

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР КОМПЛЕКСНОГО
ИЗУЧЕНИЯ АРКТИКИ ИМ. АКАДЕМИКА Н.П. ЛАВЕРОВА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 504.5 (268.46)

На правах рукописи

Климовский Николай Владимирович
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И СЕЗОННО-ГODOВАЯ ДИНАМИКА
ПОЛЛЮТАНТОВ И ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БЕЛОГО
МОРЕЯ

Специальность: 25.00.36 - Геоэкология (Науки о Земле)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук
А.П. Новосёлов

Архангельск-2021

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ	10
1.1. Гидрологические характеристики основных районов Белого моря	10
1.2. Осадочные образования и донные отложения	36
ГЛАВА 2. СОДЕРЖАНИЕ ПОЛЛЮТАНТОВ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БЕЛОГО МОРЯ (литературный обзор)	39
2.1. Антропогенное воздействие на акваторию БМ	39
2.2. Аварийные поступления загрязняющих веществ в Белом море	51
2.3. Распределение поллютантов в водах и донных отложениях Белого моря	53
ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ	58
ГЛАВА 4. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И СЕЗОННО-ГODOVЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДАХ БЕЛОГО МОРЯ	67
4.1. Нефтеуглеводороды	67
4.1.1. Двинский залив	68
4.1.2. Онежский залив	73
4.1.3. Кандалакшский залив	77
4.1.4. Мезенский залив	81
4.1.5. Горло	84
4.1.6. Воронка	88
4.1.7. Бассейн	92
4.1.8. Пространственные и сезонно-годовые изменения НУ в водах Белого моря	96
4.2. Фенольные соединения	101
4.3. Алюминий	103
4.4. Тяжелые металлы	106

ГЛАВА 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ПОЛЛЮТАНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ	112
5.1. Двинский залив	114
5.2. Онежский залив	120
5.3. Кандалакшский залив	122
5.4. Пространственное и межгодовое распределение загрязняющих веществ в донных отложениях Белого моря	126
ГЛАВА 6. ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕФТЕУГЛЕВОДОРОДОВ НА БЕНТОСНЫЕ СООБЩЕСТВА (НА ПРИМЕРЕ ДВИНСКОГО ЗАЛИВА)	132
ГЛАВА 7. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВВЕДЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БЕЛОГО МОРЯ	139
ВЫВОДЫ	143
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	145

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что Арктический регион отличается высокой уязвимостью природной среды к антропогенному воздействию и замедленной скоростью восстановления нарушенных природных объектов (естественных экосистем, ландшафтов) (Решетников, 1980). По сравнению со многими районами нашей страны, Арктика пока считается относительно чистым регионом. Но и здесь есть районы, в которых масштабы деградации окружающей среды достигают опасных значений. Загрязнение нефтяными выбросами рек Арктического бассейна уже сейчас достигло достаточно высокого уровня. С речным стоком в моря Северного Ледовитого океана ежегодно выносятся несколько сотен тысяч тонн нефтепродуктов (Научно-методические подходы..., 1997; Патин, 1997; Природные ресурсы..., 2001; Мишин и др., 2004; Матишов, 2004; Разливы нефти..., 2007). Общий спектр антропогенных факторов, воздействующих на водосбор арктических морей, достаточно широк. Сюда можно отнести загрязнение от деятельности промышленных предприятий, лесопромышленного и ракетно-космического комплексов, водного транспорта и сельского хозяйства, а также разведку и добычу полезных ископаемых (как в бассейнах рек и озер, так и в шельфовой зоне морей), гидростроительство, гидромеханизированные работы и дампинг, вырубку лесов на площади водосборов крупных рек (Новоселов, 2000).

Определение поллютантов в воде является одной из основных задач мониторинга морской среды. Повышенное содержание тяжелых металлов (ТМ) в морских водах возможно связано как с естественными процессами (из горных пород и подземных водоемов), так и с их трансграничными переносами, образующимися в результате антропогенной деятельности. Различные соединения тяжелых металлов, также могут поступать в морские воды и с речным стоком с берегов. Элементы такие, как ртуть, медь кадмий сурьма и цинк, также поступают с речным стоком с береговой зоны (Исидоров 2001). Железо и марганец являются менее токсичными

элементами, однако они влияют на геохимическое поведение других тяжелых металлов, что необходимо учитывать при проведении мониторинга загрязнения морской среды.

Накопление загрязняющих веществ (ЗВ) в донных отложениях происходит в результате седиментации взвешенных частиц (гравитационного осаждения), сорбционных процессов на границе раздела вода – осадок и биогенной седиментации. Иными словами, ДО служат своеобразным отражением процессов, протекающих в водной толще акватории, а кроме того, являются средой обитания бентосных организмов, интенсивность развития которых характеризует современное экологическое состояние водной экосистемы.

Не является исключением и Белое море, где вследствие аварийных поступлений концентрация загрязняющих веществ на многих участках акватории в 2-3 раза превышала норму (Стратегическая программа действий по охране окружающей среды арктической зоны Российской Федерации, 2009). В последние годы, в связи с планируемым увеличением транспортировки нефти и газа из месторождений Баренцева моря в Западную Европу и строительством сопутствующих производств, наступает новый этап воздействия на ресурсы Белого моря и его водосбора.

Аварийные ситуации могут возникать при перегрузки нефти и нефтепродуктов, это приводит попадания соединений нефти в морскую среду и следовательно приводит к росту потока антропогенных различных углеводородов в данном районе (Немировская, 2015).

Говоря об оценке экологической проблемы Белого моря в целом, не лишним будет упомянуть и о конкретных величинах загрязнения. Каждый год в Белое море поступает примерно 100 тысяч тонн сульфатов, 0,750 синтетических моющих средств, 0,150 фенолов и 100 тысяч тонн топлива и смазочных материалов. То есть ежегодное загрязнение акватории Белого моря можно оценить величиной порядка 0,8 – 1,0 млн. т загрязнителей (Система Белого моря, 2013).

В этой связи исследования, освещающие современный уровень содержания загрязняющих веществ в водах и донных отложениях (ДО) Белого моря (фоновые показатели), представляют как научный, так и практический интерес.

Актуальность работы. Возрастающее воздействие техногенных факторов на водные экосистемы, увеличение поступления в них различных поллютантов (загрязнителей), вызывает необходимость в ведении комплексного экологического мониторинга, включающего в себя физическую, геохимическую и биологическую составляющие. Предметом проведенного исследования является выполнение *геохимической составляющей* экологического мониторинга, а именно проведение систематических наблюдений за уровнем загрязнения локальных морских экосистем поллютантами. В научном плане актуальность исследования определяется необходимостью выявления современного уровня загрязнения водной среды, в частности пространственно-временной динамики распределения поллютантов в воде и донных отложениях основных заливов Белого моря. Рассмотрение процессов, происходящих на водосборе Белого моря, необходимо для понимания его физико-географических особенностей, оценки антропогенной нагрузки на водные ресурсы водосбора, а также его вклада в общий процесс загрязнения морских вод и донной поверхности. В целом, выявление причин происходящих изменений абиотических и биотических компонентов водных комплексов Белого моря под влиянием природных и антропогенных факторов представляет значительный научный интерес.

