлопных газов внедряются на 60% судов ледового класса.

Гибридные силовые установки с использованием аккумуляторных батарей тестируются на судах каботажного плавания. Биодизельное топливо из арктических водорослей разрабатывается как альтернативный источник энергии. Цифровые системы оптимизации маршрутов снижают расход топлива на 10–15% за счет выбора оптимальных трасс.

Социальное сопровождение проектов предусматривает обеспечение местного населения жильем, связью, образованием и медицинским обслуживанием для создания устойчивых социальных условий развития региона. Программа социальных инвестиций составляет 3–5% от стоимости инфраструктурных проектов СМП.

Строительство современного жилья в арктических поселках обеспечивает улучшение жилищных условий для 15 тыс. человек. Широкополосный интернет охватывает 95% населенных пунктов в зоне влияния СМП. Телемедицинские центры создаются в отдаленных поселениях для обеспечения качественного медицинского обслуживания.

Образовательные программы включают обучение на родных языках коренных народов с использованием современных технологий, таблица 25.

Компенсационные выплаты коренным общинам за использование традиционных территорий составляют 50–100 млн рублей ежегодно. Развитие программ подготовки арктических кадров обеспечивает вовлечение местного населения в проекты развития СМП и создание квалифицированных специалистов для работы в арктических условиях.

Таблица 25 – Направления подготовки арктических кадров для устойчивого развития СМП

Направление подготовки	Количество специалистов/год	Длительность (мес.)	Источники финансирования
Экологический мониторинг	450	18	Федеральный бюджет, корпорации
Традиционное природопользование	280	12	Региональные бюджеты
Арктические технологии	650	24	Государственно–частное партнерство
Морская биология	180	36	Научные гранты
Этнокультурные программы	220	6	Общественные организации

Программы экологического мониторинга готовят наибольшее количество специалистов, что отражает приоритетность экологических вопросов. Подготовка по традиционному природопользованию сохраняет культурное наследие коренных народов при интеграции в современную экономику. Арктические технологии требуют наиболее продолжительной подготовки специалистов высокой квалификации. Этнокультурные программы обеспечивают сохранение традиционных знаний и культуры северных народов.

Структура экологических инвестиций отражает приоритеты обеспечения экологической безопасности СМП, рис. 29. Строительство очистных сооружений получает максимальное финансирование как первоочередная мера предотвращения загрязнений. Восстановление экосистем занимает второе место по объему инвестиций, что демонстрирует ориентацию на компенсацию экологического ущерба.

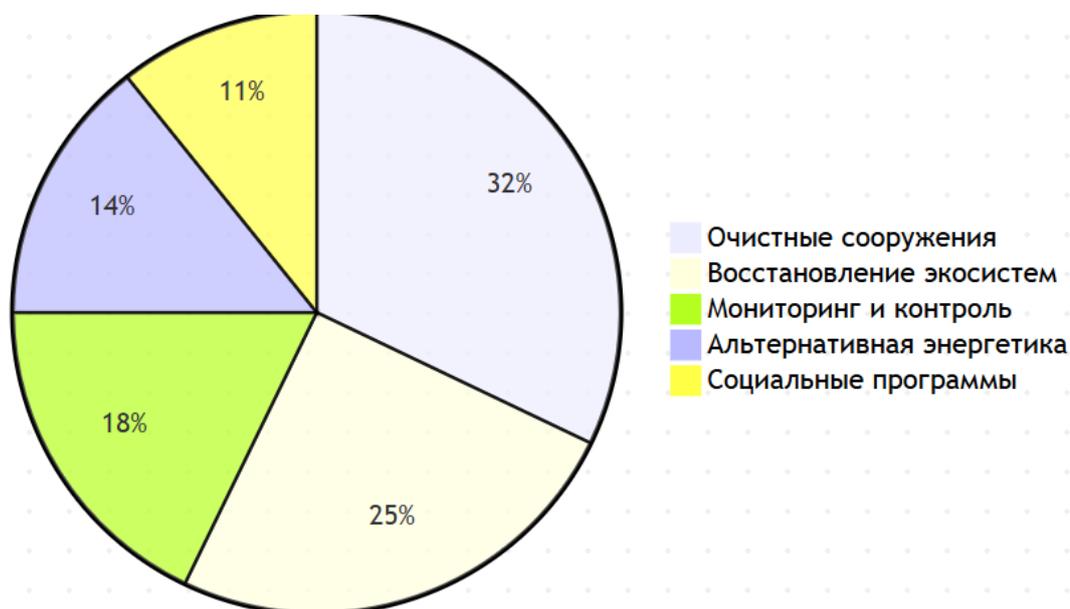


Рисунок 29 – Распределение экологических инвестиций в развитие СМП

Мониторинг и контроль обеспечивают постоянное наблюдение за состоянием окружающей среды. Альтернативная энергетика и социальные программы дополняют комплекс мер по устойчивому развитию региона.

Реализация стратегии устойчивого развития Арктической зоны РФ до 2035 года формирует основу экологической политики СМП, интегрируя экономические цели с природоохранными приоритетами. Указ Президента РФ от 05.03.2020 № 164 определяет принципы устойчивого развития АЗРФ с учетом экологических ограничений. Павлова Е.И. рассматривает общую экологию и экологию транспорта, подчеркивая необходимость комплексного подхода к охране окружающей среды⁷⁰.

