

На правах рукописи

УДК: 551.468.6

Иглин Сергей Михайлович

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА СО-
СТОЯНИЕ ВОДНОЙ СРЕДЫ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА**

Специальность: 1.6.21 – Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Архангельск

2023

Работа выполнена на кафедре транспорта, хранения нефти, газа и нефтепромыслового оборудования в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова».

Научный руководитель:

Коробов Владимир Борисович

доктор географических наук,
ведущий научный сотрудник Северо-Западного отделения Института океанологии имени П.П. Ширшова Российской академии наук

Официальные оппоненты:

Кровнин Андрей Сергеевич

доктор географических наук,
Старший научный сотрудник ФГБУН «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (г. Москва)

Лебедева Серафима Витальевна

кандидат географических наук,
Старший научный сотрудник ФГБУ «Государственный гидрологический институт» (г. Санкт-Петербург)

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Институт наук о Земле (ЮФУ)

Защита состоится «15» июня 2023 года в 14 часов на заседании диссертационного совета 24.1.040.01 при ИВП РАН по адресу: 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ИВП РАН (<http://www.iwr.ru>), а также на сайте ВАК (<http://vak.ed.gov.ru/>).

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенные печатью) просим направлять по адресу: 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3. Институт водных проблем РАН, ученому секретарю диссертационного совета 24.1.040.01.

Автореферат разослан « »

2023 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, д.ф.-м.н.



М.А. Соколовский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Экологическое влияние дноуглубительных работ на водную среду проявляется при изъятии грунта (путем взмучивания донных осадков и всасывания водно-грунтовой смеси) и сброса донных грунтов на подводные отвалы (Morton, 1977). Эти работы сопровождаются созданием облака повышенной концентрации взвешенных веществ с его временным сохранением, из-за чего существует вероятность вторичного загрязнения водной среды загрязнителями, находящимися в донных отложениях: нефтепродуктами, тяжелыми металлами (Pb, Cd, Zn, Cu) и рядом других; возможно снижение растворенного кислорода (Иглин и др., 2020); оказывается негативное воздействие на морскую и речную ихтиофауну (Зеленков, 2017).

Заносимость, то есть обмеление акваторий гидротехнических сооружений - негативный для эксплуатации судоходных путей процесс, протекающий под воздействием природных и антропогенных факторов. К основным природным источникам поступления наносов относят перемещение донных грунтов в ходе штормовых явлений (Gellis et al., 2017), деятельность рек по переносу взвешенного вещества и его осаждение в акватории гидротехнических сооружений, размыв смежных береговых зон, процессы в маргинальном фильтре в зоне смешения морских и речных вод (Лисицын, 1994; Брызгалов и др., 2008).

Судоходный канал порта Архангельск, находящийся в устьевой области реки Северная Двина, в высокой степени подвержен процессам заносимости. При этом локально в районе устьевого взморья наносы за достаточно короткий срок могут достигать толщины до 2-3 метров, что обязывает проводить дноуглубительные работы в летний период с ежегодным объемом до 1 млн. м³ вынимаемого грунта (Иглин, 2019; Иглин, 2021).

Оценка интенсивности геоэкологического воздействия может быть определена путем типизации объектов дноуглубительных работ. Она позволит выявить зоны, наиболее подверженные негативному воздействию в ходе дноуглубления, что необходимо для принятия управленческих решений и разработки мер по снижению воздействия, оптимизации сети мониторинга в ходе производственного экологического контроля (Коробов, 2008). Типизация может быть выполнена путем проведения балльно-рейтинговой оценки объектов дноуглубления. Балльно-рейтинговая оценка основана на вычислении интегральных показателей экологического воздействия

дноуглубления и экспертной оценке влияющих факторов (Коробов, 2019; Коробов, 2021).

Выбор устьевой области реки Северная Двина как объекта исследования обусловлен особенностями формирования наносов в устьевой области, которая с одной стороны обладает сложной гидрографической сетью рукавов и протоков (что позволяет говорить о различных причинах наносообразования) (Гидрология устьевой области..., 1965; Гидрометеология и гидрохимия..., 1991), а с другой стороны достаточно хорошо изучена, что даёт возможность исследовать все факторы, влияющие на процессы заносимости и загрязнения устьевой области Северной Двины и прилегающих акваторий в ходе дноуглубительных работ.

Цели и задачи. Цель работы – разработать методику геоэкологической оценки влияния проведения ремонтных дноуглубительных работ, основанную на типизации объектов посредством балльно-рейтинговой классификации, и продемонстрировать ее работу на примере судоходных участков, находящихся в устьевой области реки Северная Двина.

В связи с этим поставлены следующие **задачи**:

- сбор и обобщение данных о гидрологическом, гидродинамическом, литодинамическом режиме устьевой области реки Северная Двина;
- проведение оценки пространственно-временных особенностей формирования заносимости в акватории главного судового хода морского порта Архангельск по материалам ежегодных гидрографических работ, в том числе рассмотрение особенностей формирования отложения наносов в ходе штормовых явлений;
- выполнение геоэкологической оценки состояния донных грунтов и вод в акватории объектов проведения ремонтных дноуглубительных работ;
- выбор факторов, влияющих на экологическую ситуацию при дноуглублении, а также проведение экспертной оценки влияния этих факторов на общий процесс негативного воздействия на водную среду;
- проведение типизации акватории морского порта Архангельск, обсуждение и анализ результатов.

Предметом исследования являются процессы заносимости морских каналов, находящихся в различных частях устьевой области реки Северная Двина, а также совокупность гидрологических, гидродинамических, морфологических и техноген-

ных факторов (загрязненность грунтов, вод, интенсивность волнения, глубина, наличие фито- и зоопланктона, близость ООПТ, рекреационных зон и другие) формирующих особенности негативного влияния дноуглубительных работ на водную среду.

Объект исследования – судоходные каналы, находящиеся в устьевой области реки Северная Двина.

Научная новизна.

1. Актуализированы сведения о литодинамическом режиме и заносимости участков главного судового хода морского порта Архангельск.

