

На правах рукописи



Бразовская Яна Евгеньевна

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ВЛИЯНИЯ МОРСКОГО СУДОХОДСТВА НА АРКТИЧЕСКУЮ
ПРИРОДНУЮ СРЕДУ**

1.6.21 – Геоэкология (географические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург - 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Научный руководитель

Поздняков Шамиль Рауфович,
доктор географических наук, директор
Института исследований континентальных
водных объектов ФГБОУ ВО «РГГМУ», г.
Санкт-Петербург

**Официальные
оппоненты:**

Кондратьев Сергей Алексеевич,
доктор физико-математических наук, главный
научный сотрудник, руководитель
Лаборатории математических методов
моделирования ФГБУН «Санкт-
Петербургский Федеральный
исследовательский центр Российской
академии наук (СПб ФИЦ РАН), г. Санкт-
Петербург

Елсукова Екатерина Юрьевна,
кандидат географических наук, доцент
Института наук о Земле Российского
государственного университета, г. Санкт-
Петербург

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Российский государственный
педагогический университет им. А.И.
Герцена», г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится **«18» февраля 2026 г. в 15 ч 00 мин** на заседании диссертационного совета 24.2.365.01 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет» по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <http://www.rshu.ru/university/dissertations/> ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет».

Автореферат разослан «___» 2025 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.365.01
кандидат технических наук

Я.А. Петров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современный этап освоения арктических территорий протекает в условиях существенных противоречий. С одной стороны, геостратегические и экономические интересы арктических держав стимулируют интенсивное развитие транспортной инфраструктуры и наращивание судоходных операций. С другой стороны, накопленная научная база свидетельствует об исключительной уязвимости арктических экосистем, их ограниченном потенциале самовосстановления и значительных рисках необратимых трансформаций вследствие техногенного воздействия.

Существующие в настоящее время подходы к оценке геоэкологических последствий судоходства в Арктике отличаются существенной фрагментарностью. Методологическая основа оценки строится на разобщенных критериях: обоснование маршрутов осуществляется по одним параметрам, оценка судов – по другим. Отсутствие единой системы создает препятствия для проведения сквозной количественной оценки, исключает возможность сопоставления экономической целесообразности с множественными экологическими рисками. Многофакторная природа проблемы и противоречие между экономическими и экологическими приоритетами свидетельствуют о недостаточности традиционного методологического инструментария. Данное обстоятельство обуславливает острую потребность в формировании комплексного подхода, основанного на методах многокритериального анализа, что позволит объективно сопоставлять и ранжировать альтернативные решения (маршруты, суда, технологии) в условиях повышенной неопределенности, характерной для арктических условий.

Научная задача исследования состоит в формировании комплексного научно-методического инструментария для снижения антропогенной нагрузки морского судоходства по Северному морскому пути посредством совершенствования системы оценки геоэкологических рисков судоходной деятельности.

Объект исследования – арктическая природная среда в условиях интенсификации морского судоходства по Северному морскому пути.

Предмет исследования – геоэкологическое состояние арктической природной среды, характер антропогенного воздействия морского судоходства, причинно-следственные связи между судоходной деятельностью и изменениями арктической природной среды, а также механизмы предупреждения и минимизации антропогенной нагрузки.

Цель исследования – комплексная геоэкологическая оценка воздействия судоходства на прибрежные зоны арктических морей, формирование научно-методического аппарата для снижения антропогенной нагрузки от морского

судоходства посредством совершенствования системы оценки геоэкологических рисков от судоходной деятельности.

Достижение поставленной цели предполагает последовательное решение следующих **задач**:

1. Анализ теоретико-методологических подходов к геоэкологической оценке воздействия морского судоходства на арктическую природную среду.
2. Исследование существующих методик обоснования выбора судоходных маршрутов и морских судов на основе геоэкологической оценки.
3. Экономико-географическая и геоэкологическая характеристика природно-ресурсного и транспортного потенциала российской Арктики.
4. Оценка динамики состояния арктической природной среды при взаимодействии с морскими судами.
5. Формирование интегративного подхода к оценке воздействия морского судоходства в российской Арктике.
6. Создание комплексного научно-методического аппарата для снижения антропогенной нагрузки от морского судоходства по Северному морскому пути.
7. Разработка методик оценки антропогенной нагрузки и возмещения ущерба от судоходства в Арктической зоне.

Материалы и методы исследования. Методологическую основу исследования составил междисциплинарный подход, базирующийся на совокупности общенаучных и специальных методов:

- системный подход для рассмотрения арктической природной среды и судоходства как взаимосвязанных систем;
- статистический анализ для обработки больших массивов данных;
- методы экспертных оценок для получения квалифицированных суждений специалистов;
- геоэкологический анализ для исследования взаимосвязей между антропогенной деятельностью и природной средой;
- прогнозирование и оценка рисков для предвидения последствий и разработки мер по их минимизации;
- сравнительно-географический метод для анализа международного опыта.

Научная новизна исследования.

1. Обосновано применение метода многокритериального анализа решений PROMETHEE II для интегральной геоэкологической оценки состояния арктической морской среды. В отличие от существующих однокритериальных подходов, данная методология обеспечивает интеграцию разнородных критериев (от тонн выбросов до процентных изменений и качественных оценок) в единую систему, что создает возможности для проведения полного ранжирования и анализа динамики экологических изменений во времени.

2. Создан комплексный научно-методический аппарат, включающий три взаимосвязанных инструмента:

– Методика FAGES – для интегральной оценки геоэкологического состояния арктической морской среды по семи ключевым критериям, формирующая основу для долгосрочного мониторинга.

– Методика FAGES-TECH («Арктический эко-стандарт») – для практической сертификации и ранжирования морских судов по уровню экологической безопасности и технологической пригодности для работы в Арктике.

– Методика FAGES-MONITOR – для оценки и расчета справедливой компенсации экологического ущерба на основе «Индекса экологического вреда», учитывающего специфику Арктики.

3. Обоснована концепция создания целевого «Арктического экологического фонда компенсации», формируемого за счет средств, рассчитываемых на основе методики FAGES-MONITOR. Данное решение обеспечивает практический механизм реализации принципа полной ответственности за нанесенный ущерб и создает финансовую основу для проведения восстановительных мероприятий.

Теоретическая значимость работы. В ходе диссертационного исследования решена проблема фрагментарности существующих подходов к оценке антропогенного воздействия в Арктике. Работа развивает теорию геоэкологии посредством адаптации и применения методов многокритериального анализа для решения сложных, многофакторных задач в условиях высокой неопределенности. Систематизирован комплексный характер воздействия судоходства на арктическую природную среду и обоснована необходимость перехода к интегральным методологиям оценки.

Практическая значимость работы. Результаты исследования обеспечивают возможность оценки экологического состояния арктической среды и могут использоваться для принятия управлеченческих решений. Созданный «Арктический эко-стандарт» (FAGES-TECH) представляет готовый инструмент для внедрения системы экологической сертификации судов, стимулирующий судовладельцев к модернизации флота. Методика FAGES-MONITOR может применяться регулирующими органами и страховыми компаниями для объективного расчета ущерба и определения размера компенсаций. Внедрение разработанных методик создает основу для эффективного экологического нормирования и устойчивого развития судоходства в Арктике.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования и научных выводов обеспечивается обработкой значительного объема статистических и аналитических материалов, а также применением

системного подхода. Полученные выводы подтверждаются вычислениями, выполненными с помощью методов математического моделирования.