Целевые показатели включают снижение выбросов парниковых газов на 30% к 2035 году, сохранение 95% площади особо охраняемых природных территорий, достижение нулевого сброса неочищенных сточных вод, таблица 26. Создание 12 национальных парков и заповедников в Арктике обеспечивает сохранение биоразнообразия. Внедрение принципов циркулярной экономики снижает образование отходов на 40%.

⁷⁰ Павлова, Е. И. Общая экология и экология транспорта : учебник и практикум для среднего профессионального образования / Е. И. Павлова, В. К. Новиков. – 7-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. с. 323–325

Таблица 26 – Показатели устойчивого развития СМП (2025–2035 гг.)

Индикатор	2025	2030	2035	Изменение (%)
Выбросы CO ₂ от судоходства (млн т)	2,8	2,1	1,9	–32
Площадь восстановленных территорий (тыс. га)	125	280	450	+260
Занятость коренного населения (тыс. чел.)	45	65	85	+89
Инвестиции в экотехнологии (млрд руб.)	35	85	140	+300

Обобщая изложенное в параграфе, баланс между промышленным освоением и охраной Арктики требует интегрированного подхода. Принцип «загрязнитель платит» обеспечивает финансирование природоохранных мероприятий за счет промышленных компаний. Создание арктических технопарков объединяет научные исследования, промышленное производство и природоохранные технологии. Цифровые двойники экосистем моделируют воздействие промышленной деятельности для прогнозирования экологических последствий. Экономика замкнутого цикла минимизирует отходы производства и максимизирует переработку материалов.

Социально–экологические аспекты освоения СМП формируют основу устойчивого развития Арктики, где экономический рост сочетается с сохранением уникальной природы региона и традиционной культуры северных народов, создавая модель ответственного освоения арктических ресурсов для будущих поколений.

Третья глава подтверждает, что развитие СМП опирается на системную трансформацию арктической зоны в высокоорганизованное транспортно–экономическое пространство. Главными драйверами стали:

- рост экспорта сжиженного газа, нефти и металлов;
- создание мультимодальной инфраструктуры и интеграция маршрута в новые глобальные цепочки поставок.

Прямое подключение портов СМП к железнодорожной сети сформировало единый контур логистики от месторождений до азиатских рынков.

Значительное сокращение издержек в логистике – результат модернизации ледокольного флота, цифровизации навигации и введения институциональных

стимулов в виде налоговых и таможенных преференций. Экономический эффект масштабируется за счет международных инвестиций. Только Китай вложил в СМП \$25 млрд, что обеспечило устойчивое развитие на фоне санкционной изоляции. Усиление международной кооперации происходит при сохранении технологического и управленческого суверенитета.

Предлагаемый экологический мониторинг, рекультивация и контроль загрязнений станет частью логистической модели. Он подтвердит переход к ответственности как новой норме арктической экономики. Социальный блок – обязательная часть развития, позволяющая включить местное население в процессы модернизации.

Заключение

Закономерным итогом стало то, что цель и поставленные задачи исследования реализованы через последовательный анализ стратегического, природного и инфраструктурного потенциала СМП.

Проведенное исследование подтвердило, что современный правовой режим Северного морского пути сформировался как результат длительной институциональной эволюции. Историческая последовательность нормативных решений привела к созданию централизованной системы управления арктическим судоходством, основанной на исключительной юрисдикции государства и разрешительном порядке плавания. Существующий режим обеспечивает управляемость маршрута и устойчивость его функционирования в условиях внешних ограничений и возрастающей международной конкуренции.

Анализ геостратегических приоритетов России в Арктике показал, что Северный морской путь закреплен как приоритетный инструмент пространственного развития и национальной безопасности. Его значение определяется возможностью прямого выхода к рынкам Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона, сокращением транспортных плеч и снижением зависимости от внешних морских коммуникаций. СМП выступает связующим элементом между ресурсной базой Сибири и глобальными товарными потоками, что усиливает его политическую и экономическую значимость.

Оценка места маршрута в мировой транспортной системе выявила ограниченный характер его интеграции. Северный морской путь функционирует преимущественно как специализированный экспортный коридор, ориентированный на вывоз российских сырьевых ресурсов. Международный транзит сохраняет эпизодический характер. Подобное обусловлено сочетанием природных ограничений, правового режима и высокой стоимости рисков. Конкурентные преимущества маршрута формируются за счет сокращения расстояний, времени доставки и централизованного ледокольного сопровождения.

Исследование природно-океанологических условий показало выраженную пространственную неоднородность факторов, определяющих навигацию. Анализ климатических изменений выявил направленный сдвиг термического режима и сроков ледовых фаз. Потепление и задержка осеннего ледообразования зафиксированы на большей части трассы, при этом скорость и выраженность изменений различаются по секторам. Данные процессы усиливают пространственную асимметрию навигационных условий, формируя зоны ускоренного улучшения доступности и районы сохраняющихся природных ограничений.

Эмпирическое исследование межгодовой изменчивости температуры воздуха и ледовитости позволило установить наличие синхронных аномалий вдоль всей протяженности маршрута. Экстремальные годы характеризуются согласованными колебаниями атмосферных и криосферных параметров. Одновременно выявлены различия в механизмах формирования ледовой обстановки, связанные с ролью океанических течений, дрейфа льда и радиационных процессов.

Оценка транспортно-экономического потенциала показала, что основные резервы развития маршрута связаны с экспортом углеводородов, угля и металлопродукции. Западный и центральный сектора концентрируют наиболее устойчивые грузопотоки благодаря сочетанию инфраструктуры, природных условий и инвестиционной активности. Восточная часть маршрута сохраняет ограниченный вклад в общий грузооборот вследствие высокой ледовой сложности и меньшей плотности инфраструктурных объектов.

