

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

На правах рукописи

Иглин Сергей Михайлович

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА СОСТОЯНИЕ
ВОДНОЙ СРЕДЫ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

1.6.21 - Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор географических наук
В.Б. Коробов

Архангельск – 2023

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	11
1.1 Физико-географическая характеристика.....	11
1.2 Климатические условия.....	14
1.3 Гидрографические и морфологические особенности исследуемой части устьевой области р. Северная Двина.....	18
1.4 Гидрологический режим.....	26
1.4.1 Речной сток.....	26
1.4.2 Течения в исследуемой части устьевой области реки Северная Двина.....	29
1.4.3 Уровни.....	32
1.4.4 Сток наносов.....	35
1.5 Гранулометрический состав донных грунтов.....	38
1.6 Экологическая ситуация в устьевой области реки Северная Двина.....	41
ГЛАВА 2. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	51
2.1 Характеристика исходных материалов.....	51
2.2 Гидрографические работы.....	53
2.2.1 Съёмки рельефа дна.....	53
2.2.2 Цифровые модели рельефа дна и подсчет объемов заносимости.....	59
2.3 Методология типизации участков исследуемого района	61
ГЛАВА 3. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ...	63
3.1 Влияние дноуглубительных работ на экологическую ситуацию.....	63
3.1.1 Влияние дноуглубления на гидросферу.....	65
3.1.2 Влияние дноуглубления на литосферу.....	67
3.1.3 Влияние дноуглубления на морскую биоту.....	69
3.1.4 Иные виды воздействия.....	71
3.2 Дноуглубительные работы в морском порту Архангельск.....	72
3.2.1 Участки и объемы дноуглубительных работ.....	72
3.2.2 Подводные отвалы грунта.....	76
3.3 Геоэкологическое состояние грунтов и вод акватории морского порта Архангельск при проведении дноуглубительных работ.....	80
3.4 Временная изменчивость характеристик, влияющих на степень загрязнения в ходе дноуглубительных работ на Мудьюгском канале в морском порту Архангельск.....	90
3.5 Оценка состояния водных биоресурсов устьевой области реки Северная Двина, подвергающихся негативному воздействию дноуглубительных работ.....	94

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА МАСШТАБОВ ЗАНОСИМОСТИ В МОРСКОМ ПОРТУ АРХАНГЕЛЬСК.....	98
4.1 Понятие заносимости.....	98
4.2 Масштабы заносимости в порту Архангельск.....	102
4.3 Пространственно-временные особенности формирования наносов на канале Мудьюгских башен.....	108
4.4 Особенности штормовой заносимости канала Мудьюгских Башен.....	116
ГЛАВА 5. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ АКВАТОРИИ МОРСКОГО ПОРТА АРХАНГЕЛЬСК ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ.....	131
5.1 Влияющие факторов и показатели их оценки.....	131
5.2 Экспертная оценка определения весовых коэффициентов факторов.....	136
5.3 Результаты типизации.....	139
5.4 Оптимизация сети мониторинга при производстве экологического контроля.....	143
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	145
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	150
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ЗНАЧЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ВЛИЯНИЯ ДНОУГЛУБЛЕНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ.....	170

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Перспективы активного развития арктических и субарктических районов, в частности морской транспортной инфраструктуры (развитие Северного морского пути, строительство портовых структур, разработка морских и береговых месторождений углеводородов) тесно связаны с проведением масштабных дноуглубительных работ (Распоряжение Правительства РФ..., 2018). Дноуглубление и сопутствующий ему сброс донных грунтов в подводные отвалы (дампинг) – это виды негативного антропогенного воздействия на морскую среду, интенсивность которых возрастает в последние десятилетия.

Экологическое влияние дноуглубления на водную среду проявляется как на этапах изъятия (путем взмучивания донных грунтов и всасывания водно-грунтовой смеси), так и сброса донных грунтов через днищевые дверцы земснарядов на подводные отвалы (Morton, 1977). Эти процедуры сопровождаются созданием облака повышенной концентрации взвешенных веществ, с его временным сохранением, из-за чего существует вероятность вторичного загрязнения водной среды поллютантами, находящимися в донных отложениях: нефтепродуктами, тяжелыми металлами (Pb, Cd, Zn, Cu) и рядом других; снижается содержание растворенного кислорода (Иглин и др., 2020); оказывается негативное воздействие на морскую и речную ихтиофауну (Зеленков, 2017).

Негативное воздействие от проведения капитального дноуглубления ограничивается периодом строительства морского порта, что, как правило, занимает несколько лет. Ремонтные дноуглубительные работы – это процесс, проводимый регулярно на всем протяжении эксплуатации сооружения (Врау, 2008). Масштабы и повторяемость ремонтных дноуглубительных работ определяются процессами заносимости, то есть перемещением и накоплением донного грунта в акваториях судоходных объектов, тем самым создавая условия, ограничивающие навигацию. Заносимость, в свою очередь, процесс непрерывный, интенсивность которого зависит от гидрологического и гидрометеорологического режима зоны судоходства.

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;

- явление маргинального фильтра в зонах смешения морских и речных вод (Лисицын, 1994; Брызгалов и др., 2008).

К антропогенным факторам относят образование техногенных шлейфов мутности в ходе дноуглубления и дампинга, добычу полезных ископаемых в акватории и в прибрежной зоне, а также смыв грунтов с площади водосбора при проведении строительных, сельскохозяйственных и прочих работ (Ивлиева, 2007).

Морские каналы подвержены заносимости неравномерно, отдельные участки заносятся более интенсивно из-за особенностей морфологии дна и берегов. В то же время, отложение наносов происходит непрерывно на протяжении года, но с разной скоростью, в зависимости от гидрологической и метеорологической обстановок, которые, как установлено в результате специальных исследований (Лещев и др., 2015; Лещев и др., 2017) в устьевой области Северной Двины отличаются заметной пространственной и временной изменчивостью, что прямым образом сказывается на процессе заносимости. Поэтому для организации безопасного судоходства и эффективных дноуглубительных работ необходимо учитывать специфику пространственно-временной изменчивости заносимости рассматриваемой акватории.

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; Гидрометеорология 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.

Судоходный канал порта Архангельск, находящийся в устьевой области реки Северная Двина, в полной мере 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 (Иглин, 2019).

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 техногенных 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 геоэкологического воздействия дноуглубления на экологическую ситуацию путем проведения типизации. Предложенная методика прогноза штормовой заносимости рекомендуется к применению в приливных устьях других рек, в настоящее время 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, Нураск, 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 конференция 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», 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.

Публикации соискателя по теме диссертации.

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.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

– **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.

– **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.

–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.

–**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.

–**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.

–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.

Статьи в журналах из списка 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.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, состоящего из 247 наименований, и одного приложения. Общий объем диссертации составляет 170 страниц и включает 73 рисунка и 30 таблиц.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность за постановку научной проблемы и всестороннюю помощь научному руководителю д.г.н. В.Б. Коробова. 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.

ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Физико-географическая характеристика

Река Северная Двина относится к бассейну Белого моря, она находится в северной части Русской равнины. Площадь водосбора составляет 357 тыс. км², длина водотока 744 км. (Государственный водный реестр). Она протекает по территории республики Коми, Архангельской и Вологодской областей. Северная Двина образуется в результате слияния рек Сухоны и Юга. Средний годовой расход по гидрологическому посту Усть-Пинега – 3250 м³/с (Справочно-аналитический обзор..., 2022). Длина реки вместе с Вычегдой – 1803 км. Бассейн Северной Двины располагается в широтах от 58.5° с.ш. до 64.7° с.ш., протяженностью с юга на север порядка 700 км. Западная точка бассейна располагается на долготе 38.5 в.д., а восточная – на долготе 56.4 в.д. (Рисунок 1). Гидрографическая сеть бассейна реки хорошо развита, насчитывается более 60 тыс. рек и ручьев общей длиной более 200 тыс. км. Главные притоки – Сухона, Юг, Вычегда, Вага и Пинега (Гидрология устьевой области..., 1965).

Водосборный бассейн реки достаточно однороден по природным условиям, представляет собой обширную лесистую таёжную равнину, полого опускающуюся в северо-западном направлении (Овсепян, 2007). В лесной зоне преобладают подзолистые почвы, подстилаемые песками и глеево-подзолистые на суглинках. В зонах плоских водоразделов наблюдаются обширные торфяники. Растительность представлена хвойными лесами, в основном еловыми с примесью берез, сосен. Питание рек смешанное, преимущественно снеговое (Добровольский, 2011). Устьевая область Северной Двины расположена в Архангельской области Российской Федерации и охватывает административные районы городов: Архангельск, Новодвинск, Северодвинск, а также Приморский и Холмогорский районы. Устьевая область относится к дельтовому типу и состоит из устьевого участка реки и приглубого устьевого взморья – юго-восточной части Двинского залива Белого моря. Устьевой участок реки (длиной 150 км) включает в себя приустьевой участок от устья р. Пинеги и многорукавную дельту. Дельта имеет форму равнобедренного треугольника с основанием равным 45 км и площадью 900 км². Устьевое взморье – часть Двинского залива южнее условной линии – м. Куйский (Зимний берег Белого моря) – м. Толстик (Летний берег Белого моря). Площадь устьевого взморья (до изобаты 10 м) – 350 км² (Полонский, 1992; Ресурсы поверхностных вод..., 1972; Римский-Корсаков и др., 2017). За пределами устьевого взморья находится глубоководная часть Двинского залива. (Рисунок 2.)

Приустьевой участок представляет собой выраженную долину, широкую пойму и сложно-разветвленное русло. Ниже устья р. Пинега находится широкое Холмогорское разветвление, напоминающее «внутреннюю дельту». Здесь сформированы большие острова и сеть крупных рукавов: Курополка, Богоявленка, Лиговка. Ниже Холмогорского разветвления имеются также несколько рукавов (Гидрология устьевой области..., 1965).

Ниже центральной части г. Архангельска наблюдается треугольная дельта с веерообразным рисунком русловой сети. Главные рукава дельты: Никольский, Мурманский, Корабельный, протоки Кузнечевская и Маймаксанская. Также в дельте большое количество второстепенных рукавов и водотоков, перераспределяющих речной сток между основными рукавами. В дельте находится несколько крупных островов: Кего, Лясомин, Никольский и др. Вдоль морского края дельты находятся острова водоприбойного происхождения: Ягры, Гремиха, Кумбыш, Голец, Лайда и др.

Устьевое взморье – мелководная часть Двинского залива Белого моря, сложенная речными наносами (Гидрология устьевой области..., 1965; Овсепян, 2007, Справочно-аналитический обзор..., 2022). С морфолого-генетической точки зрения взморье относят к типу приглубых, с крупными русловыми бороздинами и свалом глубин (Михайлов, 1997). В этой зоне наиболее ярко проявляются процессы взаимодействия речных и морских вод, явление маргинального фильтра (Коченкова и др., 2018).

Устьевая область реки используется для морского и речного судоходства, добычи донного песка, а также для сплава леса. На устьевом участке Северной Двины располагается старейший морской порт в г. Архангельск, основанный в 16 в. Основные отрасли промышленности: лесопильная и деревообрабатывающая (ЗАО «Лесозавод № 25»), целлюлозно-бумажная (г. Новодвинск АО «АЦБК»), судостроительная (г. Северодвинск АО «ПО СЕВМАШ»), судоремонтная (г. Северодвинск АО «Центр судоремонта "Звездочка"»). Дельта реки и устьевое взморье имеют локальное рыбопромысловое значение. Устьевая область находится под активным антропогенным воздействием в ходе промышленного и транспортного использования акватории.

1.2 Климатические условия

Климат устьевой области Северной Двины обуславливается малым количеством солнечной радиации, воздействием моря и интенсивным западным переносом воздушных масс. Вынос теплого морского воздуха в атлантических циклонах, перемещающихся через северные районы Скандинавии, и частые вторжения арктического воздуха с Северного Ледовитого океана придают погоде большую неустойчивость, резкую изменчивость давления, ветра и температуры воздуха (Гидрология устьевой области..., 1965). Климат устьевой области реки Северная Двина относится к Атлантико-Арктической лесной области умеренного пояса (Алисов, 1956). Зимой наблюдается южные ветры, с которыми притекает атлантический воздух, а также континентальный воздух южных районов Европейской территории РФ. В летнее время преобладают северные, приносящие арктический воздух (Научно-прикладной справочник..., 1989; Научно-прикладной справочник «Климат России»).

По этим причина, а также ряд местных факторов (близость к морю) климат устьевой области Северной Двины характеризуется прохладным летом и не очень холодной, несмотря на сравнительно высокую широту места, зимой, достаточно малой годовой амплитудой температуры воздуха. Особенности близости моря проявляются также в муссонном характере ветров (в зимнее время преобладают ветра с суши, летом – с моря) и значительной облачности.

Данные о климатических характеристиках содержатся в (Технический отчет об инженерно-гидрометеорологических изысканиях..., 2013) и предоставлены Северным УГМС за период с 1966-2013 гг.

Характерной особенностью климата в районе г. Архангельска является сравнительно высокая годовая температура воздуха. По данным гидрометеостанции (далее – ГМС) Архангельск средняя многолетняя температура в году $+0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Таблица 1) (Технический отчет об инженерно-гидрометеорологических изысканиях..., 2013)

Таблица 1. Среднемесячные многолетние температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в году по данным ГМС Архангельск.

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
-13.2	-12.3	-7.3	-0.7	5.8	12.4	15.8	13.6	8.1	1.5	-5.0	-10.4	0.7

В самый холодный месяц (январь) температура воздуха составляет $-13.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в самый теплый (июль) $+15.8\text{ }^{\circ}\text{C}$. В отдельные дни температура в летний период может достигать $+30$

°С и более (абсолютный максимум 34.4°С), зимой отрицательные температура может опуститься -40 °С (абсолютный минимум -45.3 °С) (Таблица 2, 3) (Технический отчет об инженерно-гидрометеорологических изысканиях..., 2013).

Таблица 2. Абсолютные максимумы температуры воздуха (°С) в году по данным ГМС Архангельск.

Месяцы												
Тип	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура, °С	5.0	5.2	12.3	25.3	31.7	33.0	34.4	32.5	27.2	18.3	10.1	5.8
Год	1971	1998	2016	2001	2014	2013	1972	1920	1963	1974	1957	2006

Таблица 3. Абсолютные минимумы температуры воздуха (°С) в году по данным ГМС Архангельск.

Месяцы												
Тип	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура, °С	-45.2	-45.3	-41.8	-30.1	-15.6	-3.8	-0.6	-4.1	-7.5	-22.1	-36.5	-43.2
Год	1885	1946	1957	1933	1923	1982	1926	1966	1966	1940	1968	1978

Отдельные участки устьевой области в большей степени подвержены влиянию моря. В связи с этим средняя температура самого теплого месяца (июля) в районе о. Мудьюгский на 0.6 °С ниже, чем в Архангельске, а зимой на 0.3 °С выше. Зимой влияние моря сказывается меньше, чем летом.

Переход среднесуточных температур воздуха через 0 °С в среднем происходит осенью 19-25 октября, а весной 17-25 апреля. Отличие в средних сроках перехода температуры воздуха через 0 °С для разных участков устьевой области достигает весной восьми дней, что объясняется не только различием в широтах, но и влиянием моря (Гидрология устьевой области..., 1965).

Среднее годовое атмосферное давление на уровне моря на ГМС Архангельск составляет 1011,1 миллибара, при этом максимальное давление 1014.3 мб отмечается в мае, а минимальное в декабре 1008.1 мб (Таблица 4) (Технический отчет об инженерно-гидрометеорологических изысканиях..., 2013).

Таблица 4. Среднемесячное многолетнее атмосферное давление по данным ГМС Архангельск.

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1010.5	1012.3	1011.4	1012.4	1014.3	1010.8	1010.7	1011.3	1010.7	1009.6	1009.6	1008.1	1011.1

Климат устьевого области Северной Двины отличается повышенной влажностью. Среднегодовая относительная влажность составляет 80% в Архангельске и увеличивается к морю, и достигает 83% в районе о. Мудьюгский (Гидрология устьевого области..., 1965; Технический отчет об инженерно-гидрометеорологических изысканиях..., 2013) (Таблица 5).

Таблица 5. Среднемесячная многолетняя относительная влажность воздуха (%) в году по данным ГМС Архангельск.

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
85	84	80	72	67	68	74	80	85	88	89	87	80

В течение года в среднем выпадает 582 мм осадков (Таблица 6). Около 67% приходится на теплый период года (апрель – октябрь). Максимальное количество осадков выпадает в августе в среднем 71 мм, меньше всего в феврале-марте – 28 мм.

Таблица 6. Среднемесячные количество осадков (мм) с поправкой на смачивание по данным метеостанции ГМС Архангельск.

Месяцы												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
35	28	28	31	45	59	64	71	60	65	52	44	582

Ветровой режим носит муссонный характер. Так, в осенне-зимний период (с ноября по март) преобладают ветра южных, юго-западных и западных направлений (Ю, ЮЗ, З), общая повторяемость которых составляет 50-60 %. В период с мая по август господствуют северные, северо-восточные и северо-западные ветра (С, СВ, СЗ) с общей повторяемостью 40-45 %.

Максимальная наблюденная скорость ветра по флюгеру на ГМС Соломбала составила 34 м/с (17.07.1952г., 2.06.1962г.). Максимальная наблюденная скорость ветра в порыве на ГМС Соломбала составила 40 м/с (17.07.1952г., северо-западное направление). Средняя

месячная и годовая скорость ветра на ГМС Архангельск, ГМС Соломбала и ГМС Мудьюг представлена в таблице 7.

Таблица 7. Средние месячные и годовые скорости ветра по данным ГМС Архангельск, ГМС Соломбала и ГМС Мудьюг (Технический отчет об инженерно-гидрометеорологических изысканиях..., 2013)

ГМС	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Архангельск	3.2	3.2	3.2	3.1	3.2	3.0	2.7	2.8	2.9	3.3	3.3	3.2	3.1
Соломбала	5.2	4.8	4.9	4.6	5.0	4.6	4.3	4.2	4.8	5.5	5.5	4.7	4.8
Мудьюг	5.8	5.3	5.0	4.6	4.8	4.8	4.6	4.7	5.3	6.1	6.2	6.0	5.3

Наиболее часто повторяющимися в году ветрами являются юго-восточные. В летний навигационный период (май-ноябрь) из наиболее сильных штормовых ветров преобладают северо-западные. Сильные ветра восточных и южных направлений редки (Таблица 8).

Таблица 8. Повторяемость направлений ветра и штилей по данным ГМС Архангельск

Месяц	Направление ветра								Штиль
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
I	6.2	4.1	13	27.3	19	9.6	14.1	6.7	8.1
II	4.7	4.1	10.4	26.8	21.6	9.9	15.1	7.5	6.8
III	6.8	4.4	9.8	20.3	20.6	12.3	16.2	9.6	5.5
IV	12.5	5.9	11.7	17.7	13.5	8.7	15.5	14.4	5.2
V	18.5	9.2	12	14.2	11.1	6.7	13.1	15.3	4.7
VI	19.2	10.4	11.8	13.2	11.6	6.4	13	14.3	6
VII	18.1	10.1	12.4	14.8	13.3	7	11.1	13.2	7
VIII	17	10.4	13.1	13.5	14	7.9	11.9	12.3	7.9
IX	13.3	7	11.4	14.8	18.3	10.8	14	10.4	6.4
X	10.6	4.4	8.8	14.1	20.1	14.3	18.3	9.5	4.5
XI	6.5	4.2	11.5	20.1	23.5	14.1	14.7	5.4	6.3
XII	5.3	3.2	10.6	24.6	24.2	13	13	6.2	6.6
В среднем за год	11.5	6.4	11.4	18.5	17.6	10.1	14.2	10.4	6.2

Сильные северо-западные и северные ветры, дующие не только в устье, но и во всей акватории Белого моря, вызывают нагонные подъемы уровня (Овсепян, 2007). В большинстве случаев эти ветры связаны с прохождением циклонов, генерирующими длинные анемобарические волны, трансформация которых на мелководье приводит к резкому подъёму уровня. Повторяемость штормовых ветров (более 15 м/с) в году невелика. В среднем за год в пределах дельты бывает 2.2 дня со штормом, а на устьевом взморье – 7.7 дней (Гидрология устьевой области..., 1965; Справочно-аналитический обзор..., 2022).

1.3 Гидрографические и морфологические особенности исследуемой части устьевой области р. Северная Двина

Местро впадения р. Пинеги является вершиной устьевой области Северной Двины, выше которого не распространяются приливные и нагонные колебания. Устьевая область состоит из устьевого участка реки от вершины до г. Архангельска, где начинается разветвление главного русла реки на рукава; дельты; устьевого взморья (юго-восточную часть Двинского залива Белого моря) (Гидрология устьевой области..., 1965; Михайлов, 2012; Кравцова, 2013).

Район исследований охватывает часть устьевой области р. Северная Двина от г. Новодвинск до юго-восточной части Двинского залива Белого моря и полностью включает акваторию морского порта Архангельск (Рисунок 3).

Исследуемая часть устьевой области Северной Двины делится на 3 зоны:

- 1) Главное русло (от г. Новодвинск до южной части о. Бревенник в месте разделения Корабельного рукава и Маймаксанской протоки), имеющий протяженность 29 км;
- 2) Дельта с рукавами и протоками. Длина дельты (по линии г. Архангельск - о. Кумбыш) 37 км, длина морского края 45 км. Площадь дельты 896 км², 54 % приходится на острова;
- 3) Устьевое взморье. Представляет собой мелководную часть Двинского залива, с площадью 260 км². В пределах устьевого взморья выделяется мелководная лагуна Сухое море, отделенная от Двинского залива о. Мудьюгский и узкой Никольской косой.

Из-за относительно небольшого стока наносов русловые процессы на устьевом взморье в устьевом взморье реки замедлены. На устьевом участке происходят обычные для равнинных рек процессы меандрирования и сезонные переформирования перекатов. В дельтовых рукавах помимо уже отмеченного размыва правых берегов отмечается некоторая общая тенденция к занесению Никольского и Корабельного рукавов и размыву и в Мурманском рукаве и

Маймаксанской протоке (Иглин, 2019). В деформациях дна взморья и переформировании береговых баров, кос и островов велика роль штормового волнения. На поверхности островов на взморье под влиянием ветров формируются песчаные дюны.

Главное русло преимущественно глубокое. Дно песчаное, местами песчано-гравелистое. Донные грунты представлены песками крупными и средней крупности (Иглин и др., 2019). Ширина главного русла составляет от 700 – 2500 м. Наиболее крупные формы рельефа представлены донными грядами (Рисунок 4). Преобладают глубины 10-15 м, а на отдельных участках достигают 20-25 м (в зоне железнодорожного моста) (Рисунок 5).

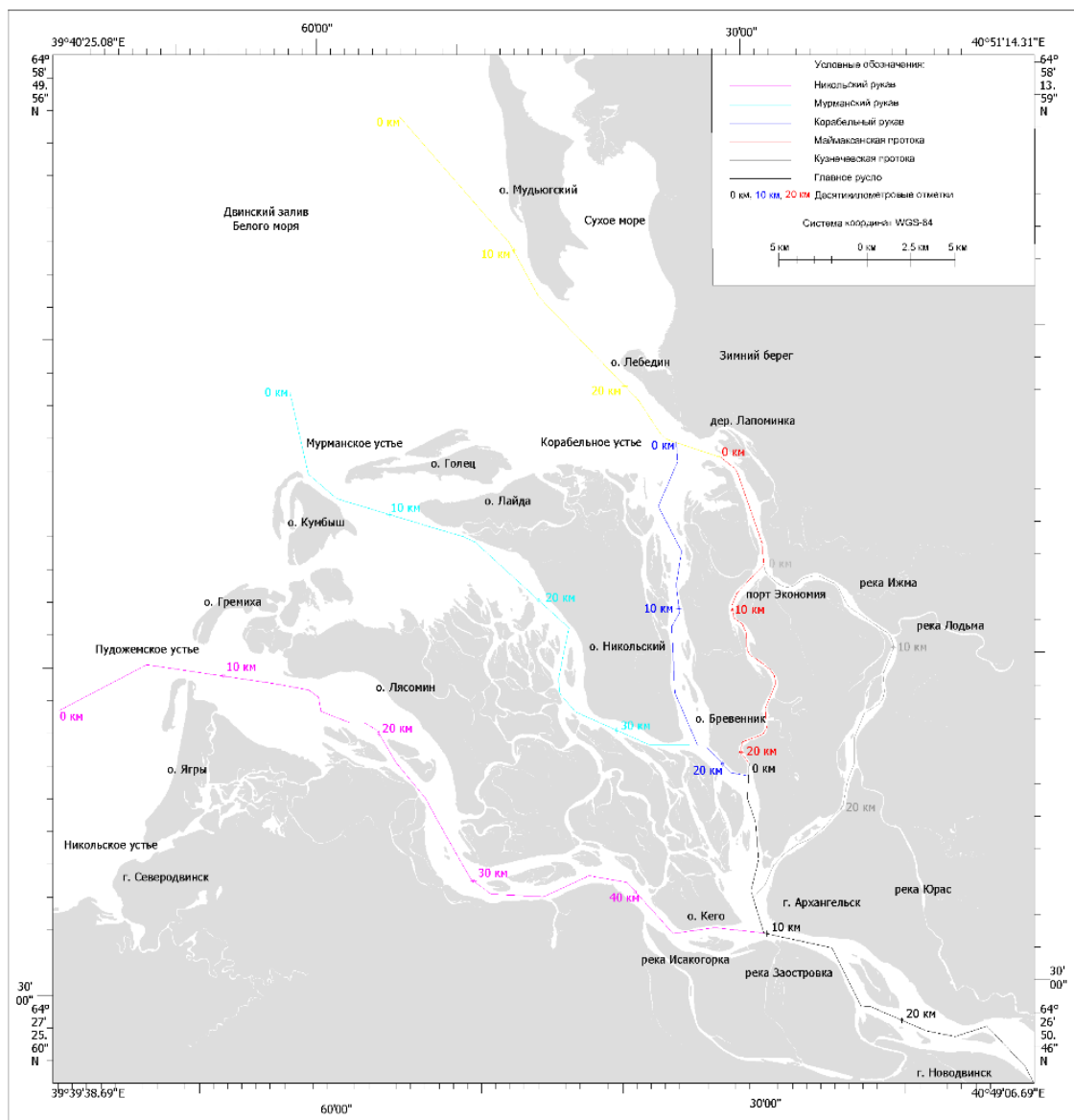


Рисунок 3. Карта-схема гидрографической сети исследуемой части устьевой области Северной Двины

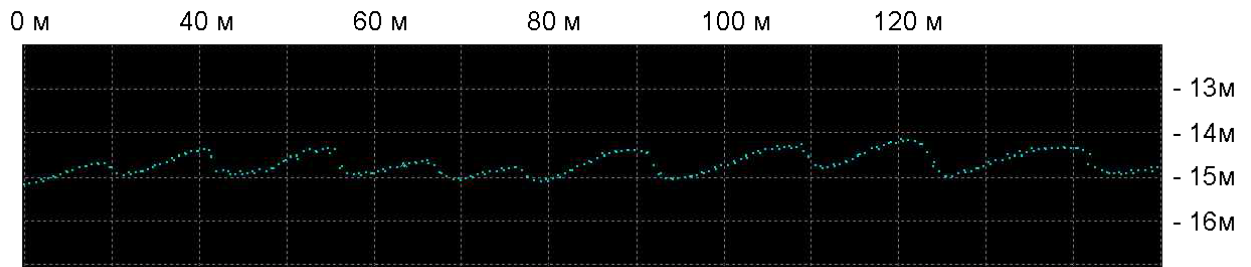


Рисунок 4. Продольный профиль участка главного русла в районе г. Архангельск с донными грядками по материалам съемки рельефа дна ФГУП «Росморпорт» 2021 года

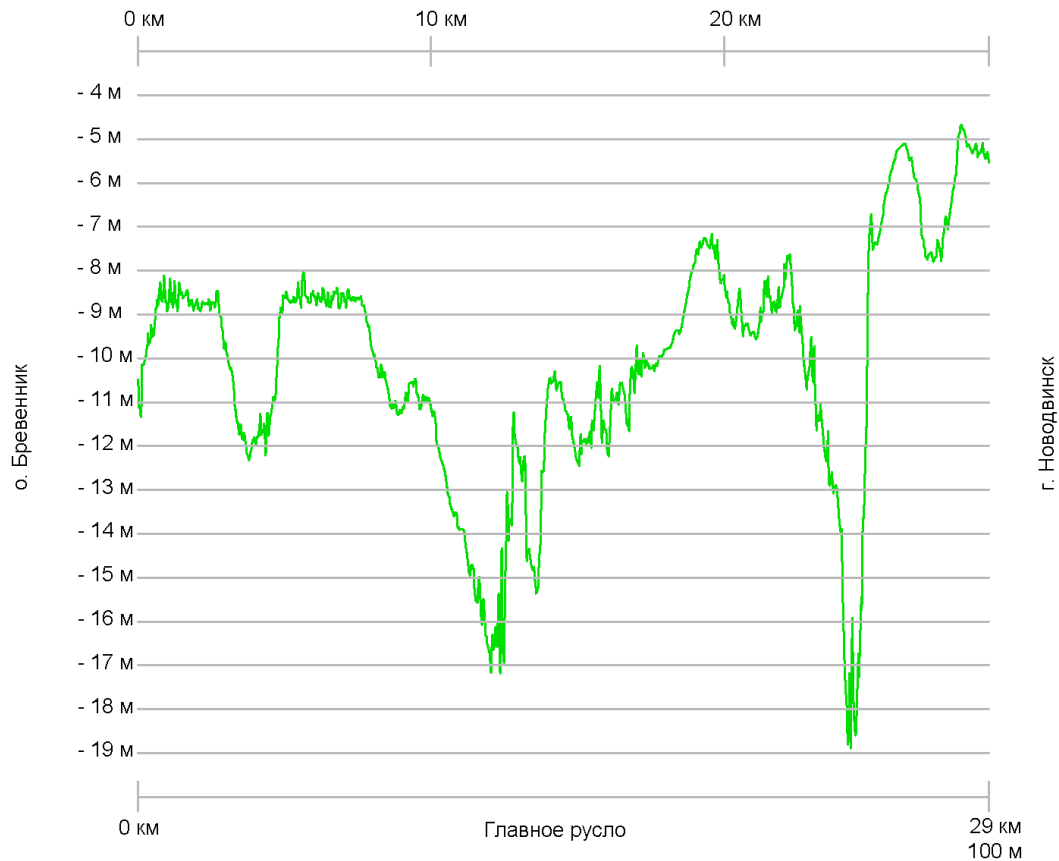


Рисунок 5. Продольный профиль главного русла по судоходному фарватеру устьевой области реки Северная Двина по материалам съемок рельефа дна ФГУП «Росморпорт» (2010 – 2020 гг.)

Вершина дельты Северной Двины находится у Архангельска. Слева дельта ограничена Никольским рукавом и примыкающей к нему системой мелких протоков, справа – верхней частью Корабельного рукава, а затем протокой Кузнечиха, низовой частью Маймаксы и Корабельным устьем. Морской край дельты проходит по цепи низменных островов Ягры, Гремиха, Кумбыш, Голец, Лебедин. Район морской аккумуляции составляет около трети территории дельты. В его состав входит 8-10-километровая полоса вдоль морского края дельты и острова. Для внутридельтовой зоны характерен процесс заболачивания, выступающий как основной

рельефообразующий фактор. Минеральная основа островов повсеместно погребена под мощным торфяным покровом толщиной 2-5 м и более. Болота в основном верховые, в прибрежных районах переходные. Район речной аккумуляции занимает западную половину дельты. Для района речной аккумуляции характерно преобладание островов, сложенных речным аллювием под влиянием речного стока и пойменного процесса. Острова песчаные и илесто-песчаные, не заболоченные, преимущественно луговые, с кустарниковыми зарослями (Римский-Корсаков и др., 2017).

Основу гидрографической сети дельты составляют три рукава: Никольский, Мурманский, Корабельный. Основные рукава расходятся от вершины дельты и впадают в море. Наиболее широким из рукавов является Никольский. По нему Северная Двина сбрасывает в море более трети годового стока и немногим менее половины стока взвешенных наносов. Длина Никольского рукава по фарватеру 40 км. Ширина варьирует от 1,5-2 км до 5-6 км. Фарватер слабо извилист, крутые повороты отсутствуют. Глубины от 2-3 до 15 м (Рисунок 6) (Римский-Корсаков и др., 2017).



Рисунок 6. Продольный профиль Никольского рукава области реки Северная Двина по материалам съемок рельефа дна ФГУП «Росморпорт» (2010 – 2020 гг.)

Мурманский рукав занимает осевое положение в дельте и делит её площадь на две почти равные части. Начинается он ответвлением от Корабельного рукава у южной оконечности о. Никольского, в 10 км северо-западнее Архангельска. Длина рукава 30 км, ширина колеблется от 1-2 до 5-7 км. В настоящий момент судоходство по Мурманскому рукаву не осуществляется (Об утверждении обязательных постановлений..., 2014). Глубина на фарватере в Мурманском рукаве изменяется от 2 до 12 м и по мере приближения к морю в общем возрастает (Рисунок 7).



Рисунок 7. Продольный профиль Мурманского рукава устьевой области реки Северная Двина по материалам съемок рельефа дна ФГУП «Росморпорт» (2010 – 2020 гг.)

Корабельный рукав начинается у г. Архангельска и на всём протяжении (35 км) следует прямо на север. Справа, в 2 км ниже его истока, ответвляется проток Кузнечиха, а ещё через 6 км проток Маймакса, который присоединяется к Корабельному рукаву перед началом его предустьевого расширения. Кузнечевская протока впадает в Маймаксанскую в 10 км от ее устья. Верхний участок (длиной 11 км) судоходен и обладает высокой водностью, с ответвлением протоков водность резко снижается. Глубины на верхнем участке изменяются в пределах 5-11 м (Рисунок 8). Нижний участок Корабельного рукава длиной около 6 км, представляет собой обширное мелководье, большая часть которого занята илисто-песчаными или песчаными мелями. Глубины между ними при наименьшей малой воде не превышают 1-1,5 м.



Рисунок 8. Продольный профиль Корабельного рукава устьевой области реки Северная Двина по материалам съемок рельефа дна ФГУП «Росморпорт» (2010 – 2020 гг.)

В дельте Северной Двины насчитывается свыше 150 протоков, большинство из них несудоходны и имеют незначительную длину. Ниже описаны протоки, имеющие наибольшее хозяйственное значение и являвшиеся одними из главных объектов исследования.

Маймаксанская протока (Маймакса) ответвляется в средней части Корабельного рукава на 8 км от его истока. Длина протока 23 км. У порта Экономия (на 13 км от истока) Маймакса принимает крупнейший из протоков дельты – Кузнечиху. На 4 км от истока с правого берега в Маймаксу впадает проток Соломбалка, берущий начало из верхней части Корабельного рукава (второй исток - из Кузнечихи). Ширина русла 200-300 м, местами до 180 м. Ниже впадения Кузнечихи преобладающая ширина возрастает в два раза (500-600 м). Русло на всём протяжении глубокое, неразветвленное. Глубины на фарватере повсеместно свыше 7,6-8 м, местами достигают 10-13 м (Рисунок 9). Маймакса – важнейшее звено в системе воднотранспортных путей Архангельского порта.

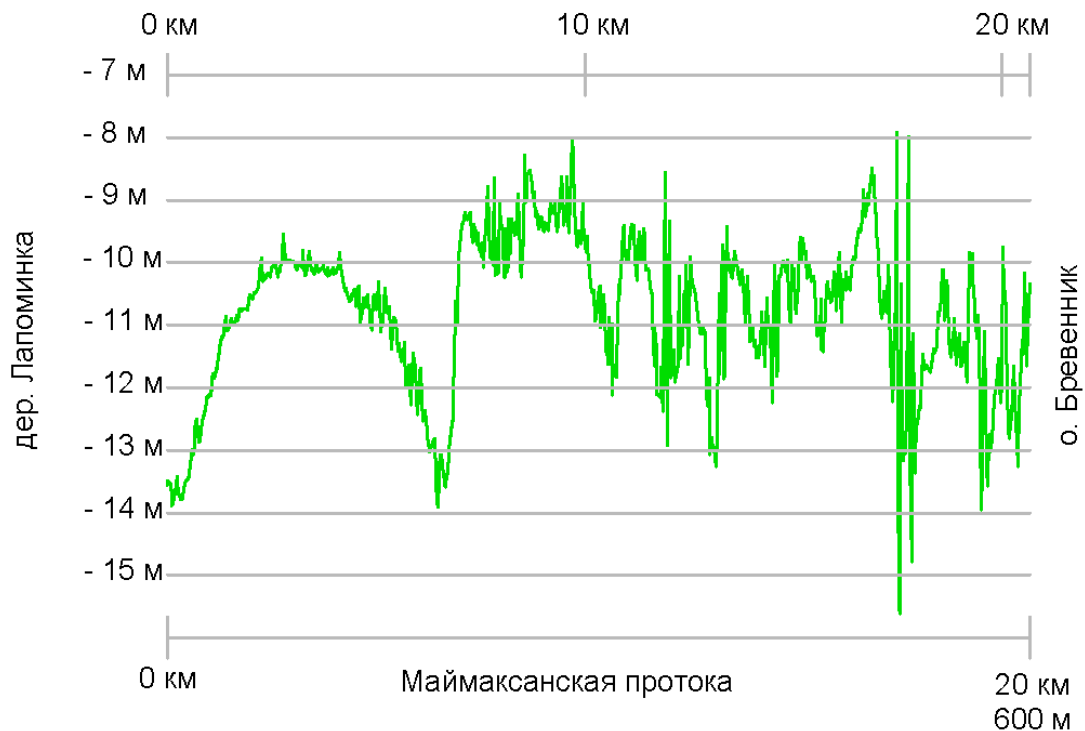


Рисунок 9. Продольный профиль судогодного фарватера Маймаксанской протоки устьевой области реки Северная Двина по материалам съемок рельефа дна ФГУП «Росморпорт» (2010 – 2020 гг.)

Кузнечевская протока (Кузнечиха) – второй по величине и значимости проток дельты. Начинается у Архангельска ответвлением от Корабельного рукава; в начале следует в северо-восточном, после принятия р. Лодьмы – в северо-западном направлении и впадает в Маймаксу справа на 13 км от истока. С правого берега в Кузнечиху впадает несколько малых рек – Юрас, Лодьма, Ижма и др. С левого берега около истока от Кузнечихи ответвляется Соломбалка. Русло

Кузнечихи умеренно извилистое, слабо разветвленное. Длина Кузнечихи 25 км, ширина 300-500 м, местами уменьшается до 200 м, наибольшая – около 800 м (в 4 км от истока). Глубоководная часть Кузнечевской протоки располагается от порта Экономия до акватории ООО «РН-Морской терминал Архангельск», глубины составляют 10-12 метров, мелководная часть – от акватории ООО «РН-Морской терминал Архангельск» до о. Мосеев и главного русла с глубинами 3-5 м (Рисунок 10).



Рисунок 10. Продольный профиль судходного фарватера Маймаксанской протоки устьевого участка реки Северная Двина по материалам съемок рельефа дна ФГУП «Росморпорт» (2010 – 2020 гг.)

Устьевое взморье – это мелководная часть (Рисунок 11) Двинского залива Белого моря, представленная речными наносами, в ней наиболее сильно проявляются процессы взаимодействия речных и морских вод.

По характеру рельефа дна, глубинам и другим геоморфологическим признакам в нем выделяют на следующие зоны: бар, переходная зона от бара до свала глубин, свал глубин (Михайлов, 1997). Бар занимает примерно 50 % площади взморья (Справочно-аналитический обзор..., 2022). Основные формы рельефа – придельтовые острова, подводные косы, бороздины, ямы и т.п. Вторая зона – относительно ровное отмелое пространство с небольшими уклонами дна (около 30 % площади). Свал глубин располагается между изобатами 6-8 м. Зона наибольших уклонов дна, составляет около 10 % площади взморья (Гидрология устьевого участка..., 1965).

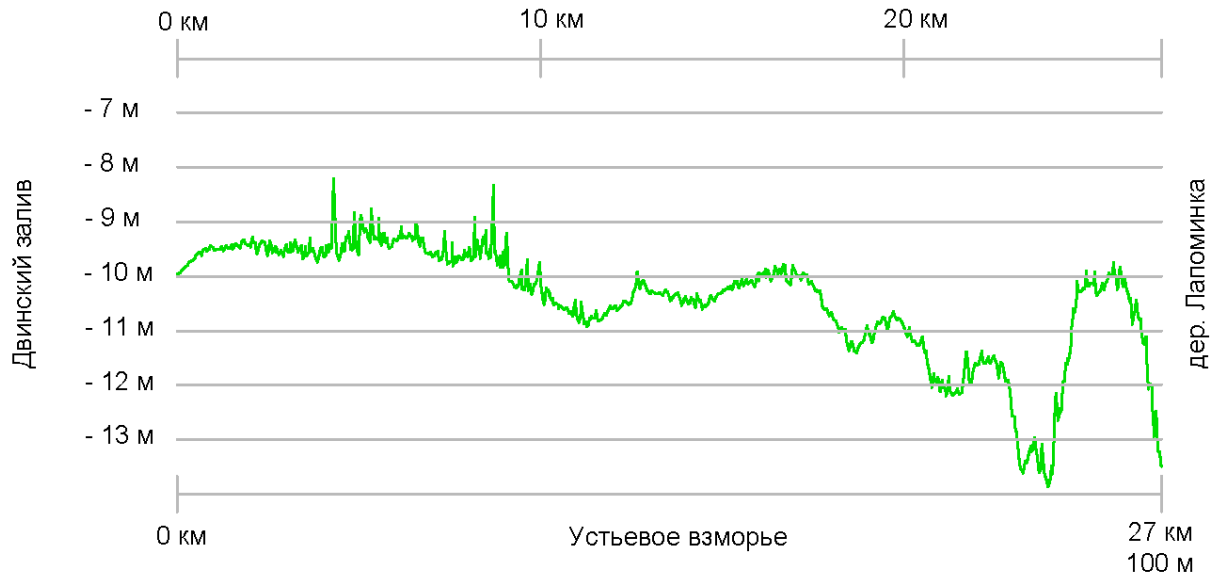


Рисунок 11. Продольный профиль судоходного фарватера устьевое взморья устьевой области реки Северная Двина по материалам съемок рельефа дна ФГУП «Росморпорт» (2010 – 2020 гг.)

К северу от Корабельного устья располагается губа Сухое море – мелководная лагуна, отделенная от Двинского залива островом Мудьюгский и узкой Никольской косой. Длина острова Мудьюгский 15,7 км, ширина в центральной части 3,5 км. Остров сложен песчаными морскими наносами, покрыт сосновым лесом и кустарниками.

1.4 Гидрологический режим

1.4.1 Речной сток

Северная Двина – река с выраженным весенним половодьем и преобладающим снеговым питанием. Сток в вершине устьевой области измеряют с 1925 г. на гидрологическом створе Усть-Пинега (135 км от Двинского залива). Средняя величина стока воды здесь составляет 105 км³/год. На участке от Усть-Пинеги до вершины дельты с боковым притоком добавляется еще около 3% этой величины (Михайлов, 1997) и в Белое море поступает уже 108 км³/год (Лебедева,

2016). Распределение речного стока в устье в течение года весьма неоднородно. Как и для большинства рек Европейской территории России, на водосборе Северной Двины весеннее половодье (апрель-июнь) является наиболее важной фазой водного режима – в этот период формируется более 55 % стока. Самый многоводный месяц – май (33.3% стока). Сток в остальные месяцы года невелик: за период июль-ноябрь на каждый месяц приходится не более, чем по 6-8% годового стока. Самые маловодные месяцы зимние месяцы (февраль и март (1.9 и 1.8 % стока соответственно)), когда питание реки становится практически полностью грунтовым, а ряд малых рек могут полностью перемерзнуть (Фролова и др., 2015; Справочно-аналитический обзор..., 2022).

Максимальные расходы воды наблюдаются в период весеннего половодья (конец апреля – начале мая). Средний максимальный расход реки у Усть-Пинеги – 20800 м³/с, наибольший 36200 м³/с. Минимальные расходы воды отмечается в периоды летней и зимней межени. Летом средний минимальный расход составляет 1410 м³/с; зимой средний минимальный расход равен 699 м³/с (Ресурсы поверхностных вод..., 1972; Справочно-аналитический обзор..., 2022). В осенний период часто проходят дождевые паводки, поэтому водность реки в этот период, как правило, больше, чем в летний и зимний периоды (Ivanov et al, 2006). Данные о расходе воды на створе Усть-Пинега представлены на Рисунке 12 (Добровольский, 2011).

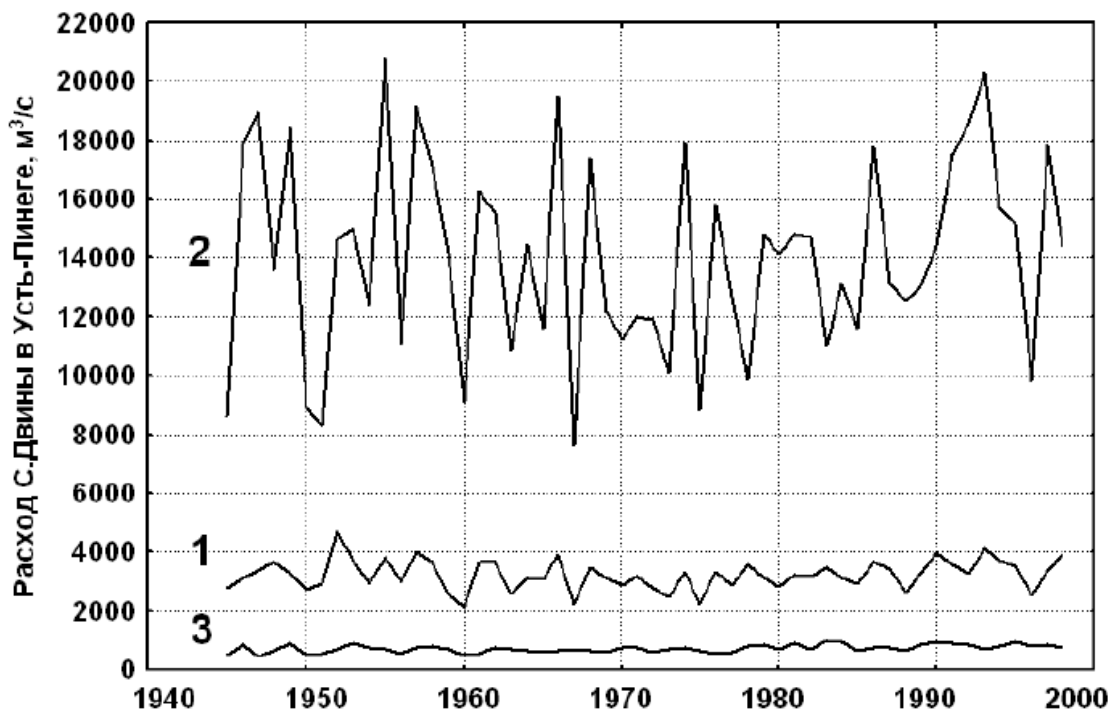


Рисунок 12. Изменения годового (1), максимального (2), минимального (3) расхода воды (м³/с) реки Северная Двина на створе Усть-Пинега, из источника: (Добровольский, 2011).

В дельте сток воды распределяется следующим образом: 35,9–39,3 % стока проходит через Никольский рукав, 23,5–26,6 % – через Корабельный рукав, 13,5–16,6 % – через Маймаксу и 7,6–3,4 % – через Кузнечиху (Устьевые экосистемы крупных..., 2015). По данным Полонского В.Ф., распределение стока в устье реки Северная Двина (Полонский, 1986) представлено на Рисунке 13. Наиболее водоносными являются Никольский, Мурманский, Корабельный рукава и Маймаксанская протока. В Двинский залив основная часть стока вливается через Корабельное устье (45.3%). Современное представление о распределении расходов по рукавам дельты Северной Двины представлено на Рисунке 14 (Справочно-аналитический обзор..., 2022).

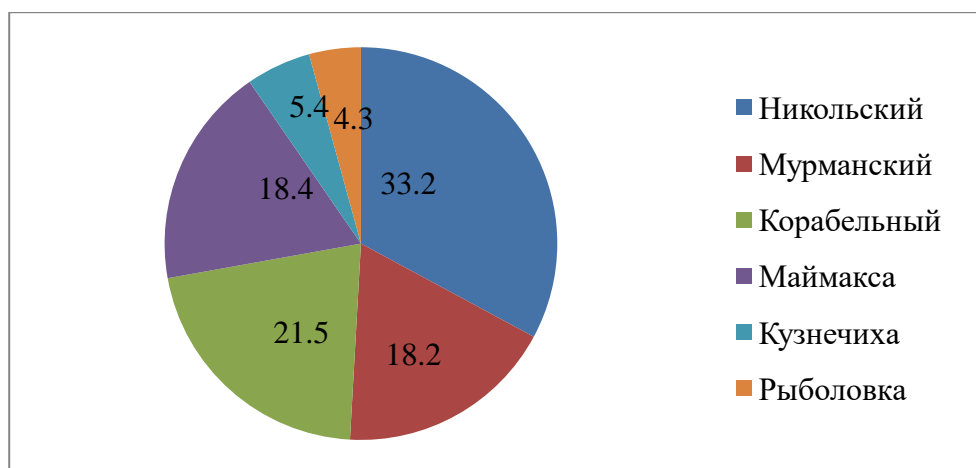


Рисунок 13. Среднее распределение стока воды по основным водотокам в вершине дельты Северной Двины, (%)

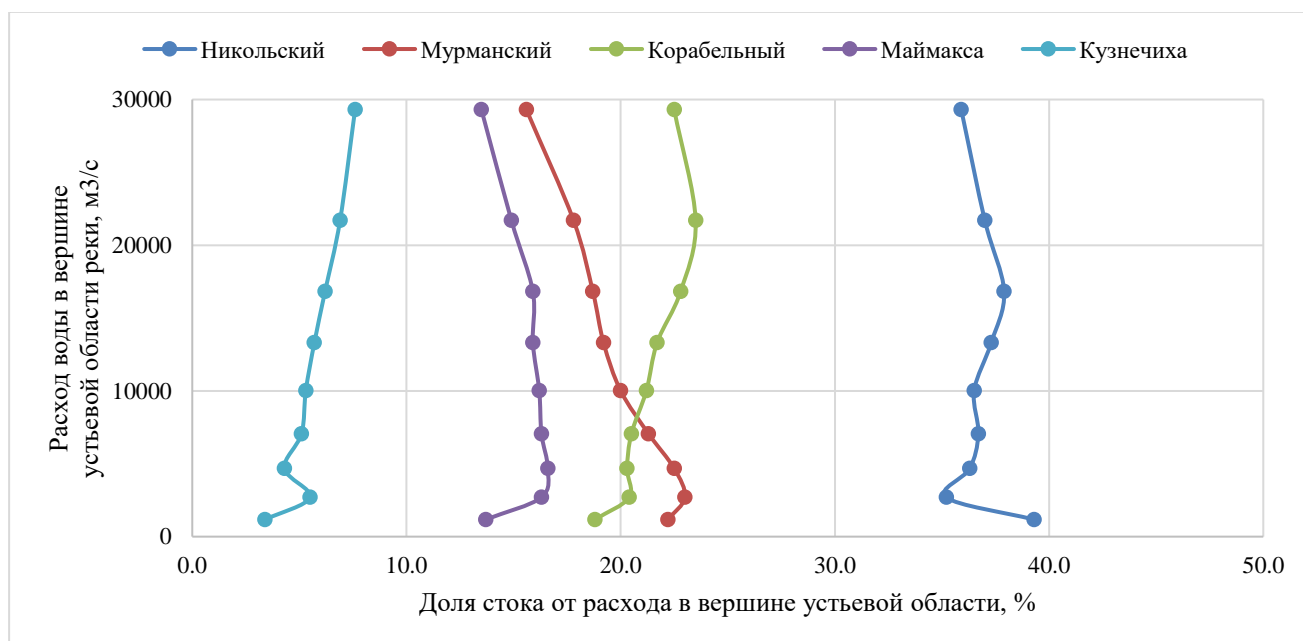


Рисунок 14. Распределение расходов воды по рукавам дельты Северной Двины (по данным из (Справочно-аналитический обзор..., 2022).

1.4.2 Течения в исследуемой части устьевой области реки Северная Двина

Режим течений в устьевой области реки Северная Двина подвержен прямому влиянию приливов, характеризуется большой сложностью, существенным различием в разных частях устьевой области и значительной изменчивостью. Это объясняется многообразием и изменчивостью основных факторов, определяющих режим течений со стороны реки (сток) и стороны моря (приливы, нагоны и сгоны).

В вершине дельты и основных рукавах приливо-отливной характер течений выражен сильнее, чем на приустьевом участке реки. Эти течения имеют большую продолжительность и более отчетливо выраженную зависимость от астрономических факторов. Если район приустьевого участка устьевой области больше подвержен влиянию реки, что выражается в существенном преобладании стоковой составляющей в суммарных течениях, то в вершине дельты и основных рукавах сильнее заметно влияние моря, выражающееся в преобладании приливо-отливной составляющей (исключая периоды весеннего половодья и дождевых паводков) (Полонский, 2013; Alabyan, 2018).