Научные результаты, выносимые на защиту:

1. Система критериев и методика интегральной геоэкологической оценки арктической морской среды (FAGES) на основе метода PROMETHEE II, обеспечивающая комплексный мониторинг и количественную оценку динамики состояния экосистемы под влиянием судоходства.

2. Методика оценки и сертификации морских судов «Арктический экостандарт» (FAGES-TECH) как практический инструмент для ранжирования судов по уровню экологической безопасности и технологической пригодности к эксплуатации в Арктике.

3. Методика оценки антропогенной нагрузки и возмещения ущерба (FAGES-MONITOR), основанная на расчете «Индекса экологического вреда», и концепция «Арктического экологического фонда компенсации» как механизм обеспечения полной ответственности за экологический ущерб.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тема диссертационного исследования и его содержание соответствует требованиям паспорта специальности ВАК 1.6.21 – Геоэкология по следующим пунктам: пункт 6 «Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, биологических, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли», пункт 8 «Разработка теории, методологии и методов комплексных инженерных изысканий для геоэкологической характеристики природно-техногенной среды», пункт 14 «Научные основы организации геоэкологического мониторинга природнотехнических систем и обеспечение их экологической безопасности, разработка средств контроля состояния окружающей среды», пункт 15 «Научное обоснование государственного нормирования и стандартов в области геоэкологических аспектов природопользования. Разработка научных основ государственной геоэкологической экспертизы и контроля».

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационного исследования представлены в материалах более 20 международных научно-практических, всероссийских и межрегиональных конференциях в период с 2017 по 2025 годы.

По теме исследования опубликовано 14 научные работы в журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, входящих в научометрическую базу РИНЦ, в том числе 4 статьи по специальности 1.6.21 – «Геоэкология» и 1 статья входящая в научометрические базы Scopus, издано одно учебное пособие.

Структура исследования обусловлена целью и задачами исследования и состоит из введения, четырех глав, каждая из которых посвящена отдельному аспекту исследования и вносит свой вклад в достижение поставленной цели

исследования, заключения и библиографического списка, приложений. Работа изложена на 174 страницах машинописного текста, включает таблицы, диаграммы, рисунки и приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы диссертационного исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы научная задача и цель работы, определены объект, предмет, задачи и методы исследования.

В 1 главе представлен теоретический и методологический подход к геоэкологической оценке воздействия морского судоходства на природную среду Арктики. В условиях глобального потепления и сокращения площади льдов, арктический регион становится более доступным для морских перевозок, что делает необходимым изучение экологических последствий антропогенного воздействия. Потепление Северного Ледовитого океана происходит в 2-3 раза быстрее, чем в среднем по миру, при этом океан поглощает 90% тепла от возросших выбросов парниковых газов.

Морское судоходство оказывает комплексное воздействие на арктическую природную среду, которое можно разделить на три основные категории:

– химическое загрязнение, включает разливы нефтепродуктов, сбросы сточных вод и выбросы в атмосферу. Прогнозируется, что к 2030 году грузопоток по Северному морскому пути (СМП) достигнет 70-100 млн тонн, что увеличит риски аварийных разливов. Исследования показывают, что низкие температуры Арктики замедляют биодеградацию загрязняющих веществ, например за 3 месяца содержание углеводородов в почве снижается лишь на 10-45%. Кроме того, физико-химические свойства нефти различаются в зависимости от региона: нефть европейской части Арктической зоны более вязкая и имеет более высокую температуру застывания ($5,70^{\circ}\text{C}$ для тяжелой нефти), чем нефть сибирской части ($-30,88^{\circ}\text{C}$). Особую опасность представляет использование топочного мазута, который практически не разлагается в холодной воде и может оказывать губительное воздействие на фауну.

– физическое воздействие, проявляется прежде всего в нарушении естественной структуры ледового покрова ледоколами и судами ледового класса. Разрушение ледового покрова изменяет термический режим подледного слоя воды, что влияет на активность фитопланктона и условия обитания криопелагических организмов. Интенсификация арктического судоходства создает шумовое загрязнение, которое оказывает существенное влияние на морских млекопитающих, использующих акустическую коммуникацию и эхолокацию. Уровень подводного шума удвоился за последние шесть лет. Шум от ледоколов может достигать 200-400 дБ, что в разы превышает естественные

звуки морских животных. Физическое воздействие судов также приводит к образованию стабильных, труднопроходимых полос льда, которые изменяют физико-химические характеристики ледяного покрова.

– биологическое загрязнение, происходит в основном через интродукцию чужеродных видов с балластными водами и биообрастанием судов. Ежегодно по всему миру перевозится около 10 миллиардов тонн балластных вод. Один из примеров интродукция камчатского краба в Баренцево море в 1960-х годах, численность которого к 2022 году достигла 100 миллионов особей, что создаёт угрозу для местной экосистемы.

В целях визуализации сформирована сравнительная радарная диаграмма 1.1. воздействий различных типов судов (атомный ледокол, дизель-электрический ледокол, газовоз СПГ, нефтяной танкер и контейнеровоз) по шести ключевым параметрам экологического воздействия.

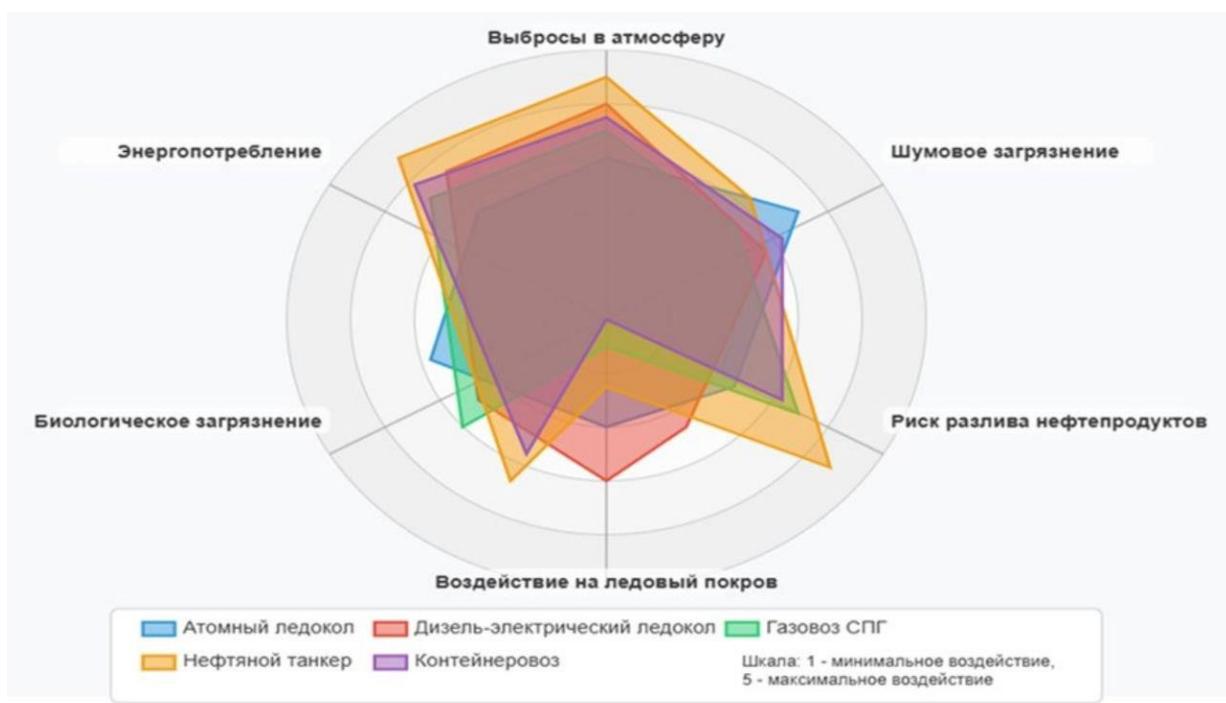


Диаграмма 1.1. Сравнительный анализ воздействия различных типов судов на арктическую природную среду