Анализ международного взаимодействия показал, что участие иностранных партнеров в развитии Северного морского пути реализуется в формате избирательного сотрудничества. Инвестиции и грузопотоки интегрируются в российские проекты при сохранении государственного контроля над навигацией, ледокольным сопровождением и регулированием доступа. Данная модель снижает институциональные риски и обеспечивает суверенное управление маршрутом.

Исследование экологических и социальных аспектов освоения СМП выявило рост антропогенной нагрузки на арктические экосистемы и прибрежные муниципалитеты. Увеличение судоходной активности усиливает риски загрязнения, аварийных ситуаций и трансформации традиционного уклада жизни коренных народов. Это требует системного регулирования, расширения мониторинга и включения социальных механизмов компенсации в стратегию развития маршрута.

В ходе проведенного исследования выявим проблемы функционирования Северного морского пути и сопоставим с предложениями по их устранению.

1. Существенным ограничением остается использование унифицированных навигационных и логистических подходов при резко неоднородных природных условиях. Для устранения данного дисбаланса предлагается внедрение секторной модели управления маршрутом с нормативным закреплением различий требований к судам, режимам проводки и сезонным графикам движения. Практическая реализация предполагает корректировку подзаконных актов и разработку специализированных региональных навигационных регламентов.

2. Отдельной проблемой выступает высокая зависимость восточного сектора от динамики ледовых процессов. Снижение неопределенности возможно за счет расширения системы мониторинга. Предлагается увеличение плотности спутниковых наблюдений, развитие беспилотной ледовой разведки и наращивание сети дрейфующих буев. Финансирование целесообразно осуществлять в рамках федеральных программ гидрометеорологического обеспечения с целевым распределением средств по наиболее сложным участкам маршрута.

3. Недостаточная интеграция климатической информации в процессы логистического планирования снижает предсказуемость перевозок. Для решения данной задачи предлагается создание единой цифровой платформы оценки навигационных рисков, объединяющей прогнозы ледовой обстановки, метеорологические данные и параметры ледокольного обеспечения.

Использование платформы должно быть закреплено в обязательном порядке при формировании маршрутов и расчете тарифов.

4. Рост судоходной активности усиливает экологическую нагрузку, что требует дополнительного регулирования. Предлагается ужесточение требований к экологическому мониторингу, обновление аварийно-спасательных средств и формирование целевых фондов поддержки арктических муниципалитетов за счет отчислений от грузооборота. Данные меры должны быть закреплены в отраслевых нормативных актах и региональных соглашениях.

Реализация сформулированных предложений обеспечит повышение устойчивости, управляемости и экономической эффективности Северного морского пути, укрепив его позиции как стратегического транспортного коридора и элемента пространственного развития Российской Федерации.

Будущим авторам целесообразно учитывать актуальные изменения в международном регулировании, динамику климатических трендов и ускорение технологических преобразований. Рекомендуется периодически обновлять статистические показатели, использовать данные дистанционного зондирования и подключать региональные цифровые платформы в реальном времени. Необходима фиксация различий между секторами акватории по навигационной доступности, что требует районирования анализа.

Актуально развитие сквозных сравнений между СМП и другими арктическими коридорами, с учетом тарифной политики, модели субсидирования, коммерческого интереса и правового контроля. Перспективным направлением остается анализ взаимодействия между судовладельцами, операторами ледокольных служб и национальными регуляторами.

Список использованных источников

Нормативно–правовые акты

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020)//Официальный текст Конституции РФ, включающий новые субъекты Российской Федерации – Донецкую Народную Республику, Луганскую Народную Республику, Запорожскую область и Херсонскую область, опубликован на официальном интернет–портале правовой информации <http://pravo.gov.ru>, 06.10.2022.

2. Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву (UNCLOS) (заключена в г. Монтего–Бее 10.12.1982) (с изм. от 23.07.1994) // Собрание законодательства РФ, 01.12.1997, N 48, ст. 5493

3. Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части государственного регулирования торгового мореплавания в акватории Северного морского пути» от 28.07.2012 N 132–ФЗ // Российская газета, N 172, 30.07.2012

4. Федеральный закон «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации» от 13.07.2020 N 193–ФЗ (ред. от 21.04.2025) // Российская газета, N 155, 16.07.2020

5. Указ Президента РФ «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» от 05.03.2020 N 164 (ред. от 21.02.2023) // Собрание законодательства РФ, 09.03.2020, N 10, ст. 1317

6. Распоряжение Правительства РФ «О подписании Соглашения о сотрудничестве в авиационном и морском поиске и спасании в Арктике» от 05.05.2011 N 755–р // Собрание законодательства РФ, 16.05.2011, N 20, ст. 2840

7. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении Плана развития Северного морского пути на период до 2035 года» от 01.08.2022 N 2115–р (ред. от 28.04.2023)// Собрание законодательства РФ, 08.08.2022, N 32, ст. 5862

8. Постановление Правительства РФ «Об утверждении Правил плавания в акватории Северного морского пути» от 18.09.2020 N 1487 (ред. от 31.01.2024) // Собрание законодательства РФ, 28.09.2020, N 39, ст. 6064

Литература

9. Ананьева А. А. Навигация в Арктике: спутниковые стратегии повышения безопасности на море // *Univsum: технические науки*. 2024. №2 (119). С. 4–14

10. Баттахов П. П. Особенности правового регулирования некоторых видов экономической деятельности в Арктике // *Право и государство: теория и практика*. 2024. №8 (236). С. 271–274

11. Белобородова А. А., Скаридов А. С. Особенности организации морских перевозок в полярных районах // *Океанский менеджмент*. 2024. №4 (28). С. 46–50

12. Белов С. В., Скрипниченко В. А. Проблемы пространственного развития водных и наземных коммуникаций в Российской Арктике для добычи руд высокотехнологичных металлов // *МНИЖ*. 2022. №6–5 (120). С. 104–108.