Практический интерес представляет разработка рекомендаций геохимического мониторинга гидрополлютантов для бассейна Белого моря. Результаты исследования могут быть использованы при реализации комплексных программ экологического мониторинга Белого моря, российских и международных проектов по сохранению биологического разнообразия водных экосистем. Карты по пространственному

распределению исследованных поллютантов могут применяться при разработке систем геохимического мониторинга экосистем Белого моря.

Цель диссертационной работы - выявить особенности загрязнения, т.е. пространственную и сезонно-годовую динамику изменений (накопления) поллютантов в морской воде и донных отложениях основных заливов Белого моря.

Задачи диссертационной работы: Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Провести литературный обзор уровня изученности современного состояния вод и донных отложений Белого моря.
2. Рассмотреть изменение их количественных характеристик в пространственном аспекте.
3. Выявить изменение их количественных параметров в сезонно-годовом аспекте.
4. Оценить возможные последствия воздействия техногенных поллютантов на зообентосное сообщество (на примере Двинского залива).
5. Разработать рекомендации по ведению геохимического мониторинга гидрополлютантов в Белом море.

Научная новизна и теоретическое значение. В работе представлены многолетние данные по содержанию поллютантов в водах и донных отложениях в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах Белого моря в их временной (сезонно-годовой) и пространственной динамике. Впервые проанализирована зависимость биомассы и численности макрозообентоса Двинского залива Белого моря от содержания нефтепродуктов в донных отложениях. При этом выявлена слабая взаимосвязь (коэффициент корреляции (r) -0,133 для показателей численности и -0,250 для биомассы), касающаяся зависимости соотношения количественных показателей зообентоса и содержания загрязнителя в ДО в целом по акватории Двинского залива. Установлено, что с увеличением концентрации загрязняющего

вещества (НУ), наблюдается некоторое снижение как биомассы, так и численности зообентоса.

Положения, выносимые на защиту:

1. Пространственное распределение поллютантов позволяет предположить, что основным источником их поступления в морские воды заливов является речной сток, при этом его влияние наиболее отчетливо выражено в Двинском и Онежском заливах.
2. Наблюдается ярко выраженная сезонная изменчивость распределения поллютантов в Белом море. Так, максимальные значения характерны для весеннего и осеннего периодов, а минимальные значения для летнего сезона.
3. Аккумуляция поллютантов тесно связана с минеральным составом донных отложений. При этом по всем видам поллютантов прослеживается тенденция к накоплению загрязняющих веществ в глинистых илах и глине.
4. С увеличением, концентрации нефтепродуктов в донных отложениях, наблюдается некоторое снижение, как биомассы, так и численности зообентоса.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие на всех этапах подготовки диссертации, включая постановку целей и задач исследования, сбор полевых материалов, анализ литературных данных, проведение комплексного анализа морской воды и донных отложений, обработку полученных результатов и формирование выводов.

Апробация работы. Результаты исследования были представлены на всероссийских и международных конференциях: XII Всероссийской конференции с международным участием «Изучение, рациональное использование и охрана природных ресурсов Белого моря» (Санкт-Петербург, 2017); международная конференция «Живая природа Арктики: сохранение и биоразнообразие, оценка состояния экосистем» (Архангельск, 2017); Всероссийская научно практическая конференция с международным

участием к 145-летию Севастопольской биологической станции «Морские биологические исследования: достижения и перспективы» (Севастополь, 2016); IV Всероссийская конференция молодых ученых с международным участием «Биоразнообразие: глобальные и региональные процессы» (Улан - Уде, 2016); VIII Всероссийская научно практическая конференция, посвященная 75-летию рыбохозяйственного образования на Камчатке «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование» (Петропавловск-Камчатский, 2017); Всероссийская научная конвенция с международным участием, посвященным 125-летию проф. В. А. Водяницкого «Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование» (Севастополь, 2018).

Публикации. По результатам исследования опубликовано 11 работ, семь из которых в рецензируемых журналах, входящий в список ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, выводов, списка литературы, включающего 136 работ, в том числе 7 иностранных. Работа изложена на 160 страницах, содержит 33 таблицы и 42 рисунков.

Благодарности. Автор выражает искренне благодарность научному руководителю диссертации Новоселову А.П. за переданные знания и опыт, всестороннюю помощь и надежное руководство во время подготовки данной работы. Автор глубоко признателен сотрудникам лаборатории промысловой океанографии Черновой В.Г., Петраковой И.В., Моховой О.Н., Артемьеву С.Н. и Таптыгину М.Ю. за помощь в отборе, подготовке и анализа проб морской воды и донных отложений, сотрудникам лаборатории прибрежных исследований Левицкому А.Л. и Мельнику Р.А. за подготовку карт распределения загрязняющих веществ в исследуемом районе.

Автор выражает также свою признательность заведующей научно-образовательным центром ФГБУН ФИЦКИА РАН Тельтевской С.Е.

1. ГЛАВА ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Гидрологические характеристики исследованных районов Белого моря

Белое море является одним из самых малых в Мировом океане: по площади и объему ему уступает лишь Азовское море, и только по объему – Мраморное. В месте с тем, следует иметь в виду, что протяженность этого относительно небольшого моря с севера на юг составляет более 500 км, то есть одна только разница широтного положения может быть причиной различия климатических условий между крайними точками моря. Кроме того, расчлененность моря и специфика морфометрии его частей, неравномерность пространственного распределения речного стока, вторичные элементы общей циркуляции вод, циклонические и антициклонические круговороты, местные особенности ветров и ветрового волнения и некоторые другие факторы являются причиной существенных различий между отдельными его акваториями. К. М. Дерюгин (1928) писал: «...гидрологический режим Белого моря настолько многогранен, что почти для каждого небольшого района надо устанавливать его особо».

К процессам, определяющим облик всего Белого моря в целом, относятся: водообмен с Баренцевым морем, общая циркуляция вод, различные виды перемешивания и формирование водных масс (Бабков, Голиков, 1984). Белое и Баренцево моря сообщаются между собой посредством Воронки и Горла. Поперечная протяженность Воронки достаточно велика – более 150 км. Ширина Горла в самом узком месте составляет порядка 46 км, т.е. Горизонтальные протяженности Воронки и Горла не препятствуют проникновению в Белое море баренцевоморских вод.