2. Разработанная модель прогнозирования объемов штормовых наносов позволяет получить рассчитанные значения, превышающие фактические не более чем на 19%, что приемлемо для оперативного принятия управленческих решений и планирования дноуглубительных работ.

3. Установлено, что после проведения ремонтных дноуглубительных работ возрастает концентрация взвешенных веществ в воде в границах дноуглубления и на отвалах грунта. Существует прямая зависимость между объемами извлеченного грунта и значениями концентрации взвеси после работ. Установлено, что содержание некоторых тяжёлых металлов (свинца и кадмия) в пробах грунта и воды коррелирует с объемами дноуглубительных работ.

4. Выполнена экспертная оценка влияния различных факторов на степень негативного воздействия проведения ремонтных дноуглубительных работ в порту Архангельск.

5. Впервые предложена методика проведения типизации акватории морского порта при проведении дноуглубительных работ на основании балльно-рейтинговой оценки влияющих факторов.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты диссертационного исследования дополняют существующие данные о морфологическом и литодинамическом режиме устьевой области реки Северная Двина. Полученные данные о геоэкологическом состоянии вод и грунтов не противоречат проведенным ранее исследованиям по экологической оценке ситуации в устьевой области. Разработана методика статической оценки объемов штормовых наносов по данным съемок рельефа дна и характеристикам штормов. Впервые предложена методика по оценке геоэкологи-

ческого воздействия дноуглубления на экологическую ситуацию путем проведения типизации. Предложенная методика прогноза штормовой заносимости рекомендуема к применению в приливных устьях других рек, в настоящем момент используется в Архангельском филиале ФГУП «Росморпорт» (Акт внедрения от 20.02.2023). Методика типизации акватории при проведении ремонтных дноуглубительных работ применима для акваторий со схожими гидрологическими условиями. Результаты исследования могут быть использованы при планировании дноуглубительных работ, оперативных расчетах и прогнозах, расчете ущерба водным биоресурсам, а также для совершенствования экологического мониторинга в морском порту Архангельск. Результаты типизации и анализа геоэкологического состояния донных грунтов и вод могут быть использованы для разработки проектной документации для производства ремонтных дноуглубительных работ в порту Архангельск в 2024-2034 гг.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Наибольшая заносимость наблюдается в зоне устьевого взморья реки Северная Двина, это обусловлено перемещением донного грунта в ходе штормов и отложением речного материала после прохождения волны весеннего половодья. Изучение особенностей штормовой заносимости Мудьюгского канала показало, что зависимость между гидрометеорологическими характеристиками штормов и объемами штормовой заносимости канала имеет линейный характер.

2. В ходе исследования установлено, что после проведения дноуглубления возрастает концентрация взвешенных веществ в воде в границах дноуглубления и на отвалах грунта. Установлена прямая связь между объемами дноуглубления и повышением содержания взвеси в пробах воды на объектах дноуглубления и отвалах грунта.

3. Наиболее подвержены негативному воздействию дноуглубительных работ участки, на которых наблюдаются наибольшие объемы ежегодной заносимости, а также зоны с наибольшим уровнем загрязненности донных грунтов и вод. В большей степени подвержены негативному воздействию участки устьевого взморья из-за наибольших объемов заносимости, а также из-за накопления загрязненного речного материала в баровой области, а также зоны активного антропогенного воздействия: портовые и причальные зоны, зоны бункеровки судов и городской инфраструктуры.

Методология и методы исследования. При обработке материалов использовались статистические, математические и аналитические методы, а также программное обеспечение Microsoft Office, Excel, Qincy, Нурпак, Terramodel, Surfer. Гидрографические работы выполнялись в соответствии с требованиями актуальных нормативных актов («Правила гидрографической службы № 4. Съёмка рельефа дна. Часть 1. Основные положения. Часть 2. Требования и методы»; «Правила гидрографической службы № 35. Приведение глубин к уровню»; РД 31.74.04-2002 «Технология промерных работ при производстве дноуглубительных работ и при контроле глубин для безопасности плавания судов в морских портах и на подходах к ним»; «Руководство по океанографическому изучению океанов и морей (РОИ-80). Часть 2»; РД 31.74.08-94 «Техническая инструкция по производству морских дноуглубительных работ»). Методы определения гранулометрического состава соответствовали ГОСТ 12536-79 «Грунты. Методы лабораторного определения (гранулометрического) состава». Методы отбора и лабораторного анализа проб вод и грунтов соответствовали решениям, предложенным в проектной документации по ремонтному дноуглублению в порту Архангельск. Методика прогнозирования штормовой заносимости основана на связи показателя, характеризующего гидрометеорологические параметры шторма, и объемов наносов (Руководство по методам исследований..., 1975). Оценка геоэкологического воздействия выполнена путём балльно-рейтинговой оценки объектов морского порта и проведенной экспертной оценке.

Степень достоверности обусловлена тем, что работа выполнена на основе обработки комплексного массива данных о качественном состоянии акватории морских каналов порта Архангельск, полученного в ходе гидрографических работ, производственного экологического контроля за дноуглубительными работами, инженерно-экологическими и инженерно-гидрометеорологическими изысканиями в период с 2000 по 2020 год.

Апробации результатов.

Результаты диссертационного исследования докладывались на следующих конференциях:

– Научная конференции студентов и аспирантов высшей школы энергетики, нефти и газа «Проблемы освоения нефтегазовых месторождений приарктических территорий России» (Архангельск, 2019 год)

– XXIII Международная научная конференция (Школа) по морской геологии (Москва, 2019 год)

– Всероссийская конференция с международным участием II Юдахинские чтения «Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий» (Архангельск, 2019 год)

– II Международная научно-практическая конференция «Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию» (Архангельск, 2020 год)

– XVI Общероссийская научно-практическая конференция «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» (Москва, 2021 год)

– XXIV Международная Научная конференция (Школа) по морской геологии (Москва, 2022 год)

– XI Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование (MARESEDU – 2022)».