13. Гордеева С.М., Малинин В.Н. Использование Data Mining в задаче гидрометеорологического прогнозирования // *Ученые записки РГГМУ*. 2016. № 44. С. 30–44.

14. Государственный доклад О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации за 2023 год д / Минприроды России // <https://2023.ecology-gosdoklad.ru/>

15. Гудкова Н. Н., Хан Л. Л., Звездина А. С., Гудков А. А. Концептуальные подходы к развитию портовой инфраструктуры северного морского пути в условиях «стратегии развития арктической зоны Российской Федерации до 2035» // *Вестник Московского информационно-технологического университета – Московского архитектурно-строительного института*. 2023. №2. С. 14–17

16. Журавель В. П. Северный морской путь: оценки и прогнозы // Научно–аналитический вестник Института Европы РАН. 2023. №2 (32). С. 125–134.
17. Зверьков В. А., Мингалеев С. Г., Сидорович Т. И., Фалеев М. И., Цыбиков Н. А. Исторический опыт Арктического и Дальневосточного освоения территорий, их эксплуатации и обеспечения национальной безопасности (этапы советского и постсоветского периода) // Международное сотрудничество евразийских государств: политика, экономика, право. 2023. №4. С. 74–94.
18. Зефилов В. И., Тимошилова П. С. Морская логистика северного морского пути // Вестник Академии знаний. 2023. №2 (55). С. 91–94.
19. Исаулова К. Я. Исследование навигационно–гидрографических характеристик заприпайных полынней восточного сектора северного морского пути // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2022. №3. С.394–402.
20. Карлин Л.Н., Малинин В.Н., Образцова А.А. Пространственно-временные изменения потока CO₂ в системе океан-атмосфера // Изв. РГО. 2012. Т. 144. Вып. 5. С. 27–36.
21. Кириллова Т. В. Перспективы развития особой экономической зоны в Арктике // Петербургский экономический журнал. 2021. №4. С. 93–102.
22. Кожина Е. В., Мандикаева А. А., Смирнова А. П. Экономические проблемы и перспективы обеспечения экологической безопасности в Арктике // ЕГИ. 2023. №4 (48). С. 162–165.
23. Козьменко С. Ю. Арктика в системе приоритетов стратегического планирования экономики России // Известия СПбГЭУ. 2024. №2 (146).С. 77–82.
24. Козьменко С. Ю., Козьменко А. С. Российская Арктика в контурах актуальной Морской доктрины Российской Федерации // АИС. 2024. №57. С. 267–284.
25. Кондрин, А. Т. Навигационная гидрометеорология: волновые процессы в океане : учебник для среднего профессионального образования / А. Т. Кондрин. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 203 с.

26. Кочемасов, Ю. В. Проблемы природопользования в Арктике: анализ и решение : монография / Ю.В. Кочемасов, Е.Ю. Кочемасова, Н.Б. Седова ; под ред. д-ра геогр. наук Б.И. Кочурова. – Москва : ИНФРА-М, 2024. – 151 с.
27. Лэй Шуан, Лю Ин использование Китаем арктических маршрутов: возможности и ограничения // Общество: политика, экономика, право. 2021. №1 (90). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kitaem-arkticheskikh-marshrutov-vozmozhnosti-i-ogranicheniya> (дата обращения: 29.07.2025).
28. Малинин В.Н. Глобальный экологический кризис и климат // Ученые записки РГГМУ. 2017. № 48. С. 11–32.
29. Малинин В.Н. Изменения уровня Мирового океана и климата // Ученые записки РГГМУ. 2015. № 41. С. 100–115.
30. Малинин В.Н., Глок Н.И. Использование спутниковых данных о температуре поверхностного слоя воды для оценки стратических колебаний уровня Мирового океана // Исследование Земли из космоса. 2014. № 3. С. 27–32.
31. Малинин В.Н., Гордеева С.М., Глок Н.И. К оценке теплосодержания Мирового океана по спутниковым данным о температуре поверхностного слоя воды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 201–207.
32. Малинин, В. Н., Гордеева, С. М., Митина, Ю. В. Изменчивость невыхских наводнений и морского уровня в современных климатических условиях // Водные ресурсы. 2015. № 5. С. 544–557.
33. Малинин В.Н., Гордеева С.М., Наумов Л.М. Влагосодержание атмосферы как климатообразующий фактор // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 243–251.
34. Малинин В.Н., Гордеева С.М., Митина Ю.В., Павловский А.А. Негативные последствия штормовых нагонов и «векового» роста уровня в Невской губе // Вода и экология. 2018. № 1. С. 48-58.
35. Малинин В.Н., Шевчук О.И. Эвстатические колебания уровня Мирового океана в современных климатических условиях // Известия Русского Географического общества. 2008. Т. 140. Вып. 4. С. 20–30.