В то же время, существенно влияют и местные факторы, из которых главную роль играет речной сток в Белое море, непосредственно или опосредованно разбавляющий баренцевоморские воды. В этом отношении Белое море не отличается от других арктических морей, воды которых формируются в результате взаимодействия вод главным образом атлантического происхождения с водами материкового стока. При этом баренцевоморские воды, минуя Воронку и Горло, в пределах Бассейна и заливов вовлекаются в общий циклонический круговорот постоянного течения (рис. 1), подвергаясь как прогреву, так и опреснению стоком рек.

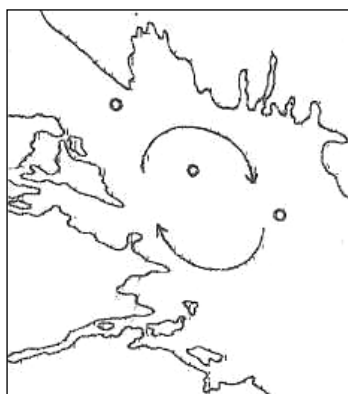
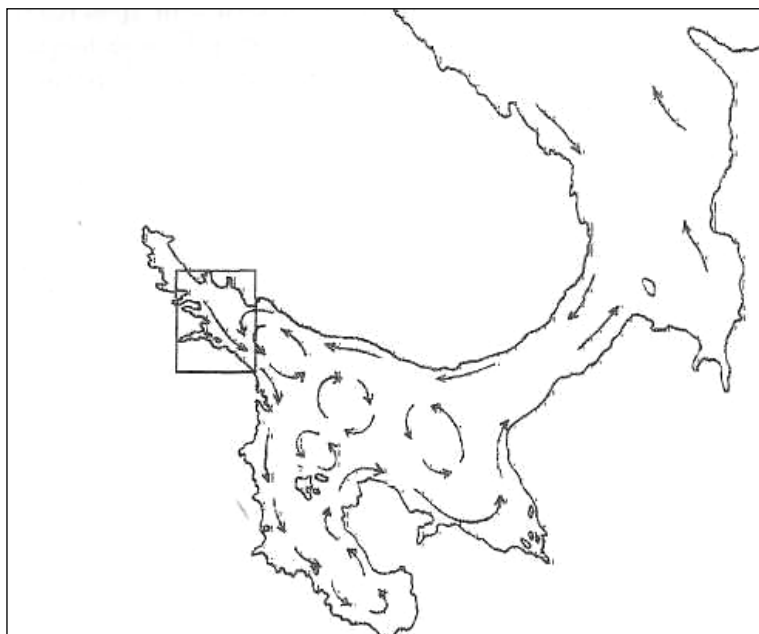


Рисунок 1. Схема постоянных поверхностных течений Белого моря. На врезке показан антициклонический круговорот в центре Кандалакшского

залива, установленный на основании анализа распределения температуры, солености и зоопланктона на станциях (отмечены кружками).

Поскольку площадь и меридиональная протяженность Белого моря достаточно велики, а речной сток распределен неравномерно, то условия нагрева и распреснения по акватории моря не одинаковы. Кроме того, речной сток сам по себе не только распресняет, но и отепляет прилегающие морские акватории и поэтому в кутовых частях заливов (Онежском, Двинском, Мезенском) моря наблюдается пониженная соленость и повышенная температура.

Помимо неравномерного распределения речного стока, зональных факторов и некоторых других, на распределение температуры и солености верхнего слоя влияют вторичные элементы общей циркуляции вод: крупномасштабные циклонические и антициклонические круговороты, первым из которых свойственна пониженная температура и повышенная соленость, вторым – повышенная температура и пониженная соленость.

Иными словами, неравномерное распределение объемов речного стока, в различной мере разбавляющего воды питающего течения и оказывающего различное отепляющее влияние на воды предустьевых акваторий, существование вторичных элементов общей циркуляции, вызывающих подток к поверхности глубинных холодных или опускание теплых поверхностных вод, географическая широта и другие факторы приводят к тому, что баренцевоморские воды на акватории Белого моря существенно видоизменяются. Амплитуда колебаний термогалинных характеристик этих видоизмененных вод на поверхности моря летом превышает 10° С по температуре и 10 ‰ по солености (Бабков, 1998).

Достаточно резкое различие летнего распределения термогалинных характеристик и по вертикали, и по горизонтали начинает сглаживаться осенью с наступлением осенне-зимней конвекции – процесса, уничтожающего градиенты океанологических характеристик, то есть способствующего формированию водной массы. Таким образом, именно

осенью и зимой, когда происходит конвективное перемешивание, формируется *поверхностная водная масса* Белого моря, источником которой служат баренцевоморские воды и речной сток, образование которой происходит по всей акватории собственно Белого моря, а амплитуда значений термогалинных индексов предельно уменьшается. К тому времени, когда большая часть моря покрывается льдом, амплитуда температуры по всему морю в целом не превышает 2° С. Значительно уменьшается и амплитуда колебаний солености как в результате уменьшения стока рек, так и в результате конвективного перемешивания (Бабков, 1998).

В связи с этим представляется важным установление глубины, до которой проникает осенне-зимняя конвекция. По литературным данным (Тимонов, 1950; Залогин, Гнатовский, 1974; Добровольский, Залоган, 1982) глубина конвекции в пределах собственно Белого моря колеблется от 25 до 60 м. Наши собственные данные и расчеты свидетельствуют о том, что конвекция проникает несколько глубже: до 65-70 м, но среднюю глубину проникновения осенне-зимней конвекции следует принять равной 35-40 м; и это же значение, таким образом, соответствует толщине поверхностной водной массы, которая названа (Бабков, Голиков, 1984) атлантической высокобореальной водной массой.

Глубинная или арктическая водная масса, имеющая постоянные термогалинные характеристики и заполняющая глубоководные впадины моря, формируется зимой в Горле; в разделе, посвященном гидрологической характеристике Горла Белого моря, будет подробнее сказано о происходящих при этом процессах.

В уже упомянутой работе (Бабков, Голиков, 1984) значительное место занимает критика существующих в настоящее время представлений (Пантюлин, 1974; Беклемишев и др., 1975, 1980, 1982) о трехслойной структуре вод Белого моря. Суть критики сводится к тому, что применение *T*, *S*-анализа (на основании которого и выделены три водные массы) для установления структуры вод Белого моря не оправдано, так как при

использовании этого метода верхний 100-метровый слой обычно не рассматривается (Helland-Hansen, Nansen, 1927; Sverdrup at. al., 1942; Дитрих, 1961; Вустер, 1983), а выделенную упомянутыми авторами, в качестве самостоятельной, поверхностную водную массу следует рассматривать как *слой* атлантической высокобореальной водной массы, который появляется только летом. В вопросе о водных массах Белого моря мы разделяем точку зрения К. М. Дерюгина (1928) и В. В. Тимонова (1950) о двухслойной структуре вод, приводя дополнительные доказательства ее справедливости и универсальности.