Приливные течения имеют полусуточный характер. Роль суточной составляющей невелика и с ней приходится считаться лишь при ледяном покрове (Гидрология устьевой области..., 1965). В зимний период течения в вершине дельты имеют ярко выраженный приливо-отливной характер. Продолжительность отливных течений находится в пределах от шести до девяти часов, а приливных – от двух до шести часов. В суммарном течении основную роль играет приливо-отливная составляющая скорости течения, изменяющаяся с одной стороны, под влиянием астрономических условий, а с другой стороны, влиянием ледяного покрова (Лещев, 2017; Римский-Корсаков и др., 2017; Лебедева, 2020).

На устьевом взморье скорости течений уменьшаются по мере удаления от устьевого створа к свалу глубин. Наибольшие величины скорости течения до 3 м/с в половодье и до 1.5–1.8 м/с в межень наблюдаются в сужениях русла на устьевых створах главных дельтовых рукавов. Векторы течения здесь ориентированы вдоль осей баровых ложбин и каналов. В баровой зоне приливные течения имеют четко выраженный реверсивный характер. За гребнем бара реверсивные течения постепенно переходят во вращательные, при этом скорости приливных течений уменьшаются до 0.2–0.3 м/с.

Весенний период характеризуется максимальными в году скоростями суммарных течений. При повышенном стоке реки стоковая составляющая становится больше приливо-отливной, что приводит к появлению односторонних течений, направленных в сторону моря. Переход

к односторонним течениям происходит при расходе $10000 \text{ м}^3/\text{с}$ в створе гидрологического поста Усть-Пинега (Лебедева, 2020). Максимальные скорости наблюдаются обычно спустя три-пять дней после прохождения пика половодья и в вершине дельты достигают 3.5 м/сек (Гидрология устьевой области..., 1965). В этот период приливно-отливный характер течений нарушается и во время приливно-отливного цикла наблюдается лишь пульсация скоростей.

При переходе от половодья к летней межени граница зоны обратных течений постепенно распространяется на рукава дельты. При речном расходе $50000 \text{ м}^3/\text{с}$ эта граница смещается вверх по течению на 30 км от морского края дельты, а при расходах $2500 \text{ м}^3/\text{с}$ вся зона от морского края до вершины дельты полностью находится в зоне обратных течений.

В период летней межени при речных расходах $1000\text{--}1500 \text{ м}^3/\text{с}$ обратные течения наблюдаются в $90\text{--}100 \text{ км}$ от морского края дельты. При сильных сгонах для дельты характерны только прямые, стоковые течения, протяженность участка с обратными течениями резко сокращается. При нагонах, наоборот, зона обратных течений имеет максимальную длину, достигающую 120 км от морского края дельты. В период летней межени течения также имеют ярко выраженный реверсивный характер. Максимальная величина приливной составляющей равна 0.7 м/с . Значение стоковой составляющей колеблется в диапазоне от 0.1 до 0.4 м/с . Максимальные скорости суммарных течений достигают $1.1\text{--}1.3 \text{ м/с}$. Осенний период характерен увеличением стоковой составляющей до 0.6 м/с , что способствует сокращению зоны обратных течений в устье реки (Римский-Корсаков и др., 2017).

Зимой при малых величинах стоковой составляющей скорости в канале явно преобладают отливные течения над приливными по скорости и по продолжительности действия. Это явление становится наиболее заметным при максимальном развитии припая. В этом случае массы воды, поступающие при приливе, не могут возвращаться тем же путем, т. е. по отмелям бара, так как при низких уровнях отлива лед ложится на грунт. Массы воды при отливе поступают через судоходный канал. Средние величины максимальных скоростей приливо-отливных течений в канале колеблется в пределах $90\text{--}110 \text{ см/сек}$. Следует добавить, что увеличение отливных течений в канале зимой способствует увеличению градиентных течений в нижних горизонтах.

В период весеннего половодья сильно возрастает роль стоковой составляющей скорости течения, которая в поверхностных горизонтах достигает $70\text{--}80 \text{ см/сек}$. При расходах воды более $15\,000 \text{ м}^3/\text{с}$ на поверхности устанавливается одностороннее течение. За приливно-отливный цикл лишь колеблется модуль скорости и изменяется направление течения в пределах $10^\circ\text{--}30^\circ$.

Продолжительность односторонних течений на фарватере у южной оконечности о. Мудьюгский достигает 10 дней. В то же время в нижних горизонтах сохраняется приливно-

отливный характер течений, причем приливные скорости значительно больше отливных. Последнее указывает на компенсационный характер остаточного течения в придонных горизонтах (Атлас течений..., 1962). Важную роль в этот период играют и ветра, создающие сгон или нагон. При сгонных ветрах вследствие падения уровня на баровом участке еще более увеличиваются стоковые составляющие скорости течения в канале. Это приводит к дополнительному увеличению скоростей отливных течений в канале в поверхностных горизонтах и к усилению компенсационного течения в придонных горизонтах, благодаря чему сильно возрастают приливные скорости у дна. При нагонных ветрах и подъеме уровня наблюдается торможение поверхностных слоев, начинается компенсация у дна, приводящая к уменьшению скоростей течения при приливе в нижних горизонтах.

В летнюю межень основную роль играют приливо-отливные течения. Изменения скоростей определяются астрономическими условиями и ветром. При сизигийных приливах максимальные скорости приливо-отливных течений в канале 130-150 см/сек, а в квадратуры – около 120 см/сек. Стоковые составляющие скорости течения обусловлены величиной стока и высотой уровня на взморье. Диапазон изменения стоковой составляющей скорости при средних летних расходах воды примерно $1500 \text{ м}^3/\text{сек}$ находится в пределах 10 – 25 см/сек. Одной из особенностей течений на устьевом взморье является то, что они способствуют проникновению всех донных речных наносов в судоходной морской канал (Гидрология устьевой области..., 1965; Римский-Корсаков и др., 2017).

Стоковые течения прослеживаются до свала глубин. Транспортируемые ими воды за свалом глубин подхватываются результирующим потоком вод, направленным на взморье с запада на восток. Этот хорошо выраженный перенос вод в вершине Двинского залива питает постоянное течение вдоль восточного (Зимнего) берега Белого моря. Оно выносит из устьевой зоны смешения смешанные речные и морские воды и транспортирует их в южную часть Горла Белого моря (Лещев, 2017; Римский-Корсаков и др., 2017).

1.4.3 Уровни

Колебания уровней в районе дноуглубительных работ обусловлены приливо-отливными явлениями, стоком реки Северная Двина, сгонно-нагонными явлениями, а также изменением атмосферного давления.

При повышении атмосферного давления уровень моря понижается и, наоборот, при понижении давления уровень повышается. При резких изменениях давления колебания уровня могут достигать 0,3 – 0,5 м (Технический отчет об инженерно-гидрометеорологических..., 2013).

Наличие приливов в районе Архангельска обусловило выбор условного горизонта для приведения к нему отметок глубин. За такой горизонт принят «Нуль глубин» 1881 года. Уровень «0» 1881 года — это самый низкий уровень отлива, наблюдавшийся в 1881 году на водомерном посту р. Северная Двина у Буяновой пристани г. Архангельска. Отметка «0» 1881г. в Балтийской системе высот 1977 года имеет отметку минус 1,083 м (–1,083 м).

Колебания уровня воды в нижней части устьевой области р. Северная Двина имеют четко выраженный годовой ход, в котором выделяются 2 максимума и 2 минимума.

Первый максимум наблюдается в период весеннего половодья (конец апреля - май) и обусловлен значительным увеличением речного стока, а также дополнительными подпорными повышениями уровня при заторах льда и нагонных явлениях.

В случае образования ледяных заторов подъем уровня может достичь больших значений. Так максимальный уровень весеннего половодья на ГМС Соломбала наблюдался 11.05.1881г. и был равен 446 см в Балтийской системе высот 1977 г. (Далее – БСВ-77) (554 см «0» 1881г.); на ГМС Мудьюг максимальный уровень весеннего половодья был равен 163 см БСВ-77 (271 см «0» 1881г.); на уровне поста Экономия максимальный уровень весеннего половодья составляет 261 см БСВ-77 (369 см «0» 1881г.) и наблюдался такой уровень 18.05.1929 г. В настоящее время ежегодно проводятся мероприятия по предотвращению заторов путем разрушения ледоколами ледяного покрова до вскрытия, что позволяет снижать подъем уровня весной.

Второй наблюдается в осенние месяцы: сентябре-октябре вследствие повышения стока от осенних дождей и нагонных подъемов уровня.

Зимний минимум чаще всего наблюдается в феврале-марте, а летний - в августе-начале сентября. Понижение уровня обуславливается уменьшением стока и сгонными ветрами. Зимние минимальные уровни воды обычно бывают ниже летних.

В Двинском заливе, как и в других частях Белого море приливы имеют правильный полусуточный характер, однако могут существенно меняться на мелководье устьевого взморья Северной Двины.

Значительный приток речной воды является причиной превышение времени роста уровня воды над временем падения почти на 1 час. Иногда плавный ход подъема уровня воды при приливах нарушается и наступает либо замедление подъема, либо временная остановка уровня на одной высоте, а иногда и падение его на короткое время, после чего подъем уровня снова продолжается с прежней скоростью до момента полной воды (Гидрология устьевой области..., 1965; Alabyan, 2018). Это явление, получившее название «маниха», длится 1–2 часа и иногда сопровождается не только приостановкой подъема, но еще и небольшим спадом уровня воды (на 5–10 см). Происхождение манихи связывают с особенностями конфигурации Двинского залива. Наиболее четко она выражена в западной части взморья, в рукавах Никольском, Мурманском и в вершине дельты. Выраженность манихи изменяется во времени. Фазовое полумесячное неравенство приливов составляет около 40 % (средняя разница в амплитуде между сизигией и квадратурой). В меньшей степени выражено суточное неравенство приливов – 8–10 % (Лебедева, 2016).

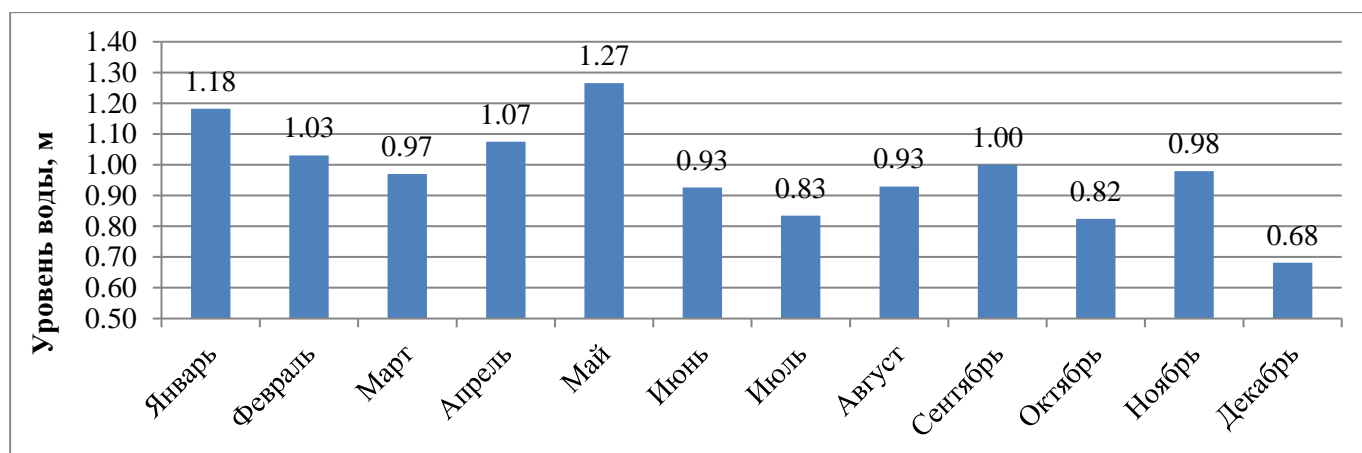


Рисунок 15. Среднемесячные уровни воды (над нулем порта Архангельск) в течение 2020 года в районе порта Экономия

На Рисунке 15 представлены среднемесячные уровни воды в течение 2020 года на уровне поста, установленном Архангельским филиалом ФГУП «Росморпорт» в районе порта Экономия. Максимальное среднемесячное значение уровня воды в 2020 году в районе порта Экономия зарегистрировано в мае, а минимальное в декабре.

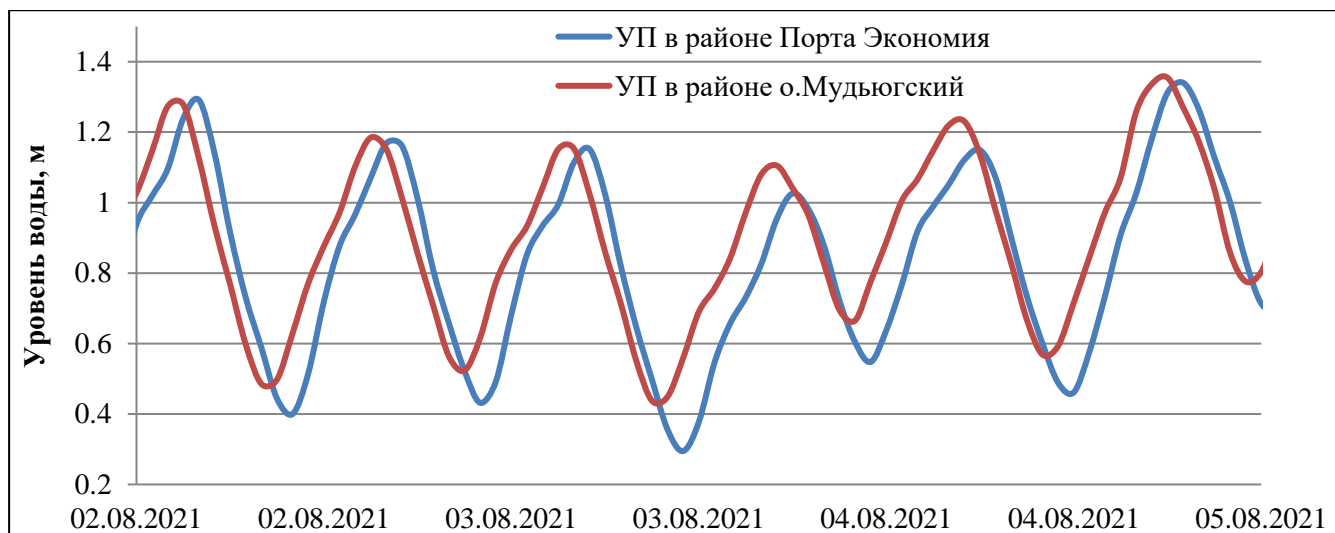


Рисунок 16. Значения среднечасовых уровней воды (над нулем порта Архангельск) с 02.08.2021 – 05.08.21 в районе порта Экономия и о. Мудьюгский

На Рисунке 16 представлены данные среднечасовых уровнях воды на уровне постах, установленных Архангельским филиалом ФГУП «Росморпорт», в районе порта Экономия и в районе о. Мудьюгский. На рассматриваемом промежутке времени наблюдается смещение полных и малых вод уровня на 1-2 часа, то есть приливо-отливные колебания уровня наступают раньше в районе о. Мудьюгский раньше Экономии в среднем на 1.5 часа. Среднее наблюдаемое значение в районе о. Мудьюгский составляет 0.92 м, а в порту Экономия 0.86 м.

Ветровые нагоны обычно наблюдаются при сильных и продолжительных ветрах северного и северо-западного направлений, а сгоны – при ветрах южных направлений. Нагонные повышения уровня воды связаны с прохождением над Баренцевым морем циклонов, при которых ветры (С и СЗ) нагоняют воду из Баренцева моря в Белое. Ветровые нагоны начинают сказываться при ветрах силой от 3-4 баллов и выше и продолжительностью их в среднем 5-6 часов и больше. Максимальная величина нагонной составляющей 16 ноября 1957 года достигала 165 см у острова Мудьюгский, 172 см у порта Экономия и 188 см у ГМС Соломбала (Магрицкий, 2016; Кораблина и др., 2016).

Продолжительность сгонов в среднем равна около 100 часов, среднее максимальное падение уровня воды у острова Мудьюгский равно 90 см, у порта Экономия 83 см, у ГМС Соломбала 80 см. Наименьший наблюдаемый уровень воды при сгоне: у острова Мудьюгский (за период с 1942 по 1965 г.) зарегистрирован 17.02.1956 года и был равен минус 163 см (– 163 см); на ГМС Соломбала (за период с 1901 по 1962 г.) зарегистрирован 9.12.1929 года и был равен минус 142 см (– 142 см).

Режим уровней на устьевом взморье Северная Двина в районе гидрометеорологической станции Мудьюг характеризуется большой изменчивостью во времени и в пространстве на

основе многолетних наблюдений. Большая амплитуда колебаний уровней воды объясняется сезонным и межгодовым изменением стока. Большое влияние на уровень оказывает водообмен с Баренцевым морем, а также материковый сток. Водообмен взморья с Двинским заливом осуществляется через проливы севернее и южнее острова Мудьюгский. Большое влияние на уровень воды данной области оказывают атмосферные осадки. Зимой, по многолетним данным повторяемость циклонической погоды наблюдается в 77%. Повышения уровней воды на участке взморья Северной Двины связаны с нагонными явлениями. Так же большое влияние на уровень оказывает атмосферное давление и скорость, и направление ветра (Катышева, 2020).

Наибольшие колебания уровня воды в вершине дельты объясняется высокими уровнями, которые наблюдаются в период весеннего половодья. Повышение уровня происходит вследствие увеличения стока в р.Северная Двина и подпором взломанного льда.

1.4.4 Сток наносов

Формирование потока твёрдых (сыпучих минеральных) частиц, переносимых рекой, обусловлено процессами выветривания, денудации, и эрозии изверженных и осадочных горных пород, и прикрывающих их почв. Сток наносов является один из главных руслообразующих факторов в устьях рек и отложением наносов в прибрежных морских зонах (Шамов, 1959). Речные наносы – сыпучие минеральные частицы, переносимые потоком и образующие современные отложения. Сыпучесть речных наносов является характерным отличием их от ранее образующихся осадочных отложений, находящихся в какой-то степени в цементированном состоянии. Наносы представляют собой результирующий итог протекания разнообразных физических и географо-гидрологических процессов на водосборах, в долинах, руслах рек и примыкающих водоемах. Общие закономерности их формирования и перемещения сложны и недостаточно изучены вследствие вероятностного характера соотношений между гидродинамическими и географическими факторами, влияющими на поступление, перераспределение, транспорт и переотложение наносов в пределах различных водных объектов за малые или большие интервалы времени (Алексеевский, 1998).

Сток наносов реки Северная Двина является одним из источников твердого вещества, попадающего в Белое море, по многим оценкам составляет в среднем 4.4 млн. т /год (Гидрология устьевой области..., 1965; Михайлов, 1997; Справочно-аналитический обзор..., 2022).

Годовая масса стока наносов, транспортируемого р. Северной Двиной во взвешенном состоянии, колеблется от 1,5 до 6,4 млн. тонн.

Сток наносов в устьевой области имеют ярко выраженный сезонный характер. В весенние месяцы (май-июнь) масса взвешенных наносов, транспортируемых р. Северной Двиной, составляет около 90 % годовой массы, а сток влекомых наносов приближается к 100% (Рисунок 17). Это указывает на активность русловых процессов весной, в остальное время года деформации под действием стока наносов ложа реки и Двинского залива невелики (Гидрология устьевой области..., 1965; Биооптические характеристики морей..., 2018; Коченкова и др., 2018).

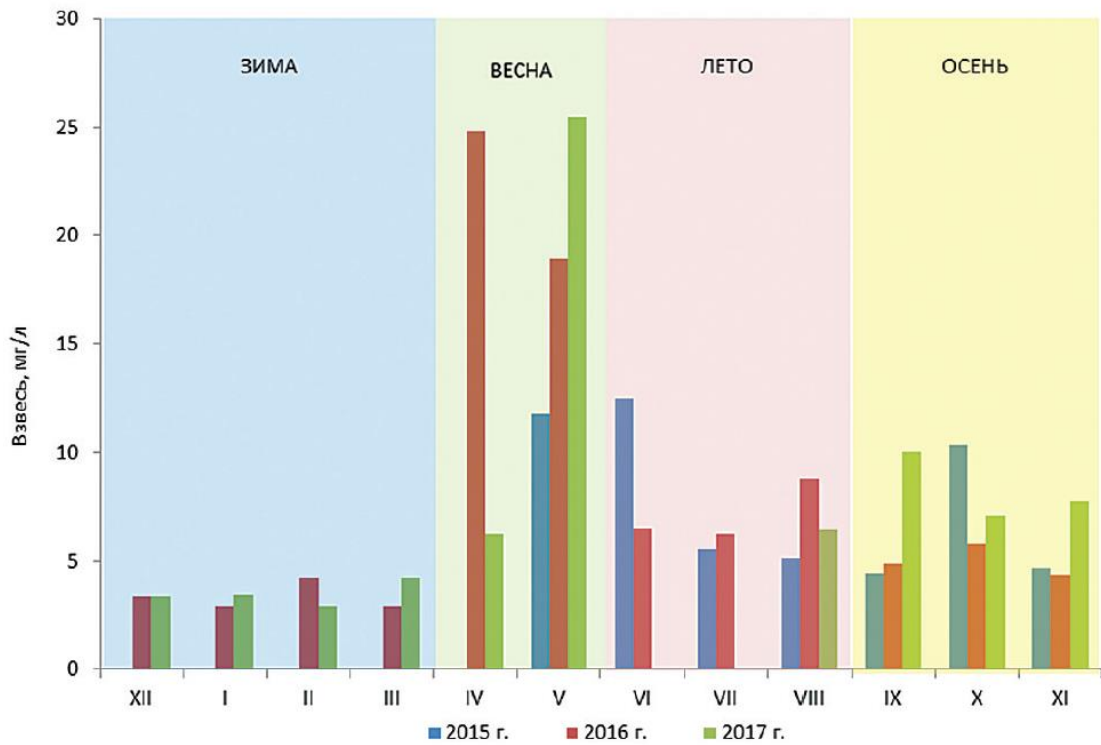


Рисунок 17. Концентрация взвеси (мг/л) в речной воде на станциях Яхт-клуб (в центре г. Архангельск) и вблизи порта Экономия с 2015 по 2017 гг. (даны средние значения для 2-х станций) (По данным Коченковой, 2018)

Концентрация взвеси в устьевых областях меняется, как известно, в зависимости от гидрологической ситуации. Основной сток взвешенных наносов в Белое море приходится на половодье (Рисунок 18), превышая меженный в 1,5–2 и более раз. Сток становится минимальным в марте, когда истощаются запасы подземных вод (Кравчишина и др., 2010).

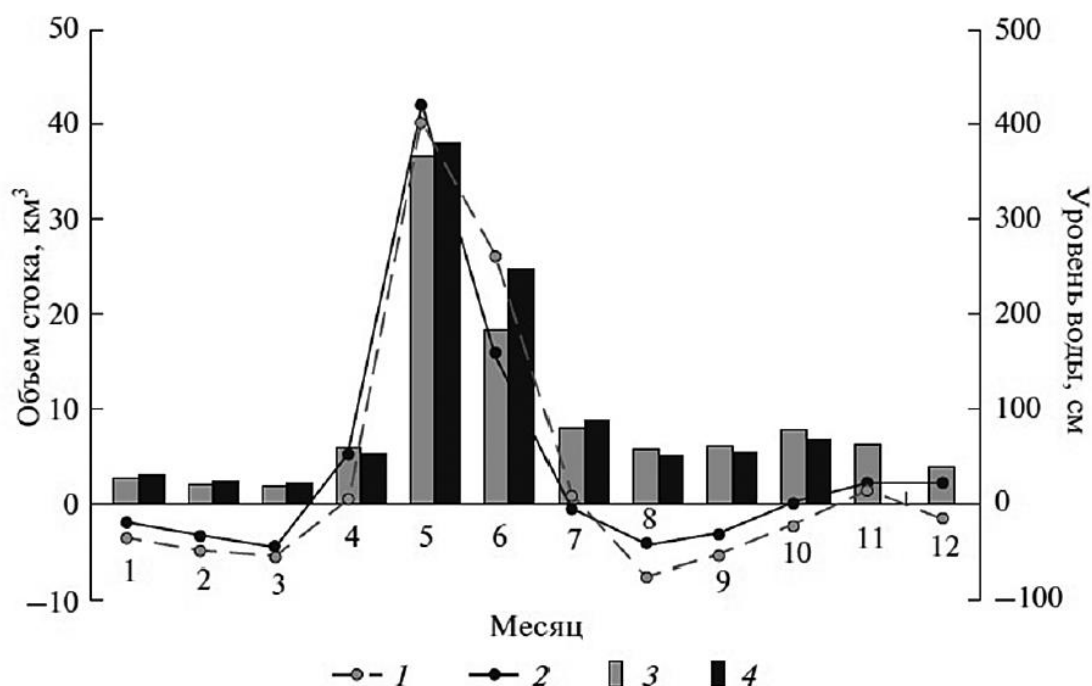


Рисунок 18. Внутригодовое распределение уровней и стока воды в устьевой области р. Северной Двины: 1 – уровень у пос. Усть-Пинега, среднемноголетние данные, 2 – уровень у пос. Усть-Пинега, 2004 г., 3 – объем стока у пос. Усть-Пинега, 1881–1980 гг., 4 – объем стока у пос. Усть-Пинега, 2004 г. (по данным Кравчишиной и др., 2010)

Особенностью осадконакопления переносимых рекой наносов в устьевых областях рек является наличие зон смешения речных и морских вод. Там под действием явления маргинального фильтра происходит естественное самоочищение вод (под влиянием процессов коагуляции и флокуляции) (Лисицин, 1994). Вклад речной взвеси в формирование донных отложений в Двинском заливе изменяется от 35-40% зимой до 96% в половодный период, в среднем за год 57% верхнего слоя осадка сформированы за счет речного аллювия. (Гидрология устьевой области..., 1965; Бердников и др., 2004; Шевченко и др., 2010; Мискевич и др., 2021).

Максимальная мутность отмечается в периоды: весеннего половодья и осенних паводков. Максимальная мутность весной достигает 142 г/м^3 (29 мая 1952 г.), а во время дождевых паводков $10\text{-}20 \text{ г/м}^3$. В летнюю межень мутность $10\text{-}15 \text{ г/м}^3$, зимой $2\text{-}5 \text{ г/м}^3$ (Справочно-аналитический обзор..., 2022). Во время штормовых явлений мутность в районе мелководного бара в Двинском заливе может достигать значений в несколько раз больше – 300 мг/дм^3 , а во время производства дноуглубительных работ до 70 мг/дм^3 (Лещев, 2018).

1.5 Гранулометрический состав донных грунтов

Гранулометрический состав донных отложений является одним из основных параметров, характеризующий типы наносных грунтов, что дает возможность судить о механизме процесса седиментации и динамике водной среды акватории (Шевченко, 2010; Алексеевский, 1998; Le Roux, 2002). Знание особенностей распределения гранулометрического состава донного грунта эксплуатируемой акватории необходимо в том числе с практической точки зрения: эффективного проведения дноуглубительных работ, добычи полезных ископаемых, изучения особенностей аккумуляирования поллютантов в донном грунте, гидротехническом строительстве (Иглин и др. 2020). Геоэкологическое состояние донных грунтов различных акваторий традиционно используются в качестве индикатора интенсивности и масштабов техногенного загрязнения (Förstner, 1983; Moor, 1984).

Материалами для изучения гранулометрического состава послужили данные отбора проб донных отложений (Рисунок 19), полученные в рамках проведения производственного экологического контроля за дноуглубительными работами в морском порту Архангельск Архангельским филиалом ФГУП «Росморпорт» (Иглин и др., 2019). Методы определения гранулометрического состава соответствуют ГОСТ 12536-79 «Грунты. Методы лабораторного определения (гранулометрического) состава».

На основании данных Таблицы 9 можно сделать вывод о типах наносных грунтов некоторых заносимых акваторий. Так, например, в Мудьюгском канале донные отложения представлены мелкими и пылеватыми песками. Акватория Мудьюгского канала находится в зоне смешения речных и морских вод, поэтому для этой области присуще явление маргинального фильтра (Лисицин, 1994). В этой зоне происходит активное осадконакопление взвешенных частиц и растворенных веществ речной воды за счет процессов флокуляции (образования рыхлых хлопьевидных агрегатов (флокул) из мелких частиц дисперсной фазы, находящихся во взвешенном состоянии в жидкой или газовой среде) и коагуляции (Kranck, 1981; Свальнов и др., 2005).

Донные отложения в районе Соломбальского канала представлены в основном крупным песком с небольшой примесью гальки, что говорит о наличии донных наносов, хотя в 2014 г. наблюдалась большая концентрация тонкодисперсных частиц, это может быть связано со смещением точки отбора пробы из-за течения реки.

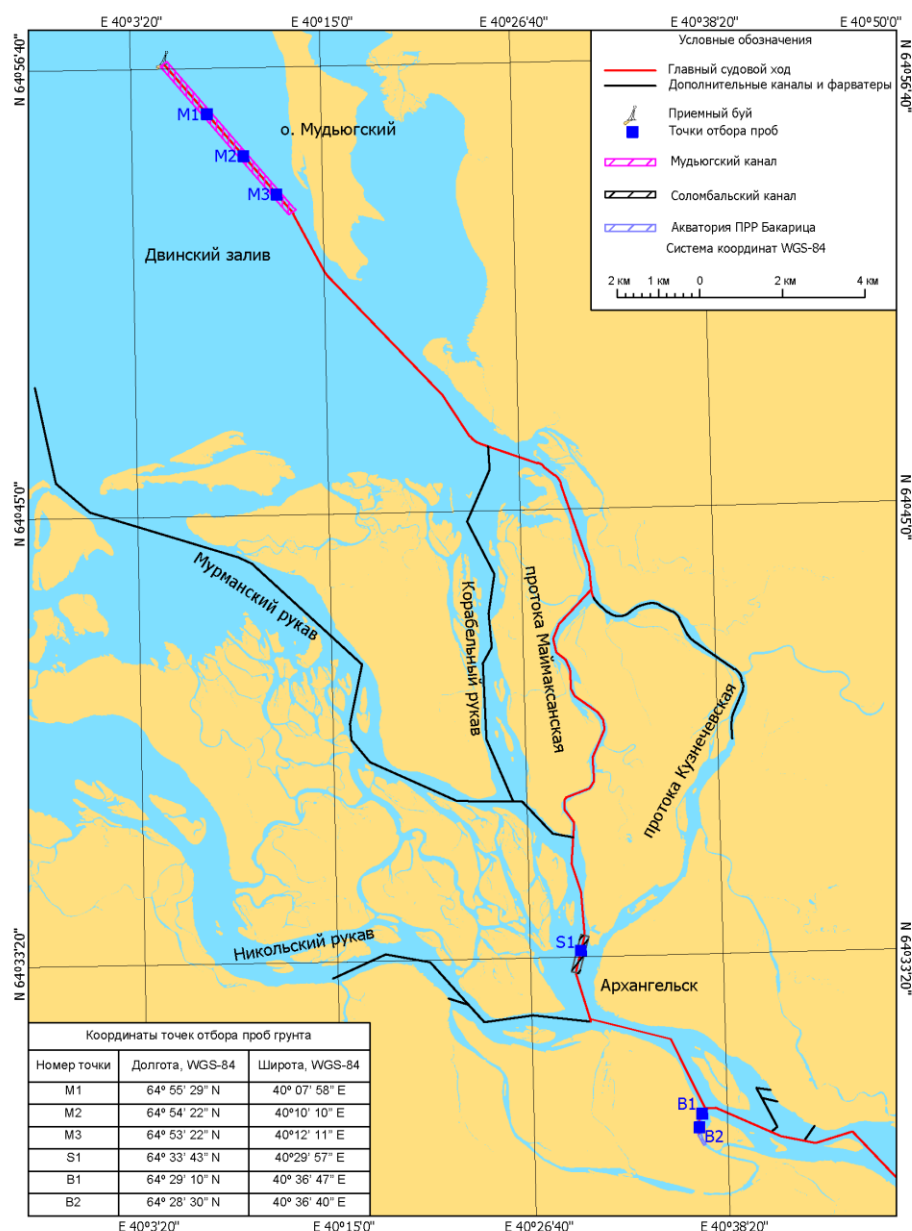


Рисунок 19. Карта-схема отбора проб донного грунта в морском порту Архангельск в рамках обеспечения производственного экологического контроля дноуглубительных работ

Донные отложения ПРР Бакарица состоят по большей части из мелкого и пылеватого песка, что может говорить о возможных процессах лавинной седиментации взвешенного вещества в данном районе (Лисицин, 1988).

В работе (Лукиянов, 2011) авторы пришли к выводу, что в устьевой области происходит сортировка грунта, переносимого водным потоком под влиянием сильных стоковых течений. Перераспределение донных отложений вдоль речного русла происходит по их крупности. Крупнозернистые осадки располагаются выше по течению. С удалением от вершины дельты в пробах донных отложений увеличивается содержание алевритовых и пелитовых фракций и уменьшается содержание крупнозернистых осадков. В пробах, отобранных в зоне устьевого взморья,

наблюдается повышенное содержание тонкодисперсных фракций: пыль и пылеватый песок. На гранулометрический состав влияют особенности морфологии русла и сезонные гидрологические явления (расположение точек отбора проб на мысах в районах разделения рукавов и в вершине дельты, действие ледохода).

Таблица 9. Гранулометрический состав донного грунта в пробах, отобранных в рамках обеспечения производственного экологического контроля дноуглубительных работ

Район	Точка	Дата	Размер частиц, мм								
			5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001
Мудьюгский канал	M1	2011	-	0,1	4,5	74,4	16	1	1	2,8	0,2
		2013	-	-	0,5	1	24	17	20,2	37,2	0,1
		2014	-	-	1	3,4	89	4,9	0,8	0,5	0,6
		2016	-	-	-	2	23,9	1,2	34,7	16,3	21,9
	M2	2011	-	-	0,5	3	26	27,5	33,8	9	0,2
		2013	-	0,1	1,5	4	61,9	16,5	9,8	6,2	-
		2014	-	-	-	2	75,1	17,1	4,4	0,3	1,2
		2016	-	-	-	1,5	31,2	9,8	27,4	12,4	17,6
	M3	2011	-	-	0,5	2	28	19,5	26,4	13,2	0,4
		2013	-	0,5	0,5	17,4	75,6	6	-	-	-
		2014	-	-	-	0,5	22,5	42,6	29,5	2,3	2,6
		2016	-	-	-	1,3	24,7	13,4	41,1	2,5	17
Соломбальский канал	S1	2011	0,4	5	36,4	54,4	3,8	-	-	-	-
		2013	0,6	2,1	69,6	27,7	-	-	-	-	-
		2014	-	-	9,8	40,6	14	34,7	0,7	0,1	0,2
		2016	3,5	13,0	32,7	30,8	2,1	17	-	-	-
		2017	0,6	1,7	17,8	65	14,4	0,3	0,2	-	-
ПРР Бакарица	B1	2013	-	-	2	18,7	78,3	1	-	-	-
	B2	2017	-	-	-	4,9	7,5	13,6	51,7	10,7	11,6

В статье (Климовский, 2020) отмечается, что протока Кузнечиха, имеет характерную особенность, выраженную в большом содержании в донных отложениях древесных остатков и ракушечника. Грунты в районе о. Кегостров относятся к пескам средней и крупной фракции. На устьевом взморье, процентное содержание, как пылевых фракций, так и песка, оказалось значительным, что связано с расположением станций в зоне морской границы смешения речных и морских вод.

Описанные выше исследования дают представление о закономерности распределения гранулометрического состава донных грунтов в устьевой области реки Северная Двина. В дельте преобладает средний и крупный песок, что может быть связано с вымыванием мелкого грунта в процессе торошения льда в весенний период или же вследствие деградации береговой черты с последующим осаждением берегового грунта (например, со стороны городского пляжа, который долгий период времени с середины XX века каждый год отсыпался заново (Иглин и др., 2019)). Зона устьевого взморья – зона аккумуляции выносимого рекой твердого вещества, район смешения морских и речных вод (район маргинального фильтра реки), здесь преобладают тонкодисперсные фракции грунта.

1.6 Экологическая ситуация в устьевой области реки Северная Двина

В устьевой области Северной Двины расположены 3 крупных промышленных города (Архангельск, Северодвинск, Новодвинск) и многочисленные малые населённые пункты, морской и речной порты, которые оказывают существенное влияние на состояние окружающей среды района исследования (Рисунок 20). В связи с этим, акватория устьевой области является популярным и актуальным объектом экологических исследований по оценке антропогенного влияния и состоянию природной среды (Котова и др., 2020; Овсепян, 2011; Кляцкая и др., 2008; Личутина и др., 2008; Новоселов, 2018; Коробов, 2021; Неверова и др., 2016; Нецветаева, 2017; Имант и др., 2020).

Рассмотрим основные факторы, влияющие на экологическую ситуацию.

Сброс сточных вод. По данным многолетних наблюдений этот фактор можно считать наиболее важным. Несмотря на наличие очистных сооружений, не все сбрасываемые воды проходят через них. Опасность такого сброса заключается в непосредственном попадании загрязнителей в речные воды и локализации их на определённых участках.

Выбросы промышленных предприятий, предприятий ЖКХ и частного сектора в атмосферу. Из атмосферы загрязняющие вещества осаждаются на водную поверхность и площадь водосбора. Существенно ускоряют попадание загрязнителей в воду осадки вследствие вымывания их из атмосферы (Котова и др., 2020).



Рисунок 20. Крупные населённые пункты в районе устьевой области реки Северной Двины

Смыв загрязнителей с почв при таянии снега. Не менее полугода территория водосбора Северной Двины покрыта снегом – мощным накопителем загрязняющих веществ. При таянии снега они частью впитываются в почвы и грунты, частью растворяются в воде и с ней попадают в реку.

Гидродинамика вод. Устьевая область Северной Двины подвержена сильным полусуточным приливным и нагонным течениям. Скорости течений, особенно при нагонах и сгонах, могут достигать 2–3 м/с, а уровень воды повышается на несколько метров. Такая динамика вод приводит к распространению загрязнения на большие расстояния, как из реки в море, так и из моря в реку. При этом течения способствуют разбавлению загрязнителей, снижая их концентрацию (Котова и др., 2020).

Дальний перенос загрязнённых веществ воздушными массами. Загрязнения по воздуху могут переноситься на большие расстояния от источников мощных выбросов. Оседая на земную поверхность, они попадают в воды устьевой области как непосредственно, так и после таяния снега и льда.

Судоходство. Гребные винты морских судов (Рисунок 21) взмучивают донные осадки, что приводит к повышению концентрации взвешенных веществ на судоходном канале (Лещёв, 2018), и вторичному загрязнению речных и морских вод.



Рисунок 21. Суда в судоходном канале Архангельского морского порта. Фото А.Е. Яковлева.

Основными источниками загрязнения атмосферы являются предприятия целлюлозно-бумажной промышленности, теплоэнергетики, автомобильный, речной и железнодорожный транспорт. Крупные предприятия расположены в северной части Архангельска (Архангельская ТЭЦ ГУ ОАО «ТГК-2» по Архангельской области), Новодвинска (АО «Архангельский ЦБК») (Рисунок. 22). Основной вклад в загрязнение атмосферы г. Северодвинска вносят выбросы таких стационарных источников как Северодвинская ТЭЦ-1 и Северодвинская ТЭЦ-2ГУ ОАО «ТГК-2» по Архангельской области. Наибольшее количество специфических веществ выбрасывается на АО «ПО «Севмаш» и АО «ЦС «Звездочка». В атмосферу города Архангельска, в отличие от Новодвинска и Северодвинска значимая часть загрязняющих веществ поступает также с выбросами автотранспорта (Рисунок. 23). Вклад его в суммарные выбросы здесь более 50%. В последнее время количество выбросов загрязняющих веществ от промышленных источников на рассматриваемой территории снизилось. Сокращение выбросов связано с переходом Северодвинской ТЭЦ-2 и Архангельской ТЭЦ ГУ ОАО «ТГК-2» по Архангельской области на использование в качестве основного вида топлива природного газа, также с остановкой в апреле 2013 года производства ОАО «Соломбальский ЦБК». Кроме того, закрылись такие предприятия как ОАО «Северное лесопромышленное товарищество лесозавод № 3» и ОАО «Лесозавод № 2».



Рисунок 22. Загрязнение атмосферы предприятиями г. Новодвинск. Фото В.П. Шевченко.

По данным наблюдений Северного УГМС (Обзор загрязнения, 2008–2017 гг.) уровень загрязнения атмосферы в г. Архангельск до 2014 года чаще всего оценивался как высокий, города Новодвинска и Северодвинска – как повышенный или высокий. С 2014 года уровень загрязнения атмосферы в г. Архангельск стал оцениваться как повышенный, в г. Новодвинск и в г. Северодвинск – как низкий. Следует обратить внимание, что снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха с 2014 г. связано, прежде всего, с изменением санитарно-гигиенических нормативов концентраций формальдегида и не имеет отношения к реальному изменению уровня загрязнения воздуха этим загрязняющим веществом (Обзор загрязнения, 2008–2017 гг.).

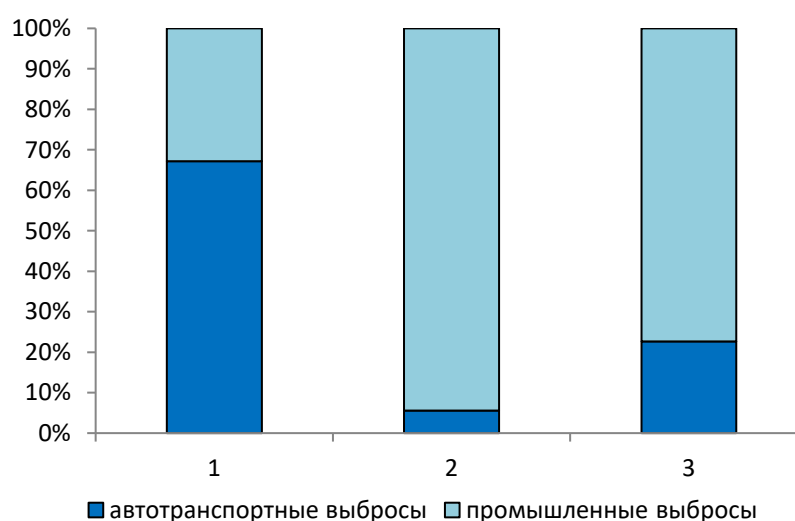


Рисунок 23. Структура выбросов в городах: 1 – Архангельск, 2 – Новодвинск, 3 – Северодвинск (Обзор загрязнения, 2008–2017 гг.)

Уровень загрязнения городов в большинстве своем определяется повышенными концентрациями в воздухе формальдегида и бенз(а)пирена, в отдельные годы – оксидами и диоксидами азота. Практически ежегодно наблюдается превышения максимально разовой ПДК для бенз(а)пирена, взвешенных веществ, оксида углерода, а также оксида и диоксида азота, формальдегида (за исключением последних 2-х лет). Высокое содержание оксидов азота в атмосферном воздухе г. Архангельск отмечается в феврале-апреле, когда средние за месяц значения превышают предельно допустимые. Следует отметить, что это месяцы с минимальным в годовом ходе количеством осадков и высоким содержанием в осадках форм азота (Котова, 2012; Котова и др., 2020).

В загрязнении атмосферного воздуха устьевой области Северной Двины помимо местных источников значимую роль играет дальний атмосферный перенос (Котова, 2014; Виноградова, 2018). Влияние Мурманской области проявляется в отношении никеля и меди, где эти элементы в большом количестве поступают в атмосферу в результате деятельности медно-никелевых комбинатов в городах Мончегорск и Никель (Виноградова и др., 2017). Для севера Европейской территории России характерно более высокое содержание свинца и кадмия в воздухе в зимний период по сравнению с летом, что связано с большим временем жизни тяжелых металлов в атмосфере в холодное время и, соответственно, с более эффективным переносом загрязнений из южных районов (Виноградова, 2018; Котова и др., 2020).

Отметим, что дальний перенос может быть весьма значительным, как это имело место в марте 2008 года (Шевченко и др., 2010), когда мощными потоками воздуха пыль была перенесена из южных регионов Европы на Север и покрыла площадь многие тысячи квадратных километров, вызвав настоящую панику у местного населения.

Формирование ионного состава снежного покрова на территории происходит под влиянием естественных и антропогенных факторов. Здесь происходит обогащение снежного покрова ионами натрия и хлора. Повышенные концентрации сульфат-ионов обусловлены влиянием моря, также значим вклад антропогенных источников (Котова и др., 2012). В снежном покрове исследуемого района, как и в атмосферных осадках, повсеместно наблюдаются случаи превышения предельно допустимой концентрации для аммоний-иона (Котова, 2014).

Рост содержания углеводов в атмосфере устьевой области Северной Двины и прибрежных районах Белого моря зимой (в отопительный сезон) приводит к их концентрированию в снеге и льдах (Немировская, 2013).

На рассматриваемой территории в среднем за год на подстилающую поверхность с осадками поступает 350–800 кг/км² азота, что превышает уровень критической нагрузки для лесных и водных экосистем (300 кг/км² в год) (Котова, 2012). В результате влияния приморских территории в районе о. Мудьюгский в вершине Двинского залива Белого моря за год с осадками в

среднем выпадает 4,55 т/км² хлорид-ионов, 2,39 т/км² ионов натрия, 4,68 т/км² сульфатов-ионов (Таблица 10). На остальной территории величина влажных выпадений хлорид-ионов составила 1,12–1,97 т/км², ионов натрия – 0,63–1,01 т/км², сульфатов-ионов – 1,60–3,28 т/км². При этом явно прослеживается тенденция снижения влажных выпадений данных веществ при удалении от береговой линии. Повышенные значения влажных выпадений сульфатов-ионов на станции Архангельск (3,28 т/км² в год) связаны с наложением на воздействие морских аэрозолей влияния промышленных выбросов (Котова и др., 2012).

Таблица 10. Средние значения влажных выпадений за 1991–2016 гг., т/км² в год

Станция	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Северодвинск	1,60	1,97	0,66	1,26	0,15	1,01	0,27	0,65	0,36
Брусовица	1,81	1,12	0,68	4,04	0,25	0,63	0,27	1,19	0,43
Архангельск	3,28	1,14	0,94	0,85	0,23	0,68	0,26	0,96	0,35
Мудьюг	4,68	4,55	1,05	3,42	1,00	2,39	0,26	1,05	0,85

В период 2007–2016 гг. характерными загрязняющими веществами р. Северная Двина, превышения установленных нормативов для которых регистрировались более чем в 50% отобранных проб, являлись трудноокисляемые органические вещества (по ХПК) и соединения металлов: железа, меди, цинка, марганца и алюминия. В некоторых пунктах контроля также фенолы и лигносульфонаты. По результатам государственного мониторинга содержание соединений металлов в воде реки варьирует в очень широком диапазоне: от значений, не превышающих предельно допустимое значение (ПДК) до 6,5 ПДК (Обзор загрязнения, 2008–2017 гг.). В тоже время максимальные концентрации могут достигать очень высоких значений. Например, максимальные концентрации соединений железа и марганца, зарегистрированные в воде рукава Никольский в районе с. Рикасиха в 2011 г. и 2014 г., превышали установленные нормативы почти в 30 раз. Наибольшее содержание соединений меди за рассматриваемый период было определено в 2014 г. в р. Северная Двина в районе ж.-д. моста, где превысило предельно допустимое значение в 15 раз. Наибольшее превышение установленного стандарта для соединений цинка (в 7 раз) определено в воде рукава Мурманский (с. Красное) в 2007 году. Повышенное содержание соединений металлов в воде р. Северная Двина обусловлено, в том числе, грунтовым и болотным питанием. Для большинства тяжелых металлов в речной воде наблюдается тенденция к увеличению содержания при продвижении к северо-восточной части дельты, где отмечается сосредоточение крупнейших предприятий-загрязнителей (Архангельская теплоэлектростанция, Соломбальский целлюлозно-бумажный комбинат и другие) и автотранспорта (Талажское шоссе) (Fedorov, 2011).

Среднее содержание трудноокисляемых органических веществ (по ХПК) за последние 10 лет определялось в пределах 1–3 ПДК, наибольшее превышение допустимой концентрации в 8 раз зарегистрировано в воде протоки Маймакса (1 км ниже пос. Экономия) в 2014 г. Среднегодовые концентрации легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅), форм азота, нефтепродуктов, метанола и формальдегида за период 2007–2016 гг. не превышали допустимых значений. Но все же повсеместно отмечались единичные случаи превышений установленных стандартов для всех показателей, за исключением азота нитратного. На фоне низкой водности в период зимней и летней межени в протоке Кузнечиха (4 км выше устья) и протоке Маймакса ежегодно наблюдаются случаи нагонных явлений, сопровождающиеся проникновением морских вод в дельту реки. В этот период значительно повышается минерализация воды. Кислородный режим описываемого участка реки в основном оценивается как удовлетворительный. Периодические снижения концентрации растворенного в воде кислорода обусловлены сложившимися гидрометеороусловиями и отмечаются главным образом в меженные периоды (февраль, март, август). По данным определения качества поверхностных вод согласно (РД 52.24.643-2002 Методические указания... 2002) в большинстве рассматриваемых пунктов наблюдений устьевой области р. Северная Двина вода оценивалась как «загрязненная» и «очень загрязненная» и относилась к 3-му классу качества, разрядам «а» и «б». Наиболее высокий уровень загрязненности в дельте реки характерен для протоков Маймакса и Кузнечиха, где класс качества возрастал до 4-го, разрядов «а» и «б» и вода оценивалась как «грязная». Как показывают результаты наблюдений, уровень загрязнения устьевого участка и дельты р. Северная Двина за последние 10 лет существенно не изменился. Наблюдаемые изменения качества воды, в основном, связаны с колебаниями концентраций металлов, обусловленными природными факторами (Шевченко и др., 2010; Котова, 2016; Gordeev et al., 2018).

Устьевая область Северной Двины длительное время подвергалась воздействию сбросов предприятий целлюлозно-бумажного производства (далее - ЦБП), в технологических циклах которых входила ртуть. Исследование распределения, миграции и трансформации ртути в различных компонентах природной среды устьевой области Северной Двины показали, что концентрации ртути в воде устьевой области и донных отложениях характеризуются значительной пространственной изменчивостью. Максимальные содержания валовой ртути в донных отложениях реки были определены в районе Архангельска, Новодвинска и импактного воздействия ЦБП. Увеличение содержания ртути в пробах наблюдается с ростом концентрации природного и антропогенного органического вещества, пелитового материала, метана и общего сероводорода (Федоров и др., 2007; Федоров и др., 2011). Миграционная активность ртути в природных условиях региона повышена, доминирующими формами нахождения являются органокомплексы ртути (Федоров и др., 2011). В донных осадках протоки Кузнечиха обнаружены также

хлорорганические соединения, попадающие сюда в результате смыва из почв лесозаводов, а также выбросов и сбросов от промышленно-хозяйственных объектов, расположенных в ее прибрежной зоне (Троянская и др., 2013).

Переотложение наносов течениями, особенно на судоходных каналах, заносимость которых в межсезонье может достигать более 60 см – Соломбальский и Бакарица, и более 200 см на Мудьюгском, могут привести к вторичному загрязнению акватории во время проведения дноуглубительных работ. К такому же результату могут привести и сильные шторма, способные вызвать переотложение сотен тысяч кубических метров грунта за один шторм.

Необходимо отметить, что аварийные ситуации на предприятиях не всегда приводят к сильному загрязнению речных вод. Так, 2 марта 2005 г. на тепловой электростанции Архангельского целлюлозно-бумажного комбината произошел прорыв дамбы золошлакоотвала. В результате некоторая часть загрязняющих веществ из тела дамбы была смыта в Северную Двину. Сразу после аварии были отобраны пробы воды, снега и льда в дельте Северной Двины и на устьевом взморье Белого моря. На основании выполненных анализов зафиксировано только локальное загрязнение речных и морских вод взвешенными веществами, обусловленное смывом твердых веществ, составляющих тело дамбы. Также было отмечено превышение некоторых других ингредиентов и показателей качества вод, однако не все из них могут быть однозначно квалифицированы как результат аварии (Шевченко, 2006).

Согласно результатам изучения распределение и состав углеводов (УВ) – алифатических (АУВ) и полициклических ароматических в поверхностных водах в растворенной и взвешенной формах и в донных осадках (Реджепова, 2016) в донных осадках рукавов дельты Северной Двины во время половодья, несмотря на довольно постоянный их литологический состав (преобладала песчано-алевритовая фракция), наблюдалась высокая дисперсность данных как для АУВ, так и $C_{орг}$. Обусловлено это множественностью источников поступления органических соединений (ОС). Для всего массива данных гранулометрический фактор при распределении ОС оказывает основное влияние, так как в целом наблюдалась зависимость между распределением изучаемых соединений и влажности осадков, $C_{орг}$ и АУВ: $r(C_{орг}-АУВ)=0,81$. Это может свидетельствовать как об одинаковых путях поступления природных и антропогенных соединений в донные осадки, так и о быстрой трансформации нефтяных УВ. При этом значительная их часть осаждается на геохимическом барьере, образующегося в зоне смешения речных и морских вод, который является природным фильтром, препятствующим проникновению в Белое море нефтяных, а также пирогенных углеводов (Немировская и др., 2007; Котова и др., 2020).

Речной сток является одним из основных источников поступления загрязняющих веществ в воды Белого моря. По данным наблюдений за загрязнением морских вод Двинского

залива Белого моря, проводимых ФГБУ «Северное УГМС» кислородный режим водного объекта удовлетворительный. В многолетней динамике наблюдается снижение среднегодового содержания форм азота в морских водах до уровня прошлых лет на фоне увеличения концентраций в 2013 г. В 2014 г. по сравнению с прошлыми годами также отмечено уменьшение содержания в морских водах фосфора фосфатного. В последние годы также отмечено уменьшение содержания нефтепродуктов в морских водах до уровня ниже предельно допустимых значений. В то время как в 2007–2009 гг. в единичных пробах содержание нефтепродуктов превышало предельно допустимую концентрацию в 1,6–3,8 раз. В отдельные годы в Двинском заливе отмечается незначительное превышения предельно допустимой концентрации для фосфора фосфатов.