Личный вклад автора заключается в непосредственном участии во всех этапах диссертационного исследования, начиная от производства гидрографических работ в акватории порта Архангельск, их камеральной обработки, а также сбора и обработки информации из открытых источников и из фондов Архангельского филиала ФГУП «Росморпорт», заканчивая написанием текста диссертации, подготовкой публикаций в научных журналы и представлением результатов исследования на всероссийских и международных конференциях. Адаптация методики типизации и прогнозирования штормовых наносов выполнена лично автором, равно, как и обработка результатов исследования.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, состоящего из 244 наименований, и одного приложения. Общий объем диссертации составляет 172 страницы и включает 73 рисунка и 30 таблиц.

По теме диссертации опубликовано 6 статей в рецензируемых научных журналах, 6 в материалах конференций, а также 1 статья в журнале из списка Web of Science.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность за постановку научной проблемы и всестороннюю помощь научному руководителю д.г.н. В.Б. Коробову. Автор благодарит к.г.н. А.М. Алабяна за ценные замечания и консультации, А.В. Лещева и к.г.н. Е.И. Котову за плодотворное сотрудничество, сотрудников отдела экологии Архангельского филиала ФГУП «Росморпорт» Н.И. Сапелкина и Н.Н. Хватову за предоставленные материалы, начальника отдела дноуглубительных и промерных работ Архангельского филиала ФГУП «Росморпорт» А.С. Кистанова за помощь и проявленное внимание к работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** поставлены цель и задачи исследования, обоснована актуальность выбранной темы, ее научная новизна, научная и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту, описаны методология и методы, применяемые в работе, представлены сведения о достоверности и апробации результатов, а также личный вклад автора.

В **Главе 1** представлена физико-географическая характеристика объекта исследования. Кратко описаны факторы, влияющие на литодинамический режим, на производство и экологичность дноуглубительных работ в устьевой области реки Северная Двина: гидрологический и гидрометеорологический режим, а также экологическая ситуация в акватории объекта исследования.

В **Главе 2** описаны исходные материалы и методы исследования, примененные в работе. Исходные материалы представлены фондовыми данными Архангельского филиала ФГУП «Росморпорт»: результаты ежегодных съемок рельефа дна за период 2000-2020 гг., данные об экологическом мониторинге при проведении дноуглубительных работ, гранулометрическом составе грунтов за период 2011-2017 гг. Всего было проанализированы 390 цифровых моделей рельефа дна, 68 проб донного грунта и 136 проб воды.

Глава 3 посвящена экологическому воздействию дноуглубительных работ на окружающую среду: качество поверхностных вод, донных грунтов, влияние на морскую и речную биоту.

В **Разделе 3.1** представлен обзор исследований, рассматривающих влияние дноуглубительных работ на различные компоненты окружающей среды: гидросферу, ли-

тосферу, морская биота. При проведении работ в толще воды и в придонном горизонте повышается содержание взвешенных частиц, загрязняющих веществ, снижается концентрация растворенного кислорода (Айбулатов, 1993). Изменения, затрагивающие водную среду и литосферу в ходе дноуглубительных работ, отражаются и на состоянии планктонных, донных биоценозов и морских млекопитающих.

В Разделе 3.2 приведена историческая справка об объемах и объектах дноуглубительных работ в морском порту Архангельск, а также о современном состоянии дноуглубления и используемых подводных отвалах грунта. Описаны технические средства производства дноуглубительных работ. Установлено, что пространственные закономерности образования наносов существенно не изменились более чем за 100 лет. Наибольшие объемы дноуглубления находятся в зоне устьевого взморья реки Северная Двина (Мудьюгский канал).

В Разделе 3.3 представлена геоэкологическая оценка состояния вод и донных грунтов при проведении дноуглубления по данным производственного экологического контроля за 2011-2017 гг. В результате ранее проведенных исследований загрязненности акватории устьевой области Северной Двины установлено, что загрязнение вод и донных отложений имеют неоднородность пространственного распределения (мозаичный характер) (Никанорова и др., 2010; Guay et al., 2010; Pokrovsky et al., 2010). Отмечается повышенное содержание загрязнителей в районе устьевого взморья реки Северная Двина, особенно в пробах грунта. Установлено, что существует достаточно высокая прямая связь ($r = 0.70$ для объектов дноуглубления и 0.65 для отвалов грунта) между содержанием кадмия в пробах грунта и в пробах воды, а также прямая связь между объемами дноуглубительных работ и содержанием кадмия в пробах воды как для объектов дноуглубления, так и для отвалов грунта. Содержание взвешенных веществ в воде после дноуглубительных работ возрастает на всех объектах: на каналах – во время грунтозабора ($r = 0.82$), на отвалах – во время дампинга ($r = 0.75$). Результаты проведенного исследования использованы при выполнении геоэкологической типизации.

В Разделе 3.4 Представлен анализ временной изменчивости факторов, определяющих степень экологического воздействия дноуглубительных работ на водную среду, содержание загрязнителей (тяжелые металлы, нефтепродукты) в воде и грунте, концентрации взвешенных веществ, наблюдаемых в зоне проведения работ, объемы дноуглубительных работ (объемы заносимости) на Мудьюгском канале.

В **Разделе 3.5** представлен обзор исследований, а также анализ материалов характеризующих состояние водных биоресурсов устьевой области реки Северная Двина. Отрицательное воздействие дноуглубительных работ выражается в снижении кормовых возможностей нагульных участков, гибели личинок и молоди рыб при работе земснарядов, а также естественного воспроизводства многих рыб. Восстановление нарушенных биоценозов в условиях Севера завершается обычно через 4-7 лет, с формированием качественно новых биоценозов с продуктивностью значительно меньше первоначальной (Новоселов, 2014). Установлено, что все характеристики бентоса (биоразнообразие, численность и биомасса) в зонах дампинга грунта на юго-западе Двинского залива были заметно беднее, чем на фоновых участках (Зеленков, 2017). Подобные ситуации могут встречаться и на не загрязняемых мелководных (с глубиной менее 3-х метров) участках Белого моря, доступных штормовым волнам, в частности, на участках южной части Двинского залива, удаленных от зон техногенного влияния.