Атомные ледоколы демонстрируют минимальные выбросы в атмосферу при максимальном шумовом загрязнении и значительном воздействии на ледяной покров. Дизель-электрические ледоколы характеризуются высокими показателями выбросов и энергопотребления. Нефтяные танкеры закономерно имеют наивысший риск разливов нефтепродуктов и значительное биологическое загрязнение, связанное с балластными водами. Контейнеровозы показывают высокие значения по большинству параметров, особенно по энергопотреблению и выбросам. Газовозы СПГ демонстрируют более сбалансированный профиль воздействия.

Ключевым фактором минимизации воздействия судоходства на арктическую природную среду должен стать рациональный выбор судоходных маршрутов и типов используемых морских судов.

При выборе оптимальных судоходных маршрутов, следует учитывать такие критерии как:

- удаленность от особо охраняемых природных территорий и акваторий;
- степень уязвимости прибрежных экосистем на прилегающих участках маршрута;
- гидрографическую изученность и глубоководность маршрута для минимизации рисков повреждения корпуса судна;
- ледовые условия и возможность снижения объемов ледокольной проводки для уменьшения физического воздействия на ледовый покров.

Проведенный в главе анализ продемонстрировал, что существующие методики оценки опираются на разрозненный набор критериев: отдельно для выбора судоходных маршрутов (например, удаленность от охраняемых зон, ледовые условия) и отдельно для оценки типов судов (ледовый класс, тип топлива, автономность). Методики не объединены в единую систему и не позволяют проводить сквозную количественную оценку, сопоставляя экономическую эффективность с многочисленными и противоречивыми экологическими рисками.

Исследование выявило многофакторность проблемы и конфликт между экономическими и экологическими приоритетами. Сделан вывод, что существует научная и практическая необходимость в разработке комплексного подхода, основанного на методах многокритериального анализа решений. Такая методология необходима для объективного сравнения и ранжирования альтернатив (маршрутов, судов, технологий) в условиях высокой неопределенности, характерной для Арктики. Отсутствие единой методологической основы для комплексной оценки, в свою очередь, формирует запрос на создание новых, практически применимых инструментов управления и регулирования. Требуется разработка стандартизированной системы, способной формализовать и количественно выразить уровень экологической безопасности судов и маршрутов. Данное может создать основу для эффективного экологического нормирования и стимулирования перехода судоходных компаний к внедрению передовых природосберегающих технологий.

В целом, 1 глава подчеркивает, что комплексный подход к геоэкологической оценке, учитывающий совокупность природных и антропогенных факторов, а также региональные особенности, является необходимым условием для устойчивого развития морского судоходства в Арктике.

Во 2-й главе анализируют природные ресурсы и транспортные возможности российской Арктики, акцентируя внимание на их взаимосвязи с изменениями климата и связанными с ними геоэкологическими рисками.

1. Относительно природного и экономического потенциала, в исследовании отмечается, что Российская Арктика занимает обширную территорию, простирающуюся вдоль северного побережья Евразии, визуализация представлена на Рисунке 2.1.



Рисунок 2.1. Российская Арктика

Морская акватория российской Арктики включает шесть морей Северного Ледовитого океана (визуализация представлена на Рисунке 2.2.): Баренцево, Белое, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское. Общая площадь морских вод в пределах юрисдикции Российской Федерации в Арктике (без учета Берингова моря) составляет 3 832 719 км².

МОРЯ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ

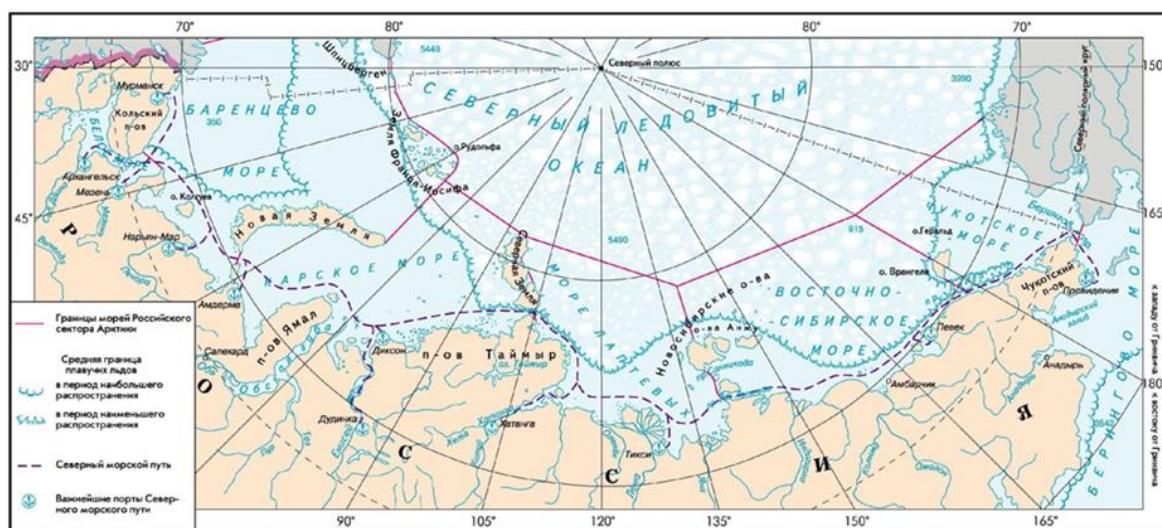


Рисунок 2.2. Карта морей российского сектора Арктики

Фауна российской Арктики, несмотря на «бездельное царство льда и холода», отличается разнообразием и уникальностью животного мира. В Российской Арктике обитает более 20 видов морских животных из отрядов хищных и китообразных, являющиеся «важнейшими звенями экосистем морей и океанов» (Рисунок 2.3).

МОРСКИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИЕ. БЕЛЫЙ МЕДВЕДЬ

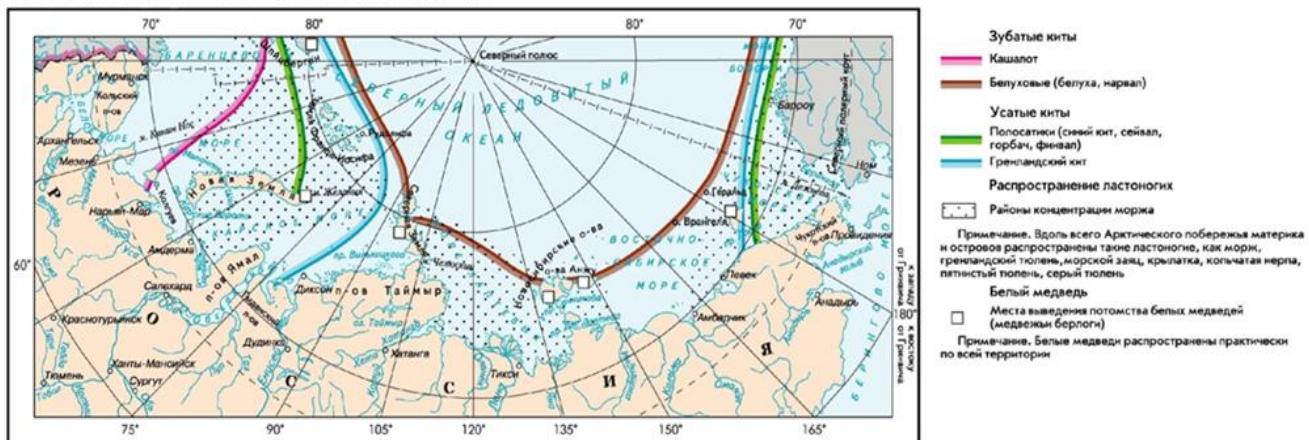


Рисунок 2.3. Морские млекопитающие. Белые медведи.

Арктика является ключевым источником природных ресурсов для России. На ее территории находится более 300 месторождений углеводородного сырья (Рисунок 2.4), а доля в ВВП страны достигает 10%. В частности, Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО) обеспечивает 80% всей российской добычи газа, а на арктические территории приходится 10% добычи российской нефти.



Рисунок 2.4. Природные ресурсы

Природные условия российской Арктики характеризуются значительным разнообразием и специфичностью, что определяет уникальность и ценность природно-ресурсного потенциала региона. Богатство минерально-сырьевых, биологических и рекреационных ресурсов создает основу для устойчивого социально-экономического развития арктических территорий при условии рационального природопользования и сохранения хрупких арктических экосистем.

2. Относительно климатических изменений и геоэкологических рисков, в исследовании отмечается, что климатические изменения в Арктике происходят с беспрецедентной скоростью. Одним из наиболее заметных последствий является сокращение площади морских льдов, которая в сентябре сокращалась на 1,3% в год с 1979 по 2024 годы (Рисунок 2.5).

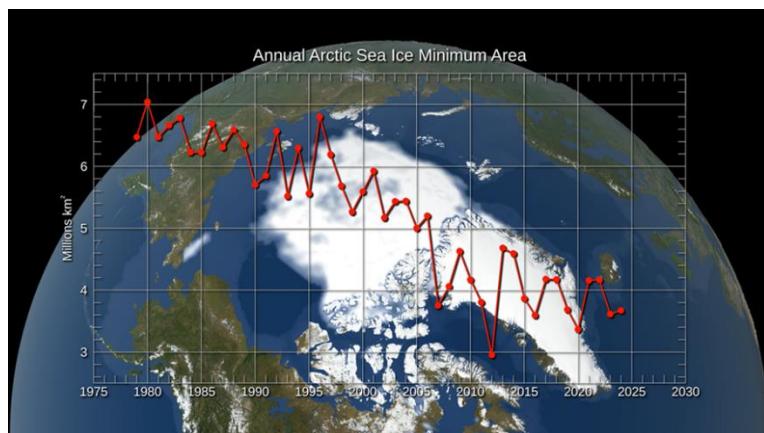


Рисунок 2.5. Динамика изменения площади морского льда в Северном Ледовитом океане в сентябре 1979-2024 гг.

Прогнозируется, что к 2050 году минимальная площадь льда может сократиться на 60,3% по сравнению с 2018 годом.

Современные изменения климата приводят к значительным трансформациям ледового режима арктических морей, увеличению продолжительности навигационного периода, а также и к повышению рисков, связанных с экстремальными погодными явлениями.

3. Относительно исследований арктических маршрутов и показателей морского судоходства в исследовании отмечается, что морское судоходство в российской Арктике имеет длительную историю развития. При этом долгое время плавания по северным морям занимало несколько лет. Только в 1932 году удалось преодолеть весь Северный морской путь за одну навигацию. В настоящее время арктические перевозки можно классифицировать как внутриарктические и трансарктические (Рисунок 2.6). География перевозок по Северному морскому пути представлена на Рисунке 2.7.



Рисунок 2.6. Комбинации маршрутов морского судоходства в Арктике

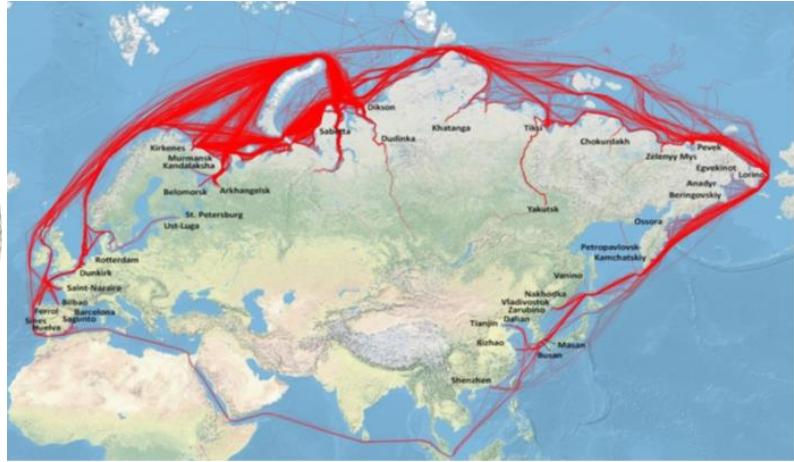


Рисунок 2.7. География перевозок по СМП

Объем перевозок в акватории СМП неуклонно растет, данные представлены на Диаграмме 2.1. в тыс. тонн., как и количество разрешений, выданных для плавания в акватории (Таблица 2.1.).

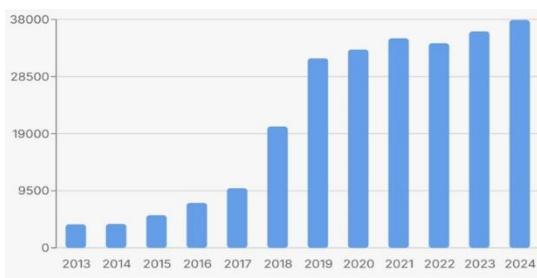


Диаграмма 2.1. Объем перевозок по СМП, тыс. тонн

Года	Кол-во разрешений	Суда, флаг РФ	Суда, иностранный флаг	Отказы в выдаче разрешения
2021	1264	1071	193	35
2022	1196	1108	88	34
2023	1219	1101	118	1
2024	1312	1187	125	0

Таблица 2.1. Выданные разрешения на плавание судов в акватории Севморпути

Наблюдаемый рост интенсивности судоходства в арктических регионах, свидетельствует, что темпы роста варьируются в зависимости от местных географических и социально-экономических условий. При этом факторами воздействия на арктическую природную среду являются загрязнение морской среды нефтепродуктами и другими опасными веществами, шумовое загрязнение, нарушение ледового покрова, риски аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, а также выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

4. Исследуемые регуляторные механизмы позволили сделать вывод, что существующие меры и контрольно-надзорные функции значительно отстают от темпов экономической активности в регионе. Несмотря на развитое законодательство, его практическая реализация сталкивается с проблемами:

- система мониторинга промышленных выбросов неэффективна, что приводит к многочисленным нарушениям природоохранных требований;
- требования к допуску судов не в полной мере учитывают специфику экологических рисков;

– международные правовые механизмы также не успевают за динамикой изменений в регионе.