Несмотря на более чем столетнюю историю исследования устьевой области Северной Двины, ряд процессов ещё далеко не изучены, что не даёт возможности оценить характер распространения и накопления загрязняющих веществ на её акватории.

Перераспределение стока через протоки дельты. До сих пор неизвестен даже приближённо объём вод, перетекающих по многочисленным протокам, образующимися островами дельты, из рукава в рукав, без чего невозможно точно оценить загрязнение вод, особенно при аварийных сбросах и разливах. Математические модели пока дают возможность решать только некоторые, пусть и достаточно важные, частные задачи, в том числе и прогнозирования распространения химических соединений (Лебедева, 2016; Лебедева и др., 2016; Мискевич, 2004; Shirokova et al., 2017).

Влияние стратификации атмосферы на состав аэрозолей. В экспедиционных исследованиях распространения аэрозолей над Белым морем, среди которых, как показано выше, могут быть многие загрязнители, установлен факт влияния на их распространение состояния нижних слоёв атмосферы (Полькин и др., 2006; Полькин и др., 2008). Краткосрочные последствия для экосистемы и здоровья населения ситуаций, особенно при аномальных инверсиях, ещё не изучены.

Пространственная и временная неоднородность загрязнения. Экспедиционные исследования (Шевченко и др., 2010; Киселёв и др., 2010; Cerco et al., 2010; Лещев и др., 2015; Лещев и др., 2017; Churakova et al., 2018) показали, что все химические ингредиенты, содержащиеся в воде и донных отложениях, обладают достаточно большой временной и особенно пространственной изменчивостью. В этом смысле можно выделить три зоны: «речная» - от Усть-Пинеги до дельты, дельта и устьевое взморье. Установление строго обоснованных различий в потоках вещества в этих трёх зонах – одна из самых востребованных задач. Сильно изменяется поток взвешенных веществ в период половодья (Gordeev et al., 2018; Кравчишина и др., 2010; Коченкова и др., 2018). Такая же проблема характерна для всех приливных устьевых областей

арктических морей, даже таких крупных как Обь, несмотря на то что в них границы между разными типами вод несколько другие (Gordeev et al., 2007; Артамонова и др., 2013).

Поведение экосистемы при аварийных ситуациях. Известно, что аварийные сбросы и выбросы на предприятиях и водном транспорте могут приводить к очень тяжёлым последствиям. И хотя это происходит не всегда (Шевченко и др., 2006), тем не менее, существует большая вероятность угрозы функционирования экосистемы и здоровью населению. С нашей точки зрения, наибольшую опасность представляет угроза нефтяного загрязнения от расположенной в устьевой области нефтебазы и её транспортировки танкерами, дедеветом более 20 000 т. Мировой опыт и результаты моделирования (Губайдуллин, 2012; Моделирование разливов нефти..., 2016) показывают, что зона поражения акватории и берегов может быть огромной, а ущерб исчисляться сотнями миллионов, а то и миллиардами долларов. Районирование акватории Белого моря относительно экологической угрозы, которую создают танкерные перевозки, показало, что устьевая часть Северной Двины и восточная часть Двинского залива являются одними из наиболее уязвимыми участками (Коробов, 2013) независимо от сезона (Ружникова, 2017).

Постоянно появляются выпускаемые промышленностью новые загрязняющие вещества, например, средства бытовой химии для мытья посуды, влияние которых на природную среду требует своего изучения. Но и существующие традиционные продукты жизнедеятельности, такие как сажа, требуют к себе постоянного внимания. Глобальные процессы распространения этих веществ и миграция их в природных средах ещё только по-настоящему начинается, хотя и приобрела международный размах (Evangelidou et al., 2018).

В целом можно констатировать, что, несмотря на загрязнённость некоторых участков акватории и донных отложений, ситуацию в её устьевой области нельзя назвать острой. Тем не менее, несмотря на многочисленные исследования и множество публикаций полная картина природных условий этого природного объекта ещё далеко неясная. Лучшему пониманию происходящего препятствует существующая система экологического мониторинга и ведомственная разобщённость. К объективным обстоятельствам следует отнести уровень моделирования такого рода объектов, не позволяющий получить адекватную картину происходящего, но это касается всех приливных устьев арктических рек и может быть преодолено совместными усилиями научного сообщества.

ГЛАВА 2. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Характеристика исходных материалов

В ходе проведения исследования автором использованы различные материалы, описывающие объемы заносимости, объемы дноуглубительных работ, свойствах донных грунтов, содержанием загрязняющих веществ в водах и грунтах, данные о гидродинамическом режиме, о морфологии рельефа дна устьевой области реки Северная Двина, различные картографические материалы, а также о состоянии биологических ресурсов в районе исследования.

Данные о рельефе дна устьевой области Северной Двины получены на основе архивных материалов, а также вновь выполненных гидрографических работ Архангельским филиалом ФГУП «Росморпорт». Гидрографические работы представляли собой в первую очередь съемки рельефа дна судоходных объектов, а также дополнительных рукавов и протоков. Съемки рельефа дна осуществлялись с борта гидрографического судна «Галс» и катера «Тайфон», оснащенных автоматизированным гидрографическим комплексом на базе многолучевого или однолучевого эхолота. Частота проведения работ не менее 1 раза в год, на объектах дноуглубления – каждые 2 недели в течение летнего навигационного периода. Гидрографические работы в зимний период не проводились.

Гранулометрический состав донных грунтов определялся в рамках производственного экологического контроля за проведением дноуглубительных работ. Отбор проб проходил на объектах дноуглубительных работ, а также на подводных отвалах донного грунта до и после проведения работ. Отбор проб поверхностных наносных грунтов выполнялся с помощью драги, изготовленной из нержавеющей стали. Методы определения гранулометрического состава соответствуют ГОСТ 12536-79 «Грунты. Методы лабораторного определения (гранулометрического) состава».

Отбор проб воды для определения содержания загрязняющих веществ производился пластмассовыми 5-ти литровыми батометрами типа «Hydrobios» с двух горизонтов: поверхностного и придонного. Растворённый кислород и БПК₅ определялись с помощью объёмного метода Винклера. Определение проводилось в лаборатории, не позднее 8 часов после фиксации. В результате последовательного добавления ряда реактивов в пробу воды, выделялся свободный йод, количество которого эквивалентно количеству растворённого в воде кислорода. Затем йод титровался тиосульфатом натрия. Титр раствора тиосульфата натрия устанавливался по

стандартному раствору иодата калия (ГОСТ 4202). По количеству прошедшего на титрование тиосульфата натрия, рассчитывалось содержание растворённого кислорода в пробе ($\text{мгО}_2/\text{дм}^3$). Диапазон измерений от $0,2 \text{ мг}/\text{дм}^3$ до состояния насыщения, ошибка определения не превышает 3,4%.

Под биохимическим потреблением кислорода в течение 5-ти суток - БПК₅ понимается количество кислорода ($\text{мгО}_2/\text{дм}^3$), потребляемое находящимися в воде микроорганизмами в процессе своей жизнедеятельности при биохимическом окислении органических соединений, в том числе загрязняющих веществ, содержащихся в воде при аэробных условиях. В среднем, при 20°C за 5 суток окисляется около 70% соединений. С горизонтов наблюдений отбирались и ставились на экспозицию 2 пробы. Итоговая величина принималась, как средняя по 2-м определениям. Проба воды (1,5 л) нагревалась до 20°C , затем в течение 1 минуты аэрировалась встряхиванием, разливалась, с помощью сифона, в кислородные (инкубационные) склянки. В первой склянке проба сразу фиксировалась, и затем в ней определялся растворённый кислород по описанному выше методу Винклера. Во второй склянке, выдержанной при стандартных условиях (температура $20 \pm 1^\circ\text{C}$, отсутствие доступа света и воздуха) после срока инкубации (5-ти суток) определялся растворённый кислород. Величина разности содержания растворённого кислорода в исходной (контрольной) пробе и в пробе после инкубации и будет величина БПК₅ (концентрация в пробе до $15 \text{ мг}/\text{дм}^3$). Точность соответствует методу определения кислорода, чувствительность метода составляет $0,02 \text{ мг}/\text{дм}^3$, ошибка определения 8-14%. Титрование при определении растворённого кислорода и БПК₅ проводилось с помощью механического поршневого устройства цифрового титратора Biotrate (производитель ВЮНИТ, Финляндия) на 30 мл, дозирующего из бутылки. Анализ воды на содержание биогенных элементов (нитраты, азот аммонийный, фосфор общий), тяжелых металлов, нефтепродуктов и анализ донных отложений на содержание тяжелых металлов, нефтепродуктов выполнялись ФГБУ Станция агрохимической службы «Архангельская».

Всего проанализировано 68 проб грунта и 136 проб воды по результатам ПЭК за 2011-2017 гг.

Данные о биомассе фито-, зоопланктона и бентоса, использованные в типизации, получены в ходе проведения инженерно-экологических изысканий в ходе проведения проектирования производства ремонтных дноуглубительных работ (Технический отчет об экологических..., 2013). Сведения о режимах и скоростях течений получены из отчета о инженерно-гидрометеорологических изысканиях в ходе проведения проектирования производства ремонтных дноуглубительных работ (Технический отчет об инженерно-гидрометеорологических..., 2013).

Автор принимал участие на всех этапах проведения гидрографических работ, начиная от монтажа гидрографического оборудования (эхолотов, спутниковых приемников и прочего),

проведения непосредственно съемок рельефа дна в качестве оператора гидрографического комплекса, проведения геодезических работ по определению планово-высотного обеспечения промеров и камеральной обработки. При получении результатов исследований диссертантом выполнялся их анализ, обработка, осмысление, интерпретация и обобщение.

2.2 Гидрографические работы

2.2.1 Съёмки рельефа дна

Гидрографические работы - комплекс мероприятий для обеспечения актуализации глубин водных объектов с целью поддержания безопасности мореплавания судоводных объектов, сопровождения гидротехнического строительства или часть инженерно-гидрометеорологических и гидрографических/геодезических изысканий для иных практических или научных целей.

Как правило, комплекс гидрографических работ по съёмке рельефа дна состоит из следующих мероприятий:

- Мобилизация персонала, оборудования и плавсредств;
- Монтаж гидрографического оборудования на судно (в том числе выполнения планово-высотной взаимной привязки оборудования в судовой система координат (съёмка оффсетов));
- Создание планово-высотной сети для съёмки рельефа дна (установка базовых станций, нивелирования уровенных постов);
- Промерные работы;
- Камеральные работы по обработке результатов промерных работ (подготовка цифровой модели рельефа, вычерчивание планшетов глубин);
- Расчет объемов заносимости, объемов дноуглубительных работ.

Принцип детальной съёмки рельефа дна (площадного обследования) заключается в покрытии необходимой площади акватории, путем проложения перекрывающихся полос съёмки (Рисунок 24). Промер – проложение линий съёмки через заданные расстояния, соответствующие масштабу съёмки. Очевидно, что наиболее полную картину характера рельефа дна

отражает детальная съемка. При ее применении обеспечивается 100% покрытие судоходной акватории.

В морском порту Архангельск не требуется проведение мобилизации персонала и флота, так как гидрографические работы, выполняемые в порту, осуществляет Архангельский филиал ФГУП «Росморпорт», который базируется в Архангельске. Монтаж оборудования производится ежегодно к началу летней навигации (конец апреля – начало мая). Обеспечение планово-высотной основы, производится путем ежегодного контроля установки базовых станций, спутникового нивелирования реперных точек в районе порта Экономия.

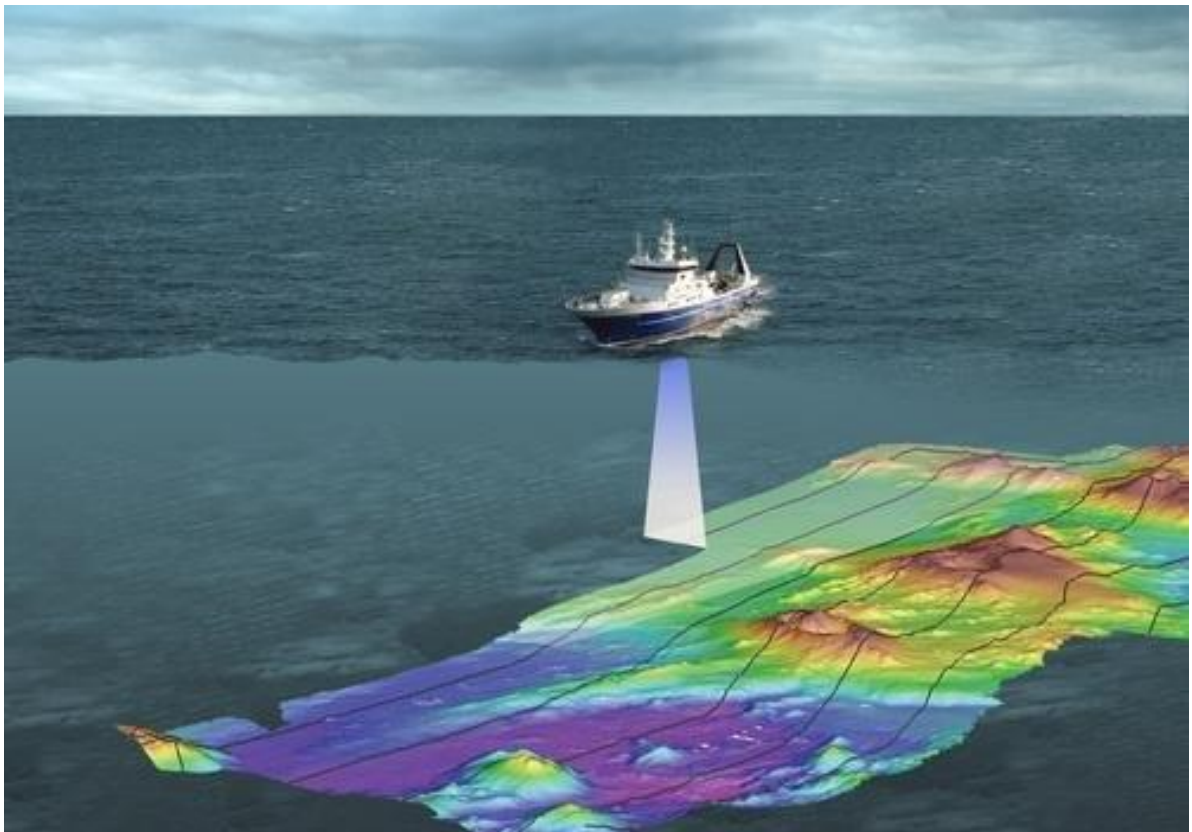


Рисунок 24. Схема производства детальной съемки рельефа дна.

Для производства гидрографических работ используются:

- Гидрографический катер «Галс»;
- Гидрографический катер «Тайфон» (рисунок 25).

Суда оборудованы автоматизированным гидрографическим комплексом, включающим в себя многолучевой и/или однолучевой эхолот. В ходе гидрографических работ используется оборудование, прошедшее необходимые поверочные и калибровочные испытания, в составе:

- многолучевой эхолот «Kongsberg EM 3002S»
- однолучевой эхолот «Odom Hydrotrac CV300»;
- спутниковые DGPS приемники – курсоуказатели «TrimbleSPS461H», «Septentrio

AsteRx-MU»;

- датчики динамических перемещений судна «Seatex MRU-5», «Ship Motion Control IMU-108-30»;
- измерители скорости звука в воде «Valeport miniSVS+P», «Valeport miniSVP»;
- нивелир «Sokkia C330», нивелирные рейки (используются для нивелировки постовых устройств уровненных постов);
- базовая станция на базе спутникового геодезического двухчастотного «Global Navigation Satellite System» (GNSS) приемника «Trimble R7» и УКВ модема «Pacific Crest ADL Vantage Pro».

В ходе гидрографических работ используется следующее программное обеспечение (далее - ПО):

- ПО «Нураск»;
- ПО «QINSy»;
- ПО «Terramodel».



Рисунок 25. Гидрографический катер «Тайфон».

Коррекция планового положения судна при выполнении съемки рельефа дна осуществляется с использованием технологии РТК (Real Time Kinematic). Для обеспечения высокой точности измерений и полного покрытия акватории в порту Архангельск предусмотрена установка

двух базовых станций: одна в районе о. Мудьюгский, другая на здании ФГБУ «Северное УГМС» в районе Амосовского канала (в районе разделения Корабельного рукава и Маймаксанской протоки).

Формат передаваемых дифференциальных поправок «RTCM 3.0», частота передатчика 435 МГц, дискретность трансляции 1 Гц. Для обеспечения передачи дифференциальных поправок, устанавливается контрольно-корректирующая (базовая) станция на базе спутникового геодезического двухчастотного «Global Navigation Satellite System» (GNSS) приемника «Trimble R7» и радиомодема «Pacific Crest ADL Vantage Pro».

Обработка выполняется с использованием точных эфемерид в формате SP3 на соответствующие даты, с помощью онлайн-сервиса AUSPOS, принадлежащего Национальной Геодезической Службе Австралии. Определение высотного положения ККС выполняется методом статических спутниковых наблюдений с использованием в процессе обработки модели геоида EIGEN-6с4, соответствие высотной отметки контрольно-корректирующей станции в системе высот БС-77 контролируется на ближайших пунктах триангуляции и высотных реперах с известными отметками из геометрического нивелирования.

При производстве гидрографических работ применялась система координат WGS-84 и прямоугольная проекция UTM зона 37 N. Высотная основа представлена Балтийской системой высот 1977 года, значения которой приводятся к нулю порта Архангельск (-1.083 м Балтийской системе высот). Для приведения съемочного обоснования в Балтийскую систему высот 1977 года используются пункты Государственной геодезической и нивелирной сети с отметками высот не ниже IV класса нивелирования, находящиеся в районе работ.

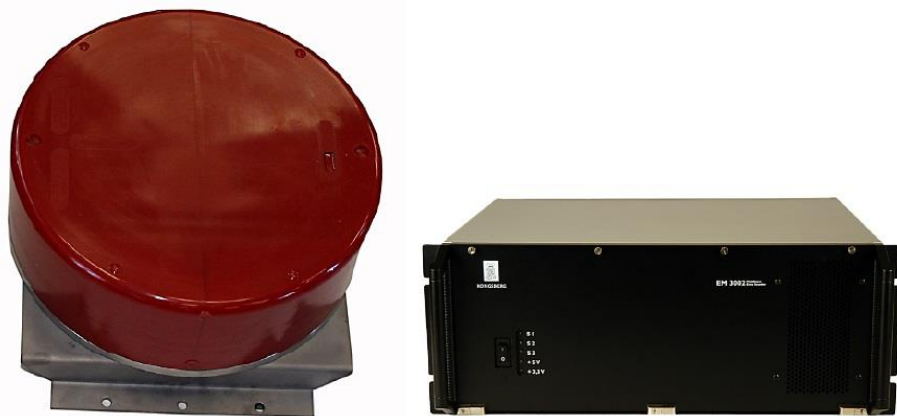


Рисунок 26. Многолучевой эхолот Kongsberg EM 3002S

В процессе съемки рельефа дна расположение галсов площадного обследования, выполняемого многолучевым эхолотом (Рисунок 26), выбирается таким образом, чтобы

центральный луч каждого последующего галса проходил по краю полосы, отснятой предыдущим галсом с учетом отбраковки крайних лучей.

Таким образом, обеспечивается 200% покрытие заданных районов. Запись данных ведется непрерывно с максимальной частотой (около 20 Гц в зависимости от глубины). Направление галсов выбирается параллельно оси канала, а в районе складирования грунтов дноуглубления – произвольно в зависимости от навигационной обстановки.

Перед производством съемки рельефа дна выполняются измерения скорости распространения звука в воде с помощью измерителя «Valeport miniSVS+P». Профили скорости звука в воде применяются для коррекции глубины за изменения скорости звука. Измерения выполняются в точках с наибольшей известной глубиной. После окончания работ для контроля проводятся повторные измерения профиля скорости звука.

Использовалось программное обеспечение для сбора данных, навигации судна и применения поправок в реальном времени «QINSy». В процессе съемки в реальном времени по результатам поверочных испытаний эхолотов учитываются систематические погрешности ROLL (наклон гидроакустической антенны в поперечной плоскости), PITCH (наклон гидроакустической антенны в продольной плоскости), HEADING (разворот гидроакустической антенны вокруг вертикальной оси). Для отслеживания и учета углов крена, дифферента и вертикальных перемещений судна использовался датчик динамических перемещений судна IMU -106. Данные о курсе были получены с помощью многоканального DGPS – приемника-курсоуказателя «TRIMBLE SPS 461H» (либо «Septenrio AsteRx-MU»). Данные съемки записываются на жесткий диск компьютера с последующим дублированием информации на съемный жесткий диск.

Пространственное положение судна определялось с помощью спутникового приемника глобальных навигационных систем «Septenrio AsteRx-MU» («Trimble SPS 461H») в режиме RTK с приемом дифференциальных поправок от базовой контрольно-корректирующей станции. Частота определений – 1 Гц.

Промер осуществляется однолучевым эхолотом «Odom Hydrotrac CV300».

Определение поправки за отклонение действительной средней вертикальной скорости звука в воде от расчетной ΔZ_v производится аналогично, как и при съемке рельефа дна способом площадного обследования. Профили скорости звука в воде применяются в реальном времени для внесения коррекций в измеряемые глубины.

Корректность спутниковых измерений фиксировалась также в ПО «QINSy». Имелась возможность в режиме реального времени отслеживать наличие ложных измерений и наличие приема поправок от базовой станции.

При проведении съемки рельефа дна велся постоянный контроль по следующим показателям:

- непрерывность записи данных съемки рельефа дна;
- корректность и полнота информации, поступающей от датчиков динамических перемещений;
- корректность приводимой глубины;
- соответствие местоположения и курса судна;
- корректность примененного профиля скорости звука в воде.

При производстве работ регулярно проводился оперативный контроль результатов, сличение глубин в местах перекрытия смежных полос съемки, степени покрытия района и наличие пропусков.

Оценка качества съемки рельефа дна производилась завершения полевых работ в конце дня по следующим критериям:

- полнота выполнения съемки для выбранного района (при обнаружении производится дополнительные измерения);
- проверка соответствия глубин пересекающихся участков покрытия;
- наличие отличительных глубин и навигационных опасностей (при обнаружении производится дополнительное обследование сгущением галсов);
- наличие систематических ошибок определения места и временных задержек (в случае обнаружения производится предварительная оценка их величин, выясняется возможность оперативного устранения ошибок).

При возникновении сомнений в достоверности измеренных глубин, производится контрольный промер ручным лотом в 10-15 точках в районе работ, с определением места с помощью DGPS и нанесением оперативных отметок. При несовпадении измерений с глубинами, измеренными эхолотом, производится выяснение причин и повторное обследование района работ.

При выполнении гидрографических работ должны соблюдаться требования к точности и достоверности материалов и данных, изложенные в нормативных документах.

В соответствии с п.4.3.2 РД 31.74.04-2002 отсчеты при измерении глубин должны производиться с точность не менее: для глубин 0,1-5,0 м - +/- 5 см; для глубин 5,1-20,0 м - +/- 10 см; для глубин более 20 м - +/- 20 см.

Методика выполнения работ соответствует требованиям актуальным нормативно-техническим актам Российской Федерации:

- Руководство по океанографическому изучению океанов и морей РОИ–80, ч 2. Изд. ГУ-НиО МО, 1980;

- Правила гидрографической службы № 2. Фототопографические работы при навигационно-гидрографическом обеспечении ВМФ. ПГС №2, ч. 1. Изд. ГУНиО МО, 1997;
- Правила гидрографической службы № 4. Съёмка рельефа дна. ПГС №4, ч. 1,2. Изд. ГУНиО МО, 1984;
- Правила гидрографической службы № 35. Приведение глубин к уровню. ПГС №35. Изд. ГУНиО МО, 1956;
- Правила гидрографической службы № 37. Развитие аналитических сетей. ПГС №37. Изд. ГУНиО МО, 1989;
- Методика обработки материалов обследования при использовании автоматизированных гидрографических комплексов. Изд. ГУНиО МО, 2003;
- Методика по использованию спутниковых навигационных систем при производстве гидрографических работ (дополнение к ПГС № 4, часть 2). Изд. ГУНиО МО, 2002;
- Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Изд. ЦНИИГАиК, 2002;
- Положение по контролю качества и приёмке работ в подразделениях ГС ВМФ. ПКР-84. Изд. ГУНиО МО, 1985;
- Инструкция по промеру на реках. ИПР-77. Изд. ГУНиО МО, 1977;
- Условные знаки и сокращения для составления и оформления морских карт и карт внутренних водных путей. Изд. ГУНиО МО, 1985;
- Локальные поверочные схемы для средств измерений топографо-геодезического и картографического назначения. РД 68-8.17-98. Изд. ЦНИИГАиК, 1999.

2.2.2 Цифровые модели рельефа дна и подсчет объемов заносимости

Итогом проведения гидрографических работ являются цифровые модели рельефа дна (Рисунок 27), на основе которых производится подсчет объемов наносов, составляется план проведения дноуглубления, планшеты глубин. Регулярная цифровая модель рельефа дна (GRID) представляет собой текстовый файл в ASCII-формате, где каждой точке соответствуют координаты (WGS-84, UTM 37N) и глубина (нуль порта Архангельск). Генерализация такой цифровой модели рельефа дна проводится с шагом в 0.5 м по средним глубинам.

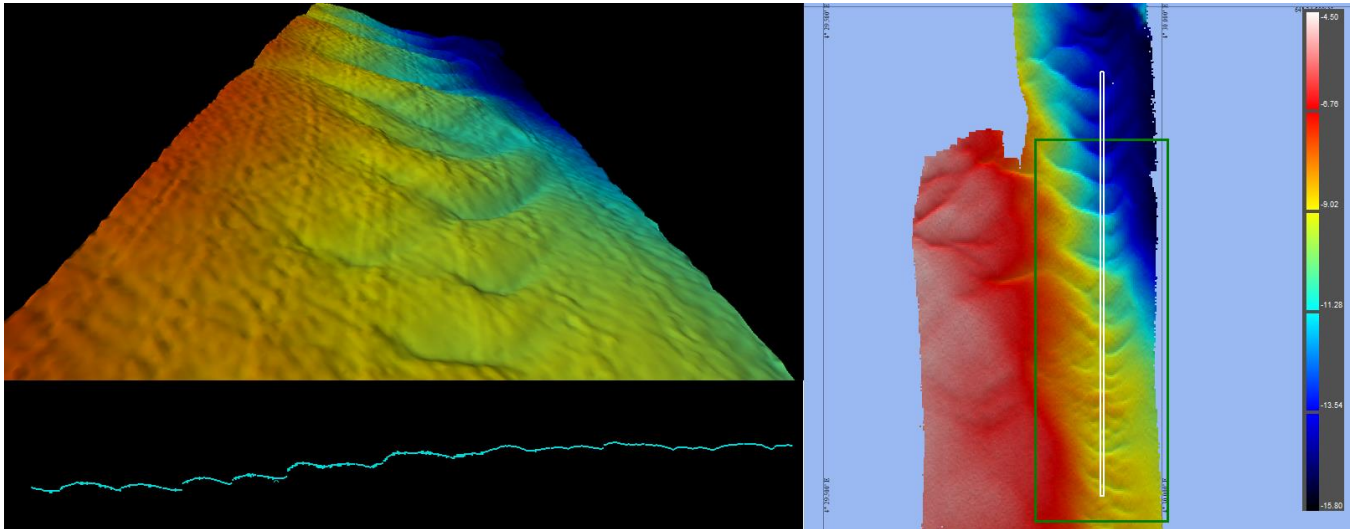


Рисунок 27. Визуализированная цифровая модель рельефа дна в ПО «Qincy».

Для оценки распределения наносов в канале за необходимый отчетный период (зимняя навигация, ежемесячный период или штормовой летней навигации) были построены поверхности разности глубин между съемками рельефа дна. Расчеты проводились с помощью программного продукта Trimble Terramodel 10.43 модуля «Earthworks reports». В качестве первого слоя («Surface 1») выбиралась поверхность начала отчетного периода (до образования наносов), а в качестве второго слоя («Surface 2») – поверхность в конце отчетного периода (после образования наносов), в результате получали поверхность разности глубин (isopatch). Plusовые значения аппликат полученных точек означали наличие отложения наносов, а отрицательные – наличие процессов размыва канала.

Расчет объемов заносимости и размыва также проводился в программном продукте Trimble Terramodel. В качестве первичной/начальной поверхности «Surface 1» используется цифровая модель рельефа дна, выполненная в начале периода, выбранного для подсчета объемов заносимости, вторичной/конечной поверхности «Surface 2» - цифровая модель рельефа дна, выполненная в конце отчетного периода. Итоговый результат представлен в виде текстового файла, в котором «Fill» - тот объем, который образовался на акватории объекта в результате заносимости, а «Excavation» - объем грунта, который вынесло с акватории в процессе размыва.

Цифровые модели рельефа (ЦМР) позволяли выполнить расчет объемов донного грунта, необходимых для изъятия с целью восстановления навигационных габаритов канала. Вычисления объемов производились в модуле «EarthWorks Reports» программного пакета «Trimble Terramodel». Подсчет объемов грунта выполнялся в границах акватории канала Мудьюгских башен

в соответствии с «Обязательными постановлениями Капитана порта Архангельск» на проектную глубину 10.3 м.

Для типизации использовались данные о межнавигационной заносимости каналов главного судового хода в порту Архангельск за 2019-2020 год.

Всего в исследовании было использованы и проанализированы съемки рельефа дна с 2001 – 2020 году, что составляет 90 цифровых моделей рельефа дна для исследования штормовой заносимости на Мудюгском канале, и более 300 цифровых моделей рельефа для типизации и оценке заносимости главного судового хода.

2.3 Методология типизации участков исследуемого района

В главе 5 диссертации представлена оценка геоэкологического воздействия дноуглубительных работ на экологическую ситуацию путем проведения типизации участков устьевой области реки Северная Двина при проведении ремонтных дноуглубительных работ. Автором разработана методика типизации на основании работ, описывающих методы экспертной оценки в географии и геоэкологии (Коробов, 2008; Коробов, 2019; Ружникова, 2017; Ружникова, 2019; Коробов, 2021; Коробов и др., 2021; Иглин, 2021; Коробов и др., 2021).

Основой типизации является вычисление и сравнение интегральной балльной оценки объектов дноуглубления исследуемого объекта. Акватория морского порта Архангельск была разделена на 47 объектов: морские каналы (39), отвалы донного грунта (6) и акватории причальных зон (2). На первом этапе был определен список факторов, влияющих на экологическую ситуацию при проведении дноуглубления, факторы представлены в разделе 5.1.

Экспертная оценка представляет собой присвоение рангов по степени важности n -числа факторам группой из m экспертов, причем фактору, оказывающему наибольшее влияние, присваивается наивысший ранг n , следующему $n - 1$ и т.д. Ранг «1» имеет фактор, оказывающий наименьшее влияние (Коробов, 2008; Коробов, 2019; Коробов и др., 2020). Если эксперт считает, что два или более фактора имеют одинаковый вклад в конечное явление, то им присваивается их средний арифметический ранг. Экспертная группа состояла из 10 специалистов. При этом принято, что все эксперты имеют одинаковый уровень компетентности в данном вопросе.

Весовые коэффициенты – это числовые выражения в интервале значений $0 \dots 1$, определяющие степень влияния конкретного фактора в общем балансе системы или явления. Весовые коэффициенты каждого фактора вычисляются по формуле:

$$k_i = \frac{r_i}{1+2+\dots+n-1+n}, \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$; k_i – весовой коэффициент i -го фактора; r_j – средний ранг i -го фактора. В знаменателе сумма рангов фактора, для нашего случая при 14 факторах, равна 105. Средний ранг каждого фактора r_i рассчитывается как среднее арифметическое рангов присвоенных экспертами данному фактору:

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^m r_{ij}}{m}, \quad (2)$$

где $j = 1 \dots m$ – число экспертов; r_{ij} – ранг, присвоенный i -му фактору j -м экспертом.

При этом должно выполняться условие:

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1. \quad (3)$$

Балльная составляющая балльно-рейтинговой оценки определялась путем расчета количественных показателей, соответствующих каждому фактору, и присвоения каждому показателю балла в некотором диапазоне значений. Мы приняли этот диапазон от «0» до «9», поскольку так удобнее строить шкалы балльных оценок (Коробов, 2007). Баллы присваивались путем составления линейных шкал, где баллу «9» соответствовало значение показателя, оказывающее наибольшее негативное экологическое воздействие (Коробов, 2005). Расчет производился при ненулевых объемах дноуглубления.

Итогом вычислений являлся расчет интегрального показателя влияния ДР на экологическую ситуацию в порту по формуле:

$$I_L = \sum_i^n k_i p_i, \quad (4)$$

где I_L – интегральный показатель влияния дноуглубительных работ на экологическую ситуацию в акватории объекта дноуглубления в порту; L – количество объектов дноуглубления в порту; p_i – балльные оценки показателей; i – количество факторов.

Сравнение интегральных показателей акваторий влияния дноуглубления на участок составляло основу типизации.

ГЛАВА 3. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

3.1 Влияние дноуглубительных работ на экологическую ситуацию

Дноуглубительные работы – это деятельность человека по формированию рельефа морского или речного дна с целью приведения поверхности к проектной глубине. Как правило, это процесс создания или поддержания (ремонтное дноуглубление) судоходных условий в акватории, изъятие или отсыпка грунта для гидротехнического строительства, работы по намыву искусственных территорий (Синицына, 2017; Коршунов, 2012). Эта деятельность, помимо очевидного положительного эффекта в области экономического развития предприятия и страны в целом, оказывает негативное влияние на экологическое состояние природной среды (Ломакин, 2019; Гришин и др., 2011)

Негативное воздействие на морские экосистемы может носить постоянный и временный характер. Постоянное воздействие выражается в изменении морфометрии и орографии донной поверхности, качественного и гранулометрического состава донных грунтов, что, в свою очередь вносит изменения в гидро- и литодинамический режимы. Это может повлечь за собой деградацию береговой черты, привести к изменению среды обитания гидробионтов, нарушению условий воспроизводства ихтиофауны, возникновению препятствий на путях миграции организмов, ликвидации или ограничению их кормовой базы (Грищенко, 2002).

Временный характер воздействия выражается в резком повышении концентрации взвешенных веществ в воде, разрушении верхний слой морской и речной геологической среды. Как следствие, повышается мутность, что негативно сказывается на ихтиофауне и ее кормовой базе (фито- и зоопланктоне) в районе работ; разрушаются сложившиеся биоценозы донных сообществ; возникает вероятность вторичного загрязнения вод поллютантами, находящимися в донном грунте; изменяется термический режим акватории; могут активизироваться морфодинамические (русловые) процессы, изменения в гидрологическом режиме акватории (при капитальном дноуглублении); присутствует шумовое загрязнение (Иглин, 2021).

В современной литературе достаточно мало описано исследований по оценке влияния различных видов дноуглубительной техники на экологическую ситуацию в акваториях. В исследовании (Шкодин, 2005) отмечается, что при использовании механизированных средств дноуглубления (черпаковые земснаряды) уничтожается в 1.5 – 4 раза больше всех видов бентоса, по сравнению с использованием дноуглубительных земснарядов с

гидромеханизированным способом разработки (фрезерный земснаряд, самоотвозной землесос). В работе (Mohr, 1975), было показано, что там, где утилизация представляет собой проблему, грунт, вынутый механическими земснарядами, вероятно, будет менее загрязняющим, чем грунт, полученный гидравлическими земснарядами, из-за более высокой плотности вынутого грунта, сбрасываемого первыми. Исследование (Wakeman, 1975) загрязнения, вызванного тремя разными земснарядами на одном и том же участке, показало, что на участке дноуглубительных работ относительная мутность и уровни растворенного кислорода варьируются в зависимости от типа используемого земснаряда: хуже всего себя показал самоотвозной землесос, в ходе его работы создается облако взвеси с наибольшей концентрацией взвешенных веществ, а также сильнее всего снижаются уровни растворенного кислорода.

В зарубежной практике также выделяют так называемые экологические или очистные дноуглубительные работы (Bray, 2008; He et al., 2001). Основной целью таких мероприятий является удаление особо загрязненного донного грунта, частичная очистка и транспортировка. Проведение таких работ целесообразно в местах с повышенной техногенной нагрузкой на акваторию: причальные зоны в портах, в зонах гидротехнических сооружений (мосты, морские платформы). Цель экологического дноуглубления – исправление существующей неблагоприятной ситуации, экологическое воздействие от него будет в основном положительное.

Экологическое дноуглубление обладает следующими характеристиками:

1. Малый объем извлекаемого грунта;
2. Высокое содержание загрязняющих веществ;
3. Отсутствие повторных работ (при устранении или контроле источника загрязнения).

Расчет ущерба водным биоресурсам от работы земснарядов выполняется согласно (Приказа Росрыболовства..., 2020). Так, для морского порта Беломорск расчет ущерба водным биоресурсам в ходе ремонтного дноуглубления (при прочих одинаковых условиях работы), показал, что минимальный ущерб зоопланктону наносится в ходе работы одночерпаковым земснарядом, а максимальный – грейферным (на 53% кормовой базы уничтожается больше, чем одночерпаковым), в ходе работы самоотвозного землесоса уничтожается на 22% больше планктона, чем одночерпаковым. Различия во влиянии на планктон обусловлен методом изъятия грунта и концентрацией твердого вещества в пульпе (при гидромеханизированном способе). Максимальный ущерб, нанесенный бентосу в ходе работы различных видов дноуглубительной техники, для одночерпаковых земснарядов, для остальных видов техники практически равнозначен, это обуславливается в первую очередь одинаковой площадью разработки и осадения грунта (Проект производства ремонтных..., 2019). Также необходимо учесть, что работа одночерпаковых и фрезерных земснарядов подразумевает использование шаланд для отвозки грунта в подводные отвалы, что будет увеличивать шумовое, вибрационное и тепловое воздействие.

3.1.1 Влияние дноуглубления на гидросферу

Изъятие донного грунта (грунтозабор) и сброса в подводные отвалы (дампинг) выполняется с помощью технического флота. Особенности технических средств, применяемых для дноуглубления, во многом определяют степень антропогенного воздействия на природную среду в ходе проведения работ.

Наиболее востребованной экономически и оптимальной является использование самоотвозных трюмных земснарядов с волочащимся грунтоприемником и сброс донного грунта в подводные отвалы через днищевые дверцы трюма. Посредством грунтового насоса и грунтоприемника, волочащегося по дну, струя воды, обладающая скоростным напором, отделяет от дна частицы грунта и транспортирует их по трубопроводу в грунтовый трюм. В месте дампинга земснаряд разгружает через днищевые дверцы. Часть грунта в процессе грунтозабора и дампинга переходит во взвешенное состояние и распространяется под действием течений и волнения, образуя облако повышенной концентрации взвеси.

Закономерности распространения донного грунта, удаляемого земснарядами, в толще воды необходимо для рационального выбора мест подводных отвалов, где обеспечивается их залегание, и минимизирована вероятность вторичной заносимости (Бухарицин, 2017), необходимы для оценки влияния дноуглубительных работ на окружающую среду (для расчета ущерба, нанесенного дноуглубительными работами). В первую очередь для оценки загрязнения воды и воздействия взвеси на бентос и планктон (Айбулатов, 1993). Распространение грунта в воде будет зависеть от его физических характеристик (гранулометрического состава, связности) и гидродинамического режима акватории (скорости и направления течений, интенсивность волнения). Так, в (Айбулатов, 1993) отмечается, что, если в грунте содержится много глинистых частиц, то после его разработки могут образовываться комья, скорость осаждения которых в воде больше, чем у несвязных грунтов, состоящих из обособленных крупных частиц.

При проведении работ в толще воды и в придонном горизонте повышается содержание взвешенных частиц, загрязняющих веществ, снижается концентрация растворенного кислорода. Взвешенные частицы морских и речных осадков имеют высокую потенциальную сорбционную способность для многих органических и неорганических веществ, причем наивысшую способность имеют тонкодисперсные грунты, имеющие наибольшую сорбционную поверхность (Айбулатов, 1993).

В статье (Sangita, 2014) отмечается, что дноуглубительные работы вносят кардинальное влияние на концентрации взвешенных веществ на поверхностном и придонном горизонтах. Наибольшие значения взвеси в воде зафиксированы в воде штормовых процессов и

непосредственно во время дноуглубительных работ в зоне устьевого взморья реки Брамхани (Индия) и районе отвалов донных грунтов. Авторы отмечают, что зачастую естественное воздействие гидрометеорологических факторов на взмучивание донного грунта соизмеримо с эффектом от производства дноуглубительных работ.

В работе (Lee, 2000) авторами установлено, что облако мутности, возникающее после сброса донного грунта на глубине в 14 м существует в среднем порядка 7 минут. На время существования облака мутности снижалось количество растворенного кислорода более чем 1.5 раза. Повышенные концентрации нитратов (в 5-6 раз превышающие фоновые значения) в воде сохранялись в течение нескольких часов после сброса донного грунта. В работах (Lee, 1998), на которую ссылаются авторы отмечается, что среднее существование зон с повышенной концентрацией взвешенных веществ составляет не более двух часов. Дампинг загрязненных грунтов через днищевые дверцы самоходных земснарядов не может оказать существенное негативное влияние на загрязненность вод из-за короткого периода воздействия взвеси. Однако при транспортировке и отвале грунта способом рефулирования непосредственно воду может отмечаться значительное негативное воздействие на водную среду из-за длительного (до нескольких суток) существования облака взвеси в виде движущегося потока.

Авторами другой работы (O'Neal, 1971) установлено, что применение самоотвозных трюмных земснарядов с типом разгрузки через днищевые дверцы не оказывает существенное влияние на качество вод на различных водных объектах в северо-западной части США. Исследование (Windom, 1972) подтверждает факт неоднозначности степени влияния дноуглубления на качество вод в устьевых областях рек. Утверждается, что донные грунты с относительно низким загрязнением в процессе дноуглубления слабо влияют на экологическую ситуацию в разрабатываемых акваториях.

В практике отечественных исследований влияния захоронение донного грунта на экологическую ситуацию в Керченском проливе (Петренко и др., 1998; Ломакин, 2019) отмечается негативное влияние зон подводных отвалов, и с точки зрения источника поллютантов, и с точки зрения возврата части материала обратно в каналы, что создает негативные экологические и навигационные последствия. После дноуглубительных работ возрастали концентрации тяжелых металлов (Pb, Hg, Cd) и нефтепродуктов в воде. Дополнительно нужно заметить, что в этих работах выявлена корреляция между объемами дноуглубления и степенью загрязнения зон подводных отвалов.

В работах (Бахова, 2018; Жариков и др., 2011; Мишуков и др., 2009) рассматриваются кейсы отечественной практики дноуглубительных работ, где наличие и эксплуатация подводных отвалов грунта является негативным техногенным воздействием на состояние акваторий. После проведения дноуглубительных работ отмечалось повышение концентраций

нефтепродуктов и фенолов в воде. Авторы сходятся во мнении, что целесообразно размещение отвалов в зонах с низкой интенсивностью гидродинамических процессов, для снижения возможности распространения загрязняющих веществ. Открытие новых отвалов грунта должно следовать за комплексными инженерными изысканиями по оценке возможного техногенного влияния и его распространения на эксплуатируемой акватории.

В итоге влияние дноуглубления и дампинга обусловлено типом разработки и сброса грунта, степенью загрязненностью удаляемых донных грунтов, физическими свойствами грунтов, а также интенсивностью гидродинамических процессов в дноуглубляемых акваториях.

3.1.2 Влияние дноуглубления на литосферу

Дноуглубление - перемещение донного грунта из стратегических акваторий, нуждающихся в увеличении проектных глубин, в подводные или береговые отвалы. Грунт разной степени загрязненности перемещается, изменяется гранулометрический и минеральный состав. Ремонтное дноуглубление подразумевает изъятие наносных тонкодисперсных грунтов, которые зачастую имеют повышенное содержание поллютантов. Капитальное дноуглубление – процесс разрушения части геологической среды, происходит процесс изъятия хронологически сложившихся слоев грунта с различными физическими и химическими характеристиками. Перемещение грунта в подводные отвалы подразумевает его возможный унос в ходе движения водных масс, вместе с этим существует вероятность возвращения грунта в углубляемую акваторию (вторичная заносимость) (Власов, 2002).

Один из эффектов дноуглубления на морфологию рельефа дна является его переформирование. В зависимости от типа грунта и интенсивности гидродинамических процессов в районе подводного отвала может наблюдаться аккумулятивное удаление донного грунта, либо его частичное распространение по направлению приоритетных течений в акватории. Уносимые течением взвешенные наносы не осаждаются на дно в течение очень длительного времени, так как по закону Стокса скорость их выпадения составляет 10^{-4} м/с. На основании исследований реальный унос во взвешенном состоянии составляет около 25% сбрасываемого в воду грунта (Айбулатов, 1993). Причем унос грунта существенно зависит от соотношения илистых и средне- и крупнодисперсных грунтов в составе извлекаемых донных грунтов. Так, донные грунты, представленные среднезернистыми песками, достаточно быстро оседают на дно в виде круглого или эллиптического (большая полуось вдоль течения) холма в границах подводного отвала. В

практике дноуглубления в порту Архангельск отмечается переформирование рельефа подводных отвалов грунта и в ходе дноуглубления и естественных литодинамических процессов, так в среднем за год остается порядка 30% извлеченного донного грунта, при этом порядка 70% донного грунта транспортируется в акваторию Белого моря или мигрирует в Двинском заливе (Иглин, 2019).

Изменение гранулометрического состава донных грунтов – один из наиболее часто освещаемых эффектов от дноуглубления оказываемого на рельеф морского и речного дна (Kennu, 1996; Desprez, 2000; Dalfsen, 2000; Desprez et al., 2010; Victoria et al., 2015). Как правильно это выражается в смещении гранулометрического состава в сторону тонкодисперсных грунтов. Степень изменений и возможность восстановления существенно различаются от типов донных грунтов и эксплуатируемой акватории. В целом, наиболее быстрая возможность восстановления состава донных грунтов наблюдается у мелких песков, а медленнее всего восстанавливают гранулометрический состав на дноуглубляемой акватории грубодисперсные грунты, так как дно углубляемые прорези начинают заполняться мелкими грунтами (пылеватými песками, илами) (Tillin et al., 2011).

Капитальное дноуглубление, а иногда и ремонтное, может существенно влиять на гидрологический режим – изменяться направление и скорости течений, уровенный режим – в свою очередь это может запустить русловые и литодинамические процессы на речных и морских акваториях: изменения береговой черты (деградация или аккумуляция). Для прогнозирования и оценки таких кардинальных изменений водной среды и берегов требуется проводить комплексное моделирование литодинамических и гидрологических процессов (Grey et al., 2010; Ying et al., 2012).

Так, в устьевой области реки Тамар-Тави (Великобритания) проводились исследования по оценке изменения рельефа дна и гидродинамических процессов под действием дноуглубительных работ за продолжительный период (более 100 лет) (Vale et al., 2007). Было установлено, что в среднем для различных участков устьевой области объем наносов в морских судоходных каналах увеличился на 41 000 м³ в год. Предполагается, что это связано с регулярными дноуглубительными работами. Отмечается, что сравнение объемов речных наносов (взвешенных и влекомых) с объемами дноуглубительных работ дает разницу в 40 725 м³ в год. Установлено, что в ходе гидродинамического и литодинамического моделирования с 1895 г. по 2001г. увеличились скорости течений в устье реки из-за уменьшения поперечного сечения русла. В работе (Jayaraju et al., 2010) отмечается влияние изменения водных потоков в ходе дноуглубительных работ на распределение солености в зонах проникновения морских вод в реку.

Альтернативой использования подводных отвалов донного грунта может являться – отваливание грунта на береговые отвалы (морской порт Калининград), либо использование

донных грунтов, как строительный материал, при соответствии физических и минеральных характеристик (Смелик, 2019). Так, например, береговые отвалы вдоль судового хода в морском порту Калининград, обустроенные дамбами обвалования, применяются для складирования донных грунтов, извлекаемых при производстве ремонтных дноуглубительных работ. Складирование донных грунтов на береговые отвалы проводится рефулированием из трюма землесоса через береговое соединение на причале по магистральному пульпопроводу. В процессе эксплуатации береговых отвалов требуется проведение обвалочных работ берегового отвала, установка колодцев, предназначенных для технологического осветления сбрасываемой воды с карты намыва и отстойника, перед ее последующим сбросом в водоем.

Оценить влияние дноуглубительных работ в непосредственно зонах изъятия грунта и подводных отвалов достаточно сложно, необходимо комплексное понимание гидрологического и гидродинамического режима акватории. Динамика рельефа дна, обусловленная проведением дноуглубления, может запускать процессы изменения уровня режима акватории и режима течений, деградации береговой черты (а значит снижение растительности в береговой зоне), изменение гранулометрического состава донного грунта.

3.1.3 Влияние дноуглубления на морскую биоту

Изменения, затрагивающие водную среду и литосферу в ходе дноуглубительных работ, отражаются и на состоянии планктонных, донных биоценозов и морских млекопитающих. Степень отрицательного воздействия зависит от ряда биотических и абиотических факторов. Среди последних технических особенностей дноуглубления: способ изъятия и сброса грунта, частота и объем сброса; характер гидродинамического режима акватории в районах дампинга и черпания, содержание поллютантов в извлекаемом донном грунте. Реакция гидробионтов определяется особенностями биологических циклов: продолжительности жизненного цикла, плодовитостью, периодом размножения, скоростью роста (Замбриборщ и др., 1982; Рубакина, 1988).

Использование подводных отвалов донного грунта отрицательно влияют на видовой и численный состав различных групп планктонных организмов вследствие постоянного взмучивания грунтов, повышенной концентрации взвеси, попадания в воду токсичных загрязняющих веществ (Сергеева, 2015). Твердые взвешенные частицы при оседании в результате флокуляции увлекают за собой часть планктонных водорослей на дно. Оценивая степень влияния дноуглубительных работ на биомассу и видовое разнообразие морской биоты, необходимо учитывать

внутригодовое колебание этих показателей под действием естественных процессов: прохожде-ние весеннего половодья, штормовые процессы (Мокеева, 1983).

В процессе дноуглубления и после осаждение донного грунта в ходе грунтозабора и сброса в подводные отвалы гибнут донные организмы. Полная реколонизация и восстановление численности зоопланктона, и их соответствие фоновым значениям в акваториях свалок может достигать 25 лет, скорость этого процесса обусловлена содержанием загрязнителей в отваливаемом донном грунте (Мокеева, 1983; Сергеева, 2015). Очевидно, что это возможно лишь при прекращении регулярного сброса донного грунта и закрытии свалки. Повторные сбросы грунта, осуществляемые с частотой один раз в год (что характерно для ремонтных дноуглубительных работ) не позволяют развиваться молодым животным, успешно реколонизировавшим новый субстрат. Негативные последствия сброса донного грунта, отражающиеся на численности и видовом составе зообентоса, могут прослеживаться в течение 5 лет (Айбулатов, 1993).

Также негативное влияние оказывает высокие концентрации взвешенных веществ в воде, наблюдаемые в процессе дноуглубления. Наибольшим образом это отражается на мелких организмах, так при концентрации 44 мг/л наблюдается снижение скорость роста молоди двухстворчатых моллюсков на 10% (Сергеева, 2015). Лабораторные опыты показывают, что при концентрации взвеси около 100 мг/л сокращается степень выживаемости личинок сельди. При-чем необходимо отметить, что и воздействие естественных факторов повышения взвешенных веществ (шторма, течения, речной сток) таким же образом будет влиять на жизнедеятельность гидробионтов (Айбулатов, 1993).

Сброс донных грунтов в подводные отвалы грунта негативно сказывается на жизнедеятельности ихтиофауны, включая и промысловую, оказывая на нее как прямое, так и косвенное воздействие (Сергеева, 2015). Это может выражаться в снижении объемов кормовой базы, разрушения зон нерестилиц и сокращения нагульных площадей.

В исследовании (Liu et al., 2010) выявлено, что после дноуглубления, направленного на удаление особо загрязненного грунта, уровень загрязнения донных грунтов значительное снизился в зонах черпания, биомасса донных организмов возросла, а биоразнообразие незначительно снизилось.

3.1.4 Иные виды воздействия

Дноуглубительные работы, проводимые продолжительное время на акватории, будут оказывать некоторый негативный эффект на экологическую ситуацию, помимо описанных выше процессов взмучивания донных грунтов. Это выражается в выбросе загрязняющих веществ в атмосферу, шумовом воздействии.

Дноуглубительный и сопутствующий флот может загрязнять разрабатываемые участки водоемов при утечке хозяйственно-бытовых и льяльных вод, топлива, смазывающих материалов и т.п. Поэтому при проектировании дноуглубительных работ обязательно предусматривают мероприятия по уменьшению или исключению их неблагоприятного влияния. Борьба с загрязнениями водоемов вследствие утечки горюче-смазочных материалов, хозяйственно-бытовых ведется теми же способами, что и на транспортных судах. Дноуглубительные суда оборудуют средствами и системами для сбора и хранения нефтепродуктов, твердых отходов и других загрязняющих веществ в соответствии с действующим законодательством (Горбунов, 1984).