Глава 4 посвящена определениям масштабов заносимости в морском порту Архангельск, пространственно-временным закономерностям накопления наносов на судоходных каналах порта, особенностям формирования штормовых наносов.

В **Разделе 4.1** раскрывается понятие заносимости, ее влияние на судоходство и проведение дноуглубительных работ. Заносимость - результат естественных природных процессов движения речных наносов или динамики береговой зоны морей и рек. Наличие заносимости влечет за собой уменьшение навигационной глубины, снижение проходных осадок судов и, как следствие, снижение грузооборота в порту (Кривицкий и др., 2013). Заносимость зависит от гидродинамического режима акватории, местных метеорологических и геолого-геоморфологических условий, от направления трассы канала и его поперечных размеров (Климович, 2018).

В **Разделе 4.2** проведена оценка интенсивности образования наносов. Основой для оценки в акватории порта Архангельск послужили цифровые модели рельефа дна, полученные в ходе проведения ежегодных гидрографических работ за 2014-2018 годы. Судовой ход порта Архангельск был разбит на 4 участка по географическому положению в устьевой области реки Северная Двина: Устьевое взморье, Маймаксанская протока, Кузнечевская протока, участок главного русла (Рисунок 1). Установлено, что наибольший объем наносов за зимнюю навигацию образуется в акватории устьевого

взморья реки Северная Двина более 300 тыс. м³. Наносы откладываются в акватории, главным образом, путем переформирования морского дна во время прохождения штормов. Заносимость устьевого взморья имеет сезонный характер, вследствие чего каждую летнюю навигацию необходимо проведение ремонтного дноуглубления для обеспечения нормального судоходства (Иглин, 2019). Акватория Кузнечевской протоки заносится на 81 тыс. м³ ежегодно, максимальные толщины наносов составляют 0,32 м. Заносимость имеет многолетний характер, локально требуется проведение дноуглубительных работ примерно один раз в 4-5 лет.

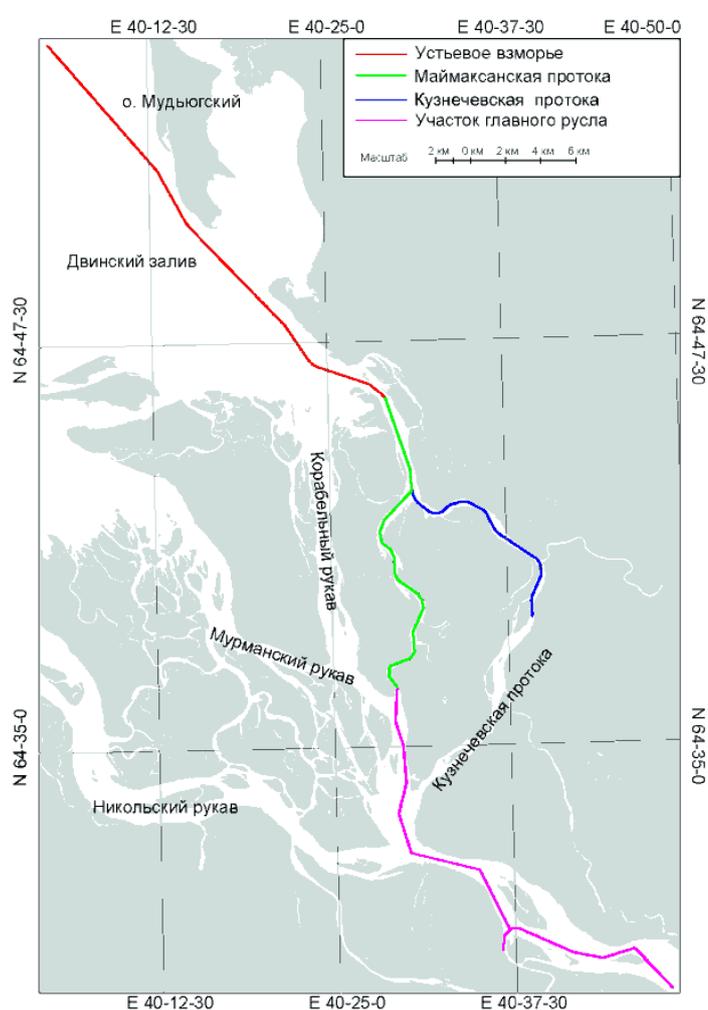


Рисунок 1. Схема участков судового хода в порту Архангельск.

Наименьшие объемы наносов наблюдаются в акватории Маймаксанской протоки и составляют 65 тыс. м³. Максимальный слой наносов составляет 0,64 м. Каналы участка главного русла устьевой области также подвержены процессам заносимости. Толщины наносов могут достигать до 1,30 м. Ежегодный объем заносимости составляет

более 146 тыс. м³. Ярко выражены процессы размыва дна, что говорит о последующей аккумуляции наносов в других зонах ниже по течению. Существенные объемы наносов и размыва связаны с наличием и перемещением донных гряд, а также с отложением размываемого берегового грунта во время прохождения волны весеннего половодья (Иглин, 2018).

В Разделе 4.3 проведена оценка пространственно-временных особенностей формирования наносов на Мудьюгском канале. Для классификации интенсивности заносимости каналов методом нечётких множеств (Заде, 1976; Коробов, 2005) разработана вербально-числовая шкала (Рисунок 2), в соответствии с которой была произведена оценка степени заносимости канала Мудьюгских башен.