Воронка

Ю. Б. Шокальский (1917) и К. М. Дерюгин (1928) предлагали считать собственно Белым морем лишь ту его часть, которая находится к югу от Горла, исключая из официально принятых в настоящее время границ Мезенский залив и Воронку, рассматривая их как единый залив Баренцева моря. Основанием для такого рассмотрения служит сходство вод, заполняющих объемы этих районов, с баренцевоморскими, причем это особенно справедливо для Воронки, имеющей свободный водообмен с Баренцевым морем и в меньшей степени подверженной влиянию стока из Белого моря. Присоединение Воронки и Мезенского залива к Белому морю противоречит не только принципам морфологической классификаций морей, но и принципам районирования Мирового океана на основе особенностей гидрологического режима отдельных его частей. Но поскольку это противоречие не устранено, то здесь даются краткие характеристики Воронки и Мезенского залива.

Граница Воронки на юге проходит по линии: устье р. Поной – мыс Воронов – мыс Конушин. В этих границах площадь Воронки равна 24600 км², то есть несколько больше одной четвертой части площади всего моря в целом; объем составляет около 855 км³, а средняя глубина равна 34 м. Кроме географического положения и особенностей морфометрии, определяющее влияние на гидрологический режим Воронки оказывает свободный

водообмен с Баренцевым морем и большие скорости приливо-отливных течений.

Вследствие того, что глубины на одной трети акватории Воронки не превышают 20 м, воды восточной части этого района подвержены волновому перемешиванию от поверхности до дна. Сильные приливо-отливные течения, скорость которых в сизигию может достигать 1,5 м/сек, способствуют интенсивному турбулентному перемешиванию всего объема вод.

Гидрологические условия в северной и южной частях Воронки различаются из-за большой протяженности по широте (более 200 км). Например, приближающаяся к океанической соленость в районе Святого Носа снижается в южной части района до 28-29 ‰, где ощутимо влияние сточного беломорского течения. К числу особенностей Воронки относится отсутствие значительных источников распреснения.

Постоянное («питающее») течение у западного берега Воронки имеет генеральное направление на юго-восток, а «сточное» течение направлено на северо-запад (см. рис. 3). Скорости постоянного течения не превышают 10 см/сек. Приливная волна, поступающая из Баренцева моря в устье Воронки, вызывает большие по величине приливо-отливные колебания уровня. В р. Шойна, например, величина прилива в сизигию превышает 3 м. Скорости приливо-отливных течений в сизигию могут достигать 1,5 м/сек.

Горизонтальное и вертикальное распределение температуры и солености в Воронке Белого моря определяются свободным водообменом Воронки с Баренцевым морем, относительно малыми глубинами, сильными приливо-отливными течениями и открытостью района практически для ветров всех румбов, вызывающих значительное ветровое волнение. В результате действия этих факторов воды Воронки (особенно в северо-западной ее части) по своим термогалинным характеристикам почти не отличаются от баренцевоморских. Благодаря относительно малым глубинам, турбулентное перемешивание, возникающее при приливо-отливных

течениях и ветровом волнении, достигает дна на большой части акватории Воронки, что приводит к вертикальной гомотермии и гомогалинности.

По абсолютным значениям средняя температура воды в северной части Воронки в июле-августе колеблется около 10°C ; средняя соленость в том же районе составляет 31-32 ‰.

Мезенский залив

Мезенский залив и Воронка Белого моря менее изучены по сравнению с другими районами. Одна из причин слабой изученности Мезенского залива заключается в том, что проведение экспедиционных работ здесь осложняется частыми штормами, малыми и изменчивыми глубинами и исключительно сильными приливо-отливными течениями. Граница Мезенского залива проходит от мыса Воронова до мыса Конушин. В этих пределах площадь Мезенского залива равна 5600 км^2 ; объем водной массы залива составляет около 75 км^3 , а средняя глубина равна 13 м.

Наибольшая протяженность залива с севера на юг составляет около 120 км, а с запада на восток – порядка 100 км. Приблизительно на 9/10 площади залива глубины менее 20 м и лишь на 1/10 площади они превышают 20 м. Характерной чертой Мезенского залива является большая площадь прибрежной осушки, ширина которой на некоторых участках восточного берега залива достигает 10 км. Рельеф дна залива подвержен постоянным изменениям в результате волнового воздействия во время штормов и переноса взвешенного материала сильными приливо-отливными течениями. В результате действия этих факторов на акватории залива имеется множество отмелей и банок. Мезенский залив лишен островов (о-в Моржовец почти полностью выходит за пределы официально принятой границы Мезенского залива). Рельеф дна в целом характеризуется воронкообразным сужением от створа м. Воронов – м. Конушин к устью р. Мезень.

Постоянные течения в Мезенском заливе следуют вдоль его берегов против часовой стрелки. Такая схема постоянных течений была намечена К.

М. Дерюгиным (1928) и согласуется с распределением термогалинных характеристик (Черновская, 1958); она подтверждается и данными наших работ в июле 1984 г. Постоянное течение поддерживается струей сточного беломорского течения, поступающего в залив через Моржовецкую салму, и баренцевоморскими водами, входящими в залив севернее о-ва Моржовец. У Конушинского берега постоянное течение усиливается стоком р. Мезень и четко прослеживается по термогалинным показателям. Скорости постоянного течения, вероятно, не превышают 20-25 см/сек.

Приливная волна свободно распространяется по акватории Мезенского залива, вызывая большие колебания уровня, обусловленные как мелководностью залива в целом, так и упомянутым выше воронкообразным сужением по направлению к устью р. Мезени. Величина прилива в устье р. Мезени в сизигию достигает 10 м; характер прилива - полусуточный (мелководный). Приливная вода, входящая на мелководье Мезенского залива, порождает сильные приливо-отливные течения, скорость которых может достигать в сизигию 2,5 м/сек. На стадии прилива течения направлены на юг - юго-восток, на стадии отлива - на север-северо-запад.

Горизонтальное и вертикальное распределение температуры и солености в Мезенском заливе определяется (помимо географического положения) свободным водообменом залива с сопредельными Горлом и Воронкой, значительным пресным стоком р. Мезень сильными приливо-отливными течениями, которые, благодаря мелководности залива, перемешивают воду от поверхности до дна на большей части его акватории. В результате свободного водообмена Мезенского залива с Воронкой, в него поступают относительно холодные и соленые баренцевоморские воды, отличающиеся по этим характеристикам от вод сточного течения Горла Белого моря. Р. Мезень несет в залив в среднем около 30 км^3 пресной воды ежегодно, а р. Куной и другие малые реки – около 5 км^3 в год. Иными словами, сток р. Мезень распресняет и теплит воды южной и восточной части залива. Сильные приливо-отливные течения интенсивно

перемешивают воду, что приводит к вертикальной гомотермии и гомогалинности на большей части акватории залива.