Для снижения негативного воздействия образующихся отходов на состояние окружающей среды, проектными институтами предусматриваются следующие мероприятия:

- регулярный сбор и обезвреживание сточных вод и отходов с судов технического флота специализированными судами портофлота (заключение договоров на прием всех судовых отходов с лицензированными организациями до начала производства работ);
- выполнение мероприятий, исключающих попадание горюче-смазочных материалов в водные объекты при заправке на рабочем месте строительной техники (заправка автозаправщиками, применение инвентарных поддонов и т.д.);
- организация отдельного сбора отходов различного класса опасности;
- производство строительных работ строго в границах отведенного участка.

Для снижения воздействия на атмосферный воздух при проведении работ целесообразно проводить следующие мероприятия:

- контроль за соблюдением технологии производства работ;
- рассредоточение во времени работы техники и оборудования, не участвующих в едином технологическом процессе;
- осуществление контроля и регулировка двигателей технических плавсредств в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51249-99 (Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами) и ГОСТ Р 51250-99 (Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Дымность отработавших газов);
- своевременный профилактический ремонт дизельных установок на судах.

Для снижения негативного воздействия источников шума, задействованных при дноуглублении, на ближайшие нормируемые объекты проектом предусмотрены следующие мероприятия:

- ограничение времени работы дноуглубительных машин и механизмов в ночной период (с 23.00 до 7.00);
- максимальное использование дноуглубительной техники с низкими уровнями шума;

- на период вынужденного простоя или технического перерыва двигателя дноуглубительного оборудования должны выключаться;
- профилактический ремонт и осмотр дноуглубительной техники.

3.2 Дноуглубительные работы в морском порту Архангельск

3.2.1 Участки и объемы дноуглубительных работ

На данный момент сохранилось мало данных об объемах дноуглубления во второй половине 20 века, по сохранившимся запискам в архиве Архангельского филиала ФГУП «Росморпорт» можно сделать вывод об объемах дноуглубления в порту за период 1976 – 2000 гг. (Рисунок 28) (в период с 1976 – 1985 гг. данные о черпании на других каналах порта отсутствуют). Очевидно, что основной объем дноуглубления проводился в акватории Мудьюгского канала, находящегося в Двинском заливе Белого моря. Объемы дноуглубления на остальных каналах составляли в среднем 16% от общего.

По материалам Трудов отдела торговых портов в морском порту Архангельск проводились дноуглубительные работы в период с 1902-1908гг. в объеме черпания порядка 500 тыс. м³ (Сведения об исполненных..., 1902). Дноуглубление проходило на канале Березового бара (Мудьюгский - современное название), Лапоминском, Чижовском, Реушинском, Амосовском, Соломбальском канале.

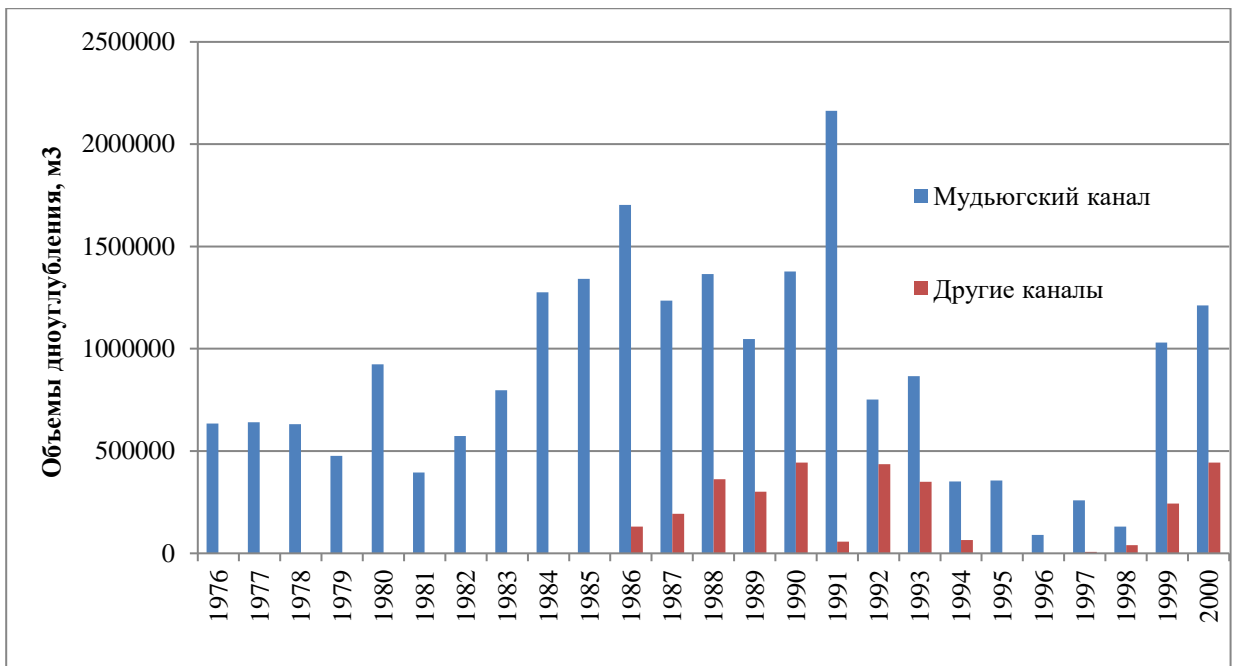


Рисунок 28. Объемы дноуглубительных работ по архивным данным в порту Архангельск

Современное дноуглубление проводится в порту Архангельск силами Архангельского филиала ФГУП «Росморпорт» с применением современных самоотвозных трюмных землесосов проекта TSHD 2000 Damen «Белое море» и «Северная Двина» (Рисунок 29).



Рисунок 29. Самоотвозные трюмные землесосы «Северная Двина» (а) и «Белое море» (б) Архангельского филиала ФГУП «Росморпорт»

Дноуглубительные работы на судоходных объектах порта проводятся в течение 24 часов в сутки, 7 дней в неделю в период летней навигации с мая по ноябрь. В зависимости от гидрометеорологических и ледовых условий работы начинаются после прохождения ледохода, заканчиваются ориентировочно 30 ноября. В весенний период решение о начале дноуглубительных работ принимается с учетом наличия и готовности землесосов, а также ледовых условий в порту. В осенний период при положительных температурах и позднем ледоставе окончание

работ может быть перенесено на более поздний период, до появления первого льда на акватории порта. В порту Архангельск основной объем дноуглубительных работ ежегодно выполняется на канале Мудьюгских башен, наиболее подверженному заносимости, что составляет более 95% от общего объема и периода работ в навигацию.

На Лапоминском и Чижовском каналах работы выполняются при необходимости в осенний период и при неблагоприятной погоде на открытой морской части канала Мудьюгских башен.

По данным предварительных промерных работ проводится анализ и определяется величина заносимости каналов. Определяются наиболее проблемные в плане заносимости участки на каналах и принимается решение о необходимости проведения дноуглубительных работ.

Выполнение дноуглубительных работ планируется по результатам проведенных дноуглубительных работ предыдущего года с учетом межсезонной заносимости и уточняется по предварительному промеру глубин. Предварительным промером глубин, выполняемым в мае-июне, уточняются границы участков дноуглубительных работ.

На каналах порта грунты в основном наносные и представляют II-IV группу по трудности разработки (пески мелкие, пылеватые плотные, супеси, суглинки слабоприлипаемые), I группа по трудности разгрузки. На участках работ возможно попадание предметов захламления характерные для акваторий порта (бревна, щепа, троса, проволока и т.д.).

Выполнение, технология производства дноуглубительных работ и их приемка должны соответствовать требованиям:

- «Технической инструкции по производству морских дноуглубительных работ» (РД 31.74.08-94);
- «Норм на морские дноуглубительные работы» (РД 31.74.09-96);
- «Наставления по обеспечению навигационной безопасности работы дноуглубительного флота» (РД 31.74.07-95).

Перед началом выполнения ремонтных дноуглубительных работ выполняются следующие подготовительные мероприятия:

- получение разрешения на проведение дноуглубительных работ у капитана морского порта Архангельск;
- выполнение предварительного промера глубин;
- подготовка технологического оборудования землесоса к проведению дноуглубительных работ (настройка, калибровка оборудования и оснастки для выполнения работ);
- проверка судовых механизмов и испытание технических средств, средств связи и их взаимодействия;

- организация и обеспечение запасов судна (продовольствие, вода, горюче-смазочные материалы, снабжение и средства индивидуальной защиты, сдача судовых отходов (ляльных вод, мусора и т.д.);

- организация доставки экипажа судна на берег и с берега на судно;

- организация взаимодействия и информирование службы управления движением судов в порту по районам работ и отвалам грунта, мест стоянки судна в периоды действия штормовой погоды в соответствии с обязательными постановлениями по морскому порту Архангельск;

- подготовка технического задания;

- ознакомление командного состава землесоса с техническим заданием на участок дноуглубления и условиями безопасного производства работ;

- проведение инструктажа капитана-багермейстера о порядке и условиях выполнения работ по каждому участку дноуглубительных работ.

Предварительная очередность выполнения промерных работ на судоходных объектах, наиболее подверженных заносимости:

- Канал Мудьюгских башен, Устьяновский, Лапоминский, Чижовский каналы;

- Городские каналы: Амосовский и Соломбальский каналы;

- Причалы Экономии, причалы Бакарицы.

По результатам выполненных предварительных промеров глубин уточняется план и очередность выполнения ремонтных дноуглубительных работ на канале Мудьюгских башен по участкам и на других каналах. Длина участка дноробот для землесоса составляет в среднем 2200 м. При обнаружении отличительных глубин на других объектах, оказывающих существенное влияние на безопасность мореплавания, также принимается решение о необходимости проведении работ в текущую навигацию. Разгрузка донного грунта осуществляется через днищевые дверцы в подводные отвалы, расположенные в разных частях устьевой области Северная Двина, для оптимизации движения судна от объекта дноуглубления до отвала.

Анализируя современные объекты выполнения работ и объекты дноуглубления в прошлом веке, с учетом того, что навигационные глубины каналов увеличились на 2-3 метра, можно сделать вывод о том, что дноуглубление проводится на тех же объектах: т.е. пространственные закономерности образования наносов существенно не изменились.

3.2.2 Подводные отвалы грунта

Размещение подводных отвалов грунта имеет важное стратегическое значение. С одной стороны, близость подводного отвала к объекту дноуглубления ведет к повышению производительности работ, уменьшению общего цикла дноуглубления: снижается время движения грунтоотвозных шаланд или самоотвозных землесосов. С другой стороны, чем ближе отвал находится к углубляемым объектам, тем возрастает вероятность возвращения удаленного грунта под действием движения водных масс. С учетом этих условий выбор рационального места размещения отвала грунта является достаточно сложной задачей, подразумевающей выполнение комплексных инженерных изысканий и рационального научного подхода. Учитывая долгосрочность ремонтных дноуглубительных работ, комплексный подход к размещению отвала грунта является оправданным и обоснованным.

При выборе параметров отвала и его месторасположения необходимо учитывать глубины, морфологические и морфодинамические характеристики проектируемой акватории, свойства удаляемых грунтов, параметры волнения и течения (Грищенко, 2002). Кроме этого, необходимо учитывать экологический аспект: извлекаемый донный грунт не должен быть грязнее, чем грунт, находящийся на акватории проектируемого отвала; необходимо снизить вероятность загрязнения смежных акваторий, береговых зон; отвалы должны быть достаточно удалены от рекреационных зон и зон особо охраняемых природных территорий (Волнина, 2011).

В соответствии с разрешением на захоронение грунта № 32 от 06.04.2015г. в порту Архангельск для захоронения грунта из 13 действующих подводных отвалов грунта предусмотрено для захоронения грунта 6 подводных отвалов:

- Подводный отвал грунта № 143-А и 144-А;
- Подводный отвал грунта № 150 в районе затонувшего т/х «Уссури»;
- Подводный отвал грунта № 137 у острова Кего;
- Подводный отвал грунта № 147-А у северо-восточной оконечности острова Окуловская кошка;
- Подводный отвал грунта № 157-А в районе Маймаксанского лесного порта.

В связи с необходимостью производства дноуглубительных работ в различных частях порта – зон устьевой области Северная Двина, с учетом длины главного судового хода (более 70 км), размещение подводных отвалов также необходимо в районах проводимых работ.

Подводные отвалы грунта № 143-А и №144-А используются для складирования извлеченного грунта из акватории Мудьюгского канала (Рисунок 30). Причем №143-А используется для черпания южной половины канала, а №144-А – для северной. Подводный отвал грунта

№150 используется для складирования грунта с Устьянского, Лапоминского, Чижовского канала, акватории причалов Экономия (Рисунок 31).

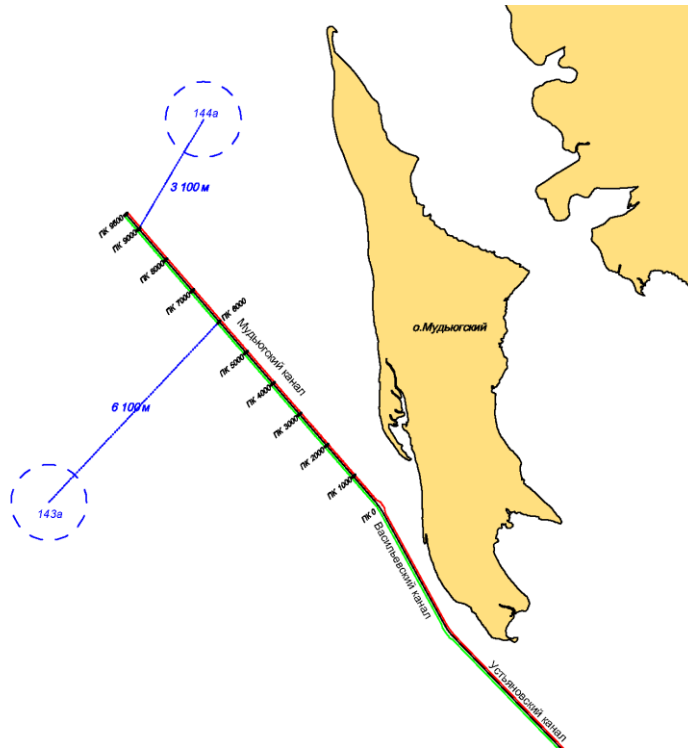


Рисунок 30. Схема расположения подводных отвалов грунта №144-А и №143-А в районе Мудьюгского канала.

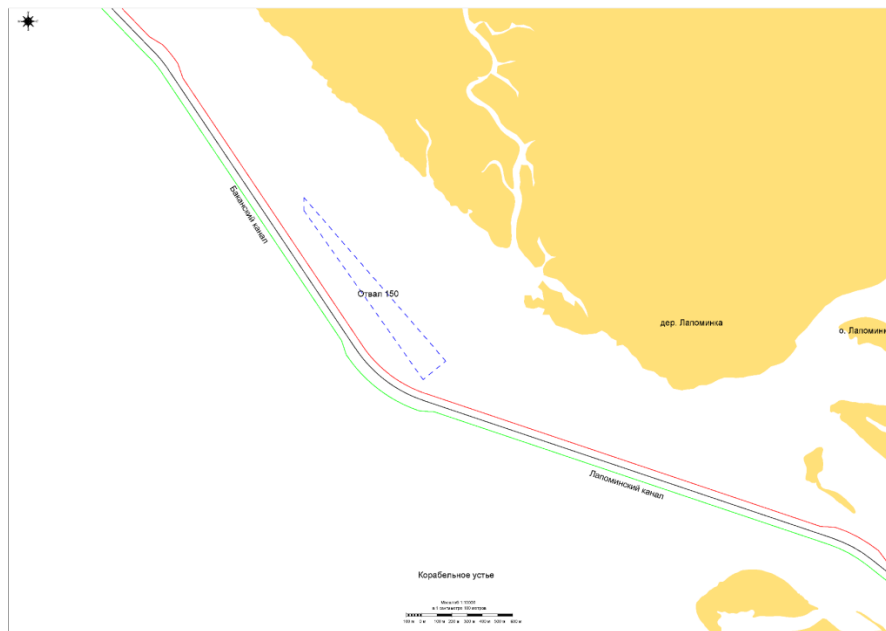


Рисунок 31. Схема расположения подводных отвалов грунта №150 в районе Лапоминского канала.

Подводные отвалы грунта № 157-А используются для складирования извлеченного грунта из акватории Амосовского канала (Рисунок 32). Расстояние от Амосовского канала до отвала грунта составляет 2.2 км.

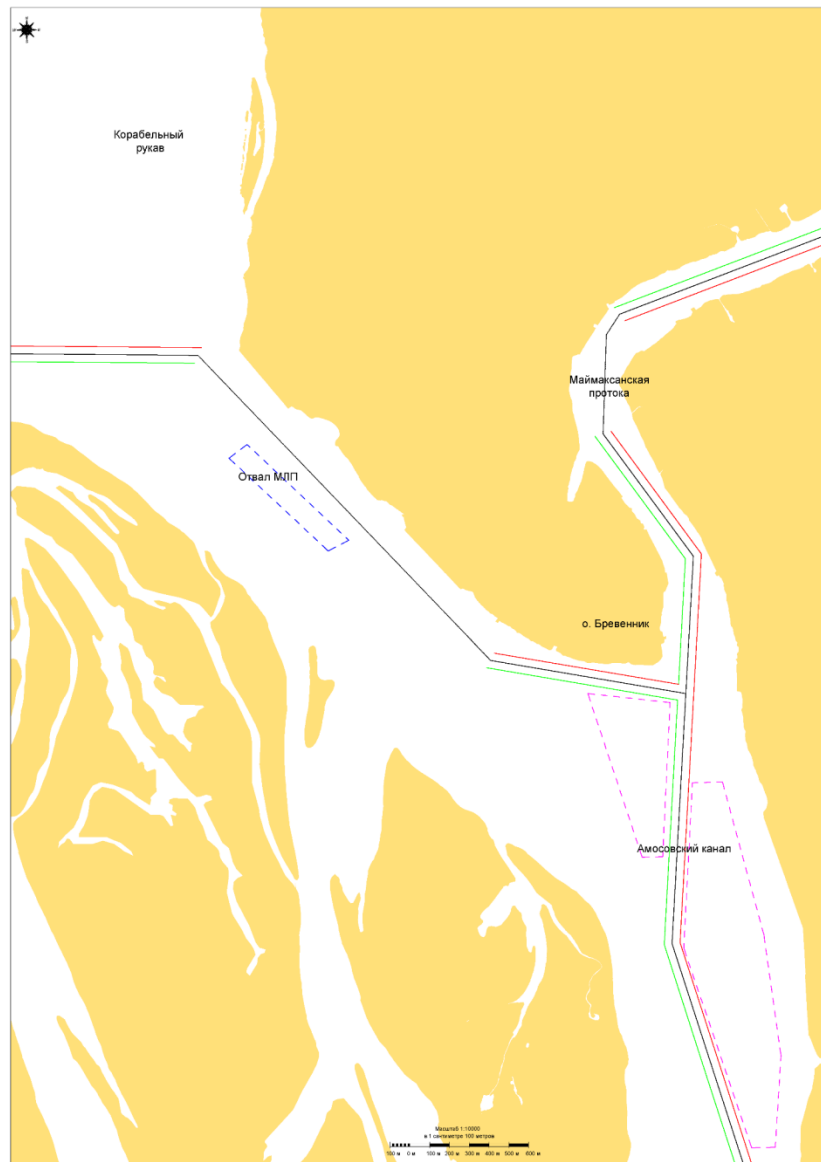


Рисунок 32. Схема расположения подводных отвалов грунта №157-А в районе Маймаксанского лесного порта

Подводные отвалы грунта № 137-А используются для складирования извлеченного грунта из акватории Соломбальского канал (Рисунок 33). Расстояние от Соломбальского канала до отвала грунта составляет 2.8 км.



Рисунок 33. Схема расположения подводных отвалов грунта №137-А в районе разделения Никольского рукава и главного русла

Подводные отвалы грунта № 147-А используются для складирования извлеченного грунта из акватории причальной акватории Бакарицы (Рисунок 34). Расстояние от Бакарицы до отвала грунта составляет 2.4 км.

Существующие используемые подводные отвалы достаточно рациональны с точки зрения дальности отвозки изъятых донного грунта, однако существует проблема – заполненность отвалов. На большинстве отвалов, либо на подходах к ним существующие глубины регулярно снижаются, создавая необходимость в определении новых мест складирования донного грунта, что планируется выполнить в рамках разработки новых проектных решений по ремонтному дноуглублению в морском порту Архангельск.



Рисунок 34. Схема расположения подводных отвалов грунта №147-А в районе о. Окуловская кошка.

3.3 Геоэкологическое состояние грунтов и вод акватории морского порта Архангельск при проведении дноуглубительных работ

Для оценки влияния на качество воды дноуглубительных работ проводится производственный экологический контроль (далее - ПЭК). Производственный экологический контроль - обязательное условие экологического законодательства для проведения дноуглубительных работ, который включает производственный экологический мониторинг и оценку состояния окружающей среды. Программа ПЭК разработана в рамках проекта по ремонтному дноуглублению в морском порту Архангельск, основывается на оценке состояния среды до и после работ, анализе загрязненности донных грунтов и вод (Иглин и др., 2020).

Задача настоящего раздела работы является оценка состояния вод и донных грунтов при проведении ремонтных дноуглубительных работ в порту Архангельск по данным ПЭК за период 2011-2017 гг.

В рамках проведения ПЭК производился отбор проб донных отложений, воды в придонном и поверхностном горизонтах в районах дноуглубления и подводных отвалов грунта до и после проведения работ - (Рисунок 35).

Большая протяженность судоходных путей в порту Архангельск обязывает использовать несколько отвалов грунта для повышения производительности дноуглубления (Таблица 11) (Иглин и др., 2020).

Таблица 11. Пути транспортировки извлекаемого донного грунта из района дноуглубления на отвал грунта.

Объекты дноуглубления и отвалы	Отвал грунта
Мудьюгский канал	№143а
Устьяновский канал Лапоминский канал Чижовский канал	№150
Соломбальский канал	№137
Акватория Бакарица	Отвал в районе Бакарицы

Перечень определяемых параметров, методики выполнения анализа и значения предельно-допустимых концентраций (ПДК) приведены в таблице 12.

Полученные концентрации сравнивались с ПДК металлов, нефтепродуктов и других загрязнителей в морской воде, установленных в «Нормативах качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. N 552). В связи с тем, что ПДК (ОДК) для донных грунтов не разработаны, то для ориентировочной оценки их загрязненности использовались перечни ПДК и ОДК для почв, согласно ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2511-09. В качестве ПДК для нефтеуглеводородов принято значение, установленное Письмом Минприроды РФ № 04-25 от 27.12.1993 г. «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами».

Для оценки степени влияния дноуглубительных работ на загрязнение воды рассчитывались коэффициенты линейной корреляции Пирсона между величинами содержания загрязнителей в грунте и в воде до и после проведения дноуглубительных работ. Все расчёты, как и статистических характеристик, производились в программном продукте Microsoft Excel .

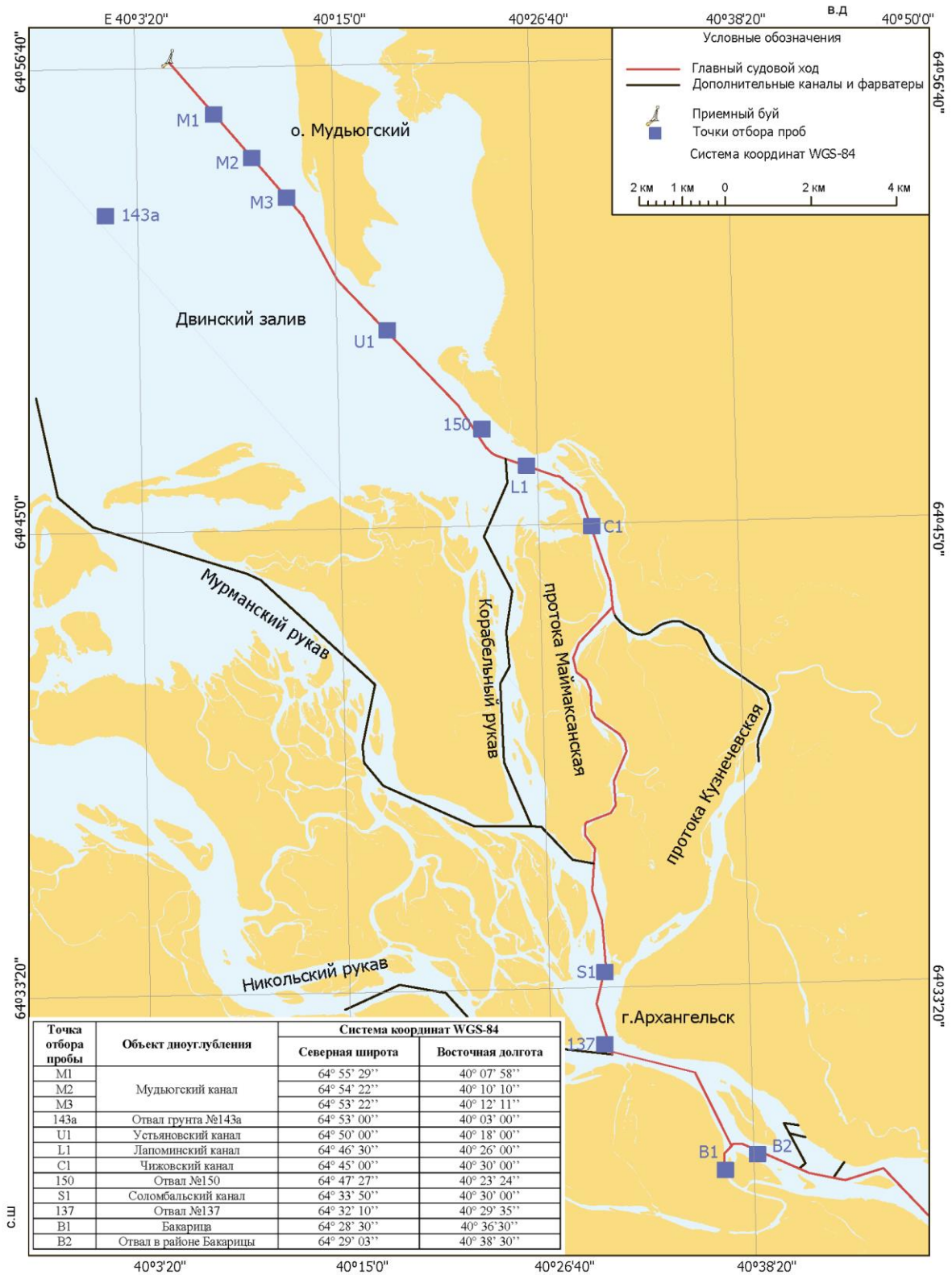


Рисунок 35. Карта-схема расположения точек отбора проб и объектов дноуглубления в морском порту Архангельск.

Таблица 12. Методики выполнения анализа при проведении ПЭК и значения предельно-допустимых концентраций поллютантов.

Среда	Показатель	Методика	ПДК
Пробы воды	Растворённый кислород	ПНД Ф 14.1:2.101-97	Не ниже 6 мг/дм ³
	БПК ₅	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	2.1 мг/дм ³
	Нефтепродукты	ПНД Ф 14.1:2:4.168-2000	0,05 мг/дм ³
	Кадмий	ФР.1.31.2012.12801	0,005 мг/дм ³
	Свинец	ФР.1.31.2012.12801	0,006 мг/дм ³
	Медь	ФР.1.31.2012.12801	0,001 мг/дм ³
	Цинк	ФР.1.31.2012.12801	0,01 мг/дм ³
	Взвешенные вещества	ПНД Ф 14.1:2.110-97	-
Пробы донных отложений	Кадмий	ФР.1.31.2012.13573	0.5 мг/кг
	Свинец	ФР.1.31.2012.13573	32 мг/кг
	Медь	ФР.1.31.2012.13573	33 мг/кг
	Цинк	ФР.1.31.2012.13573	55 мг/кг
	Мышьяк	Методические указания по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом. Москва-1993 г. (ЦИНАО)	2 мг/кг
	Общие нефтепродукты	ПНД Ф 16.1:2.2.22-98	1000 мг/кг

На основе данных ПЭК, были рассчитаны медианные значения содержания загрязнителей для каждого объекта дноуглубления до и после работ (рисунки 36-38). Величины содержания загрязнителей в пробах грунта и воды до и после проведения дноуглубительных работ соответствуют фоновым данным, полученным различными авторами в разные периоды гидрологических циклов в устьевой области реки Северная Двина (Gordeev et al, 1996; Гордеев и др., 2012; Котова, 2016; Иглин и др., 2020).

Наблюдаются повышенные значения содержания нефтепродуктов в пробах грунта (рисунки 36-А) в акватории Чижовского канала (до ДР – 245 мг/кг) и погрузочно-разгрузочного района (далее – ПРР) Бакарица (до и после ДР – 250 мг/кг). Однако данные величины не превышают предельно допустимую концентрацию (ПДК) (1000 мг/кг). Наблюдается увеличение концентрации нефтепродуктов в пробах воды после дноуглубительных работ, однако, на небольшие значения (рисунок 37-А), за исключением района Отвала № 137, где зафиксировано их максимальное значение (0.27 мг/дм³), которое превышает ПДК (0.05 мг/дм³). По рассчитанным коэффициентам корреляции – 0.09 (таблица 13) не отмечается связь между величинами содержания нефтепродуктов в пробах грунта и пробах воды до и после дноуглубительных работ. Также не выявлена корреляция (таблица 14) между объемами дноуглубительных работ и содержанием в пробах грунта и воды нефтепродуктов на объектах дноуглубления (в пробах грунта 0.05) и отвалах грунта (в пробах грунта – 0.06, в пробах воды 0.34) (Иглин и др., 2020).

Выявлено повышение содержания свинца (рисунок 36-Б) в пробах грунта после дноуглубления в районе устьевого взморья (Мудьюгский - 5мг/кг, Устьяновский канал - 4мг/кг и Отвал №143 - 4.7мг/кг) и ПРР Бакарица - 6.4мг/кг. В тоже время наблюдается снижение концентраций свинца в пробах воды после проведения дноуглубительных работ (кроме Отвала №137) – 12.75мкг/дм³. На Мудьюгском канале до проведения работ отмечается максимальная концентрация свинца (18 мкг/дм³), превышающая ПДК в 3 раза. Данные корреляционного анализа между величиной содержания свинца в пробах грунта и воды (таблица 13) указывают на наличие прямой связи (коэффициент корреляции 0.60). Кроме того, было установлено, что присутствует связь (таблица 14) между объемами дноуглубления и содержанием свинца в воде в районах отвалов грунта (коэффициент корреляции 0.84). Таким образом, предполагается вторичное загрязнение воды свинцом вследствие дампинга грунта.

На акватории Устьяновского канала обнаружено повышенное содержания цинка и мышьяка в пробах грунта (рисунок 36-В, рисунок 36-Г) после проведения дноуглубления, превышение ПДК по цинку в 2 раза, а мышьяка – в 5 раз. Также отмечается повышенные содержания обоих элементов в пробах грунта в акватории Мудьюгского канала и ПРР Бакарица. В пробах воды обнаружено повышенное содержанием мышьяка, не превышающее ПДК в акватории Мудьюгского канала, Отвала № 143 (устьевое взморье реки), Соломбальского канала и Отвала № 137. Содержание цинка в пробах воды превышает ПДК в 1.6-1.8 раз, отсутствует тенденция к увеличению содержания после дноуглубительных работ.

Обнаружено, что есть прямая связь (коэффициент корреляции 0.62) между содержанием кадмия в грунте и воде до и после ДР (таблица 13). Также выявлено, что существует прямая связь (коэффициент корреляции 0.70 для объектов ДР и 0.65 для отвалов грунта) между объемами дноуглубления и содержанием кадмия в воде (таблица 14). В пробах грунта (рисунок 36-Е) наблюдается повышенное содержание кадмия в районе Мудьюгского канала, Отвала № 143 и Отвала № 150 с превышением ПДК до 4 раз. В пробах воды (рисунок 37-Е) отмечается увеличение значений содержания кадмия в акватории Лапоминского и Чижовского каналов (Маймаксанская протока) после дноуглубительных работ.

Наблюдается снижение содержания меди в пробах грунта (рисунок 36-Д) после проведения дноуглубительных работ, максимальные значения зафиксированы в районе Лапоминского и Чижовского канала (до 16.1 мг/кг, что в 2 раза ниже ПДК). В пробах воды (рисунок 37-Д) на акватории Лапоминского канала до ДР также наблюдаются повышенные значения содержания меди (6 мкг/дм³), превышающие ПДК в 6 раз. Корреляция (таблица 13) между содержанием меди в пробах грунта и пробах воды не найдены, как и между объемами дноуглубления и содержанием меди в пробах воды и грунта (таблица 14).

На рисунке 37-А представлены данные о содержании взвешенных веществ в пробах воды. Во всех случаях отмечается повышения концентрации взвеси после дноуглубительных работ. Максимальные значения зафиксированы в районе Соломбальского канала (18 мг/дм³). Установлена прямая связь между объемами дноуглубительных работ и повышением содержания взвеси в пробах воды на объектах дноуглубления (коэффициент корреляции 0.82) и отвалах грунта (коэффициент корреляции 0.75).

Таблица 13. Значения линейных коэффициентов корреляции Пирсона, между величинами содержания загрязнителей в грунте и воде на акваториях дноуглубительных работ в порту Архангельск за 2011-2017 гг. (жирным шрифтом показаны коэффициенты корреляции со средней и высокой силой связи).

Показатель	Коэффициент корреляции Пирсона
Нефтепродукты	0.09
Cd	0.62
Pb	-0.10
Cu	-0.03
Zn	-0.35
As	0.28

Таблица 14. Значения линейных коэффициентов корреляции Пирсона, между величинами содержания загрязнителей в грунте и воде и объемами ДР на акваториях дноуглубительных работ и отвалах грунта в порту Архангельск за 2011-2017 гг. (жирным шрифтом показаны коэффициенты корреляции со средней и высокой силой связи)

Показатель	В пробах грунта						В пробах воды								
	Нефт.	Cd	Pb	Cu	Zn	As	Нефть	Cd	Pb	Cu	Zn	As	Взв. в-ва	Раств. кислород	БПК
На объектах ДР	0.1	-0.45	0.60	-0.17	-0.10	-0.30	-	0.70	0.50	0.5	-	-	0.82	0.2	0.31
На отвалах грунта	0.1	0.12	0.84	-0.07	-0.23	0.11	0.3	0.65	-0.25	-0.1	0.1	-	0.75	-0.2	-0.31

Выявлено повышение содержания растворенного кислорода (Рисунок 38-Б) и снижение БПК₅ (Рисунок 38-В) после проведения дноуглубительных работ.

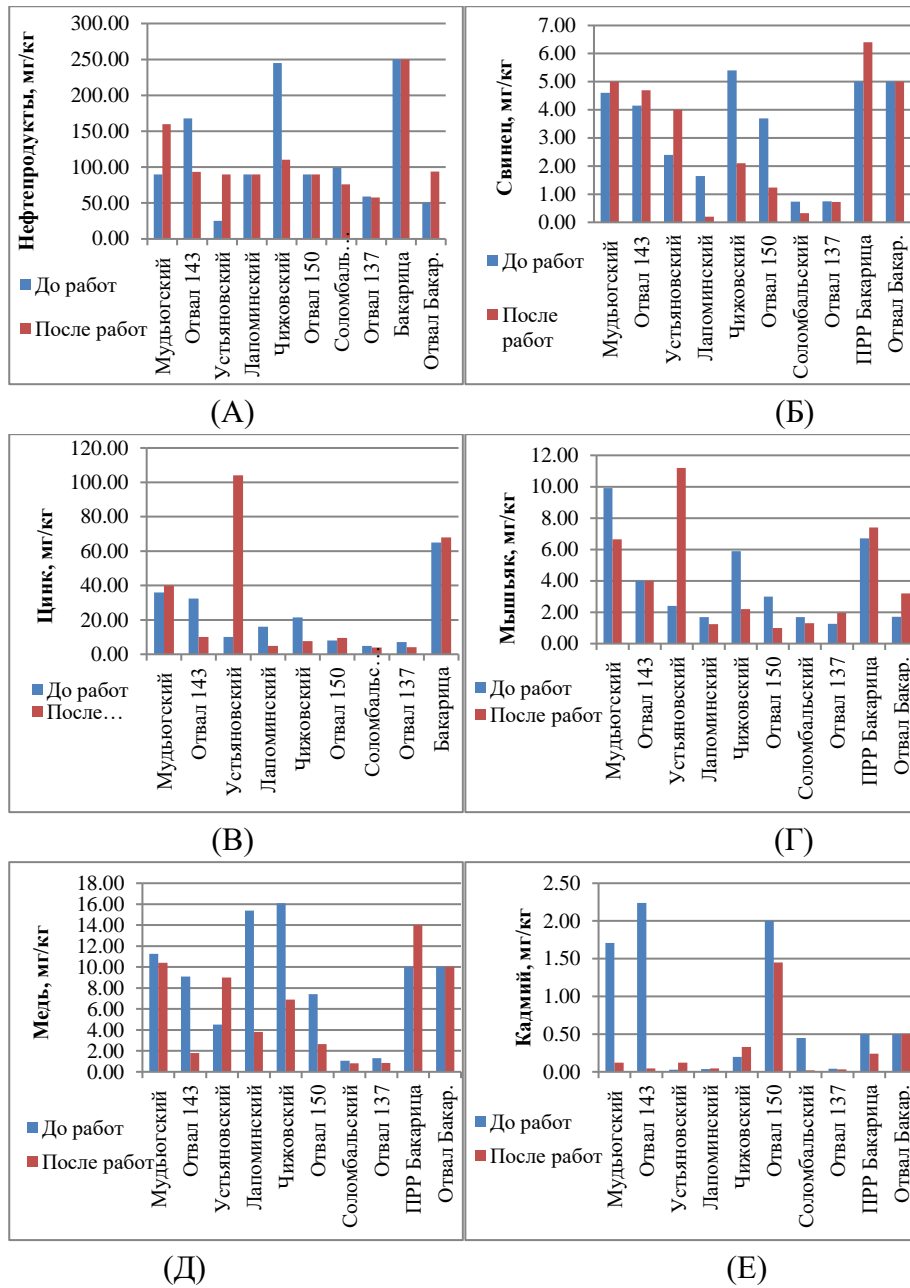


Рисунок 36. Медианные значения содержания загрязнителей в пробах грунта на акватории объектов дноуглубления в порту Архангельск за 2011-2017 гг. (А – нефтепродукты, мг/кг, Б – свинец, мг/кг, В – цинк, мг/кг, Г – мышьяк, мг/кг, Д – медь, мг/кг, Е – кадмий, мг/кг).

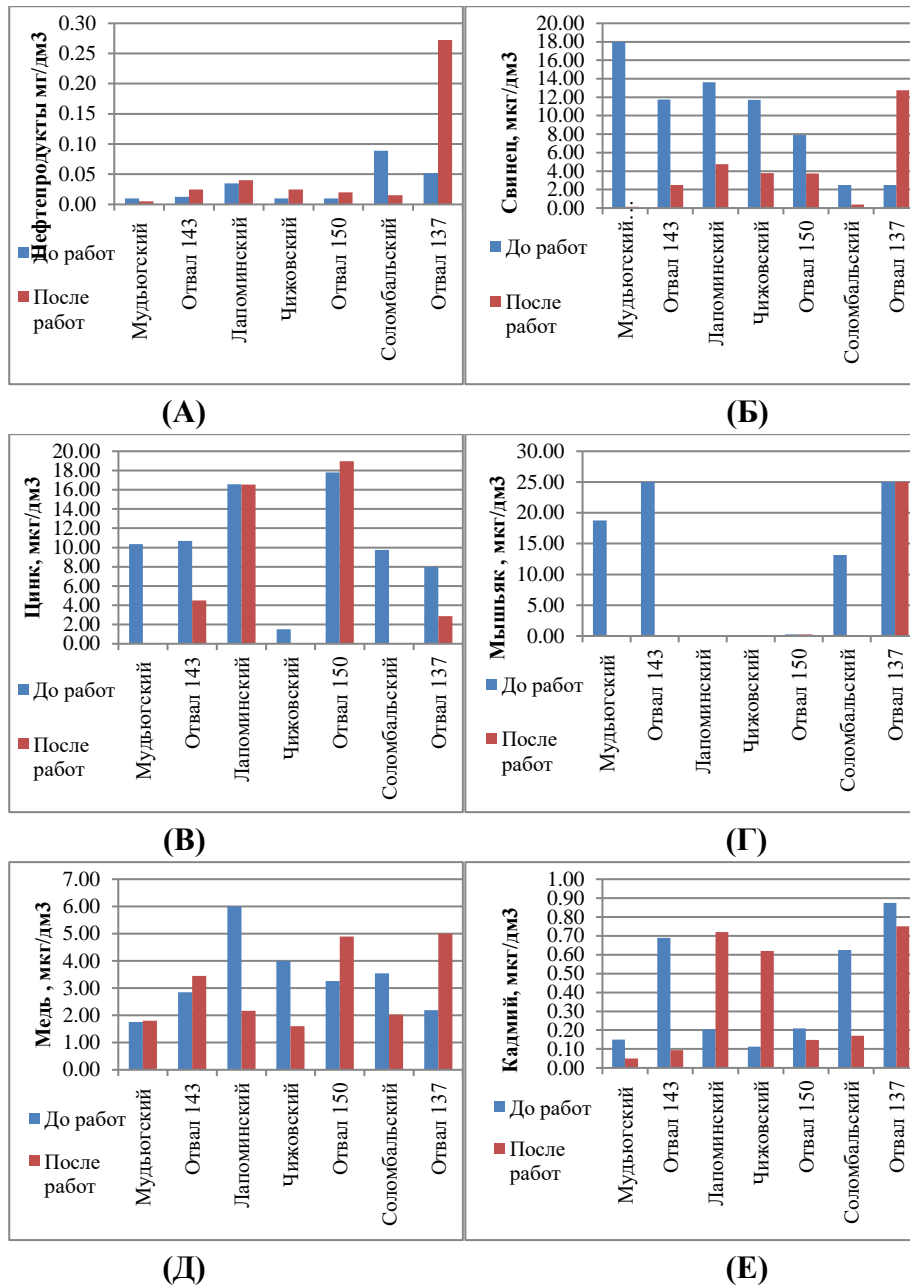


Рисунок 37. Медианные значения содержания загрязнителей в пробах воды на акватории объектов дноуглубления в порту Архангельск за 2011-2017 гг. (А – нефтепродукты, мг/дм³, Б – свинец, мкг/дм³, В – цинк, мкг/дм³, Г – мышьяк, мкг/ дм³, Д – медь, мкг/дм³, Е – кадмий, мкг/дм³).

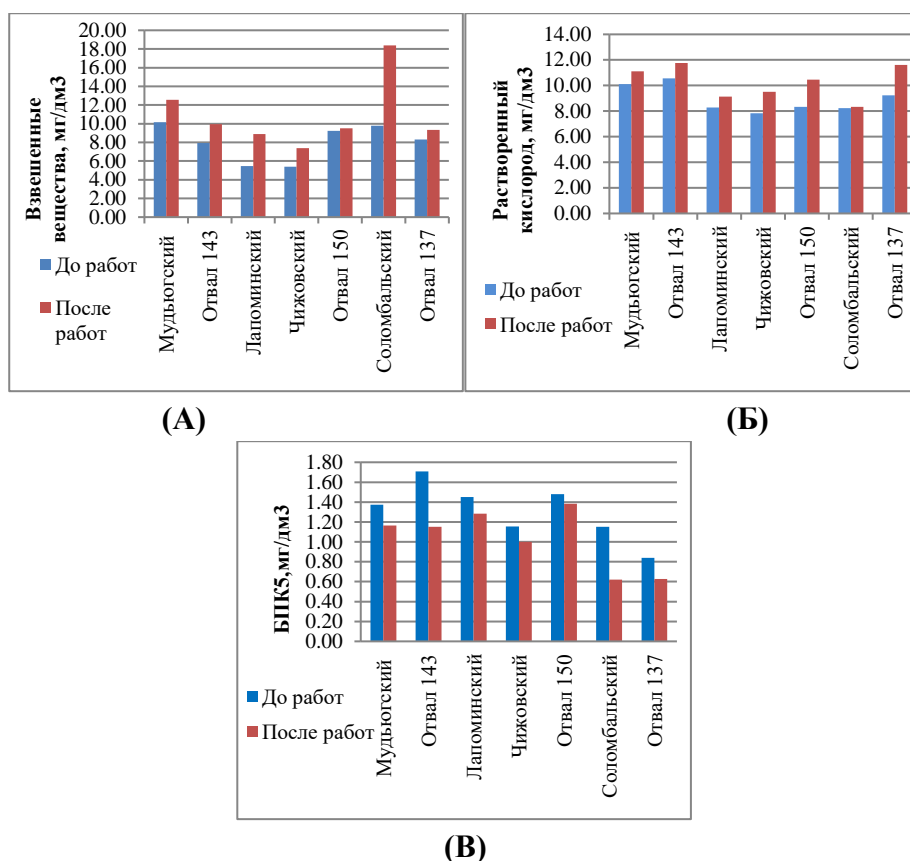


Рисунок 38. Медианные значения показателей качества воды в акватории объектов дноуглубления в порту Архангельск за 2011-2017 гг. (А – взвешенные вещества, мг/дм³, Б – растворенный кислород, мг/дм³, В – биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК₅), мг/дм³).

В результате ранее проведенных исследований загрязненности акватории устьевой области Северной Двины (Никанорова и др., 2010; Guay et al., 2010; Pokrovsky et al., 2010), авторы этих публикаций приходят к мнению, что загрязнение вод и донных отложений имеют неоднородность пространственного распределения (мозаичный характер). В зависимости от гидродинамических и морфодинамических особенностей различных участков устьевой области загрязняющие вещества могут, как накапливаться, так и вымываться.

Отмечается повышенное содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов в пробах грунта в районе ПРР Бакарица. Это может быть обусловлено явлением лавинной седиментации и тем, что причальная зона Бакарицы находится в зоне седиментационной ловушки (Иглин и др., 2019). Дноуглубление на акватории проводится нечасто, примерно, раз в 3-4 года с объемами до 100 тыс. м³. Таким образом, активное судоходство, долгий отстой судов и поступление загрязненных грунтов может являться источником для вторичного загрязнения.

Также отмечается повышенное содержание загрязнителей в районе устьевое взморья реки Северная Двина, особенно в пробах грунта. Как известно, в зоне геохимического барьера река-море, активно проходят процессы осадконакопления взвешенных веществ и растворенных

в воде элементов под действие процессов флокуляции и коагуляции (Лисицын, 1994), что может являться причиной данного явления.

Установлено, что существует прямая связь 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. Максимальные значения, зафиксированные в районе Устьевого взморья, превышали ПДК в более чем 4 раза. В водных экосистемах, подверженных, повышенному содержанию кадмия, формируются обогащенные кадмием техногенные грунты. Металл активно аккумулируется в донных грунтах и водах за счет высокой миграционной способности, что представляет собой источник постоянного вторичного загрязнения экосистемы, в том числе и во время дноуглубления и дампинга грунтов (Решетняк и др., 2017). Схожая ситуация наблюдается с содержанием свинца в пробах воды и грунта: максимальные значения, зафиксированные в зоне устьевого взморья (в пробах воды – 18 мкг/дм³, в пробах грунта – 5 мг/кг) и ПРР Бакарицы (в пробах грунта – 6.4 мг/кг).

Участок судового хода, находящийся в зоне устьевого взморья, подвержен наибольшим объемам заносимости и накопления вещества в районе маргинального фильтра, особенно во время штормов: только на одном Мудьюгском канале ежегодные объемы дноуглубления могут достигать 1 млн. м³, а объемы заносимости за один штормовой период – до 300 тыс. м³ (Иглин, 2019). Принимая во внимание повышенное содержание тяжелых металлов в грунте и воде, эта зона может быть подвержена вторичному загрязнению вод и грунтов в процессе дноуглубительных работ и дампинга.

В ходе анализа морфодинамических процессов по данным ежегодных съемок рельефа дна установлено, что только 30% объема грунта дноуглубления оседает в границах подводного отвала. Из этого можно сделать вывод, что большая часть сброшенного грунта, смешиваясь с морскими водами, мигрирует во взвешенном состоянии. При этом снижается концентрация взвеси и тяжелых металлов в воде, вследствие чего их часть со стоковым течением Северной Двины поступает в воды Белого моря. Время снижения концентрации взвешенных веществ зависит от физических свойств грунтов и гидродинамических условий района дноуглубления. По литературным данным это время может составлять от 30 минут до 2-3 часов, при этом концентрации достигают фоновых значений (Шавыкин и др., 2011; Гришин и др., 2011; Методические указания по расчету..., 2003).

Содержание взвешенных веществ в воде после дноуглубительных работ возрастает на всех объектах: на каналах – во время грунтозабора, на отвалах – во время дампинга. Установлено, что с повышением объема дноуглубления повышается и концентрация взвешенных веществ в воде. Нужно учитывать, что содержание взвеси в воде подвержено серьезной сезонной изменчивости. Так, в весенний период концентрация взвеси значительно повышается

относительно среднегодовых значений, и превышает наблюдаемые значения после дноуглубления (Копелевич и др., 2019; Коченкова и др., 2019). Также во время прохождения судов с предельно разрешенной осадкой происходит взмучивание донного грунта. При этом наблюдается кратковременное повышение концентрации взвешенных веществ в придонном горизонте, что также может являться источником вторичного загрязнения и заносимости (Чечко и др., 2011). Ветровое волнение и высокие градиенты скорости течений в районе устьевого взморья, особенно в зоне мелководной баровой области, действуя на тонкодисперсные поверхностные фракции, также кратковременно повышают концентрации взвеси в воде до 300 мг/дм^3 (Лещев, 2018). Таким образом, помимо ДР на значения концентрации взвеси влияют и другие природные и антропогенные факторы, которые могут являться источником вторичного загрязнения вод.

Важно отметить, что повышение концентраций растворенного кислорода связано с сезонной изменчивостью, а не со дноуглубительными работами. Так как отбор проб перед дноуглублением происходит в начале летней навигации (Иглин, 2019) (май-июнь), а заканчивается дноуглубление, как правило, в осенние месяцы (октябрь-ноябрь), то со снижением температуры воды повышается значение растворенного кислорода в воде (Нецветаева, 2017). В то же время снижение БПК₅ также характеризуется сезонным изменением (Кузнецов и др., 1991). Поэтому изменение данных показателей не связано с проведением дноуглубления в акватории устьевой области реки Северная Двина.

3.4 Временная изменчивость характеристик, влияющих на степень загрязнения в ходе дноуглубительных работ, на Мудьюгском канале в морском порту Архангельск

Гидромеханизированные работы по устройству рельефа морского и речного дна (дноуглубительные работы, добыча сыпучих полезных ископаемых, строительство мостов, причалов, намыв новых территорий), как уже отмечалось выше, оказывают негативное воздействие на водную среду, жизнедеятельность гидробионтов и человека.

В морском порту Архангельск, находящимся в акватории устьевой области реки Северная Двина, ежегодно проводятся дноуглубительные работы по поддержанию глубин, необходимых для безопасного судоходства (Иглин и др., 2019). Углубляемые объекты находятся на различных участках в акватории порта, поэтому при проведении работ одними и теми

техническими средствами негативное влияние будет обуславливаться только изменчивостью природных факторов. Изменчивость характеристик режимов устьевой области Северной Двины имеет существенный пространственный и временной характер и в большой степени зависит от фазы водного режима реки (весенний половодье, летняя межень, осеннее паводок), интенсивности антропогенной нагрузки (Гордеев и др., 2021). К факторам, имеющим существенную временную изменчивость, и определяющим степень экологического воздействия дноуглубительных работ на водную среду, можно отнести содержание загрязнителей (тяжелые металлы, нефтепродукты) в воде и грунте, концентрации взвешенных веществ, наблюдаемых в зоне проведения работ, объемы дноуглубительных работ (объемы заносимости).

Рассмотрим временную изменчивость факторов, определяющих степень влияния дноуглубления на водную среду в морском порту Архангельск, на примере Мудьюгского канала. К факторам, от которых будет зависеть уровень негативного влияния на водную среду дноуглубительных работ и имеющим временную изменчивость, можно отнести содержание загрязнителей (тяжелые металлы (Cd, Pb, Zn, Cu, As), нефтепродукты) в грунте и воде, содержание взвешенных веществ в воде, объемы дноуглубительных работ (заносимость).

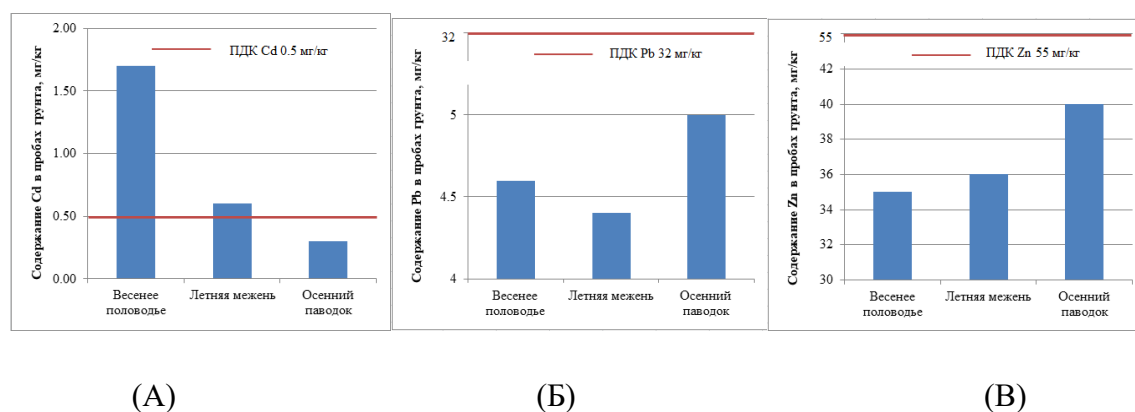


Рисунок 39. Временная изменчивость содержания загрязнителей в пробах грунта на Мудьюгском канале в порту Архангельск за 2011-2017 гг. (А – кадмий, мг/кг, Б – свинец, мг/кг, В – цинк, мг/кг).