Сделан вывод о том, что для эффективного управления и минимизации рисков необходим переход от реактивного к прогностическому подходу. Соответственно вместо реагирования на уже возникшие проблемы необходимо их предвидеть и предупреждать, что представляется затруднительным без количественной оценки предстоящих изменений в основных арктических экосистемах (атмосфере, морских биоресурсах, водной среде) под воздействием растущих объемов судоходства. Именно эта задача определяет направление дальнейших исследований.

3 глава посвящена анализу современного состояния и прогнозируемых изменений экологической обстановки в Арктическом регионе под воздействием интенсификации морского транспорта и климатических трансформаций. Исследование базируется на комплексном подходе к оценке антропогенного воздействия на арктические экосистемы с акцентом на судоходную деятельность.

Анализ статистических данных Росстата за период 2021-2023 годов демонстрирует устойчивую тенденцию к сокращению выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников: с 17 208 тысяч тонн в 2021 году до 16 952 тысяч тонн в 2023 году. Вместе с тем, выбросы от передвижных источников остаются относительно стабильными, составляя около 5 000 тысяч тонн ежегодно, в том числе данные Диаграммы 3.1.



Диаграмма 3.1 Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников (тыс. тонн), 2019-2023 гг.
по данным Росприроднадзора

Особую озабоченность вызывает судоходный сектор как источник загрязнения атмосферы: выбросы оксидов азота возросли на 115 процентов, а

диоксида серы - на 68 процентов в период с 2013 по 2023 год. Прогностические модели указывают на дальнейшее усугубление ситуации к 2030 году, когда ожидается рост выбросов оксидов азота на 121 процент до среднего уровня 12 400 тонн в год, а диоксида серы - на 127 процентов с последующей стабилизацией на отметке 1000 тонн в год с 2028 года.

Критическое значение приобретает проблема эмиссии чёрного углерода, непосредственно способствующего таянию арктического льда. В период 2012-2017 годов пассажирские суда выбрасывали в среднем 39,17 тонн чёрного углерода ежегодно, при этом круизные суда демонстрировали наибольший вклад в загрязнение с показателями от 15,04 тонн в 2012 году до 30,90 тонн в 2016 году.

Интенсификация судоходства создаёт также серьезные предпосылки для нарушения морского биоразнообразия Арктики. Проблема интродукции чужеродных видов приобретает особую остроту, так за период 1960-2015 годов зафиксировано 54 случая внедрения 34 уникальных инвазивных видов. Морские суда выступают основным вектором их распространения. Например, архипелаг Шпицберген становится особенно уязвимым, что в том числе связано с активностью круизных и рыболовецких судов, которая возросла на 25 процентов в период 2013-2019 годов, количество пассажиров увеличилось на 73 процента, при этом выявлено 114 потенциально угрожающих видов, семь из которых признаны особо опасными.

Увеличение судоходства в северной части Берингова моря создает дополнительные угрозы для морских птиц через столкновения и шумовое воздействие.

Трансформация гидросферы характеризуется режимным сдвигом 2007 года, который привел к формированию более тонкого и молодого ледяного покрова, сократив долю многолетнего льда более чем вдвое. Процесс усугубляется «атлантификацией» - возрастающим тепловым влиянием атлантических вод. Прогнозируется значительное увеличение энергии волн до 50-100 процентов, что повлечет усиление эрозии берегов и создаст дополнительные риски для морской инфраструктуры.

Сложность и взаимосвязанность изменений в Арктике требуют перехода от традиционных однофакторных подходов к комплексным инструментам оценки. Недостаточность существующих методологий в условиях высокой неопределенности и ограниченности данных обуславливает необходимость применения многокритериального анализа. В качестве перспективной методологической основы в диссертационном исследовании предложено использование метода PROMETHEE или его модификаций, позволяющих ранжировать альтернативы на основе нескольких, часто противоречивых, критериев для разработки комплексной геоэкологической оценки арктических экосистем.

В 4 главе диссертационной работы представлена разработка и обоснование комплексного методологического подхода к оценке и снижению антропогенной нагрузки от морского судоходства на природную среду Арктики. Установлено, что традиционные однокритериальные методы недостаточны для анализа совокупного воздействия климатических изменений, антропогенного загрязнения и биологических инвазий в уязвимых арктических экосистемах. Для решения данной методологической задачи был адаптирован метод многокритериального анализа PROMETHEE II, позволяющий интегрировать разнородные критерии в единую систему оценки и обеспечивать полное ранжирование альтернатив.

1. Разработана методика интегральной геоэкологической оценки (FAGES), предназначенная для комплексной оценки и мониторинга общего геоэкологического состояния арктической морской среды с течением времени. В основе лежит математический аппарат метода PROMETHEE, который агрегирует оценки по всем критериям в единый показатель - чистый поток превосходства (Φ). Расчет происходит в несколько этапов:

Этап 1: Расчет функции предпочтения. Для каждой пары альтернатив (например, для разных временных периодов a_i, a_k) и для каждого из семи критериев (j) рассчитывается отклонение d_j и функция предпочтения P_j , которая показывает, насколько одна альтернатива лучше другой по этому конкретному критерию.

$$P_j(a_i, a_k) = f(d_j) = f(|g_j(a_i) - g_j(a_k)|),$$

где:

$d_j = |g_j(a_i) - g_j(a_k)|$ - абсолютное отклонение по критерию j ,
 $f(d_j)$ - V-образная функция предпочтения.

Этап 2: Расчет взвешенного индекса предпочтения. Вычисляется общий индекс предпочтения одной альтернативы над другой (π) путем суммирования функций предпочтения по всем критериям, умноженных на их весовые коэффициенты w_j :

$$\pi(a_i, a_k) = \sum_{j=1}^7 w_j \cdot P_j(g_j(a_i), g_j(a_k)).$$

Этап 3: Расчет исходящего и входящего потоков.

Исходящий поток ($\Phi+$), характеризует степень превосходства данной альтернативы над всеми остальными:

$$\Phi^+(a_i) = \frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{k \neq i} \pi(a_i, a_k).$$

Входящий поток (Φ^-), отражает степень, в которой другие альтернативы превосходят данную:

$$\Phi^-(a_i) = \frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{k \neq i} \pi(a_k, a_i).$$

Этап 4: Расчет итогового чистого потока превосходства. Определяется как разность между исходящим и входящим потоками. Положительное значение указывает на превосходство альтернативы, а отрицательное - на её слабость по сравнению с другими:

$$\Phi(a_i) = \Phi^+(a_i) - \Phi^-(a_i).$$

В работе итоговая формула для геоэкологической оценки среды ($n=7$) представлена в следующем виде:

$$\Phi_{AGES}(a_i) = \left[\sum_{j=1}^7 w_j \cdot P_j(g_j(a_i), g_j(a_k)) \right] - \left[\sum_{j=1}^7 w_j \cdot P_j(g_j(a_k), g_j(a_i)) \right],$$

где: коэффициент $\frac{1}{(n-1)} = \frac{1}{2}$ был интегрирован в процедуру нормализации результатов.