В результате, клин относительно холодных вод распространяется по осевой линии залива, температура резко повышается на предустьевом взморье р. Мезень, а относительно теплые воды прилегают к восточному берегу залива. Таким образом, на большей части акватории залива заметно влияние холодных баренцевоморских вод, а отепляющее влияние стока р. Мезень ощущается лишь на предустьевом взморье и вдоль восточного берега залива. Амплитуда колебаний температуры воды залива на поверхности летом составляет 10°C , в придонном горизонте - 8°C .

Было установлено, что средние и экстремальные значения температуры мало различаются на акватории залива. Разница между максимальной и минимальной температурами летом может достигать 13°C , а годовая амплитуда колебаний температуры составляет 23°C (Арсеньева, 1972).

Распределение солености в целом аналогично распределению температуры. Опресняющее влияние р. Мезень приурочено к тем же участкам, где повышенная температура обусловлена речным стоком. Амплитуда колебаний солености на поверхности составляет 18‰ , а в придонном горизонте – более 8‰ . Сопоставление распределения солености на поверхности и в придонном горизонте показывает, что в придонном горизонте происходит подток баренцевоморских вод по направлению к устью Мезени, как это свойственно эстуариям. Соленость в западной части залива достигает $28\text{--}29\text{‰}$, что несколько выше значений солености на тех же горизонтах, в пределах собственно Белого моря и свидетельствует о влиянии баренцевоморских вод.

Если учесть, что средняя соленость сточного течения из Белого моря равна $26,5\text{‰}$ (Тимонов, 1950), то соленость Мезенского залива оказывается несколько выше солености собственно Белого моря и поэтому нельзя считать, как, например, полагает Е. Ф. Гурьянова (1957), Мезенский залив сильно опресненным по сравнению с другими районами моря.

Благодаря малым глубинам в Мезенском заливе, взмучивающее действие ветрового волнения достигает дна на большой части его акватории, сильные приливо-отливные течения также интенсивно взмучивают воду. Оба эти фактора являются причиной низкой прозрачности воды в заливе. Кроме того, воды р. Мезень также малопрозрачны и поэтому еще более снижают прозрачность на предустьевом взморье восточного побережья залива. Малая прозрачность воды залива (при колебании от 5 до 1 м и менее) является одной из причин слабого развития донной растительности (Гурьянова, 1957).

В Мезенском заливе первые дрейфующие льды появляются в конце октября-начале ноября. Раньше всего (последняя декада октября) лед образуется на опресненных участках в устье р. Мезень и на осушках восточного берега залива. Образованию неподвижного припая препятствуют большие колебания уровня моря и сильные приливо-отливные течения. Так, например, в эстуарий Мезени на стадии прилива подходят льды, где они взламываются и образуют торосы, а на стадии отлива льды снова выносятся в море (Зубов, 1947). Освобождение залива ото льда происходит в конце мая. Но сроки как появления, так и исчезновения льда в заливе могут сильно колебаться в зависимости от погодных условий каждого конкретного года: в холодные годы лед в устьях рек появляется в начале октября, а освобождение залива ото льда может затянуться до начала июля.

Горло Белого моря.

Гидрологические процессы, происходящие в Горле Белого моря, имеют чрезвычайно важное значение для гидрологического режима в целом. Поэтому не случайно, что в основополагающих работах по Белому морю К. М. Дерюгина (1928), В. В. Тимонова (1925, 1929, 1947, 1950) и некоторых других детально рассматривается гидрология именно этого района моря.

Границы Горла ограничены створами от устья р. Поной до мыса Воронова и от дер. Тетрино до мыса Зимнегорского. В этих границах площадь Горла равна 10200 км², объем составляет 380 км³, а средняя глубина равна 37 м. Ширина Горла в самом узком месте не более 46 км, но оно, по

терминологии Н.Н. Зубова (1956), является проливом широким, так как в нем осуществляется водообмен в горизонтальной плоскости.

В Горле Белого моря существуют постоянные течения, направленные на юго-запад вдоль Терского берега и на северо-восток - вдоль Зимнего берега; первое получила название «питающего», второе - «сточного». Баренцевоморские (атлантические по происхождению) воды, поставляемые в Белое море питающим течением, огибают Мурманский и северную часть Терского берега Кольского полуострова, подвергаются на этом пути некоторому опреснению и входят в Горло уже несколько переработанными. На схеме общей циркуляции вод Белого моря (см. рис. 13) видно, что, струя питающего течения, выйдя из Горла, следует вдоль Кандалакшского берега, включаясь в общий циклонический круговорот. На акватории собственно Белого моря воды питающего течения значительно видоизменяются, смешиваясь с водами мелких и крупных рек, и вновь входят в Горло уже в виде сточного течения с существенно отличающимися от вод питающего течения физико-химическими характеристиками. В пределах Горла воды питающего и сточного течений частично перемешиваются в результате горизонтального турбулентного обмена и некоторая доля вод сточного течения возвращается обратно.

Иными словами, в Горле Белого моря баренцевоморские воды существенно видоизменяются под действием частичного опреснения и вертикального и горизонтального турбулентного обмена, прежде чем попасть в Бассейн с его заливами, и именно гидрологическими процессами, круглогодично происходящими в Горле, и определяется постоянное обновление всего объема вод Белого моря.

Особое значение гидрологических процессов в Горле заключается в формировании глубинных вод Белого моря. Глубинные воды образуются здесь зимой из вод питающего течения, которые охлаждаются до температуры около $-1,5^{\circ}\text{C}$ и, имея соленость 30 ‰, в силу высокой плотности стекают на глубины Бассейна и заливов. Находясь еще в Горле,

эти воды подвергаются интенсивному вертикальному перемешиванию и обогащаются кислородом, а этим, в свою очередь, обеспечивается хорошая аэрация глубоководных впадин Белого моря. Эти особенности гидрологических процессов в Горле и их значение в формировании структуры и характеристик вод моря в целом были обстоятельно рассмотрены в ряде работ В. В. Тимонова (1925, 1929, 1947, 1950).

Приливная волна, попадая из обширной Воронки в узость Горла, вызывает значительные по величине приливы. Так, у о-ва Сосновец величина прилива в сизигию превышает 3,5 м, имея полусуточный характер. Приливо-отливные течения носят реверсивный характер: на стадии прилива они имеют генеральное направление на юго-запад, на стадии отлива – на северо-восток, при этом скорости приливо-отливных течений в сизигию могут достигать 1,5 м/сек.