36. Маршинин, А. В. Природопользование: ресурсоведение : учебное пособие для среднего профессионального образования / А. В. Маршинин. – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2025. – 112 с.
37. Миронов Е. У., Клячкин С. В., Макаров Е. И., Юлин А. В., Афанасьева Е. В. Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г. в морях Российской Арктики и оценка оправдываемости ледовых прогнозов // Российская Арктика. 2021. №4 (15). С. 41–53.
38. Назимов А. Т. Северный морской путь как конкурентное преимущество России на рынке СПГ // Прогрессивная экономика. 2025. №3. С. 8–18.
39. Наумов Ю. М. К вопросу историко–навигационных экспериментов на кочах МАКЭ и клуба «Полярный Одиссей» // Культурологический журнал. 2025. №2 (60). С. 18–26.
40. Огородов С. А., Шабанова Н. Н., Кессель А. С., Баранская А. В., Разумов С. О. Изменение гидрометеорологического потенциала термоабразии берегов морей российской Арктики // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2022. №1. С. 21–39.
41. Павлова, Е. И. Общая экология и экология транспорта : учебник и практикум для среднего профессионального образования / Е. И. Павлова, В. К. Новиков. – 7–е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 416 с.
42. Региональная экономика: Северо–Арктические территории России : учебное пособие / В. П. Самарина. – Курск : Университетская книга, 2022. – 140 с.
43. Системные и современные проблемы, риски, возможности экономического развития российской Арктики : монография / под научной редакцией Т. П. Скуфьиной, Н. А. Серовой. – Апатиты : Изд–во Кольского научного центра, 2024. – 22 с.

44. Скаридов, А. С. Морское право. Международное публичное морское право : учебник для вузов / А. С. Скаридов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2025. – 536 с.

45. Социально–экономическая динамика и перспективы развития российской Арктики с учетом геополитических, макроэкономических, экологических и минерально–сырьевых факторов / под научной редакцией Т. П. Скуфьиной, Е. А. Корчак. – Апатиты : Изд–во Кольского научного центра, 2021. – 209 с.

46. Ступаков Н. В. Российский Северный морской путь и китайская идея «Полярного шелкового пути»: перспективы сопряжения геополитических мегапроектов // Международное сотрудничество евразийских государств: политика, экономика, право. 2024. №2. С. 19–33.

47. Теоретические и методические положения управления инновационным контуром : монография / Новикова О. А., Самарина В. П. – Курск : Университетская книга, 2021. – 89 с.

48. Фильчук К. В., Коробов В. Б., Юлин А. В., Шевелева Т. В. Влияние наблюдаемых изменений климатических условий на хозяйственную деятельность в морях российской Арктики // Российская Арктика. 2022. №2 (17). С. 21–32

49. Хлуденева, Н. И. Основы экологического права : учебник для среднего профессионального образования / Н. И. Хлуденева, М. В. Пономарев, Н. В. Кичигин. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 221 с.

50. Чернега В. С. Международные морские коммуникации в Арктике: политика России по защите национальных интересов в регионе // Известия ТулГУ. Гуманитарные науки. 2021. №3. С. 50–62

51. Чу Ин, Юхэ Ву, Вэньжуй Чжан, Шауя Цзигээр, Цзиньхань Чжан, Хайюэ Ю. Китайско–российское сотрудничество в развитии Северного морского пути // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. 2025. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kitaysko-rossiyskoe->

sotrudnichestvo–v–razviii–severnogo–morskogo–puti (дата обращения: 29.07.2025).

52. Шаров С. А. Искусственный интеллект в морской отрасли и его регулирование международным правом // Океанский менеджмент. 2024. №1 (24). С. 44–46.

53. Эдельштейн, К. К. Гидрология материков : учебное пособие для среднего профессионального образования / К. К. Эдельштейн. – 2–е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 297 с.

54. Экономика и управление природопользованием. Ресурсосбережение : учебник и практикум для вузов / А. Л. Новоселов, И. Ю. Новоселова, И. М. Потравный, Е. С. Мелехин. – 2–е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 390 с.

55. Эмирова, А. Е. Международная логистика : учебник для вузов / А. Е. Эмирова, Н. Д. Эмиров. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 173 с.

56. Alfred Wegener Institute. Marked decrease in Arctic pressure ridges // ScienceDaily, 6 January 2025. URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2025/01/250106133157.htm> (дата обращения: 29.07.2025).

57. Liu H., Mao Z., Zhang Z. From melting ice to green shipping: navigating emission reduction challenges in Arctic shipping // Front. Environ. Sci. 2024. DOI: 10.3389/fenvs.2024.1462623

58. Malinin V.N., Gordeeva S.M. Variability of Evaporation and Precipitation over the Ocean from Satellite Data // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2017. Vol. 53. No. 9. pp. 934–944.

59. Wunderling N. et al. Global warming due to loss of large ice masses and Arctic summer sea-ice // Nat. Commun. 2020. DOI: 10.1038/s41467-020-18934-3.

Электронные ресурсы

60. Арктический и антарктический НИИ опубликовал прогноз ледовой обстановки для Севморпути URL: <https://www.aari.ru/press–>

center/news/nauka/arkticheskiy-i-antarkticheskiy-nii-opublikoval-prognoz-ledovoy-obstanovki-dlya-sevmorputi (дата обращения: 29.07.2025).

61. Героический рейс «Сибирякова»: до и после URL: <https://goarctic.ru/news/geroicheskiy-reys-sibiryakova-do-i-posle/?ysclid=mdpuskqf69423337834> (дата обращения: 29.07.2025).

62. Индия и РФ обсуждают совместный проект в Арктике, сравнимый по значимости с МКС URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/20677679> (дата обращения: 29.07.2025).