С помощью полученной формулы проведена оценка состояния арктической морской среды в условиях интенсификации судоходства. В качестве альтернатив для сравнительной оценки рассматривались три временных периода, отражающих динамику антропогенной нагрузки: a_1 - Базовый период (2012–2017 гг.); a_2 - Переходный период (2018–2023 гг.) и a_3 - Прогнозный период (2030 г.).

На основе комплексного анализа научной литературы, проведенного в диссертационном исследовании, был определен набор из семи ключевых критериев геоэкологической оценки (атмосферные выбросы оксидов азота и черного углерода от судоходства, концентрация приповерхностного озона, степень закисления океана, интенсивность биологических инвазий, потеря ключевых местообитаний и темп арктического потепления) и весовых коэффициентов (w_j) определенных методом прямой расстановки (данные сведены в Таблицы 4.1.1. 4.1.2.).

Таблица 4.1.1. Критерии и их значения

Критерий	Вес	a_1	a_2	a_3	Порог
C_1 (NO_x , тонн/год)	0.18	8000	17200	33700	2000
C_2 (BC, тонн/год)	0.16	39.17	65.41	200	10
C_3 (O_3 , %)	0.12	15	20	40	5
C_4 (недонас. арагонит)	0.15	0.2	0.5	1.0	0.2
C_5 (биоинвазии, случаи)	0.14	54	78	125	15
C_6 (потеря местообит., %)	0.13	6	15	30	5
C_7 (потепление, $^{\circ}C$ /год)	0.12	0.0587	0.0669	0.0828	0.01

Таблица 4.1.2. Сводная таблица результатов расчетов

Временные периоды	Исходящий поток (Φ^+)	Входящий поток (Φ^-)	Чистый поток (Φ)
Базовый (2012-2017),	0.9892	0.0000	0,9892
Переходный (2018-2023)	0.5000	0.4892	0,0108
Прогнозный (2030)	0.0000	1.0000	- 1,0000

Полученные значения формируют окончательное ранжирование экологических состояний арктической морской среды: $a_1 > a_2 > a_3$, что соответствует последовательному ухудшению состояния от базового к прогнозному периоду.

Таблица 4.1.3. Шкала интерпретации интегрального показателя FAGES

Диапазон FAGES	Категория состояния	Характеристика
$0.75 < \Phi \leq 1.00$	Относительно стабильное	Экосистема сохраняет адаптационный потенциал, воздействия не превышают компенсаторных возможностей
$0.25 < \Phi \leq 0.75$	Умеренно трансформированное	Заметные изменения в структуре экосистемы, отдельные функции нарушены
$-0.25 < \Phi \leq 0.25$	Пороговое	Баланс деградационных и адаптационных процессов, высокий риск перехода в критическое состояние
$-0.75 < \Phi \leq -0.25$	Деградированное	Системные нарушения экосистемных функций, частичная необратимость изменений
$-1.00 \leq \Phi \leq -0.75$	Критически деградированное	Утрата ключевых экосистемных функций, доминирование необратимых процессов

Полученные результаты с учетом шкалы интерпретации (Таблица 4.1.3.) в определенной части демонстрируют критическую взаимосвязь между интенсификацией судоходства и ускорением деградации арктических экосистем. Максимальный чистый поток превосходства базового периода (0.9892) отражает относительно стабильное состояние экосистемы при умеренном антропогенном воздействии. Переходный период характеризуется пороговым состоянием (0.0108), что свидетельствует о достижении критической точки экологического баланса, после которой негативные изменения начинают доминировать над адаптационными возможностями экосистемы.

Особую тревогу вызывает прогнозируемое состояние к 2030 году с максимальным отрицательным чистым потоком (-1.0000), что указывает на системную деградацию арктической морской среды. Синергетический эффект множественных стрессоров - атмосферных выбросов, закисления океана, биологических инвазий и климатических изменений - создает каскадные воздействия на всю экосистему.

Методология позволяет:

- интегрировать данные различного пространственного охвата – от локальных измерений до региональных оценок, учитывая ограниченную репрезентативность точечных наблюдений;
- получать сопоставимые оценки для различных арктических регионов.

Сравнение замерзающих и незамерзающих морей подчеркивает гибкость предложенной методологии. Метод позволяет учесть различия между типами экосистем через дифференцированную систему функций предпочтения и пороговых значений.

2. Разработан метод оценки и сертификации морских судов - «Арктический эко-стандарт» (ФAGES-TECH). Инструмент использует ту же логику PROMETHEE для практической задачи сертификации и ранжирования судов по уровню их экологической безопасности. Методология опирается на 5 ключевых критериев, специфичных для судов (топливо/выбросы, конструкция, шум, балластные воды, автономность). Итоговая оценка, или чистый поток превосходства (Φ), рассчитывается как разность исходящего и входящего потоков. В исследовании отмечается, что, несмотря на возможное представление формулы в виде произведения в некоторых частях текста, для корректности анализа используется стандартная формула разности.

Для сравнения двух судов (a_i, a_k) итоговая формула для стандарта ФAGES-TECH приобрела вид:

$$\Phi_{AGES-TECH}(a_i) = \left[\sum_{j=1}^5 w_j \cdot P_j(g_j(a_i), g_j(a_k)) \right] - \left[\sum_{j=1}^5 w_j \cdot P_j(g_j(a_k), g_j(a_i)) \right],$$

где:

a_i, a_k - сравниваемые суда.

w_j - весовой коэффициент j -го критерия (сумма всех $w_j=1$).

P_j - функция предпочтения по j -му критерию.

$g_j(a_i)$ - оценка судна a_i по j -му критерию.

С помощью полученной формулы проведена оценка судов по их экологической безопасности и технологической пригодности. На основе комплексного анализа научной литературы, проведенного в диссертационном исследовании определены пять ключевых критериев и весовых коэффициентов (w_j) определенных методом прямой расстановки (данные сведены в Таблицы 4.2.1.). В целях апробации были выбраны два действующих и осуществляющих плавание в акватории Северного морского пути судна с принципиально разными характеристиками:

Судно «А» - сухогруз-площадка проекта 2.559М, построенный в начале 1980-х годов, назначение - работа на озерах и реках, ледовый класс у него отсутствует. Судно представляет собой пример устаревшего речного флота, который продолжает эксплуатации, в том числе и в акватории СМП.

Судно «Б» - универсальный сухогруз, построенный в 1995 году, ледовый класс ICE CLASS IA, эквивалент класса Arc 4 по Полярному кодексу. Судно адаптировано для навигации в умеренных ледовых условиях, эксплуатируется в Карском море и порту Сабетта.

Таблица 4.2.1. Критерии и весовые коэффициенты «Арктического экостандарта»

Критерий (C)	Описание	Вес (Wj)
C1	Топливо/Выбросы	0.30
C2	Конструкция/Ледовый класс	0.25
C3	Подводный шум	0.20
C4	Балластные воды/Инвазии	0.15
C5	Экологическая автономность	0.10

Для проведения расчетов по методике $\Phi_{AGES-TECH}$ произведена оценка каждого судна по пяти критериям ($g_j(a_i)$). Результат визуализирован в Таблице 4.2.2.). Ввиду ограниченности данных, оценки судам по критериям были присвоены по шкале от 1 (наихудший показатель) до 5 (наилучший) на основе обоснованных допущений, основанных на типе, ледовом классе, возрасте и назначении судов.