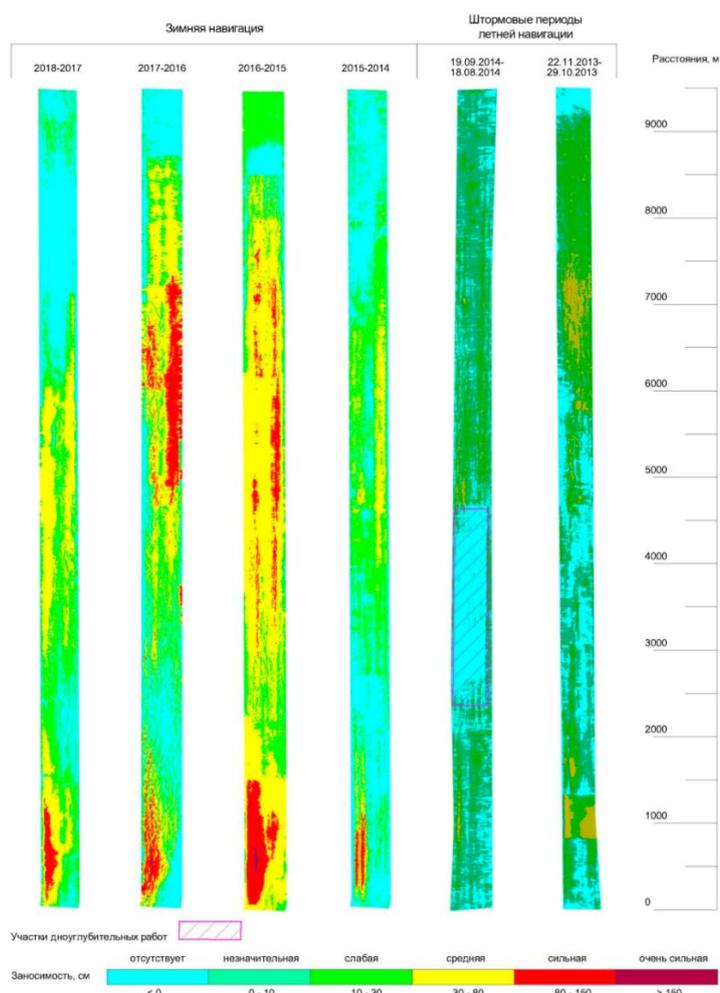


Рисунок 2. Схема распределения слоя наносов в зимнюю навигацию и штормовые периоды летней навигации в канале Мудьюгских башен морского порта Архангельск

По результатам оценки установлено, что наибольший вклад в заносимость канала Мудьюгских башен в порту Архангельск вносят штормовые явления. Заносимость, вызванная твердым стоком реки Северная Двина, имеет сезонный характер. Наибольшие значения нештормовых наносов зафиксированы во время весеннего половодья и осенних паводков, а наименьшие объемы – в летнюю межень. Пространственное отложение наносов в канале неоднородно. В целом, заносимость канала Мудьюгских башен можно охарактеризовать, как среднюю, а отдельные зоны характеризуются сильной заносимостью 80-150 см.

В **Разделе 4.4** рассмотрены особенности формирования наносов на Мудьюгском канале в ходе прохождения штормов. Задача данного раздела - установить связи между характеристиками штормов и объемом наносов, поступающих в канал, и на их основе разработать методику, позволяющей по гидрометеорологическим параметрам штормов производить оперативные расчеты, прогнозировать объемы землечерпания и оптимизировать работу земснарядов в акватории Мудьюгского канала морского порта Архангельск.

Объем заносимости зависит от гидрометеорологических параметров шторма (от длительности шторма T , скорости ветра V и разгона волны D), охарактеризована параметрами шторма можно через показатель Q , определяемым как их произведение. Полученные значения коэффициентов корреляции для основной группы наблюдений находятся в диапазоне 0.78–0.99, а для проверочной группы 0.92–0.99, что говорит о высоком качестве прогноза и о тесной линейной зависимости. Рассчитанные значения объемов наносов в ходе шторма для всего канала превышают фактические не более чем на 19%, что приемлемо для оперативного принятия управленческих решений и планирования дноуглубительных работ. Штормовая заносимость и деформации рельефа дна существенно зависят от повторяемости ветров: наибольшие объемы аккумуляции наносов наблюдаются в осенние месяцы, что обуславливается высокой интенсивностью ветров западного и северо-западного направления в это время (Иглин, 2019).

Глава 5 посвящена геоэкологической типизации морского порта Архангельск при проведении дноуглубительных работ, а также экологической ситуации при дноуглублении.

В Разделе 5.1 обоснованы выбранные факторы и показатели для проведения дноуглубительных работ на основе изученных материалов, собственных исследований (Таблица 1).

Расчеты индексов загрязненности выполнены по данным содержания тяжелых металлов (кадмий, свинец, цинк, медь, мышьяк) и нефтепродуктов для вод и донного грунта. Для вод расчеты также выполнены по данным содержания растворенного кислорода и БПК₅ (Иглин и др., 2020; Технический отчет, 2014., Технический отчет, 2014) по формуле:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{C'_i}\right)}{n}, \quad (1)$$

где K – индекс загрязненности; n – количество показателей; C_i – концентрация i -го загрязняющего вещества в воде или грунте; C'_i – предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества.

Таблица 1. Факторы и показатели, влияющие на экологическую ситуацию при проведении дноуглубительных работ.

Фактор	Показатель	Диапазон значений показателей
Объем дноуглубления	Объем грунта к выемке, м ³	3.2–952 820
Загрязненность грунтов	Индекс загрязненности грунтов	0.2–1.6
Загрязненность вод	Индекс загрязненности вод	0.8–1.9
Близость ООПТ	Расстояние до ООПТ, км	0–15.5
Близость рекреационных зон	Расстояние до рекреационных зон, км	0.4–53.7
Наличие фито- и зоопланктона	Биомасса (фито- и зоопланктон), г/м ³	0.7–1.2
Наличие донных сообществ	Биомасса (бентос), г/м ²	0–32.9
Площадь разработки и осадения	Площадь участков дноуглубления и отвалов, га	0.5–269.4
Концентрация взвешенных веществ	Концентрация взвеси после ДНУР, мг/дм ³	3.2–18.4
Течения	Максимальные скорости течений, см/с	14–119
Интенсивность волнения	Обеспеченность волны 0.5 м, %	11.7–51.5
Гранулометрический состав донного грунта	Гранулометрический состав донного грунта	Пески пылеватые – пески крупные
Наличие впадающих рек и проток	Сумма ширин рек и проток в местах впадения, м	0–5052
Фактическая глубина	Медианная глубина в районе дноуглубления, м	5.2–17.6

В Разделе 5.2 представлена экспертная оценка по определению рангов и расчёт весовых коэффициентов факторов. Экспертная группа состояла из 11 специалистов. Под весовым коэффициентом понимается доля вклада фактора в конечный результат, выраженная в числовом виде в долях единицы или в процентах.