63. Международное научное сотрудничество в Арктике: новые реалии и поиск путей устойчивого развития URL: <https://goarctic.ru/society/mezhdunarodnoe-nauchnoe-sotrudnichestvo-v-arktike-novye-realii-i-poisk-putey-ustoychivogo-razvitiya/> (дата обращения: 29.07.2025).

64. Мониторинг Северного морского пути URL: <https://innoter.com/articles/monitoring-severnogo-morskogo-puti/> (дата обращения: 29.07.2025).

65. Неизвестная «Экспедиция века». История Гидрографической экспедиции Северного Ледовитого океана URL: <https://goarctic.ru/news/neizvestnaya-ekspeditsiya-veka-istoriya-gidrograficheskoy-ekspeditsii-severnogo-ledovitogo-okeana/?ysclid=mdp9k7afl517199504> (дата обращения: 29.07.2025).

66. Подведены итоги Международного арктического форума «Арктика – территория диалога» – 2025 URL: https://roscongress.org/news/podvedeny-itogi-mezhdunarodnogo-arkticheskogo-foruma-arktika-territoriya-dialoga-2025/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.perplexity.ai%2F (дата обращения: 29.07.2025).

67. Подкомиссия ООН подтвердила принадлежность территорий по заявке России на шельф в Арктике URL: <https://www.mvestnik.ru/newslent/podkomissiya-oon-podtverdila-prinadlezhnost-territorij-po-zayavke-rossii-na-shelf-v-arktike/?ysclid=mdppar6wf5449276457> (дата обращения: 29.07.2025).

68. Полярное судно коч и освоение Арктики в XVII веке URL: <https://goarctic.ru/news/polyarnoe-sudno-koch-i-osvoenie-arktiki-v-xvii-veke/?ysclid=mdpo24g5co420255148> (дата обращения: 29.07.2025).

69. Развитие инфраструктуры морских портов Севморпути URL: <http://morvesti.ru/analitika/1692/105605/> (дата обращения: 29.07.2025).

70. Расчет стоимости ледокольной проводки судов в акватории СМП, оказываемые ФГУП «Атомфлот» по тарифам, утвержденными приказом ФСТ России от 4 марта 2014 г. № 45-Т/1. URL: https://nsr.rosatom.ru/ledokolnaya-i-ledovaya-lotsmanskaya-provodka/raschet-stoimosti-ledokolnoy-provodki-v-akvatorii-smp/?gt=11548&ice_cat=Arc+4&time=%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B5-%D0%BE%D1%81%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D0%B9&nzone=7 (дата обращения: 29.07.2025).

71. Справочные материалы компании «Росатом» URL: https://atommedia.online/reference/rosatom-infrastrukturnyy-operator-severnogo-morskogo-puti-2/?sphrase_id=4993 (дата обращения: 29.07.2025).

72. Статья А.Игнатьева «Северному морскому пути – 90 лет» URL: https://www.mid.ru/ru/about/social_organizations/association/1840382/ (дата обращения: 29.07.2025).

73. Том 3. Северный морской путь: история, регионы, проекты, флот и топливообеспечение URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_Enec_RU_Arctic_Vol3.pdf (дата обращения: 29.07.2025).

74. Требуется перемен: как инцидент в Суэцком канале заставил меняться мировую транспортную логистику URL: <https://tvzvezda.ru/news/202141245-1QW0x.html?ysclid=mdpq4ix6sx265903342> (дата обращения: 29.07.2025).

75. Эксперты обсудили меры повышения безопасности арктического судоходства URL: <https://arctic-russia.ru/news/eksperty-obsudili-mery->

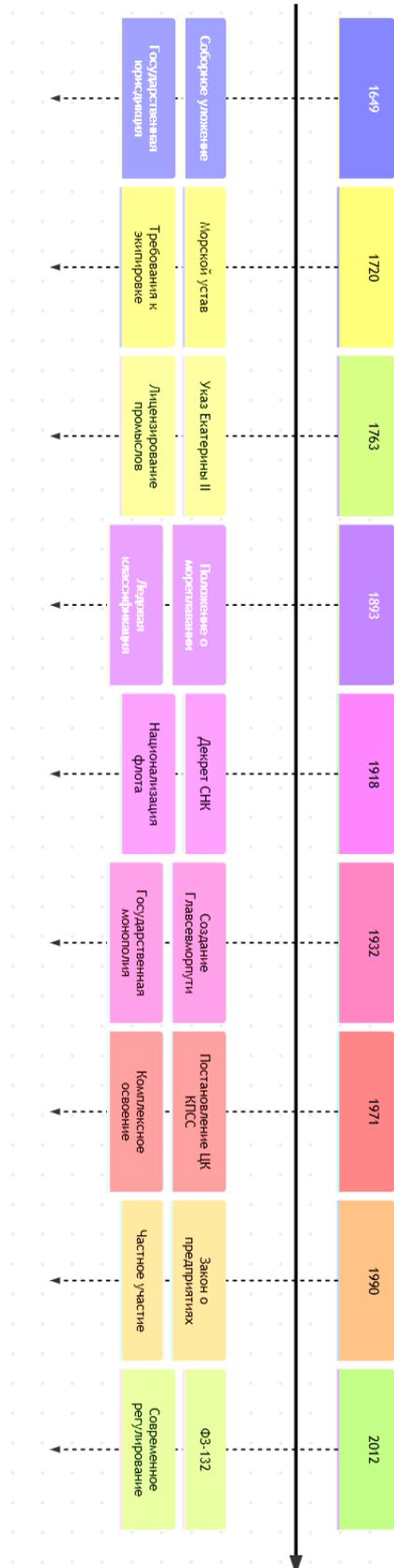
povysheniya-bezopasnosti-arkticheskogo-sudokhodstva/ (дата обращения: 29.07.2025).