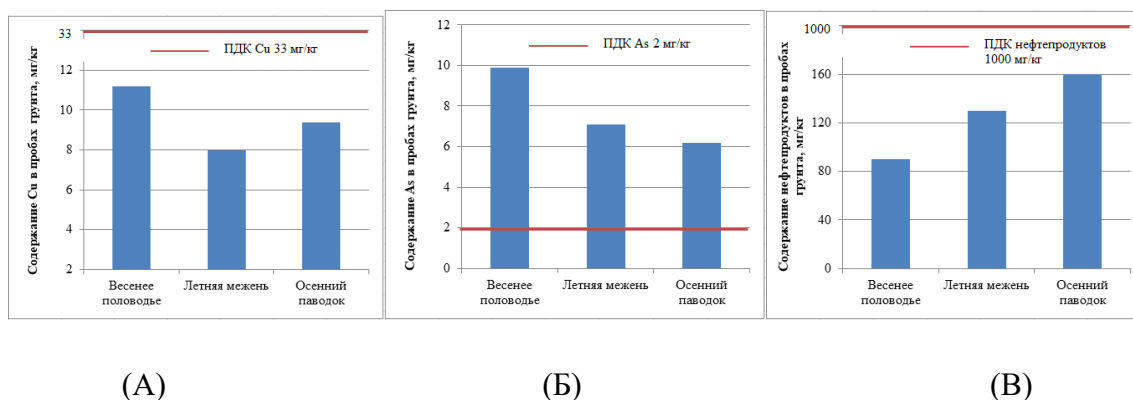


Рисунок 40. Временная изменчивость содержания загрязнителей в пробах грунта на Мудьюгском канале в порту Архангельск за 2011-2017 гг. (А – медь, мг/кг, Б – мышьяк, мг/кг, В – нефтепродукты, мг/кг).

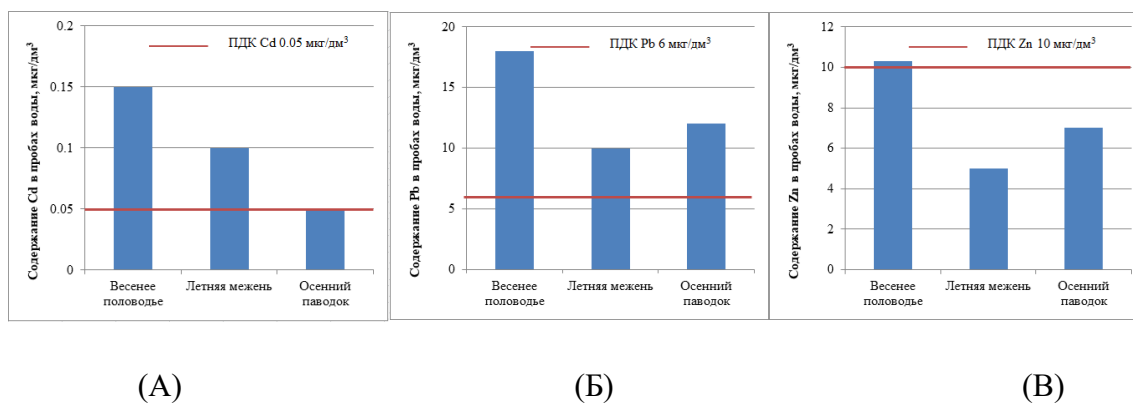


Рисунок 41. Временная изменчивость содержания загрязнителей в пробах воды на Мудьюгском канале в порту Архангельск за 2011-2017 гг. (А – кадмий, мкг/дм³, Б – свинец, мкг/дм³, В – цинк, мкг/дм³).

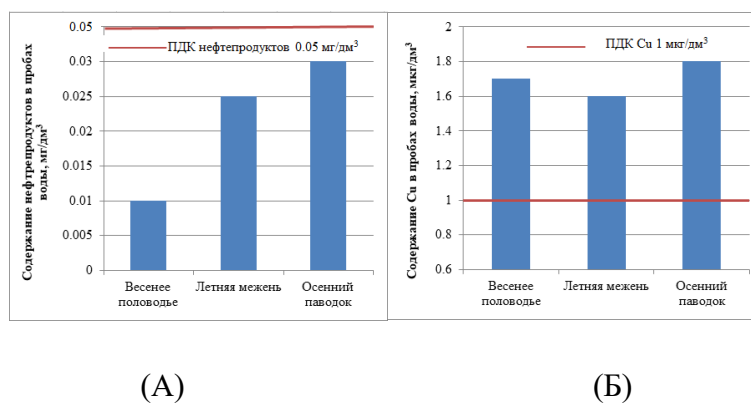


Рисунок 42. Временная изменчивость содержания загрязнителей в пробах воды на Мудьюгском канале в порту Архангельск за 2011-2017 гг. (А – нефтепродукты, мг/дм³, Б – медь, мкг/дм³).

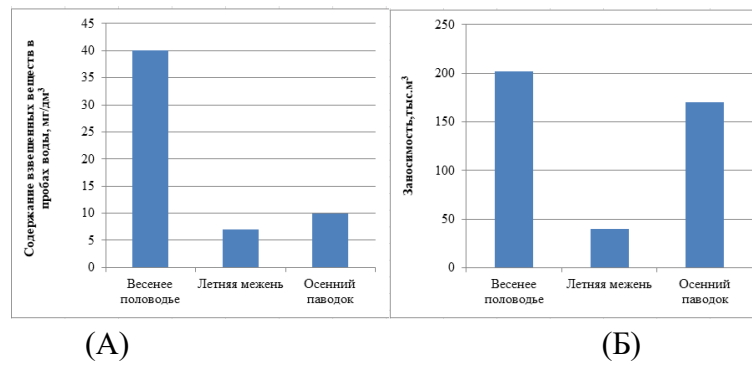


Рисунок 43. Временная изменчивость заносимости и содержания взвешенных веществ на Мудьюгском канале, в порту Архангельск за 2011-2017 гг. (А – взвешенные вещества, мг/дм³, Б – заносимость, тыс. м³).

На рисунке 43-А представлены фоновые концентрации взвеси в воде, очевидно, что в ходе прохождения волны весеннего половодья концентрации взвеси в несколько раз превышают значения в иные фазы водного режима для рассматриваемого объекта дноуглубления. Дноуглубительные работы, проводимые в период весеннего половодья и его затухания (май-июнь), будут оказывать потенциально меньший негативный эффект из-за несильного превышения фоновых концентраций взвеси в воде. На рисунке 43-Б показана изменчивость объемов наносов, поступающих на исследуемый судоходный объект. Установлено, что наибольшие объемы наносов наблюдаются на Мудьюгском канале и во время весеннего половодья и во время осеннего паводка, это обусловлено с одной стороны аккумуляцией наносов в зоне мелководного бара, где под действием маргинального фильтра зоны смешения морских и речных вод происходит активное накопление взвешенных частиц и растворенных в воде элементов, а с другой стороны под действием штормовых явлений интенсивность которых возрастает в осеннее время под действием ветров северных и северо-западных направлений (Иглин и др., 2022, Коченкова и др., 2018).

Загрязненность грунтов в устьевой области реки Северная Двина имеет существенную пространственную и временную изменчивость (рисунки 39, 40), это обусловлено неодинаковой антропогенной нагрузкой на участки реки и взморья, а также природными процессами накопления химических элементов, способностью грунтов различных гранулометрических составов накапливать в себе поллютанты. Максимальная загрязненность кадмием, медью и мышьяком наблюдалась в летнюю межень после оседания взвешенных частиц, содержащихся в снежном покрове, а также смываемых весенним половодьем с берегов. В то же время максимальные загрязнения свинцом, цинком и нефтепродуктами зафиксированы в период осеннего паводка.

Загрязненность вод (рисунки 41, 42) нефтепродуктами и медью возрастает к концу летнего навигационного периода, это обусловлено активной антропогенной деятельностью человека:

портовыми работами, гидротехническим строительством, бункеровкой судов. Сезонные колебания содержания нефтепродуктов в водах Северной Двины формируются под влиянием различных факторов, среди которых следует выделить техногенное влияние, включая судоходство, речной сток, метеорологические, гидрологические процессы (Климовский и др., 2020, Джама-лов и др., 2019). Нефтяное загрязнение токсично для всех гидробионтов, включая рыб, особенно на ранних стадиях онтогенеза и влечет за собой поражение центральной нервной системы, печени, снижение защитных и двигательных функций, поведенческих реакций и т. д. (Новоселов и др., 2014). Максимумы содержания кадмия, свинца и цинка в пробах воды на Мудьюгском канале зафиксированы во время весеннего половодья, а минимумы свинца, цинка и меди в период весенней межени.

3.5 Оценка состояния водных биоресурсов устьевой области реки Северная Двина, подвергающихся негативному воздействию дноуглубительных работ

Устьевая область реки Северная Двина является важным природным объектом с точки зрения рыбного промысла и использования иных водных биоресурсов в Архангельской области. Поэтому важным аспектом является мониторинг состояния, сохранение численного и видового разнообразия ихтиофауны и ее кормовой базы. Как отмечалось в параграфе 1.6, устьевая область реки Северная Двина подвержена различным видам антропогенной нагрузки, это и гидротехническое строительство, деятельность целлюлозно-бумажного комбината, водный транспорт и прочее. Согласно исследованию (Новоселов и др., 2015), установлено, что рыбы р. Северной Двины обитают в условиях многофакторного хронического загрязнения. Многие из выявленных нарушений являются необратимыми и приводят организмы рыб к гибели. Другие, выступая в качестве основы компенсаторно-адаптивных реакций, способствуют переходу на новый функциональный уровень, позволяющий рыбам выжить и существовать в загрязненной среде. Активная антропогенная деятельность (в том числе и дноуглубительные работы) в устьевой области влияет на качество вод, донных грунтов и жизнедеятельность водных биоресурсов.

В работе (Новоселов и др., 2022) отмечается, что в устьевой области обитает 36 видов рыбообразных и рыб. В системном отношении ихтиофауна представлена 5 семействами морских и 12 семействами пресноводных рыб. Авторами установлено, что видовое разнообразие

ихтиофауны находится на достаточно высоком уровне. Рыбное население характеризуется широким экологическим разнообразием питания и естественного воспроизводства. Выявлено, что одни из основных видов промысловых видов рыб – лещ и сиг – по характеру питания являются бентофагами.

Как отмечается в (Новоселов, 2014) в зонах повышенной мутности, создаваемых при грунтозаборе и сбросе донных грунтов в подводные отвалы, взвешенные вещества забивают жаберные полости рыб и личинок, приводя к ухудшению физиологического состояния взрослых особей и к гибели молоди. Увеличение количества взвешенных минеральных и органических веществ в воде сокращает, а в отдельных случаях и полностью сводит на нет численность фито- и зоопланктона. Особо велико влияние дноуглубления на гидробионтов, ведущих донный образ жизни, оно может проявляться как в полном изъятии бентосных организмов в зоне работ, так и в разрушении соответствующих субстратов.

Важным компонентом является оценка состояния фито-, зоопланктона и бентосных сообществ, они являются с одной стороны ключевым компонентом кормовой базы многих видов ихтиофауны, с другой стороны являются продуцентом органического вещества, кислорода, а также является индикатором общего экологического состояния водного объекта (Новоселов и др., 2022).

Авторы в (Воробьева и др., 2010; Воробьева и др., 2010) пришли к выводам, что состав планктонных сообществ за последние сто лет претерпел изменения, обусловленные интенсивной антропогенной нагрузкой. Было выявлено, что одним из ключевых факторов, обуславливающих нарушение естественных соотношений компонентов планктонных сообществ является воздействие сточных вод целлюлозно-бумажного комбината в районе г. Новодвинск. Это нарушение выражается в смене доминирующих видов и изменении количественных соотношений отдельных компонентов биоценозов.

В более позднем исследовании (Зметная, 2015) установлено что, в водах дельты р. Северной Двины фитопланктон представлен доминирующим комплексом видов, в состав которого входят диатомовые водоросли *Asterionella formosa*, *Cyclotella comta*, *Fragilaria crotonensis*, *Melosira granulata*. Динамика развития биомассы планктонных сообществ подчиняется классической схемы: в начале вегетационного периода (июнь, июль) повсеместно отмечается максимальные значения биомассы, начиная с августа по октябрь биомасса фитопланктона снижается.

Максимальная численность и видовое разнообразие зоопланктонных сообществ достигается во второй половине лета (июль, август). Структурообразующий комплекс сообщества формируют следующие виды: *B. obtusirostris*, *B. longirostris*, *Cer. affinis*, *Cer. quadrangular*, *A. quadrangularis*, *C. scutifer*, *M. oithonoides*, *M. leuckarti*, *E. lacustris*, *B. calyciflorus*, *K. Cochlearis* (Зметная, 2018).

Зообентос в устье Северной Двины также подвержен существенным пространственным и временным изменениям. По литературным данным с 2012-2018 годы биомасса беспозвоночных варьировала от 0.29-25.3 г/м², составив в среднем 6.21 г/м² (Студенова и др., 2021). В формировании биомассы зообентоса значительную роль играли двустворчатые моллюски, личинки комаров-звонцов и брюхоногие моллюски.

Согласно аналитическому обзору, приведенному в работе сотрудника ГОИН Н.П. Мокеевой (Мокеева, 1988), негативные явления от взвесей для морских гидробионтов появляются при их концентрации 44-60 мг/л. В Двинском заливе, где увеличивается доля связных наносов (ила и глины) и большое развитие получает ветровое волнение и волны зыби, они могут повышаться до уровня 100 мг/л и даже более. Аналогичная ситуация может также наблюдаться в период весеннего половодья и во время интенсивного осеннего дождевого паводка.

Биомасса фитопланктона в рассматриваемом районе Двинского залива была заметно ниже, чем на открытых акваториях Белого моря (Ильяш, 2012). Но подобное явление в целом характерно для вершин всех его опресняемых заливов. Среднегодовая первичная продукция фитопланктона в распресняемых зонах Белого моря составляет около 25-35 мг С/м² сутки (Ильяш, 2012). Её максимальные показатели, обычно, фиксируются в весенний период. По данным многолетних исследований СевПИПРО средняя биомасса зоопланктона на устьевом взморье и в дельте составляет 10-40 мг/м³.

Например, по данным работы (Соколова, 1970) такие биоценозы в устьевой области р. Северной Двины имеют среднюю численность зообентоса около 200 экз./м² при биомассе 0,452 г/м². В то же время на заиленных песках и в зарослях водных растений число организмов зообентоса здесь достигает 1400 экз./м², а биомасса – 17,26 г/м².

Анализируя материалы, находящиеся в фондовых архива Архангельского филиала ФГУП «Росморпорт», по мониторингу по состоянию водных биоресурсов можно прийти к выводу, что наблюдается тренд к снижению биомассы бентосных сообществ на Мудьюгском канале (Рисунок 44).

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).

В работе (Зеленков, 2017) рассматривались вопросы влияния сброса донного грунта в устьевом взморье реки Северная Двина. Авторами 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. Это обусловлено негативным воздействием операций по захоронению грунта, в том числе содержащего повышенные концентрации

нефтяных углеводородов. Отмечается, что подобные ситуации могут наблюдаться и на незагрязняемых 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.

Также установлено, что разовый сброс грунта, обогащенного нетоксичной органикой, может способствовать временному и локальному повышению массы донных беспозвоночных. Необходимо заметить, что указанное влияние не выходит за рамки негативных эффектов, вызываемых природными процессами. Для юго-западной части Двинского залива к ним, в первую очередь, необходимо отнести значительную литодинамику песчаных и песчано-илистых наносов, происходящих во время штормов, а также переотложение наносов при прохождении мощных весенних паводков на Северной Двине. Эти процессы, как показывали наблюдения на фоновых станциях, способны вызывать значительные межгодовые изменения параметров зообентоса в юго-западной части Двинского залива даже на участках, где сброс грунта не производится.

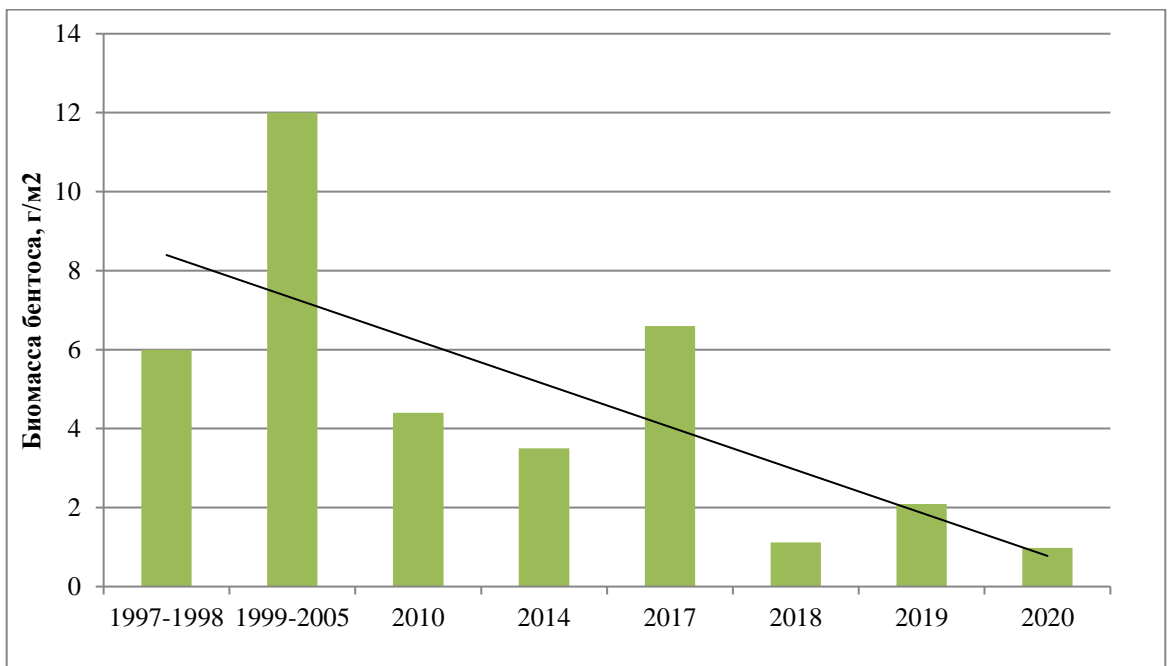


Рисунок 44. Биомасса фито- и зообентоса в пробах на Мудьюгском канале по материалам мониторинга по состоянию водных биоресурсов

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА МАСШТАБОВ ЗАНОСИМОСТИ В МОРСКОМ ПОРТУ АРХАНГЕЛЬСК

4.1 Понятие заносимости

В период эксплуатации морских и речных гидротехнических сооружений приходится систематически проводить работы (дноуглубление) по удалению отложившихся наносов, изменяющих габаритные размеры судоходных каналов и акваторий, и тем самым препятствующих нормальному судоходству. Заносимость, как уже упоминалось, понятие, применяемое к рельефу дна акватории гидротехнического сооружения, это тот объем донного грунта, образовавшийся или переместившийся в исследуемую акваторию и находящийся выше проектной глубины. Как правило, заносимость - результат естественных природных процессов движения речных наносов или динамики береговой зоны морей. Выделяют также и техногенную (вторичную заносимость) – это наносы, осаждающиеся в ходе взмучивания донного грунта при дноуглубительных работах. Наличие заносимости влечет за собой уменьшение навигационной глубины, снижение проходимости судов и, как следствие, снижение грузооборота в порту (Кривицкий и др., 2013).

Капитальное строительство новых портов и каналов, а также их эксплуатация тесно связаны с процессами образования и перемещения наносов. Дноуглубительные работы в зонах с высокой литодинамической активностью являются обязательными как на этапе строительства, так и в процессе восстановления проектных габаритов каналов. Поддержание проектных габаритов обеспечивается проведением ремонтных дноуглубительных работ, затраты на которые напрямую зависят от объемов и интенсивности наносонакопления. Расчеты и прогнозирование заносимости требуют высокой изученности региона: инженерно-гидрографической, инженерно-гидрометеорологической и инженерно-геологической информации. Актуализирование этих исследований предполагает применение разнообразных математических и полевых методов (Гладыш и др., 2017).

Заносимость, как отмечалось выше, зависит от гидродинамического режима исследуемой акватории, гидрометеорологических и геолого-геоморфологических условий, направления трассы канала и его габаритов (Климович, 2018). К гидрометеорологическим факторам относятся: ветер, вызываемые им волнение и течения, постоянные течения. При наличии в акватории тонкодисперсных грунтов и мелководных областей эти факторы во много определяют

режим потока наносов и заносимость объекта. К геолого-геоморфологическим факторам относятся: гранулометрический и минеральный состав донных грунтов, в которых проходит судоходный канал (в особенности верхних слоев), морфологическое строение берегов и забровочных пространств (Гидрология и гидротехнические..., 1988).

Главным источником заносимости являются частицы донного грунта, находящиеся в водной среде и появляющиеся в результате размыва берегов и дна акватории, вызываемого течениями. Наносы разделяют на взвешенные и донные (Алексеевский, 1998). Волнение и течение, поднимая частицы грунта со дна открытой мелководной акватории, насыщают ими всю толщу воды по мере своей несущей способности (Власов, 2001). Взвешенными наносами принято считать частицы грунта, наиболее мелких фракций (илистые частицы, мелкие пески), которые под действием движения потока воды, находятся во взвешенном состоянии длительное время. Движение взвешенных наносов определяется общим потоком воды. Установлено, что чем меньше фракция частиц, тем скорость перемещения взвешенных наносов более приближается к скорости течения воды (Караушев, 1960). Наибольшая концентрация взвешенных наносов и ее наибольшие градиенты наблюдаются в придонном слое. В основной толще потока концентрация взвешенных наносов и ее градиенты значительно меньше, чем в придонном слое (Гидрология и гидротехнические..., 1988).

Донными наносами принято считать донные грунты, наиболее крупных (крупные и средние пески, гравий, галька) фракций, которые при движении под воздействием потока воды не отрываются от дна или отрываются на очень короткое время. Донные наносы могут быть разделены на влекомые, которые перемещаются по дну скольжением и качением, и на полувзвешенные, которые перемещаются скачками (сальтируют), приподнимаясь над дном на расстояние одного порядка со своим размером. Разделение на взвешенные и донные наносы условно, так при возрастающей скорости потока частицы грунта, перемещающиеся качением или скольжением, при определенной скорости отрываются от дна и переходят в категорию взвешенных наносов и, наоборот, с уменьшением скорости часть взвешенных наносов выпадает на дно и продолжает движение как донные наносы (Гидрология и гидротехнические..., 1988; Елфимов, 2008). Движение наносов не является непрерывным, попадая в процессе перемещения на дно, они некоторое время находятся здесь, а затем снова взвешиваются (Караушев, 1960).

Большая часть портов в мире находятся в устьевых областях рек, для транспортной доступности и внутренних водных путей и доступа к открытому морю, заносимость таких объектов, как правило (Van Rijn, 1993; Sediment Transport, 2011; Heining, 2015; Елфимов, 2008) определяется твердым стоком реки, и воздействием гидрометеорологических факторов (особенно штормов) на литодинамический режим прибрежной зоны. Каналы являются ловушкой для всего потока взвешенных веществ и влекомых наносов. На каналы, находящиеся в дельте

устьевой области, будут в большей степени воздействовать речные руслообразующие факторы формирования и отложения наносов (Чалов, 2016). В свою очередь на поверхность морских каналов, находящихся на участках устьевого взморья, будут в большей степени воздействовать гидрометеорологические факторы формирования рельефа дна. Зачастую такие каналы проложены через мелководные баровые области отложения выносимого рекой материала, такие морфологические условия способствуют активному накоплению наносов в акваториях каналов после прохождения штормов (Иглин и др., 2020).

Выделяют внешнюю заносимость (вызывается отложением в канале донных и взвешенных наносов под действием течения и волнения) и внутреннюю заносимость (вызывается оползанием откосов) (Понятовский, 2004). Слишком крутые откосы приводят к быстрому оползанию, слишком пологие – к значительному увеличению объем дноуглубительных работ. Крутизна откосов зависит от грунтов дна и естественных (забровочных) глубин. Внутренняя заносимость определяется конфигурацией откосов каналов и их деформацией под действием поперечных к оси каналу течений.

Определением заносимости при эксплуатации акватории требуется для планирования ремонтных дноуглубительных работ, экономической эффективности использования портовых сооружений. Эксплуатация судоходных акваторий подразумевает регулярное проведение гидрографических работ в виде съемок рельефа дна для актуализации глубин для передачи данных судоводителям и капитану морского порта для определения разрешенной максимальной осадки судов. Причем частота проведения промерных работ зависит от годового слоя наносов (РД 31.74.04-2002 Технология..., 2004).

Определение потенциальной заносимости - важный этап проектирования морских каналов и судоходных акваторий: необходимо обеспечить выбор трассы канала с учетом минимально возможного поступления наносов в проектируемую акваторию. Запас на заносимость по глубине и ширине определяется по материалам инженерно-гидрометеорологических изысканий и должен быть отражен в проектной документации на ремонтные дноуглубительные работы. Величина запаса на заносимость может быть одинаковой по всему каналу (акватории) или переменной по его (ее) длине (площади) в зависимости от интенсивности заносимости различных участков и геологических условий.

На этапе проектирования судоходного объекта требуется оценить масштабы потенциальной заносимости, возможно это сделать методами априорной оценки. Выделяют ветроэнергетический метод, волноэнергетический метод, ветро-волноэнергетический (Руководство по методам..., 1975). Все они основаны на оценке интенсивности гидрометеорологических явлений.

Морфодинамические процессы формирования рельефа морского дна во время штормов обусловлены комплексным взаимодействием системы «атмосфера-гидросфера-литосфера», имеют сложную и многокомпонентную структуру и обуславливается взаимодействием нескольких компонентов, в первую очередь течений (Леонтьев, 2001; Михайлов, 1997).

Теоретическое решение задач, связанных с расчетом и прогнозом транспорта наносов в ходе шторма, подразумевает многочисленные упрощения и, как следствие, ввод дополнительных гипотез. При этом результаты моделирования имеют, как правило, приближённый характер и могут существенно отличаться от экспериментальных данных (Доронин, 2007; Нуднер и др., 2008). Математический аппарат, используемый как для прогнозирования штормовых процессов, так и при моделировании движения наносов достаточно сложен для практических расчетов. Кроме того, для его применения в условиях эксплуатации путевых морских сооружений требуются материалы комплексных инженерных морских изысканий, оперативное получение которых часто представляется затруднительным. В то же время, в случаях, когда на этапе эксплуатации канала проводится регулярная актуализация глубин после штормов, для расчета и прогноза заносимости могут быть использованы полуэмпирические зависимости, основанные на статистических связях параметров уменьшения габаритов канала с характеристиками штормовых событий (Илюшин, 2008).

Методами защиты от заносимости (снижения объемов) можно считать:

- устройство наносоулавливающих ловушек (запроектирование переуглубление дна со стороны поступления наносов (например, со стороны господствующих ветров) (Piton, 2016; Schwindt et al., 2018);

- устройство ледо- и наносозащитных сооружений в виде дамб, или ряда забитых свай (шпунта);

- использование запаса на заносимость при проектировании морских каналов – величины прогнозируемой ежегодной толщины отложения наносов, включенной в значение проектной глубины (СП 444.1326000.2019 Нормы на проектирование..., 2019);

- проведение и оптимизация процессов дноуглубления: учет приливно-отливных колебаний, использование наиболее рациональных методов извлечения и отгрузки донного грунта, оптимизацию размещения подводных отвалов грунта.

4.2 Масштабы заносимости в порту Архангельск

Основой для оценки интенсивности образования наносов в акватории порта Архангельск послужили цифровые модели рельефа дна, полученные в ходе проведения ежегодных гидрографических работ Архангельским филиалом ФГУП «Росморпорт» 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 (от порта Экономия до причалов ООО «РН-Архангельскнефтепродукт»), участок главного русла (Рисунок 45.) Как основной временной промежуток оценки заносимости была выбрана зимняя навигация (с декабря по апрель), поскольку, как показано выше, именно за это время накапливается существенный объем наносов на каналах, особенно во время весеннего половодья и зимних штормов, и отсутствует регулярная актуализация глубин (Гидрология устьевой области..., 1965; Власов, 2001).

Из исходных данных съемки рельефа дна с помощью специализированного гидрографического программного обеспечения (Qinсу 8.1) была построена средняя поверхность разности глубин за 2014-2018 годы. Плюсовые значения аппликат полученных точек означали наличие отложения наносов, а отрицательные – наличие процессов размыва канала.

Обобщенные результаты по участкам судового хода представлены в Таблице 15. Подробные результаты представлены на рисунках 46-48, Таблице 15. Установлено, что наибольший объем наносов за зимнюю навигацию образуется в акватории устьевого взморья реки Северная Двина, составляет более 374 тыс. м³, в то время как в акватории канала Мудьюгских башен (северная часть судового хода) оседает более 246 тыс. м³. В этой зоне наблюдаются и наибольшие толщины наносов, которые достигают до 1,5 м. Процессы размыва рельефа дна выражены достаточно слабо, объем размываемого грунта – порядка 10 тыс. м³. В среднем за зимнюю навигацию каналы устьевого взморья заносит на 0,09 м ежегодно. Большая часть наносов этого участка концентрируется в зоне канала Мудьюгских башен. Наносы откладываются в акватории канала 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. Процессы размыва выражены в наименьшей степени. Среднее изменение рельефа дна составляет 0,05 м в год. Заносимость имеет многолетний характер,

локально (в районе каналов Кузнечевский входной и Лодьмостровский); требуется проведение дноуглубительных работ примерно один раз в 4-5 лет.

Наименьшие объемы наносов наблюдаются в акватории Маймаксанской протоки, составляющие 65 тыс. м³; за год каналы становятся мельче на 0,03 м. Максимальный слой наносов составляет 0,64 м. С точки зрения поддержания глубин каналы Маймаксанской протоки являются наиболее благоприятными.

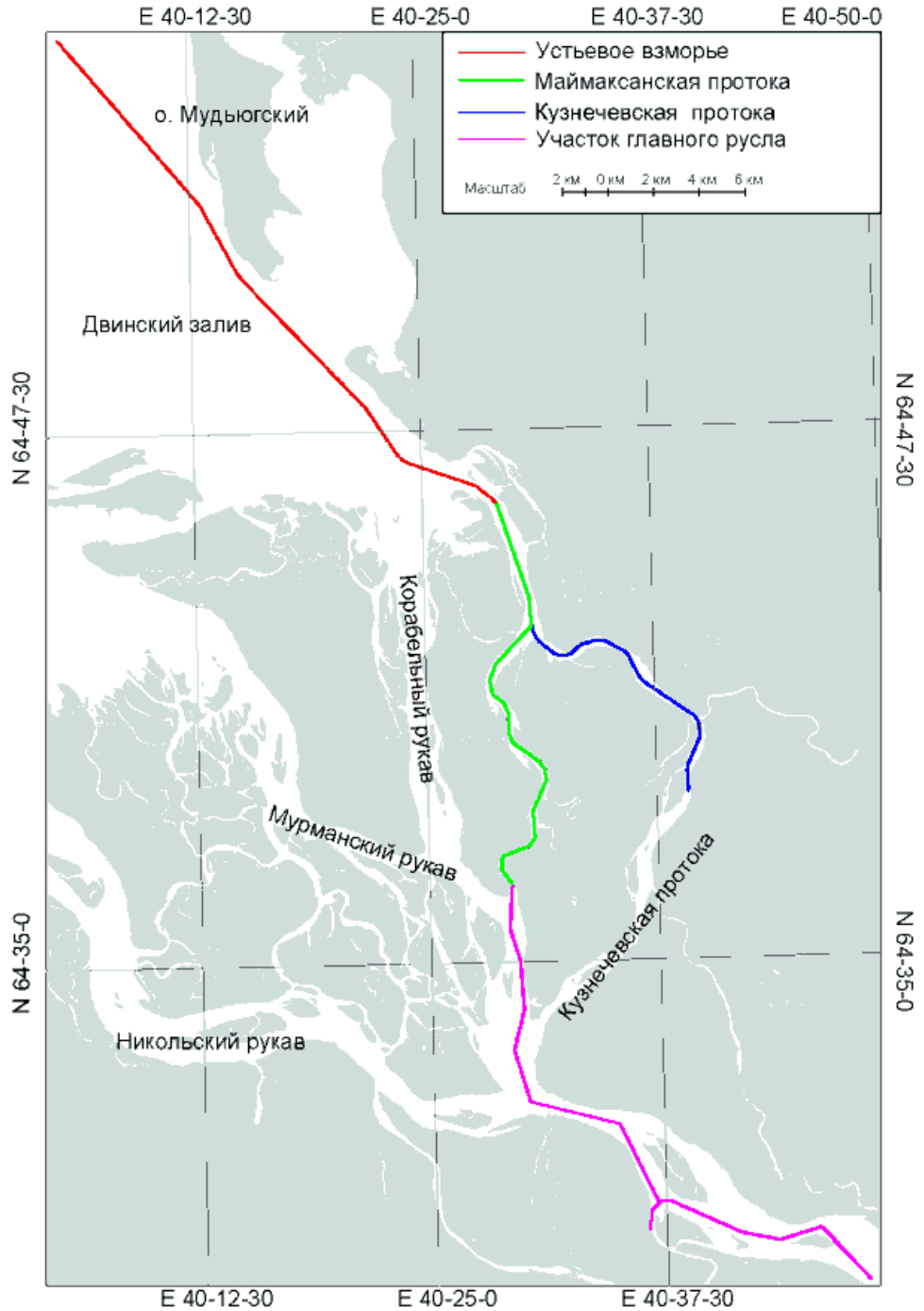


Рисунок 45. Схема участков судового хода в порту Архангельск.

Каналы участка главного русла устьевой области также существенно подвержены процессам заносимости. Толщины наносов могут достигать до 1,30 м. Ежегодный объем заносимости составляет более 146 тыс. м³. Заносимость имеет также сезонный характер, наиболее интенсивно это происходит в зоне Соломбальского канала. Ярко выражены процессы размыва дна, что говорит о последующей аккумуляции наносов в других зонах ниже по течению (Мурманский рукав, Никольский рукав, южная часть Маймаксанской и Кузнечевской протоки и др.) Объемы ежегодного размыва порядка 77 тыс. м³ грунта, локальный размыв может составлять 2 м. 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).

Таблица 15. Результаты сравнительной оценки заносимости и размыва участков судоходных путей в устьевой области реки Северная Двина.

Участок	Среднее изменение рельефа, м	Максимальная толщина наносов, м	Средняя толщина наносов, м	Объем заносимости, м ³	Максимальный размыв, м	Средний слой размыва, м	Объем размыва, м ³
Устьевое взморье	0.09	1.53	0.10	374 404	0.51	0.02	10 804
Кузнечевская протока	0.05	0.32	0.06	81 052	0.51	0.02	3 865
Маймаксанская протока	0.03	0.64	0.04	65 331	0.75	0.02	10 056
Участок главного русла	0.02	1.30	0.08	146 168	1.96	0.06	77 344



Рисунок 46. Пространственное распределение заносимости на каналах в устьевом взморье морского порта Архангельск.

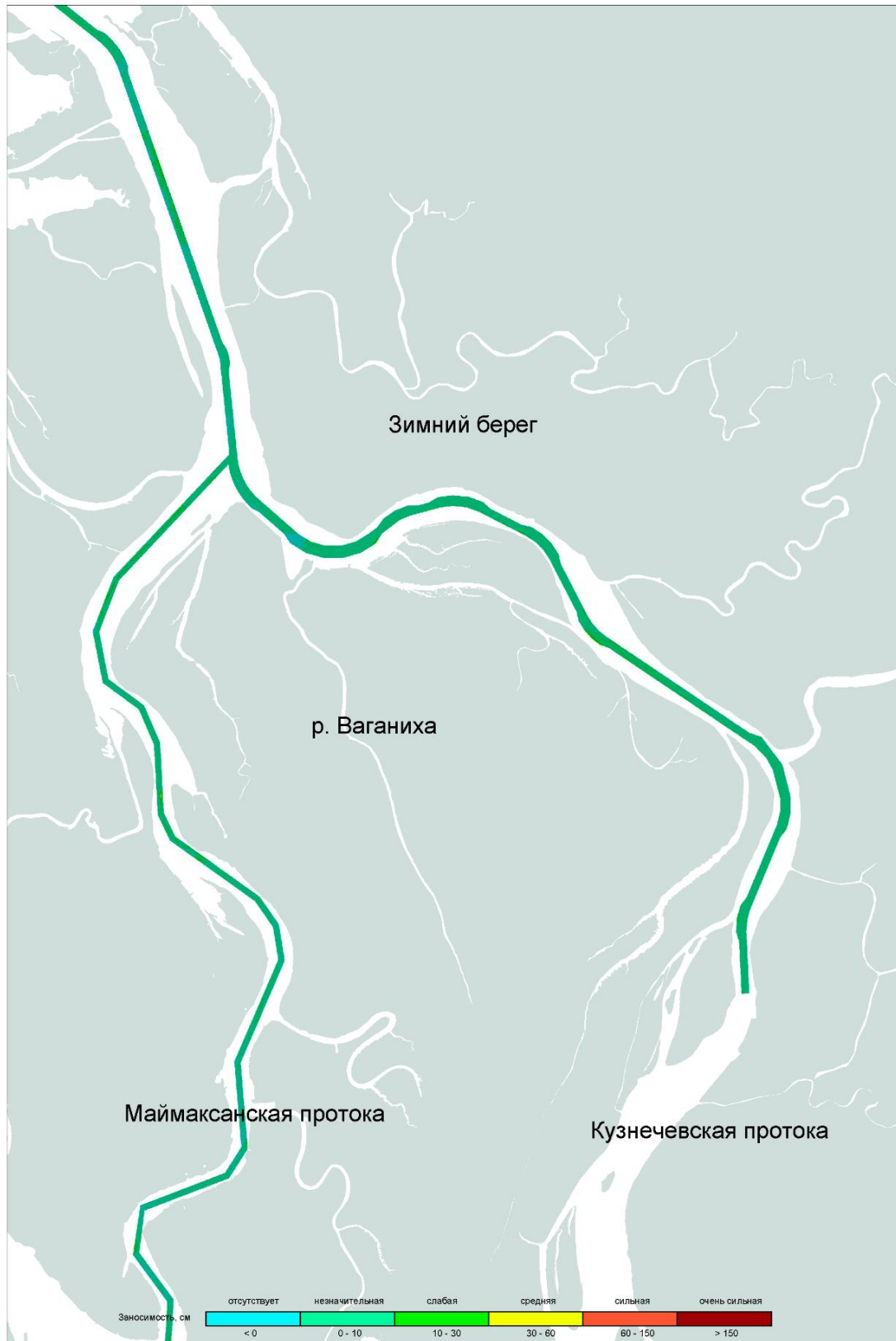


Рисунок 47. Пространственное распределение заносимости протоки Кузнечевская и Маймаксанская морского порта Архангельск.

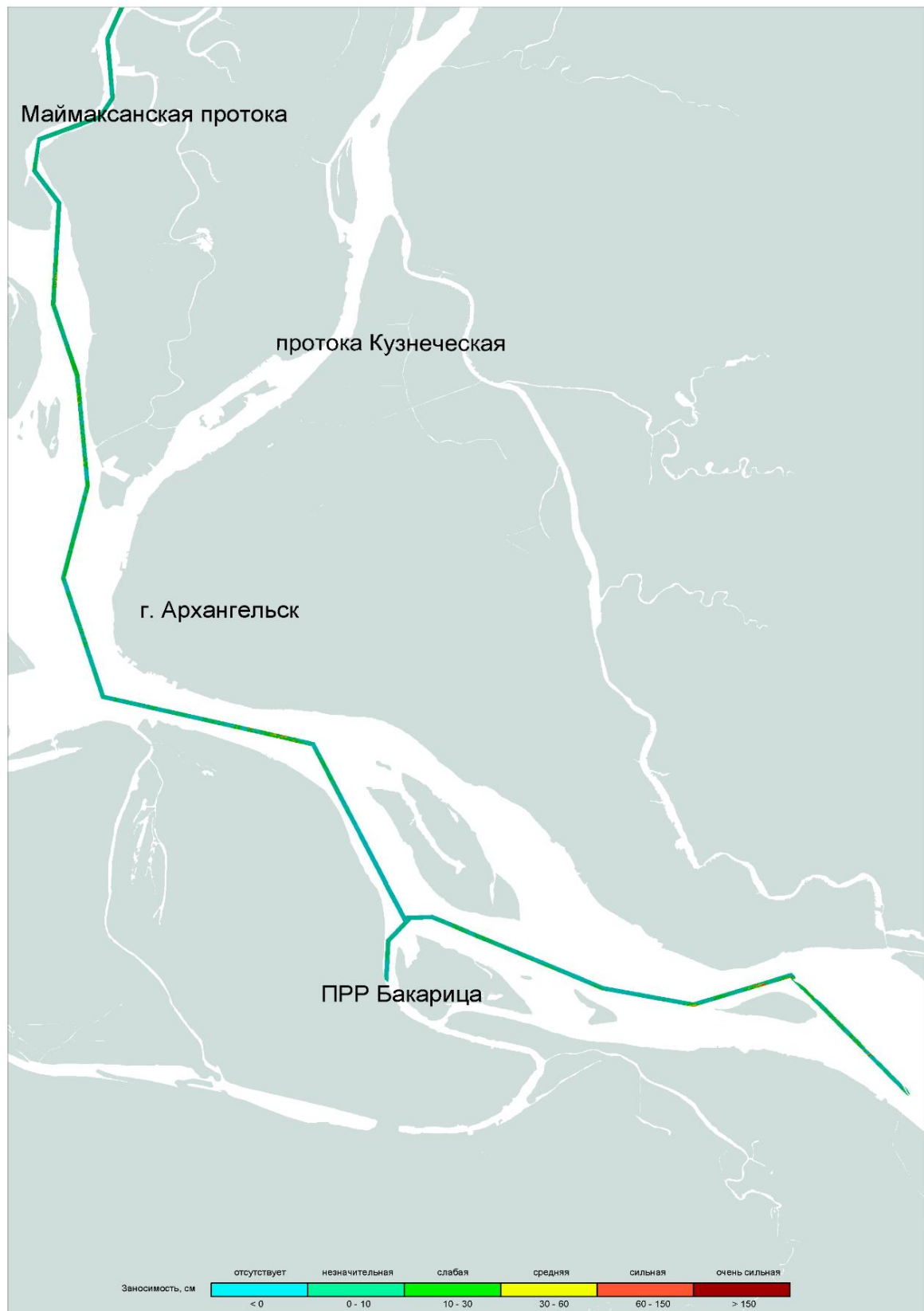


Рисунок 48. Пространственное распределение заносимости главного русла морского порта Архангельск.

4.3 Пространственно-временные особенности формирования наносов на канале Мудьюгских башен

Искусственное гидротехническое сооружение канал Мудьюгских башен длиной 9500 м и шириной 100 м является северной частью главного судового хода морского порта Архангельск. Расположен в судоходном устье Корабельного рукава реки Северная Двина на приустьевом взморье Двинского залива Белого моря (Рисунок 49). Канал находится западнее острова Мудьюгский и проходит через мелководный Березовый бар с глубинами до 1,5 м.

Существующие глубины в канале составляют 9,5-10 м. Объявленная осадка судов согласно Приказу Министерства транспорта РФ от 9 июля 2014 г. N 183 "Об утверждении Обязательных постановлений в морском порту Архангельск" составляет 9,2 м на полную квадратурную воду. Заносимость канала, с одной стороны, определяется стоком наносов в весеннее-летний период во время половодья, с другой стороны, миграцией наносов в периоды штормов. Наиболее критические для судоходства литодинамические изменения зафиксированы во время штормовых явлений с северо-западным направлением ветра (Власов, 2001; Гидрология устьевой области..., 1965). Согласно предыдущим исследованиям (Иглин, 2018) в период зимней навигации толщина среднего слоя наносов в канале составляет 21 см, максимального – 223 см.

Для поддержания нормального судоходства в канале регулярно проводятся ремонтные дноуглубительные работы в течение летней навигации. Установлено, что объемы ремонтного черпания на акватории могут достигать 1 млн. м³ в год.

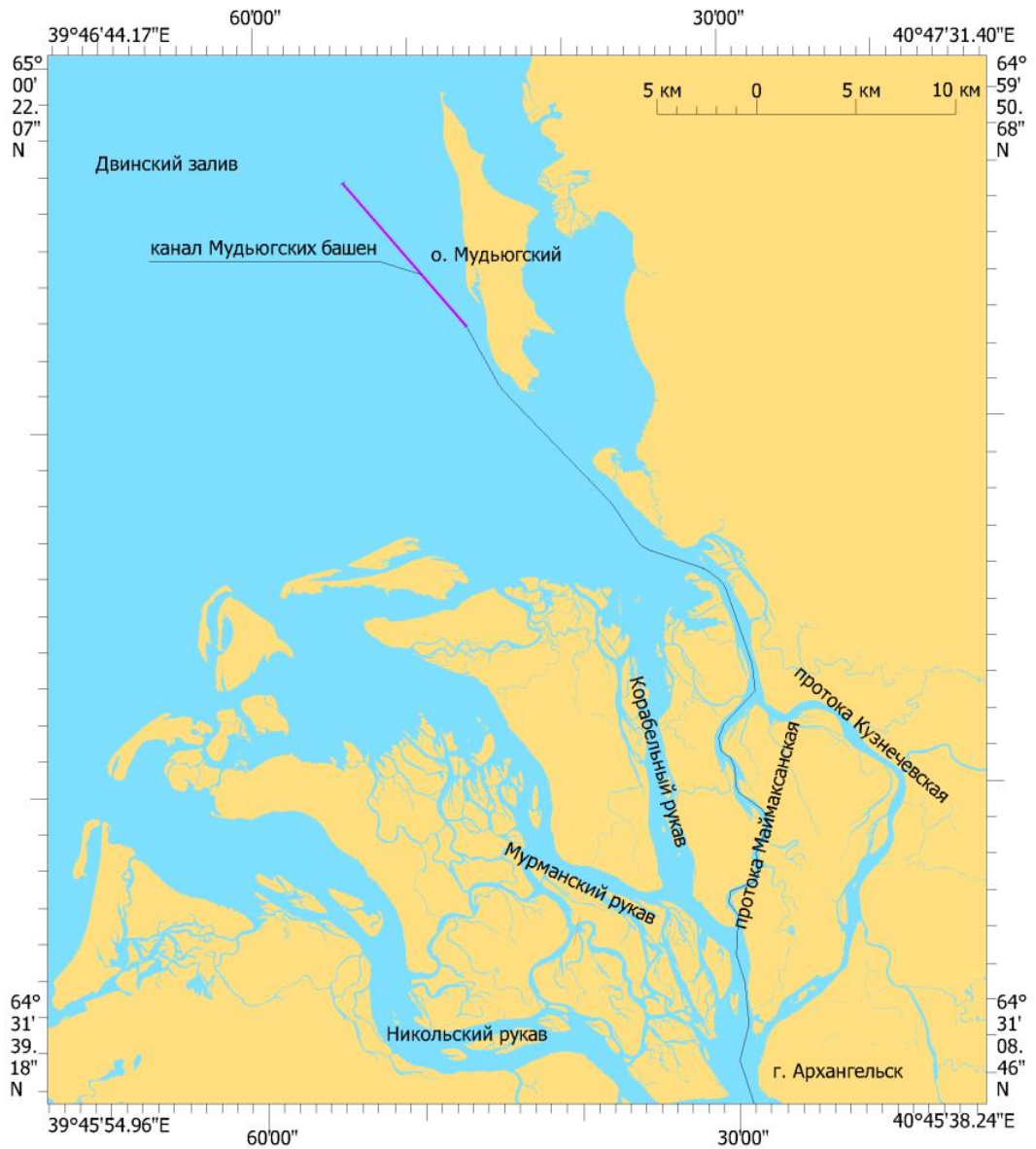


Рисунок 49. Карта-схема расположения канала Мудьюгских башен в акватории морского порта Архангельск.

Для классификации интенсивности заносимости каналов методом нечётких множеств (Заде, 1976; Коробов, 2005) нами разработана вербально-числовая шкала (Таблица 16), в соответствии с которой была произведена оценка заносимости канала Мудьюгских башен.

Таблица 16. Вербально-числовая шкала для оценки интенсивности заносимости канала МБ по толщине наносов

<0 см	0-10 см	10-30 см	30-80 см	80-150 см	>150 см
Отсутствует	Незначительная	Слабая	Средняя	Сильная	Очень сильная

Из исходных данных съемок рельефа дна с помощью программного комплекса QINSY 8.1 получены регулярные (GRID) цифровые модели поверхности рельефа дна канала. Шаг сетки составлял 2x2 м.

Для оценки распределения наносов в канале за необходимый отчетный период (зимняя навигация, ежемесячный период или штормовой летней навигации) были построены поверхности разности глубин между съемками рельефа дна. Расчеты проводились с помощью программного продукта Trimble Terramodel 10.43 модуля «Earthworks reports». В качестве первого слоя («Surface 1») выбиралась поверхность начала отчетного периода (до образования наносов), а в качестве второго слоя («Surface 2») – поверхность в конце отчетного периода (после образования наносов), в результате получали поверхность разности глубин (isopatch). Плюсовые значения аппликат полученных точек означали наличие отложения наносов, а отрицательные – наличие процессов размыва канала.

Полученную поверхность разности глубин экспортировали в дополнение Sounding Grid Utility программного комплекса QINSY 8.1, где проводилась визуализация результатов, путем присвоения цвета точкам с соответствующей толщиной слоя наносов (Таблица 16). Полученные результаты представлены на рисунках 49, 50.

Оценка распределения мощностей наносных грунтов выполнена путем сортировки точек (среднее количество точек 287 тыс. в каждой съемке рельефа дна) в программном продукте Microsoft Excel в предложенных градациях (меньше 0 см, 0 – 10 см, 10 – 30 см, 30 – 80 см, 80 – 150 см, больше 150 см).

Расчет средней заносимости за ежемесячные периоды (рисунок 50) был выполнен по данным съемок рельефа дна с помощью модуля «Earthworks reports» Trimble Terramodel 10.43, который предоставляет отчет по объемам грунта между поверхностями рельефа дна (Иглин, 2018).

Оценка пространственного распределения заносимости по каналу показала, что в зимнюю навигацию (рисунки 50, 51) наиболее интенсивно наносы отлагаются на участках (границы участков даны от начала канала):

- 0-2000 м у юго-западной бровки канала наблюдается средняя, сильная и очень сильная заносимости;

- 3000-7500 м по всей ширине канала отмечается слабая, средняя и сильная заносимости, однако наиболее выражена с западной стороны на участке 5000-7000 м.