Таблица 4.2.2. Сводная таблица оценок судов по критериям (gj)

Критерий	Вес (W _j)	Оценка «А»	Оценка «Б»
C ₁ (Топливо/Выбросы)	0.30	1	3
C ₂ (Конструкция)	0.25	1	4
C ₃ (Шум)	0.20	2	3
C ₄ (Инвазии)	0.15	1	2
C ₅ (Автономность)	0.10	1	3

В целях обеспечения логической согласованности и корректности оценки, в настоящем исследовании используется стандартная формула чистого потока, которая является разницей между исходящим и входящим потоками (данные сведены в Таблице 4.2.3.). Такое допущение является ключевым для сохранения целостности и практической ценности оценки.

Таблица 4.2.3. Сводная таблица результатов расчетов

Судно	Исходящий поток (Φ+)	Входящий поток (Φ-)	Чистый поток (Φ)
А	0.00	1.90	-1.90
Б	1.90	0.00	+1.90

Полученные результаты демонстрируют, что судно «Б» ($Φ = +1.90$) значительно превосходит судно «А» ($Φ = -1.90$) с точки зрения экологической безопасности и пригодности для работы в Арктике.

Отрицательный балл судно «А» является индикатором критического риска и демонстрирует его фундаментальное несоответствие арктическим требованиям, в первую очередь из-за отсутствия ледового класса и базовых конструктивных решений для безопасной навигации. Положительная оценка судно «Б» обусловлена наличием ледового класса ICE CLASS IA, что как считается является ключевым фактором безопасности. Тем не менее, его оценка отражает «переходный» статус: судно пригодно для работы в умеренных ледовых условиях, но уступает современным аналогам по таким параметрам, как тип топлива и наличие систем очистки балластных вод.

Различие в итоговых оценках обусловлено не только разницей в конкретных технологиях, но и фундаментальным отличием. Низкая оценка (-1.90) судна «А» является прямым следствием отсутствия даже базовых конструктивных решений (ледового класса), необходимых для безопасной работы в Арктике, что делает данное судно крайне уязвимым к катастрофическим инцидентам, таким как разлив топлива, предотвращение которого является приоритетом для методологии.

Метод $\Phi_{AGES-TECH}$ является достаточно применимым и гибким инструментом, способным оценить суда с учетом их экологического соответствия для работы в Арктике, даже в условиях неполноты данных, что делает ее ценным инструментом для создания объективной системы экологической сертификации в Арктике. Судно с более высоким значением чистого потока Φ является более предпочтительным с точки зрения экологической безопасности и технологической пригодности для работы в Арктике. Количественный показатель позволяет создать объективную и прозрачную оценку судов и является основанием для присвоения судну одной из категорий сертификации, например «Арктик Базовый», «Арктик Эко-Стандарт», «Арктик Инноватор».

Разработанная автором концепция Арктического эко-стандарта базирующийся на проактивном количественном анализе арктической готовности. Для реализации концепции стандарта определяется набор критериев, которые охватывают все ключевые аспекты безопасности и экологичности судна. Показатели разделяются на три группы экологичность, технологичность и оперативная готовность, структура которых представлена в Таблице 4.2.4.

Таблица 4.2.4. Структура интегрального рейтинга арктического эко-стандарта

Группа критериев	Критерии и показатели
1. Экологические характеристики	Энергоэффективность: EEDI, EEOI; Тип топлива: LNG, альтернативные виды топлива, отказ от HFO; Выбросы: NOx, SOx, CO ₂ (MARPOL); Системы отходов: соответствие MARPOL
2. Технологические возможности	Возраст судна: срок эксплуатации; Ледовый класс: IACS (PC1-PC7), Arc (Arc4-Arc9); Оборудование: навигационные системы, двигатели, аварийные системы
3. Операционная готовность	Квалификация экипажа: сертификаты, опыт; Полярное судовождение: количество рейсов в Арктике; PWOM: полнота документации, процедуры реагирования

Внедрение Арктического эко-стандарта позволит принимать решение о выдаче разрешения на плавание в акватории Северного морского пути используя современные компьютерные технологии в том числе для выявления аномалий и прогнозирования рисков.

3. Разработана методика оценки и возмещения вреда (FAGES-MONITOR), с целью количественной оценки совокупного экологического вреда от различных антропогенных инцидентов, связанных с морскими судами и для формирования справедливой системы компенсации. Методика как расчет «Индекса экологического вреда» базируется на 5 критериях, отражающих специфику арктических угроз, таких как масштаб химического загрязнения, выбросы черного углерода и уязвимость затронутой экосистемы. Расчет итогового «Индекса экологического вреда» производится по аналогии с предыдущими методиками, путем вычисления чистого потока превосходства, позволяющего объективно сравнивать разнородные по своей природе инциденты.

Итоговая формула для комплексной оценки антропогенного вреда FAGES-MONITOR получила следующим вид:

$$\Phi_{\text{AGES-MONITOR}}(a_i) = \left[\sum_{j=1}^5 w_j \cdot P_j(g_j(a_i), g_j(a_k)) \right] - \left[\sum_{j=1}^5 w_j \cdot P_j(g_j(a_k), g_j(a_i)) \right],$$

где:

a_i, a_k – оцениваемые альтернативы, представляющие собой конкретные инциденты или сценарии антропогенной нагрузки (например, инцидент А, инцидент В);

w_j – весовой коэффициент, отражающий относительную важность j -го критерия оценки вреда (сумма всех $w_j = 1$);

P_j – функция предпочтения, которая преобразует разницу в оценках двух инцидентов по критерию j в степень предпочтения от 0 до 1;

$g_j(a_i)$ – количественное или качественное значение (оценка) инцидента a_i по j -му критерию (например, объем разлива нефти, уровень шума в дБ, площадь уязвимой зоны).

С помощью полученной формулы проведена оценка двух гипотетических инцидента с различным характером воздействия: инцидент «А» (a_1): аварийный разлив мазута. Разлив 500 тонн тяжелого топлива танкером в районе, миграции гренландских китов и инцидент «В» (a_2): систематическая работа круизного лайнера. Крупное судно на дизельном топливе курсирует в течение навигационного сезона (90 дней) вблизи особо охраняемой природной территории.

Критерии методики выбраны на основе анализа наиболее значимых угроз, выявленных в Главах 1, 2 и 3 диссертационного исследования и отражают специфику арктической среды. Весовые коэффициенты (w_j) отражают

относительную тяжесть последствий от различных видов вреда. Данные сведены в таблице 4.3.1.

Таблица 4.3.1. Сводная таблица оценок по выбранным критериям (gj)

Критерий (Cj)	Вес (wj)	Оценка Инцидента «А» (gj(a1)) – Разлив мазута	Оценка Инцидента «В» (gj(a2)) - Круизный лайнер
C ₁ Хим. загрязнение	0.35	9	2
C ₂ Шум	0.10	2	8
C ₃ Черный углерод	0.25	1	7
C ₄ Инвазии	0.10	1	5
C ₅ Уязвимость	0.20	10	8

Итоговая оценка, или чистый поток превосходства Индекса экологического вреда рассчитывается как разность исходящего и входящего потоков, результаты сведены в таблицу 4.3.2.