По данным экспертных оценок (рисунок 4), наибольшее значение имеют факторы, непосредственно определяющие степень загрязнения в ходе дноуглубления: загрязненность грунтов (0.122), объемы дноуглубления (0.099), площадь разработки и осадения взмученного грунта (0.098). В меньшей степени важны факторы, определяющие распространение этого загрязнения: наличие впадающих рек и проток (0.044), интенсивность волнения (0.040), фактическая глубина (0.038).

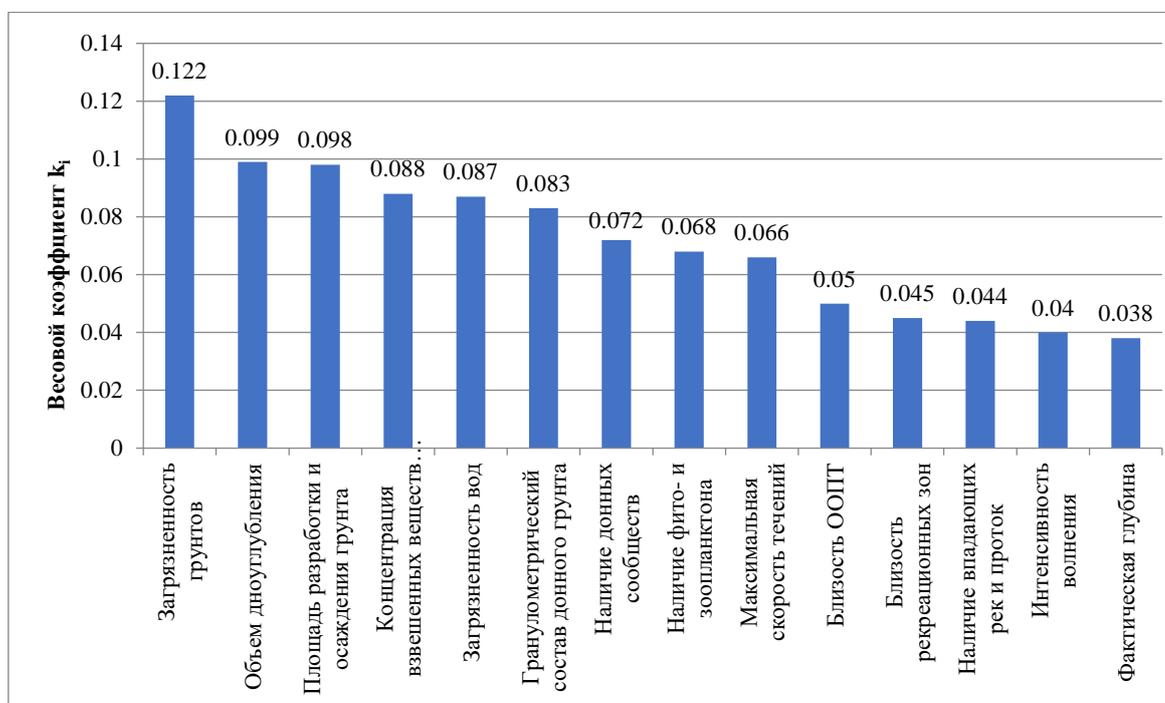


Рисунок 4. Весовые коэффициенты влияющих факторов при проведении дноуглубительных работ на экологическое состояние в морском порту Архангельск.

В Разделе 5.3 представлены результаты геоэкологической типизации акватории морского порта Архангельск на основании расчета интегрального показателя, рассчитываемого как сумма произведений значений показателей (p_i) (в баллах) на их весовые коэффициенты (k_i) (2), характеризующего степень влияния дноуглубления на экологическое состояние в акватории (Рисунок 5).

$$I_L = \sum_i^n k_i p_i, \quad (2)$$

Минимальное значение интегрального показателя влияния дноуглубления на экологическую ситуацию в порту Архангельск составило 2.51 на Нижнекривьякском канале (участок № 21) в Маймаксанской протоке, а максимальное – 5.08 на Мудьюгском канале (участок № 3) в Двинском заливе. Максимальные и минимальные теоретические границы шкалы показателя I определены путем выбора экстремальных значений показателей каждого фактора. Максимальное для данного района теоретическое значение показателя I составило 8.75, а минимальное – 1.51. Промежуточные значения для определения градаций определены путем расчета квартилей значения интегрального показателя. По данным проведенной геоэкологической типизации по значениям интегрального показателя установлено, что наибольшее негативное влияние наблюдается в зоне устьевого взморья р. Северной Двины (объекты 1–9), средний балл этого участка составляет 4.03. Согласно разработанной вербально-числовой шкале, это соответствует сильной степени воздействия. Это обусловлено большими масштабами заносимости морских каналов, накоплением загрязняющих веществ в донных грунтах в зонах смешения речных и морских вод, гранулометрическим составом донных наносов – пески пылеватые, а также высокой интенсивностью гидродинамических процессов (Двинских и др., 2017; Немировская и др., 2007; Лещев, 2018).

Достаточно высокие значения наблюдаются в акватории погрузочно-разгрузочного района Бакарица, это связано с высоким уровнем загрязненности донных грунтов и вод в ходе портовой деятельности (Котова, 2016). Влияние дноуглубления в зоне руслового участка устьевой области р. Северной Двины в целом можно охарактеризовать как умеренное. Средний балл интегрального показателя в этой зоне составил 3.45.