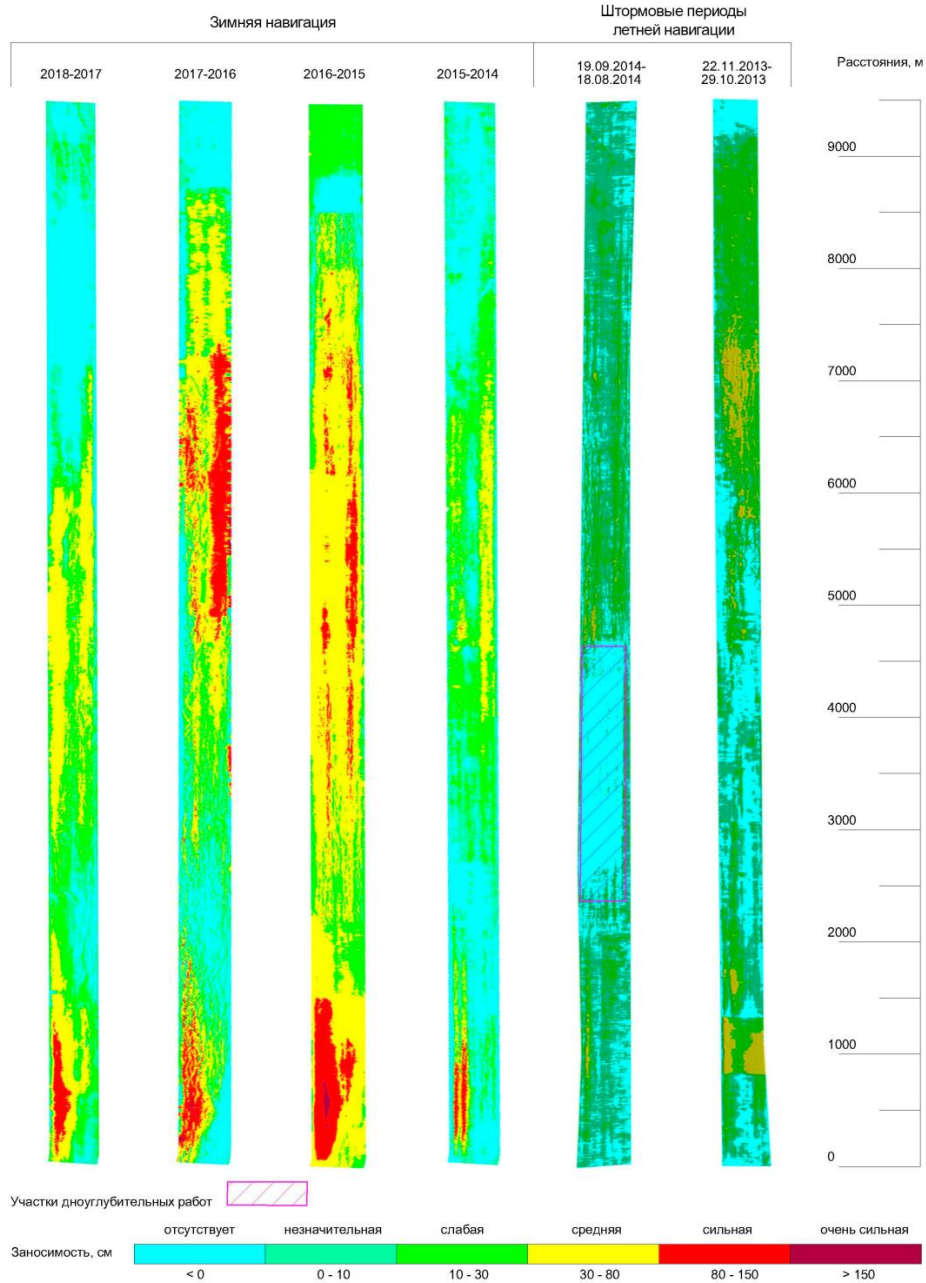


Рисунок 50. Схема распределения слоя наносов в зимнюю навигацию и штормовые периоды летней навигации в канале Мудьюгских башен морского порта Архангельск

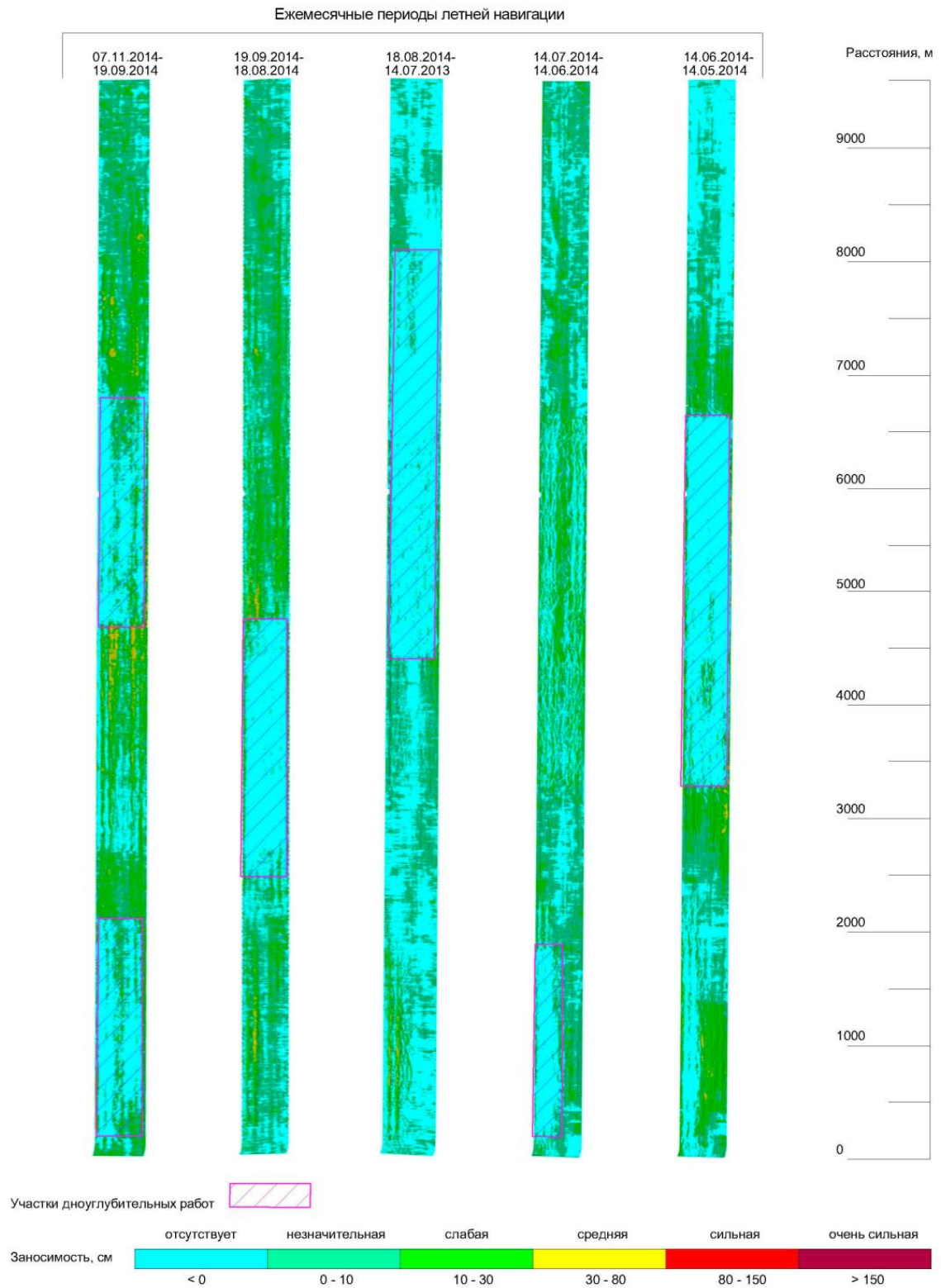


Рисунок 51. Схема распределения слоя наносов в ежемесячные периоды летней навигации 2014 года на канале Мудьюгских башен морского порта Архангельск

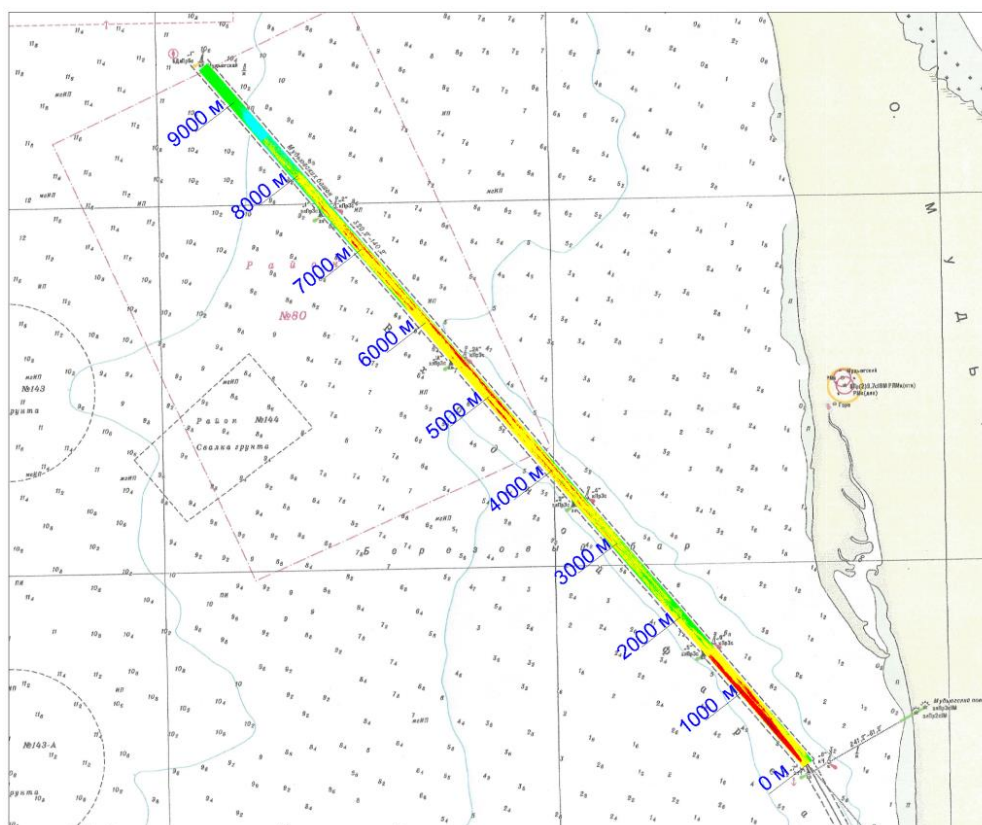


Рисунок 52. Схема распределения наносов в зимнюю навигацию за 2017-2016 гг. на морской навигационной карте акватории Двинского залива.

На рисунке 52 представлена схема распределения наносов в зимнюю навигацию за 2017-2016 гг. на морской навигационной карте акватории Двинского залива (№ 16003), которая использовалась для оценки морфологии дна вблизи исследуемой области. Наибольшие объемы наносов наблюдаются на участке 0-5500 м, источником наносов является грунт, переносимый штормами с мелководных областей, расположенных восточнее 5-метровой изобаты. На участке 5500-8500 м, который находится между 5-метровой и 10-метровой изобатами, отмечается меньшая толщина наносов. Часть канала севернее 10-метровой изобаты заносится с наименьшей интенсивностью.

Штормовые наносы равномерно распределены по всей длине канала (рисунок 51), (Таблица 17), преобладает незначительная (37.5% – 46.3%) и слабая заносимость (24.6% – 46.3%), локально присутствуют участки со средней заносимостью (14.7% - 27,8%).

Изменение летней (рисунок 50) заносимости связано с гидрологическими и гидрометеорологическими явлениями в акватории устья реки Северная Двина. Участки наиболее интенсивного отложения наносов в летнюю навигацию и после штормов повторяют зоны осадконакопления в зимнюю навигацию. Распределение мощностей наносов за эти промежутки времени представлено в Таблице 17. Заносимость за зимнюю навигацию можно охарактеризовать как среднюю (18.4% - 27.1%), с локальными участками с сильной заносимостью (11.5% - 61%).

При анализе ежемесячных периодов в летнюю навигацию (Рисунок 53), выявлено, что штормовые явления вносят наибольший вклад в обмеление акватории, особенно в осенние месяцы с ветрами северо- и северо-западных направлений. В весенне-летние месяцы (май-июнь) также наблюдается повышенный уровень заносимости, что связано с увеличением расхода воды Северной Двины во время весеннего половодья, и как следствие, стока наносов и концентрации взвешенных веществ (Гидрология устьевой области..., 1965; Кравчишина и др., 2010; Лисицын и др., 2017; Копелевичи др., 2018). В период летней межени наблюдаются наименьшие объемы отложения наносов, что обусловлено низкими показателями расхода воды в устье и стока наносов твердых частиц.

В результате работы установлено, что наибольший вклад в заносимость канала Мудьюгский башен в порту Архангельск вносят штормовые явления.

Заносимость, вызванная твердым стоком реки Северная Двина, имеет сезонный характер. Наибольшие значения зафиксированы во время весеннего половодья (при повышении расхода воды и концентрации взвешенных веществ) и осенних паводков, а наименьшие объемы – в летнюю межень.

Пространственное отложение наносов в канале неоднородно. Наиболее интенсивно осадконакопление происходит на участках от 0-2000 м, 3000-7500 м (от начала канала), где преобладает средняя (18.4% - 27.1%) и сильная (11.5% - 61%) заносимость, а местами - очень сильная (1.2% - 11.9%), что является критическими значениями для судоходства и требует проведения оперативного ремонтного дноуглубления канала.

Таблица 17. Таблица распределения мощностей наносов канала МБ в зимнюю навигацию, штормовые и ежемесячные периоды летней навигации.

Заносимость		Период	Распределение мощностей наносов, %					
			0-10 см	10-30 см	30-80 см	80-150 см	> 150 см	
Зимняя навигация		2018-2017	30,3	14,8	25,9	26,5	2,1	
		2017-2016	27	8,7	18,4	33,2	11,9	
		2016-2015	4,6	2,6	19,6	61	11,6	
		2015-2014	37	22,7	27,1	11,5	1,2	
Летняя навигация		Штормовые периоды	25.08.14-19.09.14	37,5	46,3	14,7	0,8	0
			29.10.2013-22.11.2013	40	24,6	27,8	7	0
		Ежемесячные периоды	05.2014-06.2014	36,6	32,5	27	3,3	0
			06.2014-07.2014	36	42,4	19,7	1,2	0
			07.2014-08.2014	67,8	27,5	3,8	0,4	0
			08.2014-09.2014	35,7	47,3	16,1	0,2	0
			09.2014-11.2014	57	23,7	18,2	0,6	0

В целом, заносимость канала Мудьюгских башен в зимнюю навигацию можно охарактеризовать, как среднюю, а отдельные зоны с сильной заносимостью 80-150 см.

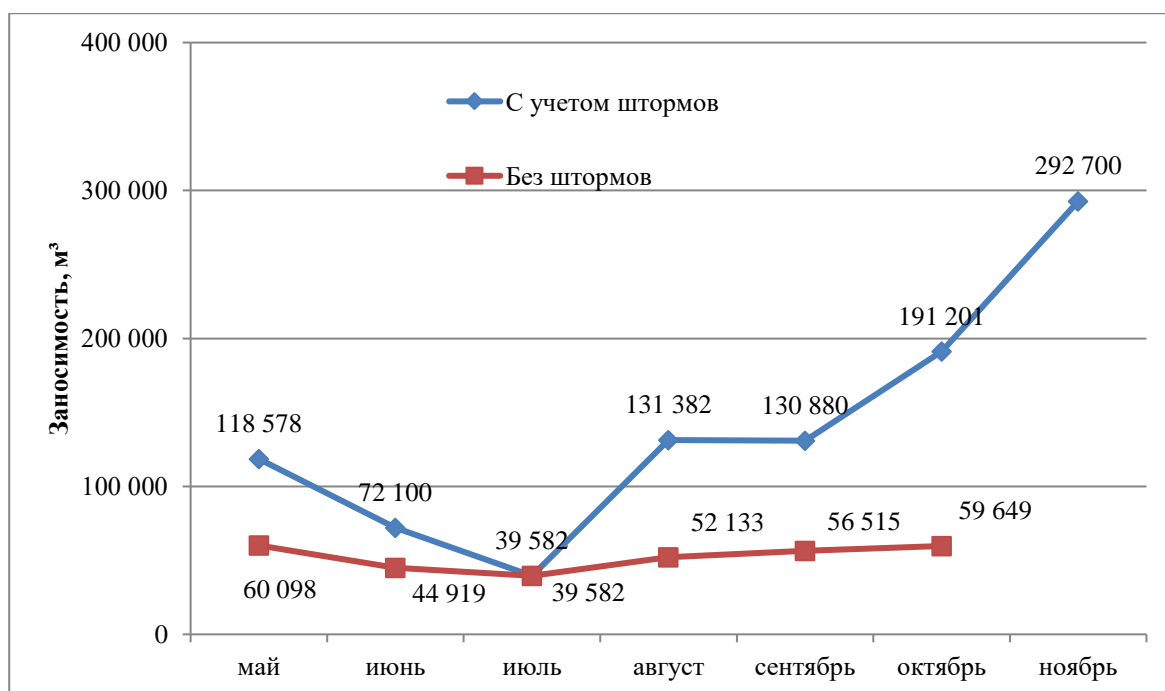


Рисунок 53. Диаграмма средней ежемесячной заносимости канала МБ за период с 2001 по 2016 годы в летнюю навигацию.

4.4 Особенности штормовой заносимости канала Мудьюгских Башен

В морском порту Архангельск гидрографические и дноуглубительные работы проводятся ежегодно в течение безледного периода (май–ноябрь), что позволяет использовать накопленные данные для разработки такого рода зависимостей. Порт расположен в устьевой области реки Северной Двины, частью которой является устьевое взморье и обширная дельта со сложной русловой сетью, состоящей из нескольких крупных рукавов и множества протоков, их соединяющих. Формирование рельефа дна устьевого взморья Северной Двины определяется в основном стоком воды и наносов, а также морским волнением (Лещев, 2018). Гидродинамический режим взморья и водотоков дельты осложнен действием неправильных полусуточных приливов, амплитуда которых в сизигию может превышать 1 м. Реверсивные приливные течения обуславливают формирование обширной зоны смешения речных и морских вод, смещающейся в сторону реки или моря в зависимости от фазы водности реки и интенсивности сгонно-нагонных явлений в Двинском заливе (Алабян, 1992; Лещев и др., 2015). Эти особенности гидродинамического режима акватории формируют локальные зоны с обособленными гидрохимическими и гидрофизическими характеристиками, могут существенно определять специфику рельефа и

литодинамику речного и морского дна (Кравчишина и др., 2010; Лещев и др., 2017; Лисицын и др., 2003; Мискевич, 2005; Шевченко и др., 2010; Яковлев, 2018; Grabemann, 1989).

Заносимость главного судового хода к порту Архангельск из Двинского залива, как автор уже неоднократно отмечал выше, весьма существенна, причем наиболее проблемным участком является канал Мудьюгских башен – северные 9.5 км судового хода (рисунок 53), где ее значения могут доходить до 1 млн. м³ в год. Деформация дна взморья носит сезонный характер: наиболее интенсивно донный рельеф изменяется осенью в период штормовых ветров северо-западного направления (Власов, 2001). Шторма с северо-западным направлением ветра, когда разгоны наибольшие и ветровые волны достигают максимальных высот, переносят колоссальные объемы донного грунта. Так, после шторма в ноябре 2011 г., продолжавшегося 4 суток, в течение которых скорость ветра не опускалась ниже 16 м/с, были зафиксированы максимальные значения слоя аккумуляции наносов, достигавшие 3 м. Такие деформации морского дна в судоходном канале влияют на безопасность мореплавания и требуют оперативного проведения дноуглубительных работ.

Задача данного раздела - установить связи между характеристиками штормов и объемом наносов, поступающих в канал, и на ее основе разработать методику, позволяющую по гидрометеорологическим параметрам штормов производить оперативные расчеты, прогнозировать объемы землечерпания и оптимизировать работу земснарядов в акватории Мудьюгского канала морского порта Архангельск.

Основой для разработки модели послужили данные съемок рельефа дна канала Мудьюгских башен, выполненные в период с 2011 по 2020 гг. Архангельским филиалом ФГУП «Росморпорт», представляющие собой цифровую модель рельефа в ASCII формате с размерами ячеек 1 м.

Расчет заносимости канала в ходе шторма X_1 , м³ выполнялся исходя из соотношения:

$$X_1 = X_3 - X_0 + X_2 \quad (5)$$

где: X_0 – объем грунта к выемке в канале до шторма, м³; X_2 – объем дноуглубительных работ, выполненных между съемками, м³; X_3 – объем грунта к выемке в канале после шторма, м³.

Значения X_0 и X_3 рассчитывались по разновременным ЦМР дна (рисунок 54), значения X_2 принимались исходя из ежедневных отчетов земснарядов.

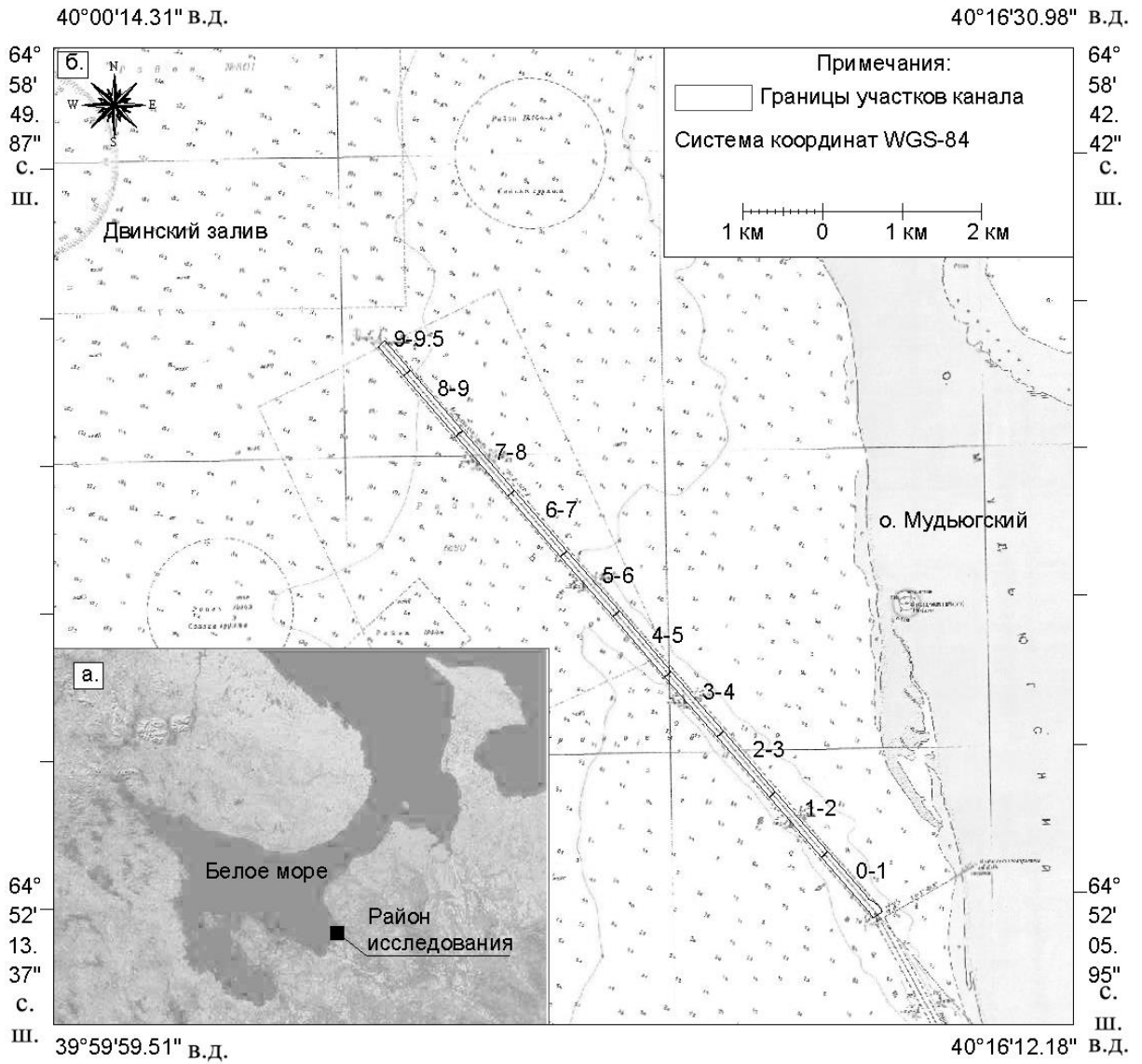


Рисунок 54. Схема расположения объекта исследования (а – в акватории Белого моря, б – в акватории Двинского залива).

Если исходить из устоявшегося положения, что объем заносимости X_1 зависит от гидрометеорологических параметров шторма (от длительности шторма T , скорости ветра V и разгона волны D), охарактеризована параметры шторма можно через показатель Q , определяемым как их произведение

$$Q = T \times V \times D \quad (6)$$

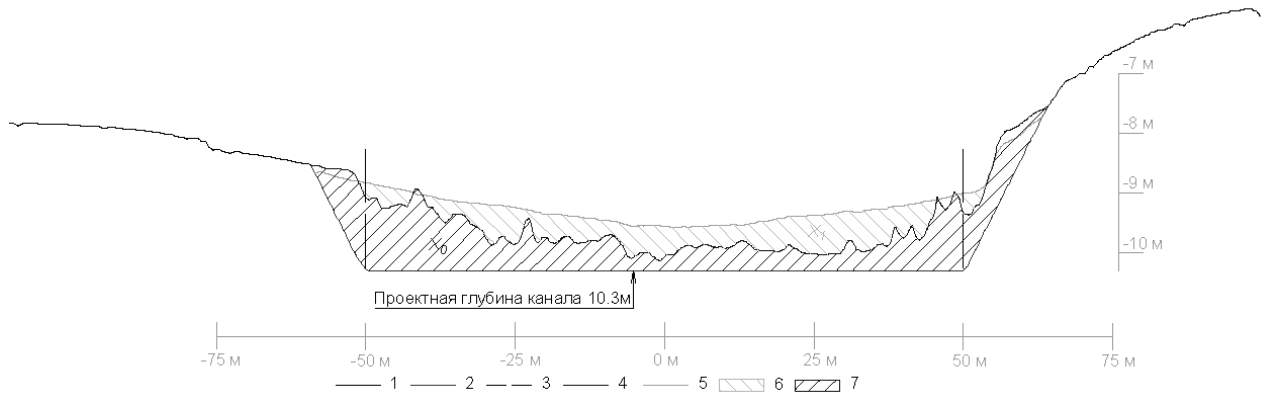


Рисунок 55. Пример накопления наносов в поперечном сечении канала Мудьюгских башен после шторма (5–7 июля 2015 г.) при северо-западном ветре со средней скоростью 14 м/с. 1 – естественное положение рельефа дна, 2 – проектные габариты канала, 3 – навигационные габариты канала – границы подсчета объемов, 4 – поверхность канала до шторма 25.06.2015, 5 – поверхность канала после шторма 15.07.2015, 6 – заносимость канала в ходе шторма X_1 , 7 – объемы грунта в канале до шторма X_0

При этом значения V и D могут возводиться в степень, отличную от единицы (Кнапс, 1968; Руководство по методам..., 1975; Игнатов и др., 2018). Нами на данном этапе исследований эти зависимости приняты линейными. В целях упрощения практических расчетов длительность шторма T выражалась в сутках, длина разгона – в километрах и средняя за период шторма скорость ветра – в метрах в секунду. Для удобства пространственного анализа штормовой заносимости акватория канала Мудьюгских башен была разделена на участки длиной по 1 км (последний, самый северный участок имел длину 500 м) и шириной 100 м (что соответствует ширине канала по дну).

Данные о гидрометеорологических параметрах шторма (направление, скорость ветра, длительность) получены из открытых интернет-ресурсов с архивами погоды по метеостанции Мудьюг (№ 22551) (Архив наблюдений ..., Архив погоды..., Погода в России ...) и по оперативным данным Росморпорта, полученным непосредственно с земснарядов.

Значения разгона волны D для основных 8 румбов направления ветра определялось как расстояние от участка канала до берега по навигационным морским картам (таблица 18).

Таблица 18. Значения разгонов волны D (км) для участков канала Мудьюгских башен при различных направлениях ветра.

Участок канала, км	С	СЗ	СВ	З	В	ЮЗ	ЮВ	Ю
0–1	1.8	225.7	0.8	102.0	1.0	43.0	1.8	9.3
1–2	7.9	224.7	1.1	104.2	1.1	49.4	2.2	12.5
2–3	7.9	224.2	1.9	106.4	1.4	49.5	2.2	13.4
3–4	11.9	222.9	3.0	107.2	1.8	49.8	4.6	13.4
4–5	14.7	221.7	3.9	108.0	2.7	50.1	5.6	13.9
5–6	15.3	220.8	4.6	107.9	3.4	50.3	6.4	14.7
6–7	15.5	219.5	4.9	108.5	4.1	50.7	6.8	15.6
7–8	15.3	212.2	5.4	108.9	4.7	50.7	7.3	16.9
8–9	15.4	217.2	5.1	108.8	5.3	50.5	8.1	17.7
9–9.5	15.0	215.9	5.6	109.3	5.7	50.5	9.1	18.8

Принимая во внимание ранее установленную закономерность (Губина, 2007), что чем ближе эксплуатационные габариты канала к проектным, тем больше будет штормовая заносимость (за счет большего объема свободного пространства), степень заполненности канала наносами также должна быть принята во внимание. Влияние грунта, находящегося в канале до шторма (X_0), на заносимость можно выразить через коэффициент заполненности канала наносами m :

$$m = 1 - \left(\frac{X_0}{X_0'}\right) \quad (7)$$

где: m – коэффициент заполненности канала наносами, X_0 – объем грунта к выемке в канале до шторма, X_0' – объем максимальной заносимости до полной заполненности канала (рисунок 55).

При таком выражении, чем больше грунта находится в канале перед штормом, тем меньше будет значение штормовой заносимости. Применение коэффициента m может позволить скорректировать прогнозируемые объемы штормовой заносимости в ситуации, когда габариты канала близки к проектным и потенциальные объемы заносимости максимальны. Если же в канале уже находится грунт, то он будет снижать объемы штормовой заносимости за счет выполаживания его боковых откосов.

Значения X_0' рассчитывались по данным съемок рельефа дна путем удаления из цифровой модели рельефа точек, лежащих внутри контура акватории канала, и последующей интерполяции глубин между точками, находящимся у его верхних бровок (таблица 19).

Существенное различие в величине данного показателя обусловлено вариациями «фоновых» глубин акватории, через которую проходит канал.

Таблица 19. Расчетные значения объема максимальной заносимости X_0' секций канала до полной заполненности наносами.

Участок канала	X_0' , м ³
0–1	322 541
1–2	274 861
2–3	266 787
3–4	318 440
4–5	324 800
5–6	306 406
6–7	231 870
7–8	156 019
8–9	99 399
9–9.5	22 659

Дальнейшие исследования были направлены на поиски связи объемов заносимости X_1 от величины показателей Q и $Q \cdot t$ для каждой секции канала и для каждого штормового события в виде:

$$X_1 = f_1(Q) \quad (8)$$

$$X_1 = f_2(Q \cdot t) \quad (9)$$

Они выполнялись посредством построения однофакторных линейных регрессионных уравнений вида $y = a_1 \cdot Q$ и $y = a_2 \cdot Q \cdot t$ в программе Microsoft Excel.

Было проанализировано 90 файлов ЦМР дна и данные о 56 штормовых событиях со скоростью ветра в диапазоне от 10 до 26 м/с и длительностью от 1 до 4 суток. Ряды наблюдений для каждого участка были разделены по хронологии на равные по числу членов основную и проверочную группу. Основная группа использовалась для получения зависимостей, а проверочная – для их верификации на независимом материале.

Оценка тесноты связи для основной и проверочной группы была выполнена путем расчета средней абсолютной ошибки (разницы между рассчитанными и фактическими значениями) и коэффициентов корреляции рядов рассчитанных и фактических значений. Качество

прогноза для проверочной группы определялось критерием Нэша-Сатклиффа (NSE) (Nash, 1970) и критерием эффективности прогнозирования S/σ (Наставления по службе, 1962).

Критерий эффективности модели Нэша-Сатклиффа (NSE) сравнивает сумму абсолютных квадратов разностей между прогнозными и наблюдаемыми значениями с дисперсией наблюдаемых значений заносимости в течение периода анализа:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X'_{1i} - X_{1i})^2}{\sum_{i=1}^n (X'_{1i} - \bar{X}_1)^2}, \quad (10)$$

где X'_{1i} – рассчитанное значение штормовой заносимости, X_{1i} – фактическое значение штормовой заносимости, \bar{X}_1 – осредненное значение фактической заносимости за период моделирования. Здесь индекс i соответствует номеру прогноза.

Методика прогноза считается эффективной при значениях критерия Нэша-Сатклиффа между 0.50 и 1.0 (градации эффективности следующая: $0.75 < NSE \leq 1.0$ – очень хорошо, $0.65 < NSE \leq 0.75$ – хорошо, $0.50 < NSE \leq 0.65$ – удовлетворительно, $0.40 < NSE \leq 0.50$ – допустимо, $NSE \leq 0.40$ – недопустимо) (Эспития и др., 2017).

Кроме того, был рассчитан критерий эффективности прогнозирования S/σ (11, 12):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{1i} - X'_{1i})^2}{n-m}}, \quad (11)$$

где S – средняя квадратическая погрешность проверочных прогнозов, X'_{1i} – рассчитанное значение штормовой заносимости, X_{1i} – фактическое значение штормовой заносимости, n – число прогнозов, m – число степеней свободы равно числу постоянных коэффициентов в уравнении;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X'_{1i} - \bar{X}'_1)^2}{n-1}}, \quad (12)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение прогнозируемого значения от среднего, X_{1i} – рассчитанное значение штормовой заносимости, \bar{X}'_1 – осредненное значение рассчитанной заносимости за период моделирования, n – число прогнозов.

Погрешности определения S и σ зависят также и от числа прогнозов n , поэтому установлены следующие условия применимости методик прогнозирования: при $n \leq 15$ - $S/\sigma \leq 0.70$, $15 < n < 25$ - $S/\sigma \leq 0.75$, $n \geq 25$ - $S/\sigma \leq 0.80$) (Наставления по службе ..., 1962).

Коэффициенты корреляции рассчитывались по формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{1i} - \bar{X}_1)(X'_{1i} - \bar{X}'_1)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{1i} - \bar{X}_1)^2 \sum_{i=1}^n (X'_{1i} - \bar{X}'_1)^2}} \quad (13)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{1i} - \bar{X}_1)^2}{n-1}}, \quad (14)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение прогнозируемого значения от среднего, X_{1i} – фактическое значение штормовой заносимости, \bar{X}_1 – осредненное значение фактической заносимости за период моделирования, n – число прогнозов.

Погрешности определения S и σ зависят также и от числа прогнозов n , поэтому установлены следующие условия применимости методик прогнозирования: при $n \leq 15 - S/\sigma \leq 0.70$, $15 < n < 25 - S/\sigma \leq 0.75$, $n \geq 25 - S/\sigma \leq 0.80$) (Наставления по службе..., 1962).

Результаты определения функциональных зависимостей и их статистических характеристик представлены в таблице 20.

Таблица 20. Статистические характеристики регрессионных моделей основной и проверочной группы наблюдений штормовой заносимости канала Мудьюгских башен от показателя Q .

Участок	Основная группа				Проверочная группа				
	Уравнение связи	n	r	Средн. $ X_{1расч} - X_{1факт} $, м ³	n	r	NSE	S/σ	Средн. $ X_{1расч} - X_{1факт} $, м ³
0–1	$X_1 = 2.034 \cdot Q$	9	0.99	1 190	9	0.98	0.93	0.27	1 251
1–2	$X_1 = 3.147 \cdot Q$	10	0.93	4 030	9	0.96	0.93	0.31	2 298
2–3	$X_1 = 4.155 \cdot Q$	9	0.90	7 810	8	0.94	0.85	0.39	3 638
3–4	$X_1 = 4.388 \cdot Q$	13	0.96	3 260	12	0.97	0.92	0.29	3 174
4–5	$X_1 = 5.868 \cdot Q$	12	0.98	2 820	12	0.94	0.84	0.40	4 834
5–6	$X_1 = 6.688 \cdot Q$	16	0.92	7 802	15	0.93	0.86	0.38	8 087
6–7	$X_1 = 7.437 \cdot Q$	14	0.87	12 188	15	0.92	0.84	0.40	10 099
7–8	$X_1 = 4.818 \cdot Q$	8	0.97	4 411	8	0.93	0.79	0.46	3 122
8–9	$X_1 = 7.948 \cdot Q$	7	0.99	1 808	6	0.99	0.98	0.13	1 986
9–9.5	$X_1 = 1.988 \cdot Q$	5	0.78	2 250	5	0.98	0.89	0.33	1 272

Значения коэффициентов корреляции для основной группы наблюдений, находятся в диапазоне от 0.78–0.99, а для проверочной группы 0.92–0.99, что говорит о высоком качестве прогноза и о тесной линейной зависимости. Это не вполне согласуется с распространенным мнением о нелинейности данной связи (Кнапс, 1968; Руководство по методам..., 1975). В то же время линейная связь интенсивности транспорта наносов с энергетическими показателями

водного потока вполне характерна для эмпирических зависимостей, полученных для крупных равнинных рек (Алабян, 1992).

Значения средней абсолютной ошибки для основной и проверочной группы оказались близки по значениям и в среднем отличаются на 1300 м^3 , что является приемлемым значением для априорной оценки. Повышенные значения средних абсолютных ошибок на участках 2–3, 5–6, 6–7 связаны с высокими фактическими объемами заносимости, но даже здесь в относительном выражении они не превышают 18%.

Полученные для основной группы зависимости были верифицированы на проверочной группе наблюдений. Критерий качества прогноза Нэша-Сатклифа (NSE) не опускался ниже 0.79, что говорит о высоком качестве прогноза. Рассчитанные значения S/σ находятся в диапазоне от 0.13 (на участке 8–9 при $n = 6$) до 0.46 (на участке 7–8 при $n = 8$), что существенно меньше порогового значения и свидетельствует о высокой эффективности прогноза.

Линейная зависимость штормовой заносимости от показателя Q , характеризующего гидрометеорологические параметры шторма, а также практически совпадающая теснота связи фактических и расчетных значений для основной и проверочной группы хорошо иллюстрируется графически (рисунок 56).

Сравнение качества прогноза штормовой заносимости в зависимости от использования предикторов в виде Q или $Q \cdot t$ выполнялись для проверочных групп на каждом участке канала Мудьюгских башен (таблица 21).

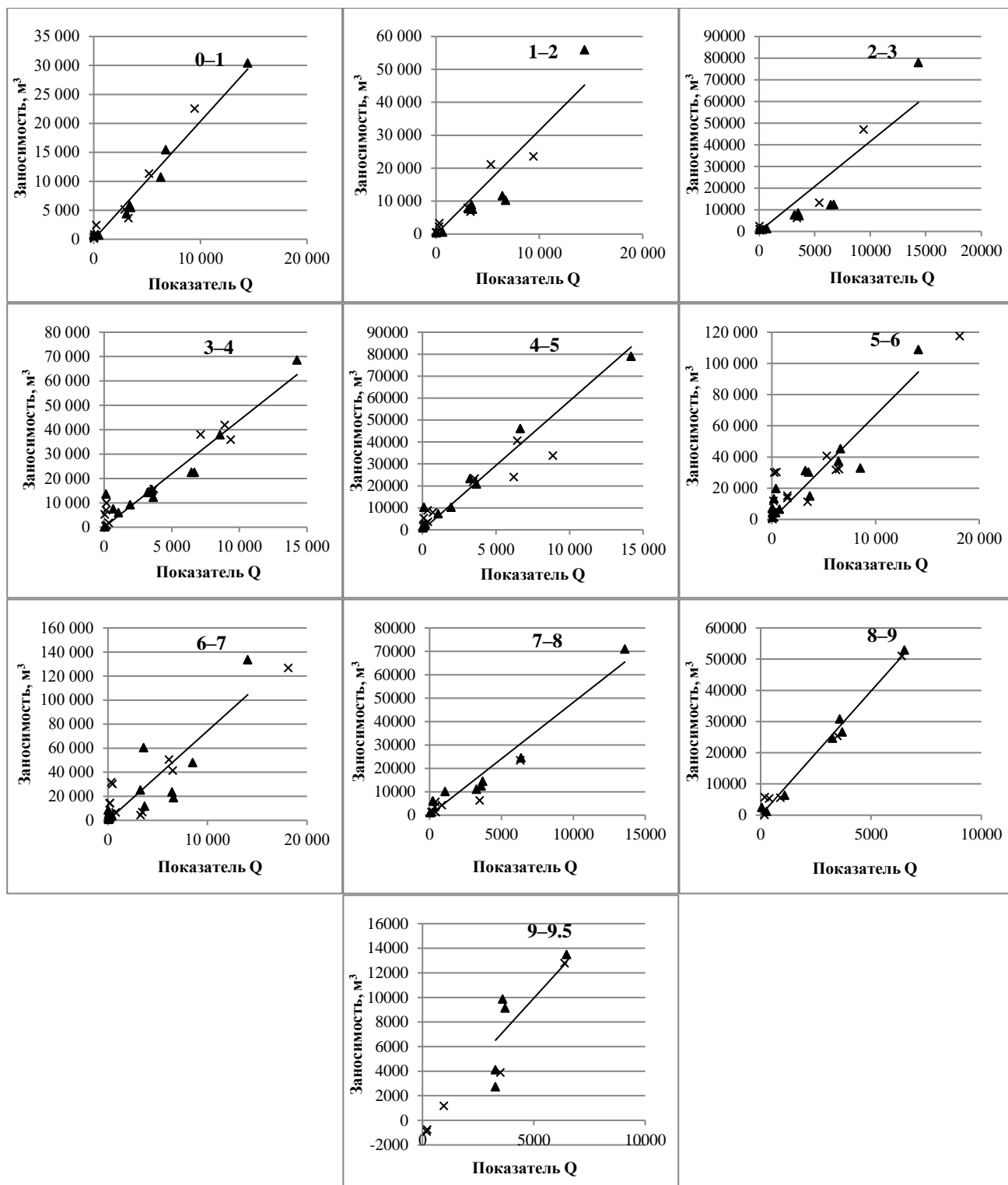


Рисунок 56. Функциональные зависимости объемов штормовой заносимости от показателя Q (в условных единицах) на участках канала Мудьюгских башен в порту Архангельск (▲ – основная группа, × – проверочная группа).

В то время как использование обоих предикторов демонстрирует высокую эффективность прогноза по обоим критериям, некоторое преимущество имеет использование Q_m , для которого средняя и особенно максимальная ошибка в абсолютном выражении существенно меньше. С учетом того, что ветра западных направления (СЗ, З, ЮЗ) имеют наибольшую

ветроволновую энергию, следует, что чем более пологим является откос канала с западной стороны, тем меньшее влияние будет оказывать коэффициент m на расчеты штормовой заносимости. Принимая во внимание производительность земснарядов (TSHD 2000 «Белое море», «Северная Двина»), которая составляет от 8–10 тыс. м³ в сутки, величины максимальной разницы на участках 4–5, 5–6, 6–7 значительно меньше (на 3.2 тыс. м³, 3.1 и 5.1 тыс. м³ соответственно) при прогнозировании от $E \cdot m$. Поэтому при наличии данных о предварительной заполненности канала наносами для прогнозирования штормовой заносимости предпочтительнее использовать предиктор $E \cdot m$.

Сопоставление расчетных и фактических значений заносимости Мудьюгского канала (рисунок 57) показывает, что рассчитанные значения в среднем превысили фактические на 15.9% при использовании показателя $Q \cdot m$ и на 18.4% при использовании показателя E , что в обоих случаях является вполне приемлемым для оперативного расчета и прогнозирования объемов аккумуляции наносов в канале и планирования работы земснарядов.

Пространственное распределение аккумуляции наносов неоднородно по длине канала. Максимальной заносимости подвержены его участки 4–7 км и 8–9 км. Это обуславливается в первую очередь особенностями морфологии забровочных пространств канала и неоднородностью распределения мелководных областей.

Подводные отвалы грунта также становятся дополнительным источником наносов, взвешенный донный грунт, ранее удаленный из канала, переносится волновыми и вдольбереговыми течениями, тем самым создавая потенциальную возможность обратной заносимости (близость отвала № 143а к участку 5–7 км, № 144а – к 8–9 км) (Бухарицин, 2017) (Рисунок 58).

Таблица 21. Статистические характеристики регрессионных моделей штормовой заносимости от Q и $Q \cdot m$ на канале Мудьюгских башен в порту Архангельск.

Участок	Группа	Средн. $ X_{1расч}-X_{1факт} $	Макс. $ X_{1расч}-X_{1факт} $	NSE	S/σ
0-1	Q	1 251	3 291	0.93	0.27
	$Q \cdot m$	1 334	2 650	0.92	0.29
1-2	Q	2 298	6 085	0.93	0.31
	$Q \cdot m$	2 399	4 413	0.89	0.34
2-3	Q	3 638	9 248	0.85	0.39
	$Q \cdot m$	2 873	7 061	0.91	0.29
3-4	Q	3 174	9 220	0.92	0.29
	$Q \cdot m$	3 044	9 509	0.87	0.36
4-5	Q	4 834	18 229	0.84	0.40
	$Q \cdot m$	4 636	15 030	0.85	0.39
5-6	Q	8 087	28 433	0.86	0.38
	$Q \cdot m$	7 178	25 367	0.83	0.39
6-7	Q	10 099	29 162	0.84	0.40
	$Q \cdot m$	8 055	24 040	0.76	0.44
7-8	Q	3 122	10 477	0.79	0.46
	$Q \cdot m$	2 685	8 887	0.82	0.42
8-9	Q	1 986	4 249	0.98	0.13
	$Q \cdot m$	1 895	4 089	0.98	0.13
9-9.5	Q	1 272	3 052	0.89	0.33
	$Q \cdot m$	1 114	2 831	0.82	0.42

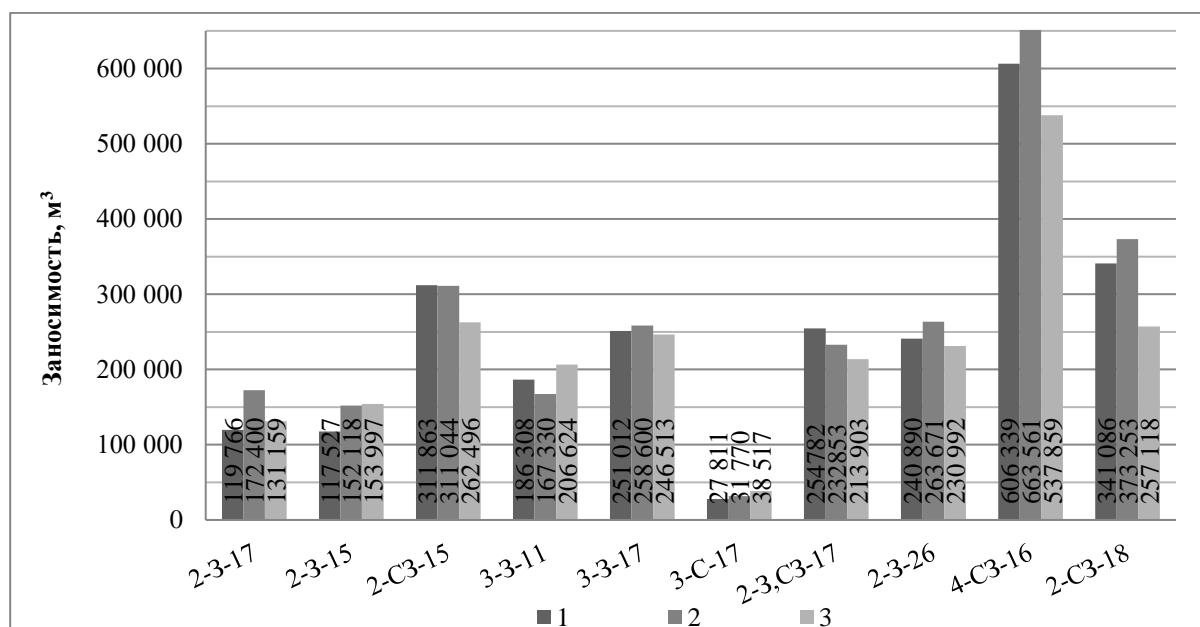


Рисунок 57. Прогнозная и фактическая заносимость канала Мудьюгских башен в зависимости от параметров шторма: длительность (сут.) – направление ветра – скорость ветра (м/с). 1 – прогнозируемая заносимость ($Q \cdot m$), 2 – прогнозируемая заносимость (Q), 3 – фактическая заносимость.

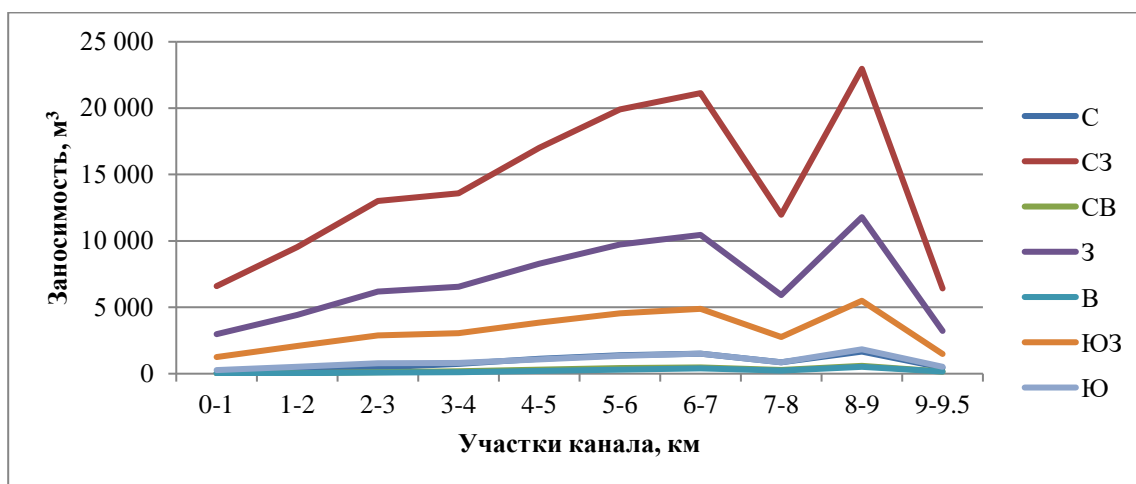


Рисунок 58. Рассчитанные значения заносимости по длине канала после однодневного шторма при разных направлениях со скоростью ветра 15 м/с.

Наибольший вклад в процесс заносимости вносят шторма с ветрами северо-западных, западных и юго-западных направлений (рисунок 59), что обусловлено значительной отдаленностью берега – увеличением разгонов, и, соответственно, возможностью возникновения волны большей высоты (Абузьяров и др., 2013).

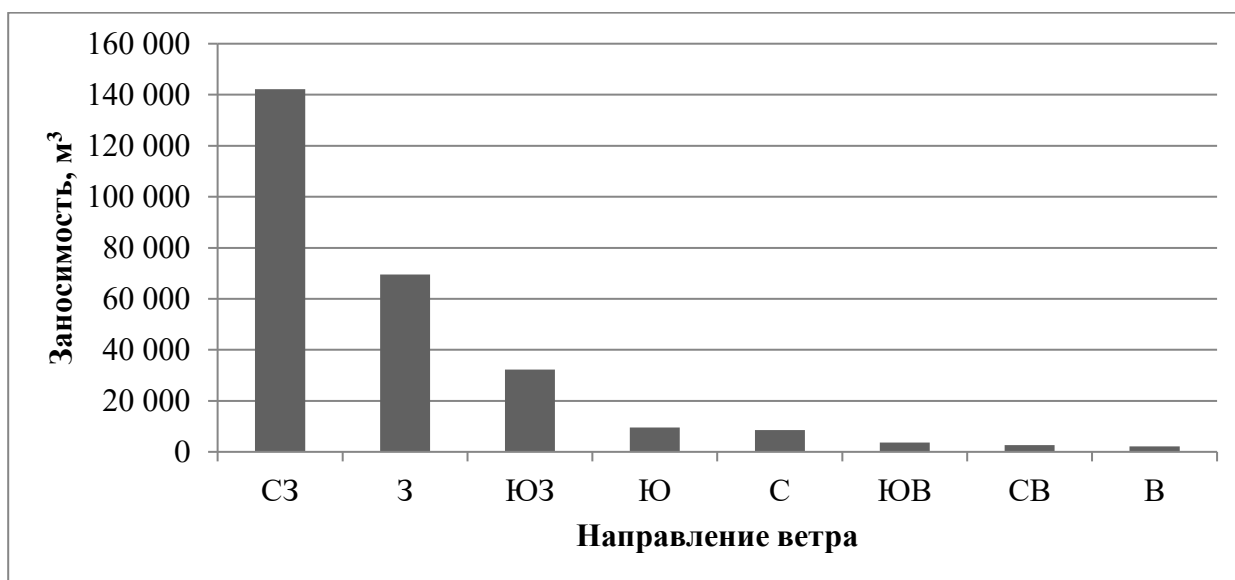


Рисунок 59. Рассчитанные значения заносимости канала после однодневного шторма со скоростью ветра 15 м/с в зависимости от направления ветра.

Численная оценка распределения штормовых наносов в безледный период выполнена по справочным данным повторяемости скорости и направления ветра по месяцам в Двинском заливе Белого моря (НД 2-029901-009 Справочные данные по режиму..., 2010) (рисунок 60) и

может быть использована при планировании работ и расстановки дноуглубительного флота в течение года.

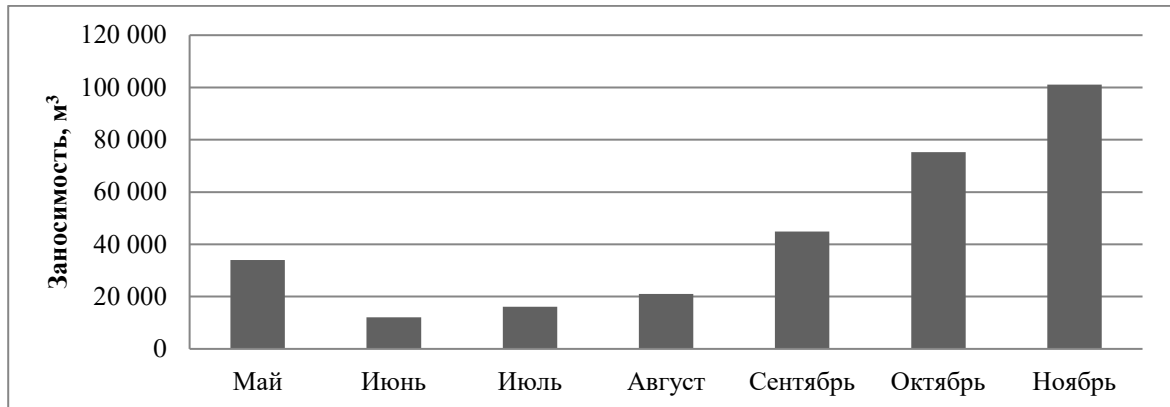


Рисунок 60. Рассчитанная штормовая заносимость канала Мудьюгских башен в безледный период.

Полученная оценка совпадает с тенденцией распределения аккумуляции штормовых наносов в канале в течение года (Иглин, 2019). 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. В летнюю межень влияние штормовых ветров на объемы аккумуляции наносов в канале заметно снижается.