Таблица 4.3.2. Сводная таблица результатов расчетов

Инцидент	Исходящий поток (Φ+)	Входящий поток (Φ-)	Индекс вреда (Φ)
А (Разлив мазута)	2.85	2.50	+ 0.35
В (Круизный лайнер)	2.50	2.85	- 0.35

Положительное значение индекса по $\Phi_{AGES-MONITOR}$ для Инцидента «А» (+0.35) указывает, что разлив мазута является более тяжелым и разрушительным событием по сравнению с сезонной работой круизного лайнера. Несмотря на то, что лайнер наносит значительный хронический вред по нескольким критериям (шум, черный углерод), катастрофический характер химического загрязнения (вес 0.35) в сочетании с максимальной уязвимостью экосистемы (вес 0.20) делает разлив мазута более опасным инцидентом.

Рассчитанный индекс может служить научной основой для определения размера компенсации и аккумулирования средств не только для ликвидации последствий, но и для реализации долгосрочных программ восстановления экосистем и научных исследований.

Разработанная методика комплексной оценки антропогенного вреда $\Phi_{AGES-MONITOR}$ позволяет структурированно и объективно сравнивать разнородные по своей природе антропогенные воздействия, переводя их в единый, сопоставимый «Индекс экологического вреда».

В совокупности разработанные методики (FAGES, FAGES-TECH и FAGES-MONITOR) формируют единую, многоуровневую систему управления антропогенным воздействием, направленную на снижение экологического следа морской деятельности в Арктике. Система позволит обеспечить переход от общего мониторинга состояния окружающей среды к индивидуальной оценке и сертификации судов и, наконец, к созданию механизма полной ответственности за нанесенный ущерб, что закладывает основу для устойчивого и экологически безопасного судоходства в Арктической зоне.

В **заключении** обобщены полученные в результате проведенного исследования основные выводы.

Во-первых, проведен всесторонний теоретико-методологический анализ влияния морского судоходства на арктическую природную среду, который выявил основные категории антропогенного влияния судоходства на арктическую среду: химическое (разливы нефтепродуктов, выбросы в атмосферу), физическое (шумовое загрязнение, разрушение ледового покрова), биологическое (интродукция чужеродных видов). Определено, что комплексный подход к геоэкологической оценке, учитывающий совокупность природных и антропогенных факторов, а также региональные особенности, является необходимым условием для устойчивого развития морского судоходства в Арктике.

Во-вторых, экономико-географический и геоэкологический анализ подтвердил стратегическую важность и одновременно крайнюю уязвимость российской Арктики. В регионе сосредоточены колоссальные природные ресурсы. Одновременно с этим, климатические изменения приводят к стремительному сокращению площади морского льда, что в том числе стимулирует рост грузоперевозок по Северному морскому пути. Анализ существующих регуляторных положений, выявил, что существующие механизмы и контрольно-надзорные функции значительно отстают от темпов экономической активности в регионе. Несмотря на развитое законодательство, его практическая реализация сталкивается с проблемами: неэффективности системы мониторинга промышленных выбросов, требования к допуску судов в акваторию Северного морского пути не в полной мере учитывают специфику экологических рисков, международные правовые механизмы не успевают за динамикой изменений в регионе. Для эффективного управления и минимизации рисков необходим переход от реактивного к прогностическому подходу, а именно вместо реагирования на уже возникшие проблемы необходимо их предвидеть и предупреждать.

В-третьих, на основе прогностического моделирования была дана оценка будущих изменений арктической природной среды. Обоснована недостаточность традиционных методов оценки и необходимость перехода к комплексным, многокритериальным подходам.

Научная новизна исследования заключается в разработке целостной, многоуровневой системы мер по снижению антропогенной нагрузки, основанной на количественных методах оценки и передовых концепциях. В качестве перспективной методологической основы предложено адаптировать метод многокритериального анализа PROMETHEE II, позволяющий интегрировать разнородные критерии в единую систему оценки и обеспечивать полное ранжирование альтернатив.

Впервые предложены и научно обоснованы:

- новая методика оценки геоэкологического состояния арктической морской среды по семи ключевым критериям, формирующая основу для долгосрочного мониторинга;
- новая методика «Арктический эко-стандарт» (FAGES-TECH) для практической сертификации и ранжирования морских судов по уровню экологической безопасности и технологической пригодности для работы в Арктике;
- новая методика FAGES-MONITOR для оценки и расчета справедливой компенсации экологического ущерба на основе «Индекса экологического вреда», учитывающего специфику Арктики и позволяющий учесть долгосрочный и кумулятивный ущерб. Для аккумулирования средств предложено создание «Арктического экологического фонда компенсации» (АЭФК).

Внедрение разработанных методик создает основу для эффективного экологического нормирования и устойчивого развития судоходства в Арктике.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из списка, рекомендованных ВАК России:

1. Бразовская Я.Е. Применение метода многокритериального анализа PROMETHEE II для сертификации судов, эксплуатируемых в Арктике // Естественные и технические науки. 2025. № 10. С. 142-147.
2. Бразовская Я.Е. Оценка степени трансформации арктической морской среды в условиях интенсификации судоходства // Российская Арктика. 2025. Т.7 № 4. С. 2-12.
3. Бразовская Я.Е., Авдыш Д.М. Применение метода PROMETHEE для комплексной оценки экологических факторов на транспорте // Гидрометеорология и экология. 2025. № 81.
4. Бразовская Я.Е. Арктический эко-стандарт как геоэкологический подход к экологической безопасности // Вестник Забайкальского государственного университета. 2025. № 4.

5. Бразовская Я.Е. Экологическая безопасность арктического судоходства: потенциал многокритериального анализа PROMETHEE // Транспортное дело России. 2025. № 6. С. 136-139.

6. Бразовская Я.Е. Транспортно-логистическое обеспечение безопасности в Арктике // Право. Безопасность. Чрезвычайные ситуации. 2023. № 4 (61). С. 38-42.

7. Бразовская Я.Е. Синергия приарктических государств в соблюдении правил судоходства в полярных водах // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: История и право. 2018. Т. 8. № 4 (29). С. 46-54.

8. Бразовская Я.Е. Международно-правовое сотрудничество в борьбе с загрязнением моря нефтью // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2014. № 4 (26). С. 196-201.

Статьи, входящие в научометрические базы Scopus:

9. Brazovskaya Y.E. Legal aspects of cooperation in shipping and logistics in the Arctic // Polar Science. 2022. Т. 31. С. 100783.

Другие публикации

10. Бразовская Я.Е., Авдыш Д.М. Некоторые аспекты шумового загрязнения Арктике // Арктика и инновации. 2026. Т. 4 № 1.

11. Бразовская Я.Е. Актуальные проблемы правового регулирования перевозки опасных грузов по северному морскому пути // Океанский менеджмент. 2024. № 4 (28). С. 2-6.

12. Бразовская Я.Е. Демпфирование негативных последствий загрязнения атмосферного воздуха с морских судов // Океанский менеджмент. 2023. № 2 (20). С. 13-17.

13. Бразовская Я.Е. Мировой океан и коммерческое использование морских пространств // Океанский менеджмент. 2022. № 1 (15). С. 24-32.

14. Mikheev V.L., Brazovskaya Ya.E. Problems of Legal Regulation of the North Polar Region of the Earth // В сборнике: Current Developments in Arctic Law. Uni-versity of Lapland. Rovaniemi, 2019. С. 23-29.