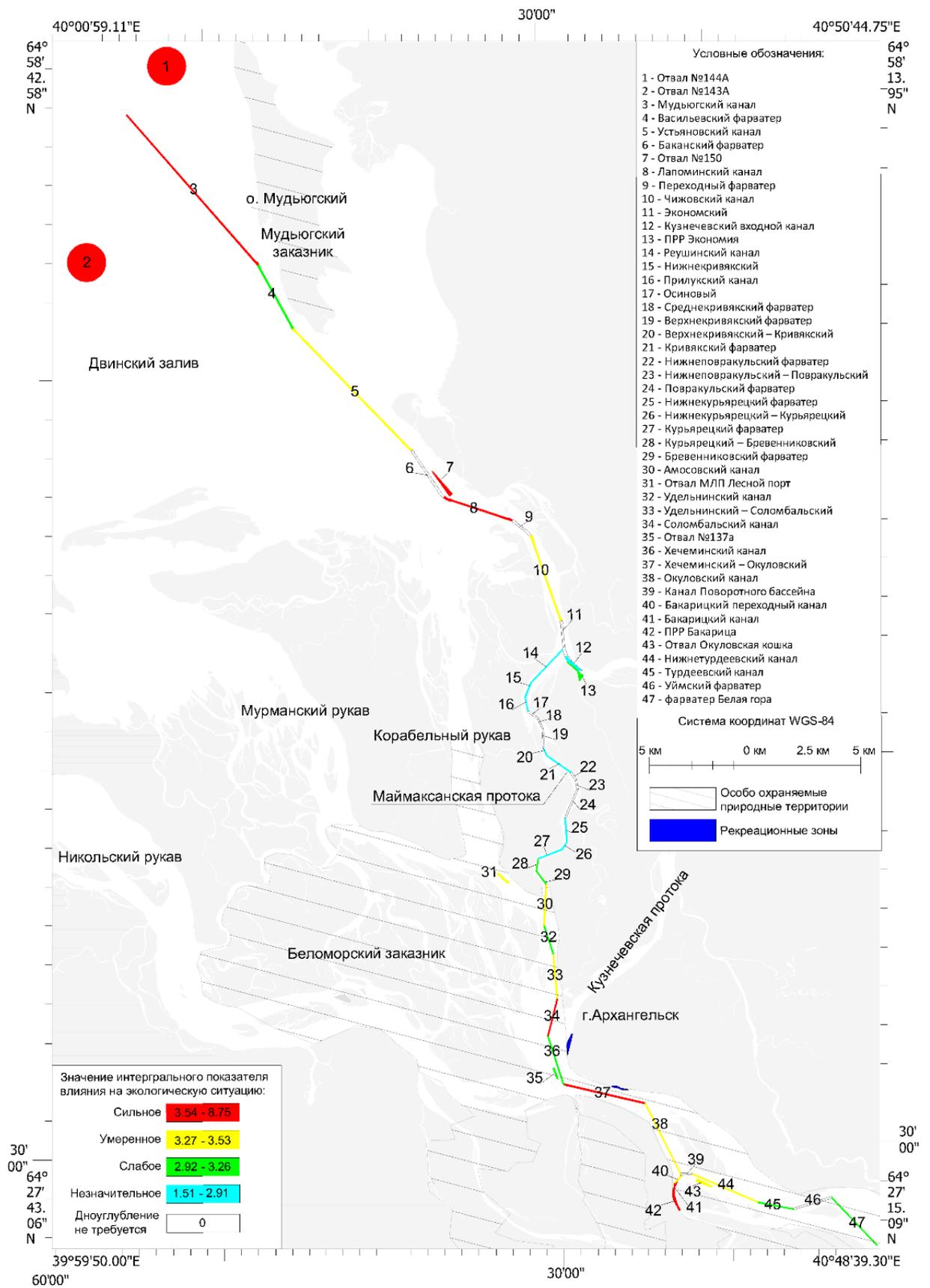


Рисунок 5. Схема геоэкологической типизации объектов, подвергающихся дноуглубительным работам в морском порту Архангельск

В Разделе 5.4 предложены рекомендации по оптимизации сети отбора проб при производстве экологического контроля, а также пример обновленной сети отбора проб в Двинском заливе в устьевой области реки Северная Двина.

Так, для проанализированных объектов можно рекомендовать следующие изменения в сети мониторинга:

- отбор проб донных грунтов с целью определения биомассы и видового разнообразия донных гидробионтов для участков, где ежегодно проводятся ремонтные дноуглубительные работы, нецелесообразно проводить непосредственно в зонах проведения работ, так как организмы не успевают восстанавливаться (период восстановления занимает от 4-7 лет по разным источникам), отбор проб проводить в фоновых точках;

- при формировании сети отбора проб вод и донных грунтов необходимо учитывать особенности пространственного отложения наносов на каналах и назначать координаты отбора непосредственно в местах проведения дноуглубления;

- при расположении точек отбора проб необходимо учитывать гидрологические и гидродинамические особенности района работ, то есть требуются предварительные инженерные изыскания с целью определения направления и скоростей течений и дальнейший расчет зон распространения взвешенных веществ и в районах извлечения, и на отвалах грунта;

- целесообразно добавить и контрольные измерения в ходе работ, в том числе определение концентрации взвешенных веществ;

- перечень исследуемых загрязнителей при проведении контроля должен формироваться на основе материалов изысканий и сведений от региональных органов, проводящих регулярные исследования в рамках государственного мониторинга, необходимо, чтобы он соответствовал тем элементам и загрязнителям, концентрации которых повышены для данного района исследования и существует вероятность вторичного загрязнения в ходе работ (Cd, Pb, As, нефтепродукты, взвешенные вещества);

- для участков дноуглубительных работ, где выявлена «незначительная» и «слабая» степень воздействия не отбирать пробы;

- для участков с «умеренной» степенью воздействия необходимо добавить точки отбора в местах наибольшей заносимости;

- на участках с «сильной» степенью воздействия, помимо точек в местах наибольшей заносимости, должны быть добавлены фоновые точки вокруг объекта дноуглубления.

В Заключении сформированы основные выводы исследования.

1. Заносимость дельтовой и приустьевой зоны обусловлено движением и осаждением взвешенных и донных наносов при прохождении волны весеннего половодья. Зона устьевого взморья подвержена наносам в большей степени из-за перемещения донных грунтов в ходе штормовых процессов.