Распределение температуры и солености вод в Горле определяется существованием двух потоков: слабо видоизмененных баренцевоморских вод вдоль западного берега и собственно беломорских вод вдоль восточного берега. Термогалинные характеристики этих вод резко различны – у западного берега Горла температура вод ниже (летом), а соленость вод выше, чем у восточного берега (Арсеньева, 1972). Большие скорости приливо-отливных течений и возникающее вследствие этого интенсивное турбулентное перемешивание приводит к вертикальной гомотермии и гомогалинности.

Цвет и прозрачность воды в Горле Белого моря определяются соседством двух разнонаправленных течений: питающее течений по оптическим характеристикам близко к относительно прозрачным баренцевоморским водам, а сточное течение выносит относительно малопрозрачные собственно беломорские воды. Кроме того, на прозрачность вод Горла оказывает влияние интенсивное турбулентное перемешивание, проникающее до дна на преимущественно малых глубинах этого района моря, существенно снижая прозрачность на всей его акватории.

Прозрачность вод Горла колеблется в среднем около 6 м, причем более высокие значения относительной прозрачности (до 8-9 м) наблюдаются у западного берега; зеленый цвет воды у западного берега меняется на желтовато-зеленый и зеленовато-желтый у восточного берега.

Кандалакшский залив.

Кандалакшский залив является одним из наиболее хорошо изученных районов Белого моря. Материалы по гидрологии и биологии Кандалакшского залива накапливались с прошлого столетия, так как почти все крупные экспедиции не обходили вниманием этого района моря. Комплексному изучению Кандалакшского залива способствовала организация стационаров в Пирью-губе (1931 г.), в Великой салме (Московская биологическая станция, основанная в 1939 г.) и Беломорской биологической станции Зоологического института АН СССР в губе Чупа на мысе Картеш (основана в 1957 г.). Все эти материалы так или иначе использованы в настоящей работе, но в первую очередь привлечены материалы 25-летних наблюдений Беломорской биологической станции Зоологического института АН СССР.

Кандалакшский залив Белого моря относительно невелик: его площадь равна 650 км², что составляет около 7% общей площади моря, объем залива составляет 710 км³ (13% общего объема моря). Рельеф дна залива достаточно сложен. В пределах залива находится глубоководная впадина Белого моря с глубинами более 300 м и максимальная отметка глубины - 343 м, средняя глубина залива составляет 109 м. Кандалакшский залив отличается рядом существенных особенностей по сравнению с другими заливами, Горлом и Воронкой. Его береговая линия наиболее изрезана, образуя множество губ. Берега вершинной части залива гористы, отметки высот здесь наибольшие по сравнению со всей остальной частью береговой линии моря. По акватории залива разбросано множество мелких и крупных островов, луд и корг.

Орография района препятствует развитию сильного ветрового волнения. Оно возможно лишь при ветрах юго-восточных румбов, повторяемость которых меньше, чем северо-восточных и юго-западных.

Поэтому преобладающие ветры северные (летом) и юго-западные (зимой) не разгоняют большую волну, что оказывает определенное влияние на гидрологический режим залива в целом.

Постоянное течение, (см. рис. 3), огибает берега Кандалакшского залива против часовой стрелки; вдоль Кандалакшского берега на северо-запад направлена ветвь питающего течения, а вдоль Карельского берега течение следует в юго-восточном направлении. Схема осложняется существованием квазистационарных циклонических и антициклонических круговоротов.

Приливы в заливе по характеру полусуточные мелководные. Величина прилива достигает в сизигию 2,5 м в вершине залива и 2,0 м – на его границе с Бассейном. Приливо-отливные течения в заливе, вследствие сложного рельефа дна и изрезанной береговой линии, в близких точках имеют разную направленность на одной и той же фазе приливо-отливного цикла. Скорости приливо-отливных течений в сизигию могут достигать 50 см/сек.

Распределение температуры воды по акватории Кандалакшского залива бывает достаточно сложным: области повышенной и пониженной температур перемежаются, не обнаруживая явно видимой общей закономерности. Вместе с тем, определенная закономерность выявляется при совместном анализе распределения температуры на поверхности с особенностями поверхностных течений, исходя из того, что области относительно пониженных и относительно повышенных температур связываются соответственно с циклоническими и антициклоническими круговоротами. Крупномасштабные круговороты, отмеченные К. М. Дерюгиным (1928), обнаруживаются при входе в Двинской (пониженной температуры) и в центральной части Бассейна (антициклонический круговорот и соответствующая область повышенной температуры). В. В. Тимонов (1947) дополнил схему К. М. Дерюгина еще двумя циклоническими круговоротами, первый из которых расположен в южной части Кандалакшского залива, а второй - к северу от Соловецких островов.

На основании построений, базирующихся на совместном анализе количественного и качественного распределения зоопланктона и температуры воды (Бабков, Прыгункова, 1985), намечается еще один квазистационарный антициклонический круговорот в центральной части Кандалакшского залива (см. врезку на рис. 3) и связанная с ним область относительно повышенных температур, за которой следует область пониженных температур в кутовой части залива.

В распределении солености по акватории Кандалакшского залива усматривается некоторая общая тенденция ее уменьшения в направлении от устьевой к вершинной части залива и от Кандалакшского и Терского берегов к Карельскому. В южной части залива соленость воды на поверхности летом колеблется около 26 ‰, а в кутовой части не превышает 20 ‰. Наибольшее опреснение поверхностного слоя воды происходит в вершинах губ Колвица и Княжая, где соленость на поверхности составляет всего лишь 2-4 ‰. Соленость воды у северных берегов залива выше, чем у южных, причем разница, исключая участки наибольшего распреснения, может достигать 5‰. На гидрологических разрезах, перпендикулярных осевой линии залива, изогалины выклиниваются по направлению от Карельского берега к Кандалакшскому. Разница величин солености объясняется тем, что вдоль Кандалакшского и Терского, берегов ощутимо влияние питающего течения, имеющего повышенную соленость, а воды южного побережья залива распреснены стоком многочисленных мелких рек Карельского берега.

Распределение цвета и прозрачности воды в Кандалакшском заливе определяется поступлением вод питающего течения, стоком рек и глубинами залива. Воды питающего течения более прозрачны, чем собственно беломорские, и поэтому прозрачность вод у Кандалакшского берега выше, чем у Карельского, где сказывается влияние стока многочисленных мелких рек. По направлению к вершинной части залива глубины резко уменьшаются и здесь начинает сказываться взмучивающее действие ветрового волнения. Прозрачность воды в кугу залива составляет 3 м и менее. Прозрачность воды

увеличивается в юго-восточном направлении и на границе с Бассейном достигает 7 м.