К неучтенным факторам, определяющим объемы аккумуляции наносов, можно отнести повышенный сток наносов реки в период весеннего половодья, когда речные наносы оседают в баровой области устьевого взморья. Между съемками рельефа дна в периоды с мая по июнь после штормов помимо заносимости, вызванной волнением, будет отмечаться осаждение тонкодисперсных фракций грунта, переносимых стоковым течением, однако, численно выделить это соотношение без гидрологических изысканий и моделирования пока не представляется возможным. Одним из перспективных направлений дальнейших исследований представляется инкорпорация блока транспорта наносов в математическую модель устьевой области Северной Двины (Лебедева и др., 2015; Alabyan, 2018) и вынесение ее нижней (морской) границы за пределы акватории канала Мудьюгских башен.

Зависимость между показателем, характеризующим гидрометеорологические параметры шторма, и объемами штормовой заносимости канала имеет линейный характер, при этом среднее значение коэффициента корреляции (для всей акватории канала) составляет 0.94.

Эффективность прогноза дополнительно подтверждается значениями критериями Нэша-Сатклиффа (NSE) и эффективности прогнозирования S/σ в среднем для всего канала 0.89 и 0.31

соответственно. 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.

Ветра западных румбов несут наибольшую ветроволновую энергию за счет удаленности берега и возможности возникновения волны большей высоты, а соответственно и объемов штормовых наносов.

Пространственное распределение штормовых наносов вдоль Мудьюгского канала неравномерно, наиболее заносимые участки находятся на 4–7 км и 8–9 км ввиду особенностей морфологии забровочных пространств канала, неоднородности распределения мелководных областей, а также близости подводных отвалов грунта.

Распределение объемов штормовых наносов во времени также неравномерно в течение года и во многом обуславливается повторяемостью ветров северо-западного направления, которое отмечается в осенние месяцы.

Применение предлагаемой методики прогноза штормовой заносимости канала Мудьюгских башен позволяет усовершенствовать планирование дноуглубительных работ: оценивать по гидрометеорологическим факторам прошедшего шторма объемы заносимости в случае непосредственной невозможности проведения гидрографических работ, проводить оперативное перемещение земснарядов по профилю канала.

Использование данной методики возможно для оценки заносимости других морских каналов, находящихся в мелководных баровых областях приливных устьев рек, подверженных влиянию штормовых ветров, таких как морские порты Нарьян-Мар, Онега, Беломорск и другие, расположенные в морях Северного Ледовитого океана.

ГЛАВА 5. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ АКВАТОРИИ МОРСКОГО ПОРТА АРХАНГЕЛЬСК ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

5.1 Влияющие факторов и показатели их оценки

Типизация – комплекс мероприятий по оценке экологического состояния территорий (акваторий), выделения районов, специфика и целостность каждого определяется наличием особой экологической ситуации (Блануца, 1993). Современные задачи геоэкологического районирования и типизации – это оценка состояния и отслеживание изменений природной среды, оценка антропогенного и техногенного воздействия на зону оказываемого влияния, принятия управленческих решений по минимизации негативного воздействия на окружающую среду, прогнозирования (Лохов и др., 2020).

Технически проведение типизации, как правило, осуществляется средствами балльных классификаций. Эта методика позволяет сравнивать величины различных размерностей, обладает большой универсальностью, возможностью включать в себя экспертные оценки, что и реализовано в настоящей работе (Коробов, 2016; Коробов, 2007).

Для учета влияния различных факторов в общее формирования процесса используются весовые коэффициенты, которые применяются к соответствующим балльным оценкам. Одним из вариантов получения весовых коэффициентов является применение экспертных оценок по ранжированию влияния выбранных факторов (Коробов, 2003).

Итоговым показателем будет являться интегральный показатель, представленный в виде суммы баллов присвоенных балльных оценок каждому фактору с учетом весовых коэффициентов (Губайдуллин, 2005).

В рамках исследования на первом этапе был определен список факторов, а также показателей факторов, количественно определяющих влияние фактора на экологическую ситуацию при проведении дноуглубительных работ (таблица 22). Выбор факторов происходил с учетом актуальных исследований по оценке влияния дноуглубительных и гидротехнических работ на водную, геологическую и биологическую среду морских систем.

Объем дноуглубления – непосредственно тот объем грунта, который находится выше проектных габаритов морского канала (или иного сооружения) и который подлежит изъятию. Объем дноуглубления обуславливает сроки проведения работ, то есть длительность негативного влияния, и объем грунта, переходящего во взвешенное состояние при грунтозаборе и

дампинге. В настоящий момент это один из ключевых показателей для расчета ущерба кормовой базе ихтиофауны при проведении дноуглубительных работ (Приказ Минсельхоза № 167 от 31.03.2020). Исходными данными для расчета показателя является цифровая модель рельефа дна судоходных объектов порта Архангельск. Модель получена в ходе гидрографических работ в 2020 г., проведенных Архангельским филиалом ФГУП «Росморпорт». Расчеты производились по методике, описанной автором ранее (Иглин и др., 2019), а также в Главе 2. Наивысший балл «9» присваивается объекту с наибольшими объемами дноуглубления – Мудьюгскому каналу.

Таблица 22. Факторы и показатели, влияющие на экологическую ситуацию при проведении дноуглубительных работ

№	Фактор	Показатель	Диапазон значений показателей факторов объекта исследования
1	Объем дноуглубления	Объем грунта к выемке, м ³	3.2–952 820
2	Загрязненность грунтов	Индекс загрязненности грунтов	0.2–1.6
3	Загрязненность вод	Индекс загрязненности вод	0.8–1.9
4	Близость ООПТ	Расстояние до ООПТ, км	0–15.5
5	Близость рекреационных зон	Расстояние до рекреационных зон, км	0.4–53.7
6	Наличие фито- и зоопланктона	Биомасса (фито- и зоопланктон), г/м ³	0.7–1.2
7	Наличие донных сообществ	Биомасса (бентос), г/м ²	0–32.9
8	Площадь разработки и осаждения взмученного грунта	Площадь участков дноуглубления и отвалов, га	0.5–269.4
9	Концентрация взвешенных веществ в воде	Концентрация взвешенных веществ в воде после дноуглубления, мг/дм ³	3.2–18.4
10	Течения	Максимальные скорости течений, см/с	14–119
11	Интенсивность волнения	Обеспеченность волны высотой 0.5 м, %	11.7–51.5
12	Гранулометрический состав донного грунта	Гранулометрический состав донного грунта	Пески пылеватые – пески крупные
13	Наличие впадающих рек и проток	Сумма ширин рек и проток в местах впадения, м	0–5052
14	Фактическая глубина	Медианная глубина в районе дноуглубления, м	5.2–17.6

Загрязненность грунтов и вод выражена через индекс загрязненности донных грунтов и вод соответственно. Дноуглубление в порту Архангельск проводится методом

гидромеханизации, при этом донный грунт взмучивается направленным потоком воды, а затем водно-грунтовая смесь транспортируется к подводным отвалам грунта. В процессе грунтозабора и дампинга создается облако с повышенной концентрацией взвешенных веществ, вследствие чего возникает вероятность вторичного загрязнения вод поллютантами, содержащимися во взвешенном грунте и водно-грунтовой смеси в трюме земснаряда. Расчеты индексов загрязненности выполнены по данным содержания тяжелых металлов (кадмий, свинец, цинк, медь), мышьяка и нефтепродуктов для вод и 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:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{C'_i} \right)}{n}, \quad (15)$$

где Z – 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.

Наивысший балл «9» присваивается объектам с наибольшим индексом загрязненности донных грунтов (Мудьюгский канал) и вод (Лапоминский канал).

Близость *особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и рекреационных территорий* к участкам проведения дноуглубительных работ сказывается на экологической ситуации в том смысле, что в зоне воздействия находятся береговые участки этих территорий, а в некоторых случаях и акваторий, особенно в аварийных ситуациях. В зонах проведения дноуглубительных работ в порту Архангельск находятся Беломорский государственный природный биологический заказник в дельте Северной Двины, и Мудьюгский государственный природный ландшафтный заказник в районе о. Мудьюгского в Двинском заливе. Рекреационные зоны представлены двумя городскими пляжами в центре г. Архангельска. Для решения подобных задач в практике геоэкологического районирования к объектам ООПТ и рекреационным зонам применяются ранговые оценки в зависимости от категории зоны (Коробов, 2004). В нашем случае объекты имеют одинаковый статус, и такое ранжирование не требуется. Наивысший балл «9» присваивается объектам, находящимся наиболее близко к ООПТ (объекты 30–47) или рекреационным зонам (Хечеминский-Окуловский канал), минимальный – наиболее удаленным от них.

Наличие *фито- и зоопланктона и донных сообществ*. Резкое повышение концентрации взвеси в воде, наличие зон с повышенной мутностью, полное разрушение донных биоценозов в ходе грунтозабора и осадения взмученного грунта негативно сказывается на кормовой базе рыб и ихтиофауне в целом. Чем выше значение биомассы фито- и зоопланктона ($г/м^3$) и донных сообществ ($г/м^2$) в районах работ, тем более существенным будет негативное влияние дноуглубительных работ на кормовую базу ихтиофауны. Наивысший балл присваивается объектам с

наибольшим значением биомасс фито- и зоопланктона (объекты 9–47) и бентоса (погрузочно-разгрузочный район Бакарица).

Площадь разработки и осадения взмученного грунта. Как уже упоминалось выше, при дноуглублении полностью разрушаются донные зооценозы на этапах грунтозабора, дампинга и интенсивного осадения облака взмученного грунта. Площадь разработки зависит от заносимости акватории (при ремонтных дноуглубительных работах) или от проектных габаритов строящегося сооружения. Примем, что осадение грунта будет происходить в границах подводных отвалов. Наивысший балл присваивается объектам с наибольшей площадью разработки и осадения грунта (отвал №144а).

Концентрация взвешенных веществ в воде повышается после проведения дноуглубления. Ранее установлено, что этот показатель хорошо коррелирует с объемами дноуглубительных работ (Иглин и др., 2019). Время существования зон повышенной концентрации взвеси обусловлено большим количеством факторов – гидродинамических и геологических, и на разных участках акватории будет различным. Значения этого показателя определялись в рамках производственного экологического контроля при дноуглубительных работах. Наивысший балл присваивается объектам, где наибольшая наблюдаемая концентрация после проведения дноуглубления наибольшая (Соломбальский канал).

Течения и интенсивность волнения – факторы, определяющие гидродинамический режим акватории проведения дноуглубительных работ. Показателями будут являться максимальные скорости течений и вероятность появления волны высотой более чем 0.5 м соответственно. Скорости течений регистрировались в 2013 г. при проведении в устьевой области р. Северной Двины инженерно-гидрометеорологических изысканий для разработки проектной документации по ремонтным дноуглубительным работам в порту Архангельск (Технический отчет, 2014) Наивысший балл присваивается объектам, где наблюдалась максимальная скорость течений (Чижовский канал).

Расчет интенсивности волнения проводился с использованием квазистационарной функции распределения высоты волны $F(h)$ с учетом глубины воды, а также справочной информации о средней высоте волны (Коробов, 1987, Абузьяров и др., 2013; Лопатухин и др., 2010):

$$F(h) = \exp \left[- \frac{\pi \left(\frac{h}{\bar{h}} \right)^{\frac{2}{d}}}{4 \cdot \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{h}{d} \right)} \right], \quad (16)$$

где h – высота волны 0.5 м; d – глубина места, м; \bar{h} – средняя высота волны в выборке, м.

Наивысший балл присваивается объектам, где вероятность появления волн, превышающих 0.5 м, наибольшая высота имеет место в Баканском фарватере.

Гранулометрический состав донных грунтов, с одной стороны, определяет время осаждения взмученных частиц грунта на дно. С другой стороны, известно, что донные грунты мелких фракций, обладающие высокой сорбционной способностью, в процессе перемещения и седиментации накапливают в себе потенциально токсичные химические элементы (Филенко, 2010; Косинова, 2015; Двинских и др., 2017). В дальнейшем эти поллютанты переходят в воду, создавая локальное загрязнение акватории. Присвоение баллов в зависимости от гранулометрического состава основано на классификации грунтов по фракциям (ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация), при этом наивысший балл «9» присваивается глинистым грунтам с размером фракций менее 0.002 мм (Таблица 23). Глинистые грунты в акватории объекта исследования отсутствуют, донные грунты представлены песками пылеватыми, мелкими, средней крупности и крупными с баллами 7.3125, 6.75, 6.1875, 5.625 соответственно.

Наличие впадающих рек и проток. В условиях приливно-отливных явлений и штормовых нагонов водотоки, впадающие в акватории рек и морей, в которых проводится дноуглубление (или иные гидротехнические работы), будут являться фактором распространения загрязнения облаком с повышенной концентрацией взвешенных веществ вверх по течению рек и проток. Показателем данного фактора будем считать сумму ширин русел рек и проток в местах впадения. Таким образом, будет проведено ранжирование рек и проток по их крупности. При этом наивысший балл присваивается объекту, для которого сумма ширин русел рек и проток, впадающих в него, максимальна (Коробов, 2013).

От *фактической глубины* на участке ДР и подводном отвале грунта будет зависеть время осаждения частиц на дно и, соответственно, время существования пятна мутности (Методические указания..., 2003.). Наивысший балл присваивается объекту с наибольшей глубиной – Хечеминский-Окуловский фарватер.

Таблица 23. Соотношение гранулометрического состава донного грунта и присваиваемого балла при геоэкологической оценке акватории при дноуглублении

Элементы грунта	Фракции	Размер фракций, мм	Балл
Валуны (глыбы)	Крупные	> 800	0.5625
	Средние	400–800	1.1250
	Мелкие	200–400	1.6875
Галька (щебень)	Крупные	100–200	2.2500
	Средние	60–100	2.8125
	Мелкие	10–60	3.3750
Гравий (дресва)	Крупные	5–10	3.9375
	Мелкие	2–5	4.5000
Песчаные частицы	Грубые	1–2	5.0625
	Крупные	0.50–1.00	5.6250
	Средние	0.25–0.50	6.1875
	Мелкие	0.10–0.25	6.7500
	Тонкие	0.05–0.10	7.3125
Пылеватые ча- стицы	Крупные	0.010–0.050	7.8750
	Мелкие	0.002–0.010	8.4375
Глинистые	–	< 0.002	9.0000

5.2 Экспертная оценка определения весовых коэффициентов факторов

Большое число факторов и неоднородность протекающих процессов, которые приходится учитывать при анализе природных и социальных объектов, привело к широкому распространению экспертных методов, которые используются как для установления связей между компонентами, формирующими объекты, так и для оценки показателей самих влияющих факторов. Причина такой популярности экспертных методов заключается главным образом в отсутствии достаточного количества эмпирических данных, позволяющих установить надёжные статистические зависимости между абсолютно всеми компонентами системы, а также в

принципиальной невозможности получить количественные оценки для некоторых из них (Коробов, 2013).

Экспертная оценка представляет собой присвоение рангов по степени важности n -числа факторам группой из m экспертов рангов, причем фактору, оказывающему наибольшее влияние, присваивается наивысший ранг n , следующему $n - 1$. Экспертная группа состояла из 11 специалистов: 2 доктора географических наук, доктор геолого-минералогических наук, 2 кандидата географических наук, 1 кандидат биологических наук, 1 научный сотрудник, и 4 инженерно-технических работника в сфере экологии и дноуглубления.

При этом принято, что все эксперты имеют одинаковый уровень компетентности в данном вопросе. Результаты ранжирования и экспертной оценки представлены в таблице 24.

Таблица 24. Ранги факторов влияния дноуглубления на геоэкологическую ситуацию в исследуемой части устьевой области реки Северная Двина.

Фактор	Ранг по оценке эксперта №											Средний ранг r_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Объем дноуглубления	14	14	1	11	10	11	12	8	14	9	12	10.40
Загрязненность грунтов	13	9	12	11	14	14	14	14	13	14	9	12.80
Загрязненность вод	8	10	7	7	13	9	8	7	12	10.5	6	9.15
Близость ООПТ	3	1	14	11	5	2	4	6	1	6	7	5.30
Близость рекреационных зон	2	2	6	11	1	1	3	5	3	13	1	4.70
Наличие фито- и зоопланктона	7	5	8	11	11	3	1	9	9	7.5	10	7.15
Наличие донных сообществ	9	7	11	11	12	4	2	1	7	12	11	7.60
Площадь разработки и осадения взмученного грунта	12	13	13	11	7	10	11	13	5.5	7.5	13	10.30
Концентрация взвешенных веществ в воде	11	12	10	4.5	8	12	5	10	9	10.5	5	9.20
Течения	5	11	5	6	4	8	10	12	3	5	4	6.90
Интенсивность волнения	1	8	4	2.5	3	5	9	3	3	3	2	4.15
Гранулометрический состав донного грунта	10	3	9	4.5	9	13	13	11	11	4	14	8.75
Наличие впадающих рек и проток	6	6	3	1	2	6	7	4	9	2	3	4.60
Фактическая глубина	4	4	2	2.5	6	7	6	2	5.5	1	8	4.00

Под весовым коэффициентом понимается доля вклада фактора в конечный результат, выраженная в числовом виде в долях единицы или в процентах (Коробов, 2013). Они вычислены по формуле (1) (глава 2.3) по данным таблицы 24. Наибольшее значение (рис. 70) имеют факторы, непосредственно определяющие степень загрязнения в ходе дноуглубления: загрязненность грунтов (0.122), объемы ДР (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).

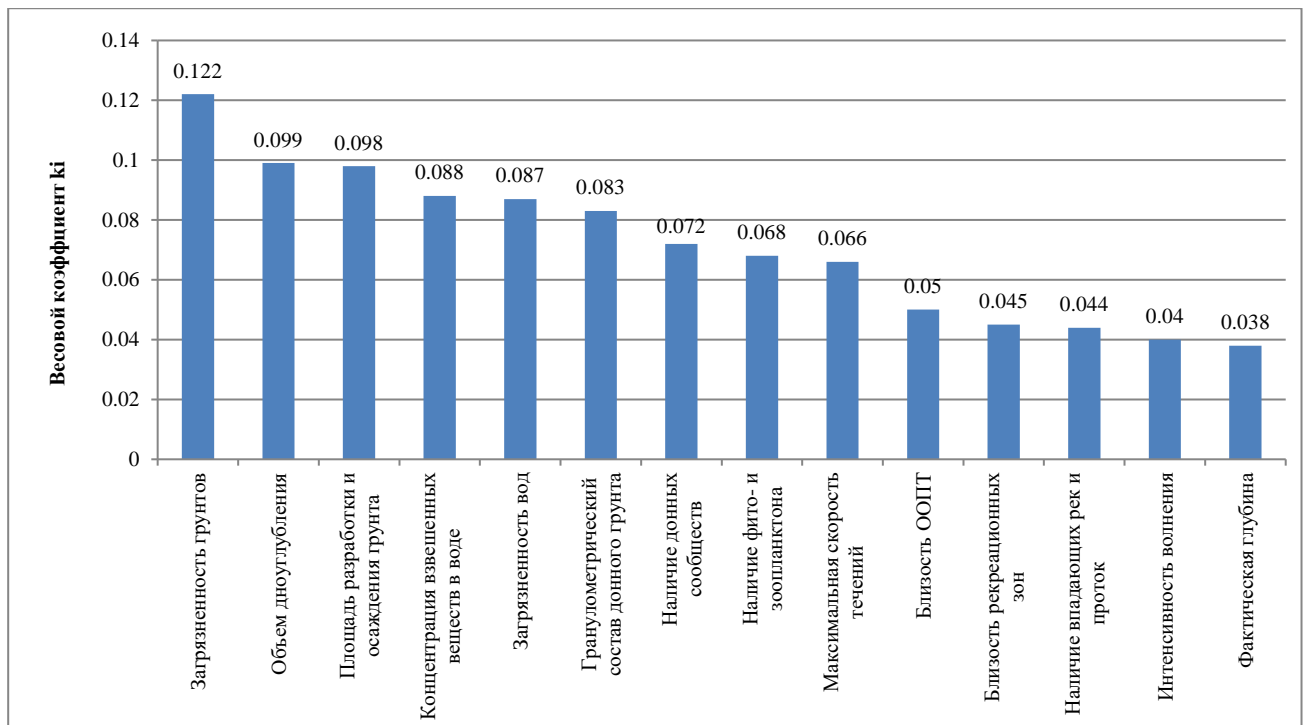


Рисунок 70. Весовые коэффициенты влияния выбранных факторов на общее влияние дноуглубительных работ на экологическое состояние в исследуемой части устьевой области реки Северная Двина.

По мнению экспертов, наличие донных сообществ и наличие фито- и зоопланктона имеют весовые коэффициенты 0.072 и 0.068 и находятся в середине списка ранжированных. Невысокая важность влияния этих факторов в общую негативную ситуацию от производства дноуглубительных работ обусловлено особенностью постановки задачи при проведении экспертной оценки: а именно ранжирование факторов при проведении ремонтных дноуглубительных работ. В ряде случаев происходит частичное или полное изменение речных биоценозов при регулярных ремонтных дноуглубительных работах. Их восстановление в условиях Севера завершается обычно через 4–7 лет. Дополнительно, необходимо отметить, что в ходе

специальных исследований, проводимых ФГБУ «Северное УГМС», Северным филиалом ФГБНУ «ВНИРО», установлено, что в устьевой области Северной Двины не наблюдается критических ситуаций, связанных с количеством и видовым разнообразием гидробионтов (Новоселов и др., 2014; Айбулатов, 1993; Зеленков и др., 2017).

5.3 Результаты типизации

Значения интегрального показателя, характеризующего степень влияния дноуглубления на экологическое состояние в акватории, представлены в Приложении А, на рисунке 72. Он рассчитан по формуле:

$$I_L = \sum_i^n k_i p_i, \quad (17)$$

где I_L – интегральный показатель влияния дноуглубительных работ на экологическую ситуацию в акватории объекта дноуглубления в порту; L – количество объектов дноуглубления в порту; p_i – балльные оценки показателей; i – количество факторов.

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.

Однако для построения вербально-числовой шкалы оценки экологического состояния акватории полученных из реальной ситуации минимального и максимального значения недостаточно, поскольку велика вероятность их превышения при других условиях проведения работ. Чтобы не пересчитывать каждый раз вербально-числовую шкалу, мы получили консервативные оценки предельных значений интегрального показателя для данного региона (Коробов, 2021).

Максимальные и минимальные теоретические границы шкалы показателя I определены путем выбора экстремальных значений показателей (и, соответственно, баллов) каждого фактора и дальнейшего вычисления по формуле (17). Максимальное для данного района (морского порта Архангельск) теоретическое значение показателя I составило 8.75, а минимальное – 1.51. Промежуточные значения для определения градаций определены путем расчета квартилей значения интегрального показателя.

Вербально-числовая шкала для определения интегрального показателя степени влияния дноуглубления на экологическую ситуацию в порту Архангельск представлена в таблице 25.

Таблица 25. Вербально-числовая шкала для определения степени влияния дноуглубительных работ на экологическую ситуацию в порту Архангельск.

Диапазон значений <i>I</i>	Вербальная оценка влияния
3.54 – 8.75	Сильное
3.27 – 3.53	Умеренное
2.92 – 3.26	Слабое
1.51 – 2.91	Незначительное

По данным проведенного геоэкологической типизации на основании балльно-рейтинговых оценок 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. Наибольшие значения интегрального показателя наблюдаются на Мудьюгском канале (5.08 баллов) и отвалах № 143а (4.41 баллов) и № 144а (4.95 баллов), куда транспортируется наносной грунт из акватории Мудьюгского канала. 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). Высокие значения интегрального показателя *I* наблюдаются в акватории погрузочно-разгрузочного района Бакарица (4.30 баллов), Бакарицкого канала (4.20 баллов). Это связано с высоким уровнем загрязненности донных грунтов и вод в ходе портовой деятельности (Котова, 2016).

Влияние дноуглубления в зоне руслового участка (объекты 30-47) устьевой области р. Северной Двины в целом можно охарактеризовать как умеренное. Средний балл интегрального показателя в этой зоне составил 3.45. Масштабы заносимости объектов в этой зоне значительно ниже, однако в районе Соломбальского канала (участок 34) и погрузочно-разгрузочного района Бакарицы (участок 42) достаточно существенны и могут ограничивать проход судов. Более высокие значения интегрального показателя на объектах этой зоны в большей степени обусловлены повышенным содержанием поллютантов в донном грунте и воде из-за расположенных рядом населенных пунктов и городской инфраструктуры, а также близостью к ООПТ «Беломорский государственный природный биологический заказник» (Никаноров, 2010).

Наиболее благоприятные условия с точки зрения поддержания глубин и экологической обстановки наблюдаются в зоне Маймаксанской протоки (объекты 10–29). Средний балл

интегрального показателя здесь составил 2.82. В этом районе самые низкие объемы дноуглубления, работы проводятся крайне редко и имеют локальный характер, семь объектов этого района вообще не требуют дноуглубления для поддержания проектных параметров. К тому же здесь в большей степени выражены процессы размыва речного дна (Иглин, 2019; Иглин, 2019). Степень влияния дноуглубительных работ на экологическую ситуацию на этом участке можно охарактеризовать как незначительную.

По данным, представленные в 5.2 рассчитаны интегральные показатели влияния дноуглубления на экологическую ситуацию для Мудьюгского канала (Рисунок 71).

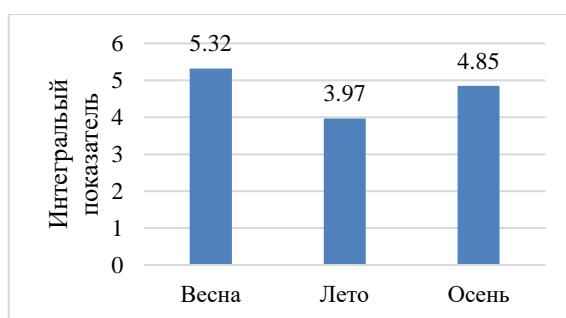


Рисунок 71. Интегральные показатели влияния дноуглубительных работ на экологическую ситуацию для Мудьюгского канала морского порта Архангельск

В соответствии с рассчитанными интегральными показателями для различных фаз водного режима реки негативное воздействие от дноуглубительных работ на Мудьюгском канале относится к сильной степени воздействия, причем максимальное значение (5.32) наблюдается в период весеннего половодья. Это обусловлено повышенным содержанием загрязнителей в воде и грунте, повышенным значением скоростей течений, объемов дноуглубительных работ. Минимальное значение (3.97) получено для летней межени, потенциально это наиболее благоприятный период для проведения работ. Необходимо учитывать, что производство дноуглубительных работ привязывается к обеспечению безопасности мореплавания и это первостепенная задача, выбор более или менее благоприятных периодов для производства работ, как правило, не производится. Так для приведения глубин на Мудьюгском канале к проектным зачастую требуется вся летняя навигация (Иглин и др., 2019).

В то же время, при потенциальной возможности перехода объекта дноуглубления из одной степени экологического воздействия при дноуглублении в другую в соответствии с вербально-числовой шкалой, проведение геоэкологической типизации по настоящей методике целесообразно для различных временных периодов в сезоне. При этом необходимо проведение экспертной оценки по ранжированию факторов и определению весовых коэффициентов для каждого

периода, которая может быть различной, особенно это касается циклов жизни гидробионтов в исследуемых акваториях.

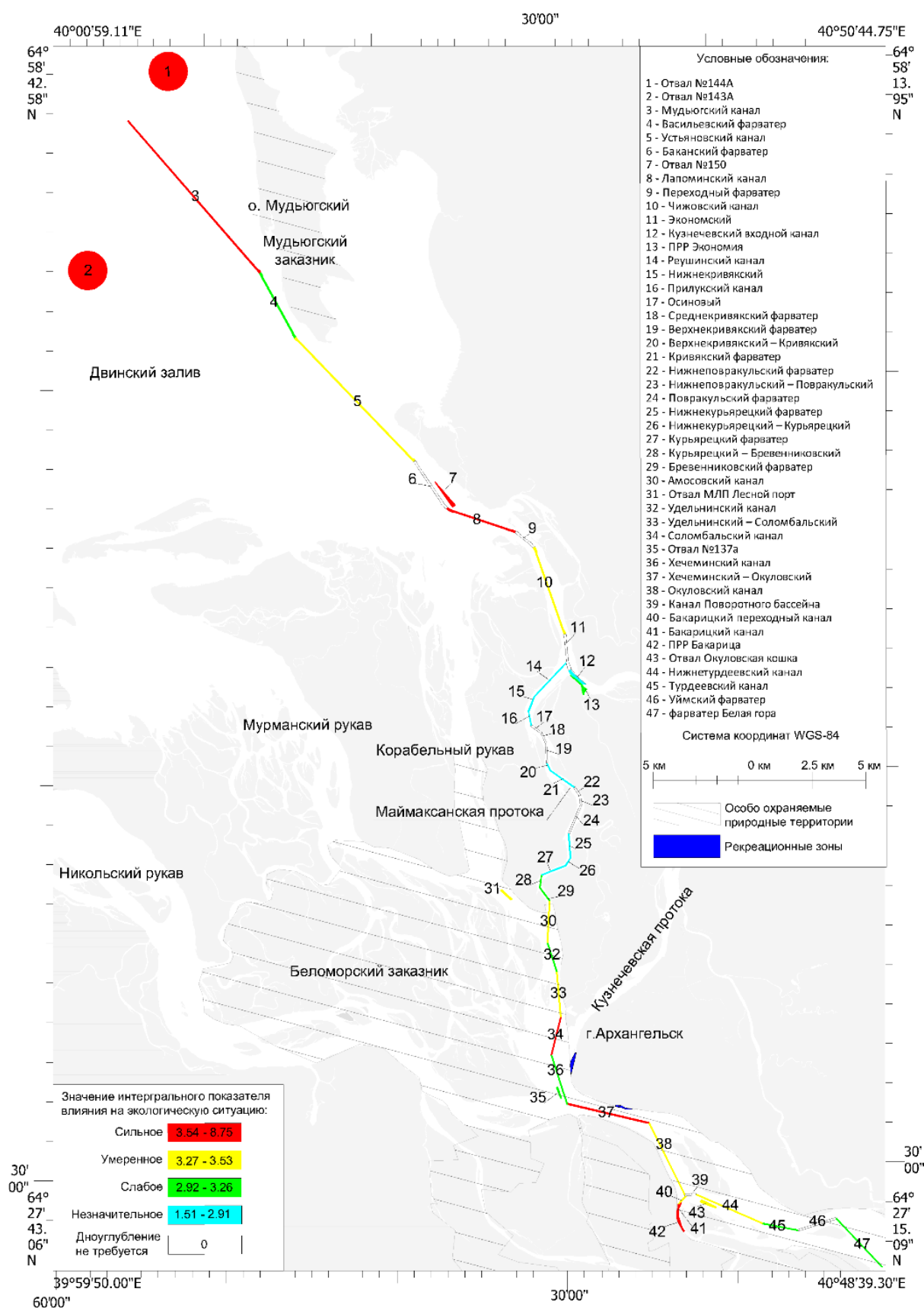


Рисунок 72. Схема геоэкологической типизации влияния дноуглубительных работ в исследуемой части устьевой области реки Северная Двина

5.4 Оптимизация сети отбора проб при производстве экологического контроля

Как отмечено в главе 5, одним из прикладных приложений методики по оценке геоэкологического воздействия дноуглубительных работ на экологическую ситуацию является оптимизация сети отбора проб при проведении производственного экологического контроля.

Проведение эффективного экологического мониторинга для целей наблюдения и регистрации состояния природной среды в зонах специфического антропогенного воздействия требует проведения специальных исследований и составления программ экологического контроля для конкретного объекта исследования и с учетом особенностей антропогенной деятельности человека. Современные нормативные документы (Р 52.24.309-2004, РД52.24.609-99, МУ № 36, ГОСТ 17.1.5.05-85, ГОСТ Р 51592-2000, «Руководством по организации и проведению работ и выдаче разрешений на сброс отходов в море с целью захоронения», «Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.2., ч.2».) в сфере регламентации состава и периодичности отбора проб для контроля за состоянием водных объектов не отвечают особенностям контроля за проведением дноуглубительных работ. Так например, при организации экологического контроля и мониторинга водной среды и биоты при производстве гидротехнических работ не выполняются наблюдения за образованием зон мутности, не определяют ее параметры, не проверяются спрогнозированные технологические нормативы перехода извлекаемых донных грунтов во взвесь (Сергеева, 2015). Также и сеть государственного мониторинга, проводимого на водных объектах РФ, не может охватить тот специфический набор факторов, характеризующий процессы загрязнения в ходе дноуглубительных работ (Коробов и др., 2022).

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.

Для исследуемого района можно предложить пример оптимизации сети мониторинга для зоны устьевого взморья реки Северная Двина (Рисунок 73).

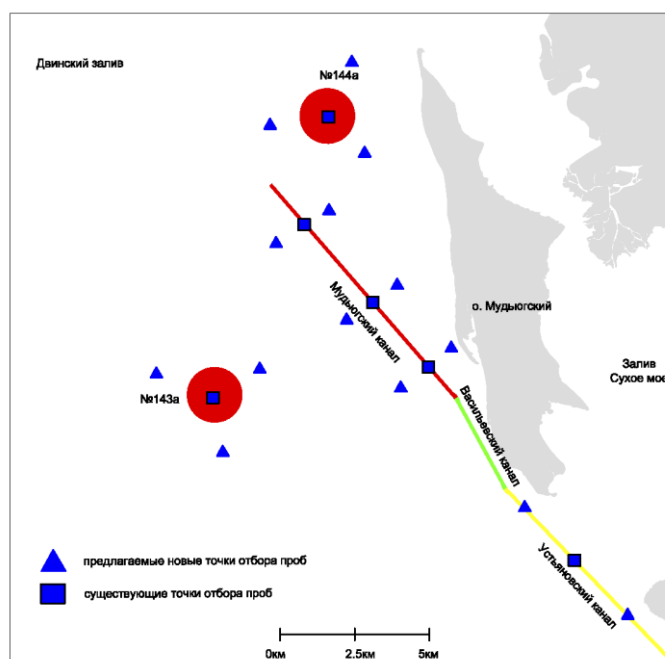


Рисунок 73. Пример оптимизации сети мониторинга при производстве экологического контроля в зоне устьевого взморья реки Северная Двина

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенного исследования наиболее значимыми будут следующие результаты:

1. Исследование масштабов заносимости, выполненное по материалам гидрографических работ за 2014-2018, показало, что наибольший объем наносов за зимнюю навигацию образуется в акватории устьевого взморья реки Северная Двина, составляет более 374 тыс. м³ в то время, как в акватории канала Мудьюгских башен (северная часть судового хода) оседает порядка 246 тыс. м³. В этой зоне наблюдаются и наибольшие толщины наносов, которые достигают нескольких метров. Процессы размыва рельефа дна в зоне устьевого взморья выражены достаточно слабо, объем размываемого грунта – порядка 10 тыс. м³. Наименьшие объемы наносов наблюдаются в акватории Маймаксанской протоки, и составляют 65 тыс. м³. За год каналы становятся мельче в среднем на 0,03 м. Максимальный (в среднем за 4 года) слой наносов составляет 0,64 м. С точки зрения поддержания глубин каналы Маймаксанской протоки являются наиболее благоприятными. Акватория Кузнечевской протоки заносится на 81 тыс. м³ ежегодно, максимальные толщины наносов составляют 0,32 м. Процессы размыва выражены в наименьшей степени. Среднее изменение рельефа дна составляет 0,05 м в год. Заносимость Кузнечевской протоки имеет многолетний характер. Каналы участка главного русла устьевой области также существенно подвержены процессам заносимости. Толщины наносов могут достигать до 1,30 м. Ежегодный объем заносимости составляет более 146 тыс. м³. Заносимость имеет выраженный сезонный характер.

Установлено, что наибольший вклад в заносимость канала Мудьюгский башен в порту Архангельск вносят штормовые явления. Пространственное отложение наносов в канале неоднородно. Заносимость, вызванная твердым стоком реки Северная Двина, имеет сезонный характер. Наибольшие значения зафиксированы во время весеннего половодья (при повышении расхода воды и концентрации взвешенных веществ) и осенних паводков, а наименьшие объемы – в летнюю межень.

Гранулометрический состав позволяет сделать выводы о природе наносных грунтов. Он зависит от гидрологических и гидрометеорологических факторов, стоковых процессов. На Мудьюгском канале и акватории ПРР Бакарица наблюдаются мелкие и пылеватые пески, что говорит об осадконакоплении путем оседания взвешенных наносов. Мудьюгский канал находится в зоне смешения речных и морских вод, где под воздействием маргинального фильтра происходит преобразование растворенных и взвешенных веществ и их обильное осадконакопление. Взвешенные частицы переносятся на акваторию ПРР Бакарица приливными течениями и,

впоследствии, оседают на дно акватории причальной зоны. На Соломбальском канале донные отложения представлены крупным песком с примесью гальки, данный тип грунтов соответствует влекомым наносам.

2. Проведенное исследование по особенностям штормовой заносимости показало, что зависимость между показателем, характеризующим гидрометеорологические параметры шторма, и объемами штормовой заносимости канала имеет линейный характер, при этом среднее значение коэффициента корреляции (для всей акватории канала) составляет 0.94. Эффективность прогноза дополнительно подтверждается значениями критериев Нэша-Сатклиффа (NSE) и эффективности прогнозирования S/σ в среднем для всего канала 0.89 и 0.31 соответственно. 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. При этом установлено, что за счет удаленности берега и возможности возникновения волны большей высоты ветра западных румбов несут наибольшую ветроволновую энергию, а соответственно, и объемов штормовых наносов. Пространственное распределение штормовых наносов вдоль Мудьюгского канала неравномерно, наиболее заносимые участки находятся на 4–7 км и 8–9 км ввиду особенностей морфологии забровочных пространств канала, неоднородности распределения мелководных областей, а также близости подводных отвалов грунта. Распределение объемов штормовых наносов во времени также неравномерно в течение года и во многом обуславливается повторяемостью ветров северо-западного направления, которое отмечается в осенние месяцы. Применение разработанной методики прогноза штормовой заносимости канала Мудьюгских башен позволяет усовершенствовать планирование дноуглубительных работ: оценивать по гидрометеорологическим факторам прошедшего шторма объемы заносимости в случае непосредственной невозможности проведения гидрографических работ, проводить оперативное перемещение земснарядов по профилю канала. Использование предложенной методики прогнозирования штормовой заносимости также возможно для оценки заносимости других морских каналов, находящихся в мелководных баровых областях приливных устьев рек, подверженных влиянию штормовых ветров, таких как морские порты Нарьян-Мар, Онега, Беломорск и другие, расположенные в морях Северного Ледовитого океана.

3. Изучение влияния дноуглубительных работ на экологическое состояние донных грунтов и вод эксплуатируемых акваторий показало, что величины содержания загрязнителей в пробах грунта и воды до и после проведения дноуглубительных работ соответствуют фоновым данным, полученным различными авторами в разные периоды гидрологических циклов в устьевой области реки Северная Двина. 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 ДР 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. Однако, на многих объектах наблюдается снижение концентраций этих тяжелых металлов после дноуглубления, что может говорить о влиянии сезонной изменчивости на содержание этих элементов в водах и донном грунте. Нужно учитывать, что содержание взвеси в воде подвержено серьезной сезонной изменчивости. Так, в весенний период концентрация взвеси значительно повышается относительно среднегодовых значений, и превышает наблюдаемые значения после дноуглубления. Повышение концентраций растворенного кислорода связано с сезонной изменчивостью, а не со дноуглубительными работами. Так как отбор проб перед дноуглублением происходит в начале летней навигации (май-июнь), а заканчивается дноуглубление, как правило, в осенние месяцы (октябрь-ноябрь), то со снижением температуры воды повышается значение растворенного кислорода в воде. В то же время снижение БПК₅ также характеризуется сезонным изменением. Поэтому изменение данных показателей не связано с проведением дноуглубления в акватории устьевой области реки Северная Двина.

Наиболее подверженной зоной возможному вторичному загрязнению в ходе дноуглубительных работ является устьевое взморье реки Северная Двина. С одной стороны, там проводится основной объем дноуглубления из-за значительных масштабов заносимости, с другой стороны – это зона естественного очищения реки (геохимический барьер «река-море»), задерживающая большую часть загрязнителей в маргинальном фильтре. В устьевой области реки Северная Двина в акватории морского порта Архангельск влияние дноуглубительных работ на содержание в воде и грунте загрязнителей имеет краткосрочный характер. Активный гидродинамический режим снижает локальное воздействие повышенной мутности на возможность вторичного загрязнения вод тяжелыми металлами и нефтепродуктами: около 70% сброшенного грунта на подводные отвалы мигрирует.

4. В диссертации предложена методика проведения оценки геоэкологической типизации акватории морского порта при проведении ремонтного дноуглубления на основании балльно-рейтинговой оценки в морском порту Архангельск, находящимся в устьевой области реки Северная Двина.

Определен перечень факторов, влияющих на экологическую ситуацию в акватории при ее дноуглублении. Выполненная экспертная оценка влияния различных факторов при проведении дноуглубительных работ указывает на большой вклад факторов, непосредственно определяющих загрязнение акватории при дноуглублении и в меньшей степени – на распространение

загрязнения. Наибольший весовой коэффициент имеет загрязненность донных грунтов (0.122), а наименьший – фактическая глубина (0.038). Оговорено, что задачу ранжирования факторов для расчета весовых коэффициентов целесообразно ставить для конкретного района исследований, поскольку одни и те же факторы могут по-разному проявляться в разных природных условиях, вследствие чего их весовые коэффициенты будут отличаться для различных условий.

По мнению экспертов, наличие донных сообществ и наличие фито- и зоопланктона имеют весовые коэффициенты 0.072 и 0.068 и находятся в середине списка ранжированных. В ряде случаев происходит частичное или полное изменение речных биоценозов при регулярных ремонтных дноуглубительных работах. Установлено, что их восстановление в условиях Севера завершается обычно через 4–7 лет.

Вербально-числовая шкала интегрального показателя влияния дноуглубления на экологическую ситуацию составлена по фактическим данным балльно-рейтинговой оценки для порта Архангельск. Экстремумные значения шкалы, равные 1.51...8.75 рассчитаны по сумме максимальных и минимальных значений баллов показателей и могут быть зафиксированы в акватории порта Архангельск. Промежуточные градации шкалы выделены распределением баллов по квартилям.

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. Участки устьевого взморья сильнее всего заносятся в ходе штормовых явлений, регулярно требуют проведения дноуглубления. Из-за больших объемов удаляемого грунта (до 1 млн. м³), а также из-за нахождения в зоне смешения морских и речных вод под действием маргинального фильтра эти участки накапливают в донном грунте и водах существенный объем поллютантов. Иная негативная ситуация наблюдается в зонах активного антропогенного воздействия: портовых и причальных зонах, зонах бункеровки судов и городской инфраструктуры (мосты, автомобильные дороги, выпуски ливневой канализации). Здесь главную роль играют факторы загрязнения вод, донных грунтов, их гранулометрический состав, близость рекреационных зон и ООПТ, концентрация взвеси после дноуглубления.

Дельтовые участки, в частности Маймаксанская протока, имеют наиболее благоприятные условия для проведения дноуглубления с минимально возможным негативным воздействием на экологическую ситуацию. Наименьшие объемы дноуглубления, соответственно и площади разработки грунта, низкая интенсивность волнения, удаленность от ООПТ и рекреационных зон – все это является благоприятными аспектами проведения ремонтного дноуглубления на этих акваториях.

В соответствии с рассчитанными интегральными показателями для различных гидрологических сезонов негативное воздействие от дноуглубительных работ на Мудьюгском канале относится к сильной степени воздействия, причем максимальное значение (5.32) наблюдается в период весеннего половодья. Это обусловлено повышенным содержанием загрязнителей в воде и грунте, повышенным значением скоростей течений, объемов дноуглубительных работ. Минимальное значение (3.97) получено для летней межени, потенциально это наиболее благоприятный период для проведения работ. Необходимо учитывать, что производство дноуглубительных работ привязывается к обеспечению безопасности мореплавания и это первостепенная задача, выбор более или менее благоприятных периодов для производства работ, как правило, не применяется. Так для приведения глубин на Мудьюгском канале к проектным зачастую требуется вся летняя навигация.

Таким образом, в ходе дноуглубительных работ в порту существует возможность вторичного загрязнения, особенно тяжелыми металлами: свинцом и кадмием. Так или иначе, это негативная для экосистем форма антропогенной деятельности, однако, влияние, которой имеет кратковременный характер – порядка нескольких часов, и не сильнее некоторых природных и иных техногенных процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абузьяров, З.К. Режим, диагноз и прогноз ветрового волнения в океанах и морях. / З.К. Абузьяров, А.А. Лукин, Е.С. Нестеров - М.: Гидрометеорологический науч.-исслед. центр Российской Федерации, 2013. - 292 с.
2. Айбулатов, Н. А. Геоэкология шельфа и берегов Мирового океана / Н. А. Айбулатов, Ю. В. Артюхин - СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 304 с.
3. Алабян А.М. Руслообразующие наносы и их транспорт в равнинной реке / А.М. Алабян // Вестник Московского университета. Серия 5: География. - 1992. - № 5. - С. 22–28.
4. Алексеевский, Н.И. Формирование и движение речных наносов. / Н.И. Алексеевский - М.: МГУ, 1998. - 202с.
5. Алисов, Б.П. Климат СССР. / Б.П. Алисов - М.: Изд-во МГУ, 1956. - 128 с.
6. Артамонова, К.В. Особенности гидрохимического режима Обской губы в период открытой воды / К.В. Артамонова, С.А. Лапин, О.Н. Лукьянова, П.Н. Маккавеев, А.А. Полухин // Океанология. – 2013. – Т. 53, № 3. – С. 357–366.
7. Архив наблюдений за морем в Мудьюге [Электронный ресурс] URL: https://gr5.ru/Архив_наблюдений_за_морем_в_Мудьюге (Дата обращения 01.04.2021).
8. Архив погоды на Мудьюг острове [Электронный ресурс] URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=22551> (Дата обращения 01.04.2021).
9. Атлас течений Белого моря. Л.: ЦКФ ВМФ, 1962.
10. Бахова, Л. В. Дампинг: удачное решение или преступная технология / Л.В. Бахова // Colloquium-journal. – Голопристанський міськрайонний центр зайнятості= Голопристанский районный центр занятости, 2018. – №. 9-3. – С. 12-17.
11. Бердников, С. В. Применение балансовых моделей для оценки седиментации терригенного материала в Белом море и его выноса в арктический бассейн / С. В. Бердников, А. Е. Цыганкова // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2004. – №. 3. – С. 29-41.
12. Блануца, В. И. Интегральное экологическое районирование: концепция и методы / В. И. Блануца; Ответственный редактор кандидат географических наук Ю.С. Никульников. – Новосибирск: ВО "Наука", Сибирская издательская фирма, 1993. – 159 с.
13. Брызгалов, В. В. Исследование устьевой области реки Северной Двины хронокартографическим методом / В. В. Брызгалов, Л. Э. Скибинский, А. Ю. Богунов – Архангельск : Лодия, 2008. – 141с.

14. Бухарицин, П.И. Рецензия на монографию «Современное состояние и проблемы использования внутренних водных путей (на примере Волго-Каспийского морского судоходного канала)» / П.И. Бухарицин // *Paradigmata poznani*. 2017. № 2. С. 66–72.
15. Виноградова, А. А. Вклады источников Европы в загрязнение свинцом и кадмием северных районов Европейской России / А. А. Виноградова, Е. И. Котова // *Живые и биокосные системы*. – 2018. – № 23.
16. Виноградова, А.А. Атмосферный перенос антропогенных тяжелых металлов в районы севера европейской территории России / А.А. Виноградова, Е.И. Котова, В.Ю. Топчая // *География и природные ресурсы*. – 2017. – № 1. – С. 108–116. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2017-1(108-116).
17. Власов, В.М. Морские каналы и средства навигационного оборудования морских путей. / В.М. Власов – М.: Транспорт, 2001.– 368с.
18. Волнина, О. В. Оценка геоэкологической ситуации в районах подводных отвалов грунта в восточной части Финского залива / О.В. Волнина // *Ученые записки РГГМУ*. – 2011. – № 20. – С. 172-186.
19. Воробьева Таисия Яркиевна, Собко Елена Иосифовна, Забелина Светлана Александровна Пространственно-временная изменчивость структуры планктонных сообществ экосистемы устья Р. Северной Двины // *Arctic Environmental Research*. - 2010. - №3. – С.36-48
20. Воробьева Т. Я., Собко Е. И., Шорина Н. В., Забелина С. А. Средообразующая роль планктонных сообществ экосистемы устья Северной Двины // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2010. №1-4.
21. Гидрология устьевой области Северной Двины. М.: Гидрометеиздат, 1965. - 376 с.
22. Гидрология и гидротехнические сооружения. М.: Высшая школа, 1988. - 472 с.
23. Мискевич, И.В. Гидролого-гидрохимическая характеристика пролива Железные ворота около острова Мудьюгский в Двинском заливе Белого моря / И. Вл. Мискевич, И. Вит. Мискевич; Архангельский центр Русского географического общества. - Архангельск, 2017. - 54 с.
24. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том II. Белое море. Вып.1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 240 с.
25. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 5. Белое море. Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 235 с.
26. Погодин, В.А. Гидротехнические сооружения морских портов / В. А. Погодин, В. С. Коровкин, К. Н. Шхинек – Санкт-Петербург : Издательство "Лань", 2014. – 440 с.

27. Гладыш, В. А. Оценка интенсивности литодинамических процессов в морском судоходном канале порта Сабетта / В. А. Гладыш, Е. А. Логвина, А. В. Нестеров, Н. В. Кубышкин // Инженерные изыскания. – 2017. – №. 4. – С. 36-44.
28. Гордеев, В.В. Особенности геохимии речного стока в Белое море / В.В. Гордеев, А.С. Филиппов, М.Д. Кравчишина, А.Н. Новигатский, О.С. Покровский, В.П. Шевченко, О.И. Дара // Система Белого моря. Том II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. – М.: Научный мир, 2012. - С 225-309.
29. Гордеев В.В., Шевченко В.П., Коробов В.Б., Коченкова А.И., Стародымова Д.П., Белоруков С.К., Лохов А.С., Яковлев А.Е., Чульцова А.Л., Золотых Е.О., Лобковский Л.И. Концентрации химических элементов в воде и взвеси реки Северная Двина и их годовой валовой сток в Белое море // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 500. – № 1. – С. 95-102
30. ГОСТ 12536-79 Грунты. Методы лабораторного определения (гранулометрического) состава.
31. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.
32. ГОСТ Р 51249-99 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами.
33. ГОСТ Р 51250-99 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Дымность отработавших газов.
34. ГОСТ Р 8.589-2001 Контроль загрязнения окружающей природной среды. Метрологическое обеспечение. Основные положения.
35. ГОСТ Р 8.589-2001 Контроль загрязнения окружающей природной среды. Метрологическое обеспечение. Основные положения.
36. Государственный водный реестр. [Электронный ресурс] Режим доступа URL: <http://textual.ru/gvr/index.php?card=158634>
37. Гришин, Н.Н. Экспериментальное исследование параметров тонкодисперсной взвеси, возникающей при отсыпе гравия для прокладки морских газопроводов / Н.Н. Гришин, И.И. Грицук, В.К. Дебольский, Н.К. Пономарев // Природороустройство. – 2011. - №2 - С 79-84.
38. Грищенко, И. А. Выбор мест подводного отвала грунта дноуглубления с учетом ветроволнового воздействия / И.А. Грищенко // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2002. – Т. 29. – №. 6.
39. Губайдуллин, М. Г. Экологический мониторинг нефтегазодобывающих объектов Европейского Севера России : Учебное пособие / М. Г. Губайдуллин, В. Б. Коробов. –

Архангельск : Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2012. – 235 с. – ISBN 978-5-261-00658-9.

40. Губайдуллин, М. Г. Экспертная интегральная оценка экологического состояния геологической среды / М. Г. Губайдуллин, В. Б. Коробов // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2005. – № 3. – С. 244-252.

41. Губина, Н.А. Защита подходных каналов морских портов от заносимости: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 05.23.07 / Губина Надежда Андреевна. - М., 2007. - 23с.

42. Двинских, С. А. Условия формирования донных отложений и их влияние на экосистему Мотовилихинского пруда г. Перми / С. А. Двинских, О. В. Ларченко, О. А. Березина // Географический вестник. - 2017. - № 1. - С. 55–65.

43. Добровольский, С.Г. Глобальные изменения речного стока. / С.Г. Добровольский. - М.: ГЕОС. - 2011. – 660 с.

44. Доронин, Ю.В. Океанография шельфовой зоны. / Ю.В. Доронин. - Санкт-Петербург: РГГМУ, 2007. - 128 с.

45. Джамалов Р.Г., Мироненко А.А., Мягкова К.Г. Пространственно-временной анализ гидрохимического состава и загрязнения вод в бассейне Северной Двины / Р. Г. Джамалов, А. А. Мироненко, К. Г. Мягкова // Водные ресурсы. – 2019. – Т. 46. – № 2. – С. 149-160

46. Елфимов, В. И. Изменение устьевых участков рек в период прохождения волны половодья: Учеб. Пособие / В.И. Елфимов. - М.: РУДН. – 2008. – 222 с.

47. Жариков, В. В. Геоэкологическое состояние полигона дампинга грунта у острова Лисий (залив Находка) / В. В. Жариков, Б. В. Преображенский, А. М. Лебедев. // Вестн. ДВО РАН. - 2011. - № 2. - С. 88–97.

48. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. /Л.А. Заде. – М.: Мир. – 1976. - 165 с.

49. Замбриборщ, Ф. С. Влияние свала грунта в море на донные биоценозы / Ф. С. Замбриборщ, А. В. Чернявский, О. Л. Соловьева // Гидробиологический журнал. – 1982. – Т. 18. – №. 1. – С. 29-36.