2. Изучение особенностей штормовой заносимости Мудьюгского канала показало, что зависимость между показателем Q , характеризующим гидрометеорологические параметры шторма, и объемами штормовой заносимости канала имеет линейный характер. Предлагаемая модель прогнозирования объемов штормовых наносов позволяет получить рассчитанные значения, превышающие фактические не более чем на 19%, что приемлемо для оперативного принятия управленческих решений и планирования дноуглубительных работ.

3. Установлено, что после проведения дноуглубления возрастает концентрация взвешенных веществ в воде в границах дноуглубления и на отвалах грунта. Установлена прямая связь между объемами дноуглубления и повышением содержания взвеси в пробах воды на объектах дноуглубления и отвалах грунта. Обнаружено, что содержание свинца и кадмия в пробах грунта и воды хорошо коррелирует с объемами дноуглубления. Также установлено, что есть прямая связь между содержанием кадмия в пробах воды и пробах грунта.

4. Экспертная оценка по ранжированию факторов и определению весовых коэффициентов указывает на большой вклад факторов, непосредственно определяющих загрязнение акватории при дноуглублении.

5. Предложена методика типизации позволит выявить зоны, наиболее подверженные негативному воздействию в ходе дноуглубления, для принятия управленческих решений.

6. Результаты типизации могут быть применены для оптимизации сети мониторинга в ходе производственного экологического контроля. Так для участков, где выявлено «сильное» воздействие, должно быть увеличено количество точек отбора

проб донных грунтов и вод до и после дноуглубления, добавлены фоновые точки отбора проб.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статья, в рецензируемом научном журнале, входящем в Web of science

– **Иглин, С. М.** Особенности штормовой заносимости канала Мудьюгских башен в морском порту Архангельск в устье Северной Двины / С. М. Иглин, А. М. Алабян, В. Б. Коробов // *Океанология*. – 2022. – Т. 62. – № 4. – С. 648-659.

Статьи, в рецензируемом научном журнале из списка ВАК

1. **Иглин, С. М.** Пространственно-временные особенности заносимости канала Мудьюгских башен в морском порту Архангельск / С. М. Иглин, В. Б. Коробов // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. – 2019. – № 2. – С. 48-58. – DOI 10.22449/2413-5577-2019-2-48-58.

2. **Иглин, С. М.** Оценка масштабов заносимости судоходного канала в порту Архангельск / С. М. Иглин, А. В. Лещев, В. Б. Коробов // *Инженерные изыскания*. – 2019. – Т. 13. – № 1. – С. 46-55. – DOI 10.25296/1997-8650-2019-13-1-46-54.

3. Котова, Е.И. Экологическая ситуация в устьевой области реки Северной Двины (белое море) / Е. И. Котова, В. Б. Коробов, В. П. Шевченко, **С. М. Иглин** // *Успехи современного естествознания*. – 2020. – № 5. – С. 121-129. – DOI 10.17513/use.37402.

4. **Иглин, С. М.** Геоэкологическая оценка состояния вод и донных грунтов при проведении ремонтных дноуглубительных работ в порту Архангельск / С. М. Иглин, Е. И. Котова, В. Б. Коробов // *Естественные и технические науки*. – 2020. – № 5(143). – С. 76-87. – DOI 10.25633/ETN.2020.05.11.

5. **Иглин, С. М.** Геоэкологическое районирование акватории морского порта Архангельск при проведении дноуглубительных работ / С. М. Иглин, В. Б. Коробов // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. – 2021. – № 2. – С. 131-149. – DOI 10.22449/2413-5577-2021-2-131-149.

6. Коробов, В. Б. Оценка экологической ситуации акваторий при помощи вербально-числовых шкал интегральных показателей (на примере устьевой области Северной Двины) / В. Б. Коробов, **С. М. Иглин** // *Проблемы региональной экологии*. – 2021. – № 1. – С. 61-65. – DOI 10.24412/1728-323X-2021-1-61-65.

Прочие публикации

7. **Иглин, С. М.** Сравнительная оценка заносимости на участках судового пути транспортировки углеводородов в порту Архангельск / С. М. Иглин // Проблемы освоения нефтегазовых месторождений приарктических территорий России: Материалы научной конференции студентов и аспирантов высшей школы энергетики, нефти и газа, Архангельск, 01–30 апреля 2019 года. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2019. – С. 48-53.

8. **Иглин, С. М.** Влияние ремонтных дноуглубительных работ на загрязненность донных грунтов и вод в устьевой области реки Северная Двина / С. М. Иглин // Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию : Материалы II международной научно-практической конференции, Архангельск, 11–14 ноября 2020 года. – Архангельск: Издательский центр АЗ+, 2020. – С. 355-358.

9. **Иглин, С. М.** Сравнительная оценка заносимости каналов и размыва морского дна в устьевой области реки Северная Двина / С. М. Иглин // Геология морей и океанов: Материалы XXIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии, Москва, 18–22 ноября 2019 года. – Москва: Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, 2019. – С. 128-131.

10. **Иглин, С. М.** Литодинамические процессы на акватории Кузнечевской протоки в зоне впадения протоки Большой Двинки и р. Ваганихи в устьевой области р. Северной Двины / С. М. Иглин, А. В. Лещев // Геология морей и океанов : Материалы XXIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии, Москва, 18–22 ноября 2019 года. – Москва: Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, 2019. – С. 132-136.

11. **Иглин, С. М.** Наблюдения за уровнем моря на участке главного судового хода в устьевой области р. Северной Двины в летнюю навигацию 2021 г / С. М. Иглин // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы шестнадцатой общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций, Москва, 01–03 декабря 2021 года / ООО «Геомаркетинг»; ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»; Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве» - Общероссийское отраслевое объединение работодателей Союз изыскателей. – Москва: Геомаркетинг, 2021. – С. 265-270.

12. **Иглин, С.М.** Исследование влияния глубины судоходного канала на его заносимость в период сильных штормов на устьевом взморье Северной Двины. / С.М. Иглин, В.Б. Коробов // Геология морей и океанов: Материалы XXIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии, Москва, 15–29 ноября 2021 года. – Москва: Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, 2021. – С. 214-217.