Бассейн

Бассейн Белого моря в силу своего центрального положения не мог выпасть из поля зрения всех более или менее крупных экспедиций прошлого и настоящего столетий. В то же время, основы современных знаний о гидрологии Бассейна (как, впрочем, и всего Белого моря) были заложены в классической работе К. М. Дерюгина «Фауна Белого моря и условия ее существования» (1928) и в работах В. В. Тимонова (1947, 1950). В настоящее время систематические работы в Бассейне проводит Северное УГКС, выполняя сезонные разрезы через центральную часть моря. Эпизодические гидрологические измерения и бентосные работы в Бассейне проводились Беломорской биологической станцией и Лабораторией морских исследований Зоологического института АН СССР в 1981-1982 гг.

Границы Бассейна проходят от м. Лудошного до м. Кирбей-наволоок, далее по берегу до устья реки Летней на Карельском берегу, а от него граница идет по прямым линиям на м. Горболукский – м. Зимнегорский – дер. Тетрино и далее по берегу до м. Лудошного. В этих границах площадь Бассейна равна 21800 км, объем составляет 2725 км², средняя глубина равна 125 м. Приблизительно половина площади Бассейна имеет глубины более 100 м, а в северо-западной его части – превышают 200 м. На тех участках, где граница Бассейна проходит по суше, береговые отметки высот невелики, а поэтому весь этот район моря открыт для ветров всех направлений, что, в свою очередь, служит причиной наибольшего развития ветрового волнения по сравнению с Горлом и примыкающими заливами.

С точки зрения влияния на гидрологический режим Бассейна наибольший интерес представляют вторичные элементы общей циркуляции вод, а именно: циклонические и антициклонические круговороты (см. рис. 3). Антициклонический круговорот в центре Бассейна и циклонический круговорот у выхода из Двинского залива были установлены К. М.

Дерюгиным (1928). В. В. Тимонов (1947) дополнил эту схему двумя циклоническими круговоротами, один из которых находится в Кандалакшском заливе, а другой – у Соловецких островов. К. М. Дерюгин назвал выделенные им круговороты «полюсами тепла и холода», так как антициклоническим круговоротам присуща повышенная температура воды на поверхности, а циклоническим – пониженная.

Существование круговоротов во многих случаях подтверждается не только своеобразным распределением термогалинных характеристик, но и количеством планктона и его качественным составом в этих областях (Хмызникова, 1947; Бабков, Прыгункова, 1985). В центрах антициклонических круговоротов происходит накопление прогретых и относительно опресненных поверхностных вод, что приводит к местному повышению температуры и понижению солености. С этой точки зрения представляют интерес расчеты А. Н. Пантюлина (1974) дефицита солености, свидетельствующие о том, что центральная часть Бассейна является своеобразным накопителем распресненных вод, поступающих из сопредельных заливов. В циклонических круговоротах происходит подток глубинных вод к поверхности, что приводит к понижению температуры и повышению солености в этих областях.

Анализ распределения термогалинных характеристик в некоторых конкретных случаях приводит к заключению, что циклонические и антициклонические круговороты не занимают строго определенного положения и могут смещаться на значительные расстояния

В соответствии с характером глубин в Бассейне приливная волна, выйдя из Горла, распространяется с наибольшей скоростью в северо-западном направлении. Величины прилива на акватории Бассейна уменьшаются (по сравнению с таковыми в Горле). У мыса Зимнегорского величина сизигийного прилива составляет около 2 м; в Варзуге величина сизигийного прилива не превышает 1,5 м; такого же порядка величина сизигийного прилива в Гридине. Приливо-отливные течения в пределах

Бассейна не имеют явно выраженной генеральной направленности в зависимости от фазы прилива; скорости их не велики и, как правило, не превышают 25 см/сек.

Характер распределения температуры воды на поверхности Бассейна представлен на общей схеме (рис. 2а), составленной для всего Белого моря с учетом общей циркуляции вод. На схеме усматривается область повышенной температуры в центральной части Бассейна и область пониженной температуры к северу от Соловецких островов, при этом абсолютные значения температур соответствуют началу гидрологического лета на поверхности. На схеме распределения поверхностной солености (рис. 2б) видна область пониженной солености в центральной части Бассейна. Таким образом, между распределением термогалинных характеристик и циркуляцией вод существует вполне определенная связь, о чем уже было сказано выше.

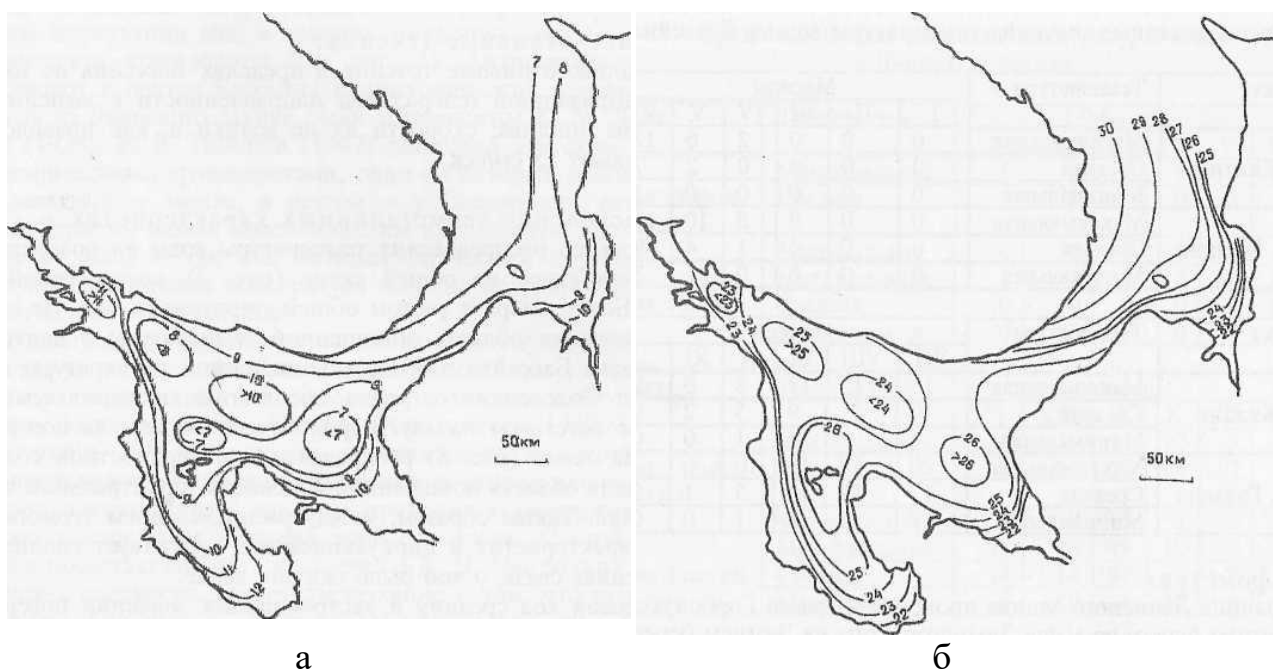


Рисунок 2. Распределение температуры (а) и солености (б) в Белом море

Характерная особенность вертикального распределения температуры и солености в Бассейне (как и в Кандалакшском заливе) состоит в образовании однородного поверхностного слоя, возникновение которого обусловлено летним прогревом и волновым перемешиванием. Температура этого слоя выше, а соленость ниже по сравнению с соответствующими величинами нижележащих слоев.