76. Physical Sciences Laboratory URL: <https://psl.noaa.gov/> (дата обращения: 21.01.2026).

Приложения

Приложение 1

Развитие правового регулирования СМП



Характеристики спутника «Арктика-М»

РЕЖИМЫ СЪЕМКИ

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МСУ-ГС/ВЭ

Спектральные каналы (мкм):	
- видимые (3 канала)	0,50 ± 0,60; 0,60 ± 0,80; 0,80 ± 0,90
- инфракрасные (7 каналов)	3,5 ± 4,0; 5,7 ± 7,0; 7,5 ± 8,5; 8,2 ± 9,2; 9,2 ± 10,2; 10,2 ± 11,2; 11,2 ± 12,5
Пространственное разрешение в надире (м):	
- в видимом диапазоне	1000
- в инфракрасном диапазоне	4000

Гелиофизический аппаратный комплекс (ГГАК-ВЭ)

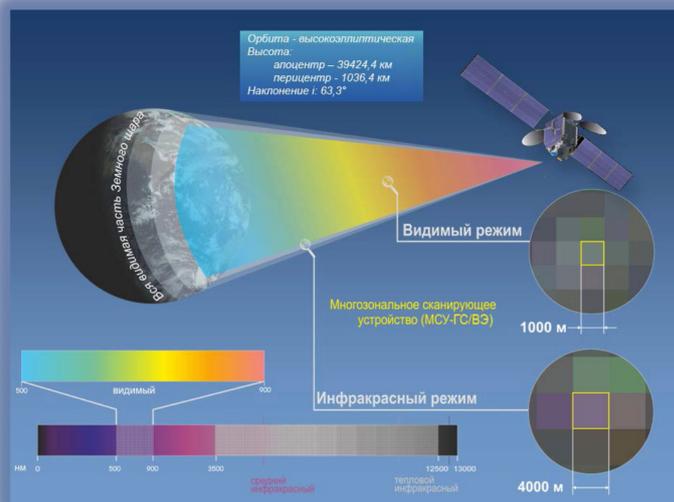
7 датчиков: спектрометры и детекторы электронов и протонов с энергиями от 0,05 до 600 МэВ;
измерители солнечной постоянной, рентгеновского и ультрафиолетового излучения Солнца;
измеритель вектора магнитного поля Земли

Бортовой радиотехнический комплекс (БРТК)

Передача спутниковых данных (до 30,72 Мбит/с).
Ретрансляция и обмен метеоинформацией.
Сбор и передача на Землю данных с платформ сбора данных

Аппаратура систем «КОСПАС-САРСАТ»

Ретрансляция сигналов аварийных буев



ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Прогноз погоды

Изменение климата

Экология

Чрезвычайные ситуации

Геофизика

Примеры информационных продуктов



Сравнительные характеристики термоледового режима для 60 пунктов СМП

Пункт	Регион	Широта	Долгота	T средн (°C)	T тренд (°C/год)	SIC средн (%)	SIC тренд (%/год)	Корреляция T↔SIC
NSR_001	Баренцево-Карское	69,00	33,00	1,93	0,0367	0,0	0,000	—
NSR_002	Баренцево-Карское	69,15	35,47	2,30	0,0385	0,0	0,000	—
NSR_003	Баренцево-Карское	69,30	37,94	2,57	0,0432*	0,0	0,000	—
NSR_004	Баренцево-Карское	69,44	40,41	2,69	0,0550*	0,0	-0,006	-0,239
NSR_005	Баренцево-Карское	69,59	42,88	2,45	0,0612*	2,0	-0,033	-0,639**
NSR_006	Баренцево-Карское	69,74	45,35	2,00	0,0703*	4,1	-0,173	-0,728***
NSR_007	Баренцево-Карское	69,89	47,82	0,45	0,0827	17,0	-0,608	-0,716***
NSR_008	Баренцево-Карское	70,04	50,29	-0,37	0,0859	15,3	-0,390	-0,845***
NSR_009	Баренцево-Карское	70,19	52,76	-1,31	0,0942	21,3	-0,687	-0,787***
NSR_010	Баренцево-Карское	70,33	55,23	-2,24	0,0986	25,8	-0,706	-0,754***
NSR_011	Баренцево-Карское	70,48	57,70	-4,17	0,0742	44,1	-0,702	-0,849***
NSR_012	Баренцево-Карское	70,88	60,11	-4,80	0,0791	44,5	-0,603*	-0,814***
NSR_013	Баренцево-Карское	71,30	62,51	-5,41	0,0816	46,7	-0,523	-0,863***
NSR_014	Баренцево-Карское	71,73	64,90	-6,55	0,1049	50,2	-0,473	-0,868***
NSR_015	Баренцево-Карское	72,16	67,30	-7,16	0,1122*	56,1	-1,023*	-0,717***
NSR_016	Лаптевых	72,59	69,70	-8,19	0,1040	59,3	-0,607*	-0,780***
NSR_017	Лаптевых	73,01	72,11	-8,61	0,1048	60,7	-1,065*	-0,672***
NSR_018	Лаптевых	73,34	74,96	-9,49	0,0811	64,7	-0,475*	-0,703***
NSR_019	Лаптевых	73,67	77,82	-10,28	0,0667	60,8	-0,337	-0,705***
NSR_020	Лаптевых	74,00	80,67	-10,61	0,0556	62,9	-0,334	-0,677***
NSR_021	Лаптевых	74,33	83,52	-11,54	0,0476	65,4	-0,360	-0,644**
NSR_022	Лаптевых	74,54	86,58	-11,87	0,0424	67,7	-0,514	-0,584**
NSR_023	Лаптевых	74,62	89,86	-11,85	0,0218	0,0	0,000	—
NSR_024	Лаптевых	74,70	93,13	-12,03	0,0362	0,0	0,000	—
NSR_025	Лаптевых	74,79	96,41	-11,98	0,0335	0,0	0,000	—
NSR_026	Восточно-Сибирское	74,87	99,68	-12,22	0,0354	0,0	0,000	—
NSR_027	Восточно-Сибирское	74,95	102,96	-12,92	0,0404	0,0	0,000	—