50. Зеленков, В. М. Оценка влияния дампинга грунта на донные биоценозы юго-западной части Двинского залива Белого моря / В. М. Зеленков, И. В. Мискевич // Изучение, рациональное использование и охрана природных ресурсов Белого моря.– СПб. - 2017. - 303 с.

51. Змётная М.И., Новикова Ю.В. Современное состояние фитопланктонного сообщества и качество поверхностных вод дельты Р. Северной Двины // Arctic Environmental Research. 2015. - №4. - С. 44—54.

52. Змётная М. И., Плакуева М. В. Видовое разнообразие и структура зоопланктонного сообщества водотоков Субарктики (на примере Архангельской области) // Арктика:

экология и экономика. — 2018. — № 1 (29). — С. 68—83. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-1-68-83.

53. 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 г. Т. III. М. : ИО РАН. - С. 128–131.

54. 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.

55. 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. – С. 76-87.

56. 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 г. Т. III. М.: ИО РАН. - С. 132–136.

57. Иглин, С.М. Оценка масштабов заносимости судоходных объектов в морском порту Архангельск / С.М.Иглин // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы освоения месторождений нефти и газа приарктических территорий России» (27-28 сентября 2018), Архангельск: САФУ - С. 90-96.

58. 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.

59. 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.

60. 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.

61. Игнатов Е.И. Применение расчетных методов для изучения динамики берегов Онежского озера и их развития. / Е.И. Игнатов, И.В. Землянов, А.Ю. Санин, Е.В. Борщенко, П.Н. Терский // Труды Карельского научного центра РАН. – 2018. - №3. – С.84-93.

62. Ильяш Л.В., Ратькова Т.Н., Радченко И.Г., Житина Л.С., Белевич Т.А., Федоров В.Д. Состав и временная изменчивость фитопланктона // Биологические ресурсы Белого моря: изучение и использование. Исследования фауны морей. Т.69 (77). СПб: ЗИН РАН. 2012. С. 48-67.
63. Илюшин, В.Я. Статистическая оценка бюджета наносов участка Керченской бухты и заносимости подходного канала Керченского Морского Торгового Порто (КМТП) / В.Я. Илюшин // Украинский гидрометеорологический журнал. - 2008. - №3. - С. 213-220.
64. Имант Е. Н. Оценка качества вод нижнего течения реки Северная Двина на основании анализа индикаторных видов зоопланктона / Е. Н. Имант, М. И. Зметная, А. П. Новоселов // Проблемы региональной экологии. – 2020. – №. 1. – С. 12-19.
65. Караушев А. В. Проблемы динамики естественных водных потоков. / А.В. Караушев. – М.:Гидрометеоздат, 1960. – 393 с.
66. Катышева, А. А. Гидрометеорологические параметры взморья реки Северной Двины в сравнении с многолетними нормами / А. А. Катышева // Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития науки : сборник материалов международной научно-практической конференции, Краснодар, 31 января 2020 года. – Москва: Международная корпорация научных исследований и разработок, 2020. – С. 11-14.
67. Киселёв, Г.П. Радиоактивность донных отложений дельты Северной Двины / Г.П. Киселёв, С.Б. Зыков, А.В. Баженов, И.М. Киселева // Поморье в Баренц-регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура. Материалы международной конференции (Архангельск, 20–24 июня 2000 г.). Архангельск: Правда Севера, 2000. – С. 106–108.
68. Климович, В. И. Расчетная оценка ежегодной заносимости Таганрогского морского подходного канала / В. И. Климович, В. С. Гара // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2018. – Т. 288. – С. 97-102.
69. Климовский, Н. В. Гранулометрический состав донных отложений в нижнем течении р. Северная Двина / Н. В. Климовский, В. М. Быков // Астраханский вестник экологического образования. – 2020. – №. 4. – С. 63-66.
70. Климовский Николай Владимирович, Матвеев Николай Юрьевич, Новоселов Александр Павлович Современное экологическое состояние низовьев Р. Северной Двины (по материалам гидрохимической съемки 2019 г.) // Вода и экология: проблемы и решения. - 2020. - №2 (82).
71. Кляцкая, И. О. Сезонные изменения качества поверхностных вод устьевого участка Северной Двины / И. О. Кляцкая, А. Б. Гудков, И. И. Бобун // Экология человека. – 2008. – №. 5.

72. Кнапс, Р.Я. О расчете мощности вдольбереговых потоков песчаных наносов в море / Р.Я. Кнапс // *Океанология*. - 1968. - Т. 8. Вып. 5. - С. 848–857.
73. Копелевич, О. В. Биооптические характеристики морей, омывающих берега западной половины России, по данным спутниковых сканеров цвета 1998-2017 гг. / О. В. Копелевич, И. В. Салинг, С. В. Вазюля, Д. И. Глуховец, С. В. Шеберстов, В. И. Буренков, А. В. Юшманова - М.: ООО "ВАШ ФОРМАТ". – 2018. – 140 с.
74. Кораблина, А.Д. Особенности формирования штормовых нагонов в динамической системе Белое море - устьевая область Р. Северная Двина по результатам численного моделирования / А.Д. Кораблина, В.С. Архипкин, Т.В. Самборский // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. - 2016. - №1. – С. 78-86.
75. Коробов, В. Б. Ветровые волны в дельте Северной Двины: Справочные данные. / В.Б. Коробов. - Архангельск, 1987. - 24 с.
76. Коробов, В. Б. Некоторые проблемы применения экспертных методов на практике / В. Б. Коробов // *Научный диалог*. – 2013. – № 3(15). – С. 94-108.
77. Коробов В. Б. Эколого-географическое обоснование экспертной оценки создания нефтяной транспортной инфраструктуры севера тимано-печорской провинции: дис. ... докт. геогр. наук. 25.00.36 / Коробов Владимир Борисович. - М., 2004. - 422 с.
78. 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.
79. Коробов, В.Б. Применение экспертных сетей для экологического районирования Белого моря / В.Б. Коробов, К.А. Середкин // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. – 2016. – № 3. – С. 81–87.
80. Коробов, В.Б. Метод анализа иерархий и ранжирование влияющих факторов как альтернативные инструменты в социально-экономических исследованиях. / В.Б. Коробов, А.Г. Тутыгин, Л.А. Чижова// *Азимут научных исследований: Экономика и Управление*. – 2020. - №3, Том 9. - С. 210-214
81. Коробов, В. Б. Организация проведения экспертных опросов при разработке классификационных моделей: преимущества и недостатки / В.Б. Коробов, Б.И. Кочуров // *Проблемы региональной экологии*. - 2007. - № 1. - С. 66–70.
82. Коробов, В. Б. Построение вербально-числовых шкал методом нечетких множеств для оценки состояния природных объектов / В.Б. Коробов // *Проблемы региональной экологии*. - 2005. - № 5. - С. 18–23.

83. Коробов, В. Б. Интегральные и интегрированные показатели в геоэкологических оценках территорий и акваторий / В. Б. Коробов, Е. И. Котова, Б. И. Кочуров // Проблемы региональной экологии. – 2021. – № 4. – С. 107-111
84. Коробов, В. Б. Методология районирования сложных географо-экологических объектов экспертно-статистическими методами / В. Б. Коробов, Б. И. Кочуров, А. Г. Тутыгин // Проблемы региональной экологии. – 2020. – № 5. – С. 42-48.
85. Коробов, В. Б. Организация проведения экспертных опросов при разработке классификационных моделей / В. Б. Коробов // Социологические исследования. – 2003. – № 11(235). – С. 102.
86. Коробов, В. Б. Теория и практика экспертных методов: Монография / В. Б. Коробов; Под редакцией Б.И. Кочурова. – М.: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. – 281 с.
87. Коробов, В. Б. Экспертные методы в географии и геоэкологии / В. Б. Коробов. – Архангельск: Поморский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2008. – 236 с.
88. Коробов В. Б. / Коробов В. Б., Шевченко В. П., Котова Е. И., // Океанологические исследования – 2022. Том 50 - № 2 - С. 125–138.
89. Коршунов, И. В. Морской торговый порт Усть-Луга и его роль в пространственном развитии экономики Северо-Западного региона / И. В. Коршунов // Вестник Российской академии естественных наук (Санкт-Петербург). – 2012. – № 4. – С. 183-185.
90. Косинова, И. И. Методологические особенности оценки экологического состояния донных отложений искусственно созданных водных объектов / И. И. Косинова, Т. В. Соколова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. - 2015. - № 3. - С. 113–121.
91. 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.
92. Котова, Е.И. Гидрохимическая характеристика устьевой области р. Северная Двина / Е.И. Котова // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием XXXI пленарного межвузовского координационного совещания «Современные проблемы эрозионных, русловых и устьевых процессов». Архангельск, 2016. – С. 121-123.
93. Котова, Е.И. Формирование химического состава осадков на севере Европейской территории России / Е.И. Котова // Вестник САФУ. Серия Естественные науки. – 2012. – № 4. – С. 116–122.

94. Котова, Е.И. Особенности формирования ионного состава снежного покрова в прибрежной зоне западного сектора Арктических морей России / Е.И. Котова, В.Б. Коробов, В.П. Шевченко // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 6.
95. Котова, Е.И. Влияние дальнего атмосферного переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны западного сектора российской Арктики / Е.И. Котова, В.П. Шевченко // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12–11. – С. 2378–2382.
96. Коченкова, А. И. Особенности сезонного распределения взвеси и органического углерода по данным обсерватории «Маргинальный фильтр реки Северная Двина» / А. И. Коченкова, А. Н. Новигатский, В. В. Гордеев, В. Б. Коробов, С. К. Белоруков, А. С. Лохов, А. Е. Яковлев // *Океанологические исследования*. – 2018. – Т. 46. – №. 2. – С. 96-111.
97. Кравчишина, М. Д. Вещественный состав водной взвеси устья реки Северной Двины (Белое море) в период весеннего половодья / М. Д. Кравчишина, В. П. Шевченко, А. С. Филиппов, А. Н. Новигатский, О. М. Дара, Т. Н. Алексеева, В. А. Бобров // *Океанология*. – 2010. – Т. 50. – №. 3. – С. 396-416.
98. Кравцова В.И., Митькиных Н.С. Устья рек России. Атлас космических снимков / М.: Научный мир, 2013. 122 с.
99. Кривицкий, С.В. Заносимость отдельных участков Волго-Каспийского морского судоходного канала / С.В. Кривицкий, Б.В. Архипов, В.В. Солбаков, М.Б. Соловьёв // *Вестник МГСУ*. - 2013. - №6. – С.177-188.
100. Кузнецов, В.С. Гидрохимическая характеристика крупных рек бассейна Северной Двины. / В.С. Кузнецов, И.В. Мискевич, Г.Б. Зайцева.- Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. - 195 с.
101. Лебедева, С. В. Роль ледовых явлений в динамике потоков на придельтовом участке Северной Двины / С. В. Лебедева, Л. С. Одоев // *Гидросфера. Опасные процессы и явления*. - 2020. - №4. – С.336 – 346.
102. Лебедева, С.В. Наводнения в устье Северной Двины и их моделирование / С.В. Лебедева, А.М. Алабян, И.Н. Крыленко, Т.А. Федорова // *Геориск*. - 2015. - № 1. - С. 18–25.
103. Лебедева, С. В. Динамика потока в приливном многорукавном устье крупной реки (на примере р. Северная Двина): автореф. дисс. ...канд. геогр. наук: 25.00.27 / Лебедева Серафима Витальевна. – Москва, 2016. – 22 с.
104. Леонтьев, И.О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. / И.О. Леонтьев. – М.: ГЕОС, 2001. - 272 с.

105. Лещев, А. В. Влияние судоходного канала порта Архангельск на перенос взвешенных веществ в зоне смешения «Река—море» устья реки Северной Двины / А.В. Лещев // Проблемы региональной экологии. – 2018. – №. 2. – С.17-21.
106. Лещев, А. В. Пространственные особенности приливной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик устьевой области реки Северная Двина в зимнюю межень / А. В. Лещев, И. В. Мискевич, В. Б. Коробов // Океанология. - 2017. - Т. 57. № 2. - С. 303-310.
107. Лещев, А.В. Экспедиционные работы в устьевой области реки Северной Двины в марте 2014 г. / А.В. Лещев, Г.Д. Хоменко, В.Б. Коробов, А.С. Лохов, А.Л. Чульцова, Н.Н. Ружникова, Н.М. Махнович, С.К. Белоруков, А.Е. Яковлев, О.П. Ефремова, Ж.Э.Р. Муангу // Океанология. – 2015. – Т. 55, № 2. – С. 348–350.
108. Лисицын, А. П. Маргинальный фильтр океанов /А.П. Лисицин //Океанология. – 1994. – Т. 34. – №. 5. – С. 735-747.
109. Лисицын, А. П. Лавинная седиментация и перерывы в осадконакоплении в морях и океанах. / А. П. Лисицын, Ю. А. Богданов. – М.: Наука, 1988. – С. 308.
110. Лисицын, А.П. Взвесь и гидрооптика Белого моря – новые закономерности количественного распределения и гранулометрии / А.П. Лисицын, В.П. Шевченко, В.И. Буренков // Актуальные проблемы океанологии / Гл. ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2003. - С. 556–607.
111. Лисицын, А.П. Система Белого моря. Том IV. Процессы осадкообразования, геология и история. / А.П. Лисицын, И.А. Немировская, В.П. Шевченко, В.Г. Воронцова. - М.: Научный мир, 2017. - 1048 с.
112. Личутина, Т. Ф. Экологическая оценка производства продукции на целлюлозно-бумажных предприятиях бассейна р. Северная Двина в соответствии с требованиями Европейского сообщества / Т. Ф. Личутина, М. А. Гусакова, И. В. Мискевич, С. П. Цыганов, Т. В. Соболева // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2011. – №. 1. – С.84 -91.
113. Ломакин, П. Д. Зоны дампинга в Керченском проливе и их влияние на качество вод / П.Д. Ломакин //Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – №. 1. – С. 45-50.
114. Ломакин, П.Д. Влияние дноуглубительных работ и грунтовых свалок на экологическую ситуацию в Керченском проливе / П.Д. Ломакин // Морской гидрофизический журнал. - 2019. - 35(2) - С.160-170.
115. Лопатухин, Л. И. Справочные данные по режиму ветра и волнения Берингова и Белого морей. / Л. И. Лопатухин, А. В. Бухановский, Е. С.Чернышева. - СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2010. - 566 с.
116. Лохов, А. С. Географо-экологическое районирование трассы нефтепровода по степени опасности воздействия на окружающую среду при аварийных разливах нефти в Арктике / А.С. Лохов // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – №. 4. – С. 43-48.

117. Лукьянов, С. А. Гранулометрический состав донных отложений и его распределение в устьевой зоне р. Северной Двины / С. А. Лукьянов, А. А. Лебедев, Ю. Г. Шварцман // *Arctic Environmental Research*. – 2011. – №. 2. – С.168-172
118. Ляхницкий, В.Е. Изыскания в устьях р. Северной Двины, произведенные в 1915–1916 гг. для составления проекта аванпорта г. Архангельска / В.Е. Ляхницкий. - Тр. Отдела торговых портов. 1916. Вып. 49. – 252с.
119. Магрицкий, Д.В. Опасные гидрологические процессы в устье Северной Двины и факторы их многолетней изменчивости / Д.В. Магрицкий, Е.Н. Скрипник // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. - 2016. - №6. – С. 59-70.
120. Методические указания по расчету распространения зон мутности при дноуглублении и дампинге на акваториях ВМФ. ВРДС 12-05-03 МО РФ. М., 2003. – 80с.
121. Мискевич, И.В. Гидрохимия приливных устьев рек: методы расчёта и прогнозирования: дисс. ... докт. геогр. наук: 25.00.28. / Мискевич Игорь Владимирович., Архангельск, 2004. – 290 с.
122. Мискевич, И.В. Специфика формирования маргинальных фильтров в приливных устьях малых рек Арктических морей / И.В. Мискевич, В.Б. Коробов, Д.С. Мосеев // *Океанология*. – 2021. – Т.61 №1 – С. 141-146.
123. Михайлов, В.Н., Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. / В.Н. Михайлов. - М.: ГЕОС, 1997. - 413 с.
124. Михайлов В.Н., Горин С.Л. Новые определения, районирование и типизация устьевых областей рек и их частей – эстуариев // *Вод. ресурсы*. 2012. Т. 39. № 3. С. 243–257
125. Мишуков В. Ф. Влияние дампинга загрязненных грунтов на экологическое состояние прибрежных вод г. Владивосток / В. Ф. Мишуков, В. В. Калинин, В. В. Плотников, А. В. Войццкий // *Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра)*. – 2009. – Т. 159. – С. 243-256.
126. Моделирование разливов нефти в западном секторе Российской Арктики / М. Г. Губайдуллин, Х. Естбел, А. Б. Золотухин [и др.]; Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 2016. – 219 с.
127. Мокеева, Н.П. Влияние сбросов грунта на донную фауну в Рижском заливе / Н.П. Мокеева, Б.В. Межов // *Труды ГОИН*. - 1983. - Вып. 167. - С. 78-89.
128. Мокеева Н.П. Отклик морских биогеоценозов на сброс грунтов // В кн.: *Итоги исследований в связи со сбросом отходов в море*. М.: Гидрометеиздат, 1988. С. 89-103.
129. Наставления по службе прогнозов, раздел 3, часть 1. Прогнозы режима вод суши. Л.: Гидрометеиздат. 1962. - 193с.

130. Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL <http://aisori-m.meteo.ru/> (дата обращения 30.12.2021).
131. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 1. Архангельская и Вологодская области Коми АССР. Книга 1. Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 486 с.
132. НД 2-029901-009 Справочные данные по режиму ветра и волнения Берингова и Белого морей. Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2010. - 66 с.
133. Неверова, Н. В. Биогеохимические исследования в экологическом мониторинге для оценки состояния экосистемы в условиях сложных средовых градиентов (на примере макробентоса устьевой области р. Северной Двины) / Н. В. Неверова, А. В. Чупаков, А. А. Ершова, А. А. Лебедев, О. Ю. Морева // Вода: химия и экология. – 2016. – №. 7. – С. 40-48.
134. Немировская, И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). / И.А. Немировская.-М.: «Научный мир», 2013. - 432 с.
135. Немировская, И.А. Содержание и состав углеводов в донных осадках на геохимическом барьере Северная Двина – Белое море / И.А. Немировская, В.П. Шевченко, А.Ю. Богунов // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 414, № 2. – С. 243–248.
136. Нецветаева, О.П. Изменчивость кислородонасыщения вод в устьевой области Р. Северной Двины / О.П. Нецветаева // Arctic Environmental Research. - 2017. - №2. – С.88-97.
137. Никаноров, А. М. Антропогенная нагрузка на устьевую область р. Северная Двина. / А. М. Никаноров, Л. П. Соколова, О. С. Решетняк, М. Ю. Кондакова, А. О. Даниленко // Метеорология и гидрология. – 2010. – №. 4. – С. 75-84.
138. Новоселов, А. П. Видовое и экологическое разнообразие рыб бассейна реки Северная Двина / А. П. Новоселов // Экология. – 2018. – № 2. – С. 127-136.
139. Новоселов, А. П. Современное состояние водных биологических ресурсов Р. Северной Двины / А. П. Новоселов, И. И. Студенов, А. А. Лукин // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2015. – № 4. – С. 90-99. – DOI 10.17238/issn2227-6572.2015.4.90.
140. Новоселов А.П., Лукина В.А., Матвеев Н.Ю., Матвеева А.Д. Биологическая характеристика ихтиофауны устьевой области реки Северная Двина / А. П. Новоселов, В. А. Лукина, Н. Ю. Матвеев, А. Д. Матвеева // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2022. – № 3. – С. 82-96.
141. Новоселов А.П., Иммант Е.Н., Новикова Ю.В., Пространственно-временное распределение планктонных сообществ (фито- и зоопланктона) в нижнем течении р. Северная Двина / А. П. Новоселов, Е. Н. Иммант, Ю. В. Новикова // Биология внутренних вод. – 2022. – № 6. – С. 702-710. – DOI 10.31857/S0320965222060171.

142. Новосёлов, А. П., Студёнов, И. И. Факторы техногенного воздействия на бассейн реки Северной Двины. / А.П. Новоселов, И.И. Студенов // Arctic Environmental Research. - 2014 - №2. – С. 32-40.
143. Нуднер И. С. Моделирование динамики наносов в прибрежной зоне / И. С. Нуднер, В. В. Максимов, Ю. Б. Майоров, Д. В. Бабчик // ЖВТ. - 2008. - №S2. - С. 60-77.
144. Об утверждении обязательных постановлений в морском порту Архангельск: [Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 9 июля 2014 года N 183] [Электронный ресурс]. - Режим доступа URL <https://docs.cntd.ru/document/420209774>.
145. Обзор загрязнения окружающей среды на территории деятельности ФГБУ "Северное УГМС" за ... – Архангельск: ФГБУ "Северное УГМС", 2008–2017 гг.
146. Овсепян, А.Э., Распределение, миграция и трансформация ртути в устьевой области р. Северная Двина: диссертация канд. геогр. наук 25.00.36 / Овсепян Ася Эмильевна. – Ростов-на-Дону, 2007.
147. Овсепян, А. Э., Ртуть в устьевой области реки Северная Двина / А. Э. Овсепян, Ю. А. Федоров. – Ростов-на-Дону : ЗАО "Ростиздат", 2011. – 198 с.
148. Петренко, О. А. Антропогенные изменения морской среды под воздействием дампинга грунтов дноуглубления в Керченской предпроливной зоне Черного моря / О. А. Петренко, Л. К. Себах, Т. М. Панкратова //Труды Южного научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – 1998. – Т. 44. – С. 83-88.
149. Погода в России и мире, прогноз погоды от Метеоцентра [Электронный ресурс] URL: <http://meteocenter.net/> (Дата обращения 01.04.2021).
150. Полонский, В.Ф. О распределении стока в дельте Северной Двины. / В.Ф. Полонский, В.И. Кузьмина // Труды ГОИН. - 1986.- вып. 179. - С. 49-56.
151. Полонский, В.Ф. Гидролого-морфологические процессы в устьях рек и методы их расчета (прогноза). / В.Ф. Полонский, Ю.В. Лупачев, Н.А Скриптунов. - СПб.: Гидрометеиздат, 1992. - 383 с.
152. Полонский, В.Ф. Исследование нестационарных водных потоков в приливном устье Северной Двины / В.Ф. Полонский, Д. В. Мишин // Труды ГОИН, - 2013. - Вып. 214. - С. 149–165.
153. Польшкин, В.В. Состав аэрозолей приподнятого слоя атмосферы над Белым морем во второй половине августа 2003 и 2004 гг. / В.В. Польшкин, Л.П. Голобокова, Т.В. Погодаева, В.С. Козлов, В.Б. Коробов, А.П. Лисицын, М.В. Панченко, М.А. Пескова, Т.В. Ходжер, В.П. Шевченко // Фундаментальные исследования океанов и морей. Книга 2. М.: Наука, 2006. – С. 413–439.

154. Польшкин, В.В. Исследования дисперсного состава приводного аэрозоля Белого моря в конце летнего сезона 2007 года / В.В. Польшкин, М.В. Панченко, И.В. Грищенко, В.Б. Коробов, А.П. Лисицын, В.П. Шевченко // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21, № 10. – С. 836–840.
155. Понятовский, В. В. Техническая эксплуатация основных элементов порта. / В. В. Понятовский. - М.: [б. и.], 2004. - с. 329.
156. Правила гидрографической службы № 35. Приведение глубин к уровню (ПГС № 35). УНГС ВМФ, 1956. - 193 с.
157. Правила гидрографической службы № 4. Съёмка рельефа дна, Часть I. - Основные положения, Часть 2. - Требования и методы (ПГС № 4, ч.1,2), 17НиО МО, 1984 г. - 264 с.
158. Приказ Министерства сельского хозяйства от 31 марта 2020 года N 167 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам». (Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 15 сентября 2020 года, N 59893).
159. Проект производства ремонтных дноуглубительных работ для восстановления проектных габаритов судоходных объектов в морском терминале Беломорск на 2020-2030 гг., Шифр 28-10/254-2019-ООСБ, Санкт-Петербург, 2019. - 107 с.
160. Распоряжение Правительства РФ от 30.09.2018 N 2101-р (ред. от 28.12.2021) Об утверждении комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года. [Электронный ресурс] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_308743/, дата обращения 30.12.2021.
161. 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. Инструкция, Ростов-на-Дону, 2004. - 154с.
162. РД 52.24.643-2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов-на-Дону, 2002. 49 с.
163. РД 31.74.08-94 Техническая инструкция по производству морских дноуглубительных работ. Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200036311>, (дата обращения 30.12.2021г).
164. Реджепова, З.Ю. Углеводороды в поверхностных водах и осадках арктических морей. / З.Ю. Реджепова, И.А. Немировская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2016. – № 3. – С. 72–80.
165. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 3. Северный Край. Л.: Гидрометеиздат, 1972. - 660 с.

166. Решетняк, О.С. Многолетняя изменчивость содержания соединений кадмия и свинца в речных экосистемах России / О.С. Решетняк, В.А. Брызгалов, Л.С. Косменко // География и природные ресурсы. - 2017. - №1. - С71-80.
167. Римский-Корсаков, Н.А. Морфология дна и литодинамические процессы на устьевом взморье и в дельте Северной Двины. / Н.А. Римский-Корсаков, В.Н. Коротаев, В.В. Иванов, А.А. Пронин, Н.А. Демиденко // Океанология. 2017. - Т. 57. № 2. - С. 348-360.
168. Рубакина М.Е. Некоторые результаты изучения фитопланктона в районе дампинга грунтов в Черное море. Итоги исследования в связи со сбросом отходов в море. / М.Е. Рубакина. - М.: Гидрометеиздат, 1988. - С. 141-155.
169. Ружникова, Н.Н. Сезонная изменчивость районирования акватории Белого моря / Н.Н. Ружникова, В.Б. Коробов // Проблемы региональной экологии. – 2017. – № 3. – С. 48–55.
170. Ружникова, Н. Н. Динамика сезонного геоэкологического районирования акватории белого моря / Н. Н. Ружникова // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 2. – С. 73-78.
171. Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях. - М: Гидрометеиздат., 1975. - 244 с
172. Руководство по океанографическому изучению океанов и морей (РОИ-80), часть II - Составление научно-технических и технических отчетов. ГУНиО МО, 1980.
173. Самойлов, Н. В. Устья рек. / Н.В. Самойлов. - М.: Географиздат, 1952г. - 525 с
174. Свальнов В.Н., Алексеева Т.Н. Гранулометрический состав осадков Мирового океана. / В.Н. Свальнов, Т.Н. Алексеева. - М.: Наука, 2005. - 296 с.
175. Сведения об исполненных в 1902г. дноуглубительных работах в портах. Труды отдела торговых портов. Выпуск V. – [Электронный ресурс] URL: https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_003724482 – дата обращения 06.12.2021
176. Сергеева О.В. Воздействие дноуглубительных работ в порту Сочи на донных беспозвоночных и среду их обитания: автореф. Дис. ... канд.геогр.наук: 03.02.10 / Сергеева Ольга Вячеславовна. – М., 2015. – 24с.
177. Сеницына, А. Порт Сабетта - инфраструктурный проект российской Арктики / А. Сеницына // Логистика. – 2017. – № 3(124). – С. 20-24.
178. Смелик, А. М. О применении научных подходов к строительству и эксплуатации портовых гидротехнических сооружений / А. М. Смелик // Гидротехника. – 2019. – № 1(54). – С. 50-55.
179. Соколова В.А. Биоценозы бентоса устьевого участка реки Северной Двины //Водные ресурсы Карелии и пути их использования. Кар. фил. АН СССР: Изд. «Карелия», Петрозаводск, 1970. С. 136-146.

180. Студенова М.А., Студенов И.И., Чупов Д.В., Самодов А.С. Зообентос дельты реки Северная Двина / М. А. Студенова, И. И. Студенов, Д. В. Чупов, А. С. Самодов // Теоретическая и прикладная экология. – 2021. – № 2. – С. 60-65. – DOI 10.25750/1995-4301-2021-2-060-065.
181. СП 444.1326000.2019 Нормы проектирования морских каналов, фарватеров и зон маневрирования. М.: Стандартинформ, 2019. - 62с.
182. Справочно-аналитический обзор гидрологического режима устьевой области реки Северная Двина / С.В. Лебедева, Е.А. Ракчеева, Е.В. Борщенко, [и др.]: под ред. Е.В. Борщенко, Е.А. Ракчеевой, О.В. Горелиц. – Москва-Воронеж: ООО «ЮКОНЪ», 2022. – 196 с.
183. Технический отчет об инженерно-гидрометеорологических изысканиях. Книга 1. Морской порт Архангельск. 0103-4580-01-ИГД-2.1. Том 2.1, 2013. 78с.
184. Технический отчет об инженерно-экологических изысканиях. Приложения. Книга 1. Морской порт Архангельск.0103-4580-01-ИЭ-3.3, 2013. 287с.
185. Технический отчет Том 4.1 Часть 4. Перечень мероприятий по охране окружающей среды. Текстовая часть. Книга 1. Морской порт Архангельск. 0103-4580-00-00С-4.1, 2014
186. Троянская, А.Ф. Хлорорганические соединения в донных осадках дельтовой протоки Северной Двины / А.Ф. Троянская, И.А. Никитина, Е.А. Вахрамеева // Водные ресурсы. – 2013. – Т. 40, № 3. – С. 287–294.
187. Устьевые экосистемы крупных рек России: антропогенная нагрузка и экологическое состояние: монография / В. А. Брызгалов, А. М. Никаноров, Л. С. Косменко, О. С. Решетняк. - Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального ун-та, 2015. - 161 с. - Библиогр.: с. 152-161
188. Федоров, Ю.А. Ртуть в донных отложениях устьевой области Северной Двины и Двинской губы Белого моря. / Ю.А. Федоров, А.Э. Овсеян, И.В. Доценко // Изв. вузов. СевероКавказ. регион. Естеств. науки. Спецвыпуск. – 2007. – С. 31–36.
189. Федоров. Ю.А. Закономерности распределения ртути в донных отложениях по разрезу река Северная Двина – Белое море. / Ю.А. Федоров, А.Э. Овсеян, А.П. Лисицын, И.В. Доценко, А.Н. Новигатский, В.П. Шевченко // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 436, № 1. – С. 99–102.
190. Филенко, О. Ф. Влияние донных грунтов на токсичность загрязняющих веществ / О. Ф. Филенко, М. В. Медянкина // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология. 2010. - № 1. - С. 27–31.
191. Фролова, Н. Л. Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории России и его изменение / Н. Л. Фролова, М. Б. Киреева, С. А. Агафонова, В. М. Евстигнеев, Н. А. Ефремова, Е. С. Повалишников // ВХР. - 2015. - №4. – С.4-20.

192. Чалов, Р. С. Русловые процессы (русловедение) : учебник / Р. С. Чалов. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2016. – 569 с.
193. Чечко, В. А. О натуральных исследованиях взвешенного вещества, образующегося в судоходном канале под воздействием движущихся судов / В. А. Чечко, Б. В. Чубаренко, В. Ю. Курченко // Водные ресурсы, 2011. - том 38, № 3. - с. 297–305
194. Шавыкин, А.А. Взвесь при гидротехнических работах на шельфе. I. Время существования и размеры зон распространения / А.А. Шавыкин, С.А. Соколова, П.С. Ващенко // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. - №2. – С.8-12.
195. Шамов, Г.И. Речные наносы. / Г.И. Шамов. - Л.:Гидрометеиздат, 1959. - 378с
196. Шевченко, В. П. Об элементном составе взвеси реки Северная Двина (бассейн Белого моря) / В. П. Шевченко, О. С. Покровский, А. С. Филиппов, А. П. Лисицын, В. А. Бобров, А. Ю. Богунов, Н. В. Политова // Доклады Академии наук. – Федеральное государственное бюджетное учреждение " Российская академия наук", 2010. – Т. 430. – №. 5. – С. 686-692.
197. Шевченко, В.П. Экологическая ситуация в дельте реки Северная Двина в марте 2005 года. / В.П. Шевченко, В.Б. Коробов // Вестник Архангельского государственного технического университета. Серия «Прикладная геоэкология». – 2006. – Вып. 66. – С. 176–187.
198. Шевченко, В.П. Первые данные о составе пыли, окрасившей снег на Европейском Севере России в желтый цвет (март 2008 г.) / В.П. Шевченко, В.Б. Коробов, А.П. Лисицын, А.С. Алешинская, О.Ю. Богданова, Н.В. Горюнова, И.В. Грищенко, О.М. Дара, Н.Н. Завернина, Е.И. Куртеева, Е.А. Новичкова, О.С. Покровский, Ф.В. Сапожников // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 431, № 5. – С. 675–679.
199. Шкодин, Н.В. Влияние дноуглубительных работ на физиолого-биохимические показатели гидробионтов и кормовую базу рыбохозяйственных водоемов / Н.В. Шкодин // Вестник АГТУ. - 2005. - №3. - С.228-232.
200. Эспития, Э.С.Ф. Краткосрочные прогнозы расходов воды рек Колумбии по математическим моделям. / Э.С.Ф. Эспития, А.Е. Качалова, Е.В. Гайдукова, Н.В. Викторова // МНИЖ. - 2017. - № 5-2 (59).- С.183-189.
201. Яковлев, А.Е. Оценка влияния приливов на содержание взвесей в устьях рек западного сектора Российской Арктики. / А.Е. Яковлев, И.В. Мискевич // Вестник современных исследований. 2018. - № 8.1(23). - С. 93–98.
202. Alabyan, A.M. Flow dynamics in large tidal delta of the Northern Dvina River: 2D simulation. / A.M. Alabyan, S.V. Lebedeva // J. Hydroinformatics. - 2018. - 20 (4), - P. 798–814.

203. Bale, A. J. An assessment of the potential impact of dredging activity on the Tamar Estuary over the last century: Bathymetric and hydrodynamic changes / A. J. Bale, R. J. Uncles, A. Villena-Lincoln, J. Widdows // *Hydrobiologia*. – 2007. – T. 588. – №. 1. – C. 83-95.
204. Bray, R.N. *Environmental Aspects of Dredging*. / R.N. Bray. - London: Arnold Publishing, 2008. - 448 p.
205. Cerco, K.F. Modeling the pH in the tidal fresh Potomac River under conditions of varying hydrology and loads. / K.F. Cerco, T. Theadgill, M.R. Noel, S. Hinz // *Ecological Modeling*. – 2013. – V. 257. – P. 101–112.
206. Chupakova, A.A. of river dissolved organic matter and trace metals in the largest European Arctic estuary. / A.A. Chupakova, A.V. Chupakov, N.V. Neverova, L.S. Shirokova, O.S. Pokrovsky // *Science of the Total Environment*. – 2018. – V. 622–623. - P. 1343–1352.
207. Dalfsen, J. A. Differential response of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean. / J. A. Dalfsen, K. Essink, H. Toxvig Madsen, J. Birklund, J. Romero, M. Manzanera // *ICES Journal of Marine Science*. - 2000. - vol. 57 - P. 1439-1445.
208. Desprez, M. The biological impact of overflowing sands around a marine aggregate extraction site: Dieppe (eastern English Channel). / M. Desprez, B. Pearce, S. Le Bot // *ICES Journal of Marine Science*. – 2010. - vol. 67.- P. 270-277.
209. Desprez, M. Physical and biological impact of marine aggregate extraction along the French coast of the Eastern English Channel: short and long-term post-dredging restoration. / M. Desprez // *ICES Journal of Marine Science*. – 2000. - vol. 57 - P.1428-1438.
210. Evangeliou, N. Origin of elemental carbon in snow from western Siberia and northwestern European Russia during winter–spring 2014, 2015 and 2016. / N. Evangeliou, V. P. Shevchenko, K. E. Yttri, S. Eckhardt, E. Sollum, O. S. Pokrovsky, V.O. Kobelev, V.B. Korobov, A.A. Lobanov, D.P. Starodymova, S.N. Vorobiev, R.L. Thompson, A. Stohl // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2018. – V. 18. – P. 963–977.
211. Fedorov, Yu.A. About the principal sources of heavy metals in the Northern Dvina River estuary / Yu.A. Fedorov, A.A. Zimovec // 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference and EXPO - Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2011. – P. 171–174.
212. Förstner, U. *Metal pollution in the aquatic environment*. / U. Förstner, G.T.W. Wittmann. - Berlin: Springer, 1983. - 486 p.
213. Gellis, A. C. Storms, channel changes, and a sediment budget for an urban-suburban stream, Difficult Run, Virginia, USA / A. C. Gellis, M. K. Myers, G. B. Noe, C. R. Hupp, E. R. Schenk, L. Myers // *Geomorphology*. – 2017. – T. 278. – P. 128-148.

214. Gordeev, V.V. Geochemistry of the Ob and Yenisey estuaries: A Comparative Study / V.V. Gordeev, B. Beeskow, V. Rachold // *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*. – 2007. – V. 565. – 235 p.
215. Gordeev, V.V. A reassessment of the Eurasian river input of water, sediment, major elements and nutrients to the Arctic Ocean / V.V. Gordeev, J.M. Martin, I.S. Sidorov // *American Journal of Science*. - 1996. - Vol. 295. - P. 664-691.
216. Gordeev, V.V. The geochemical features of the river discharge to the White Sea / V.V. Gordeev, O.S. Pokrovsky, V.P. Shevchenko // *Biogeochemistry of the Atmosphere, Ice and Water of the White Sea: The White Sea Environment. Part I, Hdb. Env. Chem.* / A.P. Lisitzin, V.V. Gordeev (eds.). Springer Nature, 2018. – P. 47–81.
217. Grabemann, I. Transport processes of suspended matter derived from time series in a tidal estuary / I. Grabemann, G. Krause // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. - 1989. - V. 94. № C10. - P. 14373–14379.
218. Grey, S. The impact of navigation channels on berth protection / S. Grey, I. Cruickshank, P. Beresford, N. Tozer // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering*. – Thomas Telford Ltd, 2010. – T. 163. – №. 5. – C. 49-54.
219. Guay, C.K.H. Measurements of Cd, Cu, Pb and Zn in the lower reaches of major Eurasian arctic rivers using trace metal clean techniques / C.K.H. Guay, A.V. Zhulidov, R.D. Roberts, D.A. Zhulidov, T. Yu. Gurtovaya, R.M. Holmes, J.V. Headly // *Environmental Pollution*. 2010 - Vol. 158. - P. 624-630.
220. He, P. Clean-up and disposal process of polluted sediments from urban rivers. / P. He, L. M. Shao, G. W. Gu, C. L. Bian, C. Xu // *Journal of Environmental Sciences*. – 2001. – T. 13. – №. 4. – C. 435-438.
221. Heininger, P. (ed.). *Sediment matters.* / P. Heininger, J. Cullmann – Springer, 2015.
222. Ivanov, V.V. White Sea watershed hydrology and anthropogenic impact. / V.V. Ivanov, V.A. Bryzgalo // *White Sea. Its Marine Environment and Ecosystem Dynamics Influenced by Global Change*. Chichester, UK: Springer Praxis Publishing, 2006. - P. 15–52.
223. Jayaraju, N. Impact of Dredging on Sediment of Krishnapatnam Port. / N. Jayaraju, B. C. S. R. Reddy, K. R. Reddy // *Journal of Environmental Science and Engineering*. – 2010. – T. 4. – №. 8. – C. 33.
224. Kenny, A. J. The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos: results 2 years post-dredging. / A. J. Kenny, H. L. Rees // *Marine Pollution Bulletin*, 1996. - vol. 32. - P. 615-622.
225. Kranck, K. Particulate matter grain-size characteristics and flocculation in a partially mixed estuary / K. Kranck // *Sedimentology*. – 1981. – T. 28. – №. 1. – C. 107-114.

226. Le Roux, J. P. Analysis of sediment transport paths using grain-size parameters / J. P. Le Roux, R. D. O'Brien, F. Rios, M. Cisternas // *Computers & Geosciences*. – 2002. – T. 28. – №. 5. – C. 717-721.
227. Lee, G. F. Water quality aspects of dredging and dredged sediment disposal / G. F. Lee, A. Jones-Lee // *Handbook of Dredging Engineering, Second Edition*, McGraw Hill. – 2000. – P. 14-18.
228. Lee, G.F. “Comments on ‘Draft Functional Equivalent Document Water Quality Control Policy for Guidance on the Development of Regional Toxic Hot Spot Cleanup Plans’ Developed by Division of Water Quality State Water Resources Control Board dated March 1998,” submitted to J. Caffrey, State Water Resources Control Board, Sacramento, CA, May. 1998
229. Liu G. F. Effects of sediment dredging on benthos community structure and water quality in Zhushan Bay/ G. F. Liu , Z. Y. Zhang, H. Q. Liu, J. C. Zhong, S. H. Yan, C. X. Fan // *Huan jing ke xue Huanjing kexue*. – 2010. – T. 31. – №. 11. – C. 2645-2651.
230. Mohr, A.W. Energy and pollution concerns in dredging. *Journal of the waterways, Harbours and Coastal Engineering Division, ASCE*, 101,- No. WW.4, - P. 117 - 133
231. Moor, J. Heavy metals in natural waters: Applied monitoring and impact assessment. / J. Moor, S. Ramamoorthy. - N. Y.: Springer, 1984. - 288 p.
232. Morton, J. W. Ecological effects of dredging and dredge spoil disposal: a literature review/ J. W. Morton // *Technical Paper*. – 1977. – №. 94.
233. Nash, J.E. River flow forecasting through conceptual models. Part 1 –discussion of principles / J.E. Nash, J.V. Sutcliffe // *J. Hydrology*. - 1970. - V. 10. - P. 282–290.
234. O'Neal, G. Effects of dredging on water quality in the northwest. / G. O'Neal, J. Sceva. - Environmental Protection Agency Office of Water Programs Region X, 1971.
235. Piton, G. Design of sediment traps with open check dams. I: hydraulic and deposition processes. / G. Piton, A. Recking // *Journal of Hydraulic Engineering*. – 2016. – T. 142. – №. 2. – C. 04015045.
236. Pokrovsky, O.S. Dissolved, suspended and colloidal fluxes of organic carbon, major and trace elements in the Severnaya Dvina River and its tributary. / O.S. Pokrovsky, J. Viers, L.S. Shirokova, V.P. Shevchenko, A.S. Filippov, B. Dupre // *Chem. Geol.* 2010 - Vol. 273. - P.136-149.
237. Sangita, S. Impact of dredging on coastal water quality of dhamra, Orissa / S. Sangita, D. R. Satapathy, R. N. Kar, C. R. Panda // *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*. – 2014. – T. 43. – №. 1. – C. 33-38.
238. Schwindt, S. Sediment traps with guiding channel and hybrid check dams improve controlled sediment retention / S. Schwindt, M. J. Franca, A. Reffo, A. J. Schleiss // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. – 2018. – T. 18. – №. 2. – C. 647-668.

239. Sediment Transport. – BoD–Books on Demand, 2011. - p 334.
240. Shirokova, L.S. Transformation of dissolved organic matter and related trace elements in the mouth zone of the largest European Arctic river: experimental modeling / L.S. Shirokova, A.A. Chupakova, A.V. Chupakov, O.S. Pokrovsky // *Inland Waters*. – 2017. – V. 7. – P. 272–282.
241. Tillin H. M. Direct and indirect impacts of marine aggregate dredging / H. M. Tillin // *Marine ALSF Science Monograph Series*. – 2011. – T. 1.
242. Todd, V. L. G. A review of impacts of marine dredging activities on marine mammals / V. L. G. Todd, I. B. Todd, J. C. Gardiner, E. C. N. Morrin, N. A. MacPherson, N. A. DiMarzio, F. Thomsen // *ICES Journal of Marine Science*, - Issue 2, January/February 2015. - V. 72 - P.328 – 340
243. Van Rijn, L. C. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. / L. C. Van Rijn. – Amsterdam: Aqua publications, 1993. – P. 1006.
244. Vlasblom, W. J. Lecture notes on dredging equipment and technology / W. J. Vlasblom // *Delft University of Technology*. – 2003. - 27 p
245. Wakeman, T.M. Impacts of the three dredge types compared in SF district. / T.M. Wakeman, J.F. Sustar, W.J. Dickson // *World dredging and Maritime Construction*, February 1975
246. Windom, H. L. Environmental aspects of dredging in estuaries. / H. L. Windom // *Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division*. – 1972. – T. 98. – №. 4. – C. 475-487.
247. Ying, X. Morphological impact of the construction of an offshore Yangshan Deepwater Harbor in the Port of Shanghai, China / X. Ding P. Ying, Z. B. Wang, D. S. Van Maren // *Journal of Coastal Research*. – 2012. – T. 28. – №. 1A. – C. 163-173.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ЗНАЧЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ВЛИЯНИЯ ДНОУГЛУБЛЕНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Участок	№	Объект	Значения показателей факторов														Интегральный показатель
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			Объемы дноуглубления, м ³	Индекс загрязненности грунтов	Индекс загрязненности вод	Расстояние до ООПТ, км	Расстояние до рекреационных зон, км	Биомасса (фито- и зоопланктон), г/м ³	Биомасса (бентос), г/м ²	Площадь дноуглубления, га	Концентрация взвеси в воде, мг/дм ³	Макс. скорость течений, см/сек	Вероятность превышения высот волн в 0,5м, %	Гранулометрический состав наносных грунтов	Наличие владающих рек и проток	Фактическая глубина (меланиа), м	
Устьевое взморье	1	Отвал №144А	0,62	0,87	0,49	0,05	0,00	0,36	0,03	0,88	0,45	0,18	0,35	0,50	0,00	0,15	4,45
	2	Отвал №143А	0,27	0,87	0,49	0,02	0,00	0,36	0,03	0,83	0,43	0,07	0,35	0,50	0,00	0,19	3,91
	3	Мудьюгский канал	0,89	1,10	0,46	0,05	0,00	0,36	0,21	0,30	0,54	0,13	0,35	0,50	0,00	0,18	4,58
	4	Васильевский фарватер	0,02	0,34	0,46	0,33	0,00	0,36	0,02	0,01	0,36	0,17	0,35	0,44	0,00	0,21	2,66
	5	Устьяновский канал	0,01	0,19	0,46	0,05	0,00	0,36	0,01	0,03	0,44	0,31	0,35	0,44	0,39	0,21	2,83
	6	Баканский фарватер	0,00	0,21	0,46	0,02	0,00	0,36	0,01	0,00	0,41	0,30	0,36	0,44	0,02	0,26	0,00
	7	Отвал №150	0,06	0,69	0,45	0,01	0,01	0,61	0,01	0,05	0,38	0,57	0,35	0,44	0,02	0,17	3,38
	8	Лапоминский канал	0,02	0,21	0,78	0,01	0,01	0,61	0,01	0,02	0,38	0,50	0,35	0,44	0,04	0,22	3,16
Маймаксанская протока	9	Переходный фарватер	0,00	0,34	0,57	0,01	0,01	0,61	0,01	0,00	0,35	0,57	0,08	0,44	0,02	0,29	0,00
	10	Чижовский канал	0,01	0,53	0,54	0,01	0,01	0,61	0,01	0,02	0,32	0,59	0,08	0,38	0,04	0,21	2,98
	11	Экономский	0,00	0,21	0,54	0,01	0,01	0,61	0,01	0,00	0,24	0,45	0,08	0,44	0,00	0,26	0,00
	12	Кузнечевский входной канал	0,00	0,21	0,53	0,01	0,01	0,61	0,01	0,01	0,25	0,45	0,08	0,44	0,03	0,22	2,41
	13	ПРР Экономика	0,01	0,62	0,53	0,01	0,01	0,61	0,01	0,00	0,25	0,45	0,08	0,44	0,03	0,21	2,82
	14	Реушинский канал	0,00	0,21	0,32	0,01	0,01	0,61	0,01	0,01	0,27	0,46	0,08	0,38	0,05	0,20	2,24
	15	Нижнекривякский	0,01	0,21	0,32	0,01	0,01	0,61	0,01	0,00	0,24	0,45	0,08	0,38	0,00	0,18	2,14
	16	Прилукский канал	0,00	0,21	0,32	0,02	0,01	0,61	0,01	0,00	0,22	0,47	0,08	0,38	0,00	0,21	2,15
	17	Осиновый	0,00	0,21	0,32	0,02	0,01	0,61	0,01	0,00	0,24	0,50	0,08	0,38	0,02	0,23	0,00
	18	Среднекривякский фарватер	0,00	0,21	0,32	0,02	0,01	0,61	0,01	0,00	0,23	0,49	0,08	0,38	0,00	0,20	0,00
	19	Верхнекривякский фарватер	0,00	0,21	0,32	0,02	0,01	0,61	0,01	0,00	0,14	0,56	0,08	0,38	0,01	0,26	0,00
	20	Верхнекривякский – Кривякский	0,00	0,21	0,32	0,02	0,01	0,61	0,01	0,00	0,29	0,46	0,08	0,44	0,00	0,23	2,23
	21	Кривякский фарватер	0,00	0,21	0,32	0,02	0,01	0,61	0,01	0,00	0,30	0,51	0,08	0,38	0,02	0,24	2,34
	22	Нижнеповракульский фарватер	0,00	0,21	0,32	0,03	0,01	0,61	0,01	0,00	0,27	0,55	0,08	0,38	0,00	0,25	0,00
	23	Нижнеповракульский – Повракульский	0,00	0,21	0,32	0,03	0,01	0,61	0,01	0,00	0,24	0,46	0,08	0,38	0,00	0,22	0,00
	24	Повракульский фарватер	0,00	0,21	0,32	0,04	0,01	0,61	0,01	0,00	0,27	0,50	0,08	0,44	0,01	0,21	0,00
	25	Нижнекурьярецкий фарватер	0,00	0,21	0,32	0,05	0,01	0,61	0,01	0,00	0,35	0,45	0,08	0,38	0,02	0,19	2,31
	26	Нижнекурьярецкий – Курьярецкий	0,00	0,21	0,32	0,07	0,01	0,61	0,01	0,00	0,25	0,46	0,08	0,38	0,00	0,29	2,32
	27	Курьярецкий фарватер	0,00	0,21	0,32	0,11	0,02	0,61	0,01	0,00	0,24	0,46	0,08	0,38	0,01	0,24	2,30
	28	Курьярецкий – Бревенниковский	0,00	0,21	0,32	0,23	0,02	0,61	0,01	0,00	0,25	0,49	0,08	0,44	0,00	0,28	2,50
	29	Бревенниковский фарватер	0,00	0,21	0,54	0,40	0,02	0,61	0,01	0,00	0,24	0,47	0,08	0,38	0,01	0,26	2,85
Русловой участок	30	Амосовский канал	0,02	0,27	0,54	0,45	0,02	0,61	0,01	0,01	0,38	0,46	0,08	0,38	0,10	0,17	3,14
	31	Отвал МЛП Лесной порт	0,03	0,14	0,54	0,45	0,03	0,61	0,00	0,03	0,39	0,45	0,08	0,38	0,11	0,16	3,02
	32	Удельнинский канал	0,00	0,21	0,54	0,45	0,03	0,61	0,00	0,00	0,30	0,40	0,08	0,31	0,06	0,17	2,87
	33	Удельнинский – Соломбальский	0,01	0,21	0,54	0,45	0,07	0,61	0,00	0,01	0,39	0,36	0,08	0,38	0,09	0,25	3,07
	34	Соломбальский канал	0,02	0,23	0,52	0,45	0,15	0,61	0,00	0,03	0,79	0,33	0,08	0,31	0,05	0,16	3,42
	35	Отвал №137а	0,01	0,11	0,35	0,45	0,21	0,61	0,00	0,02	0,40	0,16	0,09	0,38	0,12	0,13	2,68
	36	Хечеминский канал	0,00	0,21	0,40	0,45	0,10	0,61	0,00	0,00	0,30	0,15	0,08	0,38	0,18	0,21	2,73
	37	Хечеминский – Окуловский	0,00	0,41	0,40	0,45	0,40	0,61	0,00	0,00	0,30	0,22	0,08	0,38	0,02	0,34	3,26
	38	Окуловский канал	0,00	0,27	0,73	0,45	0,09	0,61	0,00	0,00	0,23	0,20	0,08	0,38	0,09	0,24	3,00
	39	Канал Поворотного бассейна	0,00	0,27	0,57	0,45	0,04	0,61	0,00	0,00	0,24	0,18	0,08	0,38	0,05	0,20	0,00
	40	Бакарицкий переходный канал	0,00	0,48	0,65	0,45	0,04	0,61	0,00	0,01	0,26	0,19	0,08	0,38	0,05	0,16	2,98
	41	Бакарицкий канал	0,02	0,71	0,65	0,45	0,03	0,61	0,59	0,02	0,21	0,21	0,08	0,44	0,02	0,16	3,76
	42	ПРР Бакарица	0,09	0,69	0,65	0,45	0,03	0,61	0,65	0,03	0,17	0,25	0,08	0,44	0,01	0,13	3,86
	43	Отвал Окуловская кошка	0,06	0,32	0,65	0,45	0,03	0,61	0,01	0,04	0,15	0,29	0,08	0,38	0,00	0,21	2,91
	44	Нижнетурдеевский канал	0,00	0,32	0,65	0,45	0,03	0,61	0,01	0,04	0,18	0,30	0,08	0,38	0,11	0,17	2,95
	45	Турдеевский канал	0,01	0,32	0,65	0,45	0,02	0,61	0,01	0,00	0,22	0,25	0,08	0,38	0,00	0,18	2,81
	46	Уймский фарватер	0,00	0,32	0,65	0,45	0,02	0,61	0,01	0,00	0,27	0,22	0,08	0,38	0,00	0,31	0,00
	47	фарватер Белая гора	0,03	0,32	0,65	0,45	0,02	0,61	0,01	0,00	0,27	0,20	0,09	0,38	0,03	0,10	2,78