Пункт	Регион	Широта	Долгота	Т средн (°С)	Т тренд (°С/год)	SIC средн (%)	SIC тренд (%/год)	Корреляция Т↔SIC
NSR_028	Восточно-Сибирское	75,08	106,26	-13,54	0,0349	0,0	0,000	—
NSR_029	Восточно-Сибирское	75,31	109,59	-13,77	0,0471	0,0	0,000	—
NSR_030	Восточно-Сибирское	75,53	112,92	-13,42	0,0707*	0,0	0,000	—
NSR_031	Восточно-Сибирское	75,75	116,26	-13,43	0,0536	70,8	-0,363	-0,451*
NSR_032	Восточно-Сибирское	75,97	119,59	-12,67	0,0575	66,1	-0,493	-0,367
NSR_033	Восточно-Сибирское	75,90	123,05	-12,21	0,0598	64,6	-0,345	-0,350
NSR_034	Восточно-Сибирское	75,78	126,53	-12,17	0,0594	64,6	-0,336	-0,369
NSR_035	Восточно-Сибирское	75,67	130,01	-12,41	0,0622	62,5	-0,313	-0,341
NSR_036	Восточно-Сибирское	75,55	133,48	-12,78	0,0573	69,7	-0,381*	-0,573**
NSR_037	Восточно-Сибирское	75,33	136,73	-12,98	0,0541	77,2	-1,028*	-0,435*
NSR_038	Восточно-Сибирское	75,02	139,80	-12,91	0,0172	0,0	0,000	—
NSR_039	Восточно-Сибирское	74,71	142,87	-12,83	0,0463	73,8	-0,412*	-0,632**
NSR_040	Восточно-Сибирское	74,41	145,94	-12,54	0,0551	72,5	-1,394*	-0,692***
NSR_041	Восточно-Сибирское	74,10	149,01	-12,52	0,0228	73,5	-0,282*	-0,543*
NSR_042	Восточно-Сибирское	73,76	151,83	-12,88	0,0148	74,1	-0,347*	-0,503*
NSR_043	Чукотско-Берингов.	73,40	154,52	-12,88	0,0096	74,4	-0,339	-0,450*
NSR_044	Чукотско-Берингов.	73,04	157,21	-12,74	-0,0033	75,3	-0,270	-0,357
NSR_045	Чукотско-Берингов.	72,68	159,90	-12,63	-0,0100	77,0	-0,160	-0,405
NSR_046	Чукотско-Берингов.	72,32	162,59	-11,45	-0,0378	73,2	-0,138	-0,586**
NSR_047	Чукотско-Берингов.	71,95	165,23	-11,20	-0,0462	74,5	-0,017	-0,635**
NSR_048	Чукотско-Берингов.	71,51	167,45	-11,03	-0,0508	74,4	0,095	-0,628**
NSR_049	Чукотско-Берингов.	71,07	169,67	-10,93	-0,0504	72,8	0,187	-0,560**
NSR_050	Чукотско-Берингов.	70,62	171,89	-10,74	-0,0519	71,2	0,199	-0,528*
NSR_051	Чукотско-Берингов.	70,18	174,12	-9,93	-0,1006	0,0	0,000	—

Пункт	Регион	Широта	Долгота	Т средн (°С)	Т тренд (°С/год)	SIC средн (%)	SIC тренд (%/год)	Корреляция Т↔SIC
NSR_052	Чукотско-Берингов.	69,73	176,34	-9,96	-0,1050	0,0	0,000	—
NSR_053	Чукотско-Берингов.	69,29	178,56	-10,84	-0,0198	67,1	0,139	-0,653**
NSR_054	Чукотско-Берингов.	68,83	-179,33	-10,08	-0,0121	65,5	0,249	-0,704***
NSR_055	Чукотско-Берингов.	68,36	-177,45	-9,24	-0,0226	0,0	0,000	—
NSR_056	Чукотско-Берингов.	67,89	-175,56	-8,38	-0,0173	0,0	0,000	—
NSR_057	Чукотско-Берингов.	67,42	-173,67	-7,80	0,0082	59,9	0,544	-0,567**
NSR_058	Чукотско-Берингов.	66,94	-171,78	-6,72	0,0292	52,4	0,518*	-0,584**
NSR_059	Чукотско-Берингов.	66,47	-169,89	-4,72	0,0445	36,7	0,128	-0,770***
NSR_060	Чукотско-Берингов.	66,00	-168,00	-4,51	0,0615	41,0	-0,308	-0,818***

*p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001