На распределение цвета и прозрачности воды в Бассейне влияет приток относительно прозрачной воды с питающим течением и сравнительно мутных вод Двинского и Онежского заливов. У Терского берега на границе с Горлом вода в Бассейне зеленого цвета, а прозрачность превышает 8 м, в восточной части Бассейна вода приобретает желтый и коричневатожелтый цвет, а прозрачность уменьшается до 5 м, в центральной части этого района моря прозрачность колеблется около 8 м.

Двинский залив

Гидрологический режим Двинского залива определяется, главным образом, стоком р. Северная Двина, свободным водообменом с Бассейном, а также особенностями горизонтальной и вертикальной циркуляции вод в заливе. Благодаря значительному притоку пресных вод, составляющему в среднем $143 \text{ км}^3/\text{год}$, поверхностная соленость Двинского залива понижена. Своеобразие горизонтальной и вертикальной циркуляции приводит к резкому расслоению вод на небольшой глубине, где летом прогретые и распресненные поверхностные воды соприкасаются со свободно поступающими по центральному желобу холодными и относительно солеными глубинными водами Бассейна (Бабков, 1998).

Граница Двинского залива проходит от м. Горболукского на Летнем берегу до м. Зимнегорского на Зимнем берегу. В этих пределах площадь залива равна 8600 км^2 , а его объем составляет 420 км^3 . Береговая линия залива относительно ровная за исключением глубоко вдающейся в сушу Унской губы. Акватория залива не защищена от ветров северных и северо-

западных румбов, которые могут вызывать здесь значительное ветровое волнение (Бабков, 1998).

Постоянное течение огибает Двинской залив, следуя вдоль Летнего берега на юго-восток, а вдоль Зимнего берега – на северо-запад, причем на последнем участке оно усиливается стоком р. Северная Двина. Характерной особенностью общей циркуляции вод Двинского залива является квазистационарный циклонический круговорот на выходе из залива, существованием которого объясняются некоторые особенности горизонтального и вертикального распределения термогалинных характеристик.

Приливная волна, выйдя из узости Горла на простор Бассейна, вызывает в нем и в ближайших акваториях полусуточные мелководные приливо-отливные колебания уровня умеренной величины. Величина сизигийного прилива в г. Архангельск, например, не превышает 1 м. На выходе из Двинского залива величина прилива еще меньше, а у м. Зимнегорский она в сизигию составляет лишь около 0,5 м. Приливо-отливные течения в Двинском заливе на стадии отлива направлены на северо-запад, при этом максимальные скорости приливо-отливных течений в сизигию не превышают 30 см/сек (Бабков, 1998).

Как уже было сказано выше, на гидрологический режим Двинского залива оказывает большое влияние сток р. Северная Двина, который не только опресняет поверхностные слои, но и отепляет значительную часть акватории залива. Температура воды на поверхности в вершинной части залива летом может быть выше 20°C (температура такого порядка в пределах Белого моря наблюдается летом лишь в вершине Онежского залива). Соленость воды на большей части акватории предустьевого взморья не превышает 23 ‰, то есть существенно ниже средней солености на поверхности Белого моря, что опять-таки объясняется стоком р. Северная Двина.

Вертикальное распределение температуры и солености в Двинском заливе характеризуется резким термоклинном и галоклинном на небольшой глубине (5-10 м), что свидетельствует о восходящем движении вод в придонном горизонте. Резкое расслоение вод в северо-западной части залива увязывается с существованием упомянутого квазиставдонарного циклонического круговорота (Бабков, 1998).

На распределение цвета и прозрачности воды в Двинском заливе оказывает большое влияние сток р. Северная Двина, в результате чего прозрачность низка в вершине залива и у Зимнего берега. В центральной части залива прозрачность колеблется около 5-6 м и вода имеет коричневатожелтый цвет (Бабков, 1998).

Онежский залив.

Материалом для описания послужили литературные данные, выполненные во время рейсов в Онежский залив, организованных Беломорской биологической станцией и Лабораторией морских исследований Зоологического института АН СССР в 1981 и 1982 гг.

Официально принятая граница Онежского залива проходит от р. Летняя на Карельском берегу до м. Горболукский на Летнем берегу. В этих пределах площадь Онежского залива равна 12,3 тыс. км², его объем составляет около 235 км³, а средняя глубина – порядка 19 м. Наибольшая ширина залива 100 км, протяженность с ЮВ на СЗ – около 170 км.

В пределах собственно Белого моря Онежский залив является наиболее мелководным районом: почти на всей акватории глубины не превышают 50 м, за исключением небольших участков к юго-западу от м. Чесменский и Восточной Соловецкой салмы, в которой глубина достигает 87 м. Рельеф дна Онежского залива достаточно сложен, особенно вдоль его западных берегов, где находится великое множество малых островов, луд, корг, отмелей. Рельеф дна Западной Соловецкой салмы характерен перемежающимися глубинами, в Восточной Соловецкой салме рельеф дна сравнительно однообразен. Помимо географического положения, главные особенности

гидрологического режима Онежского залива связаны с его морфометрическими характеристиками. Относительно большие глубины в Соловецких салмах обеспечивают поступление в залив больших объемов вод, в результате мелководности всего залива возникают сильные приливо-отливные течения. Важное значение для гидрологии залива имеет также речной сток.

Постоянные течения Белого моря в целом возникают и поддерживаются, главным образом, благодаря материковому стоку, сосредоточенному в вершинах заливов и создающему сточные течения вдоль их правых берегов, которые замыкаются в единый циклонический круговорот компенсационными течениями вдоль левых берегов заливов. Частью этой общей системы являются постоянные течения Онежского залива. При этом струя постоянного течения из Бассейна входит в Онежский залив через Западную Соловецкую и Аюерскую салмы, огибает его берега и выходит через Восточную Соловецкую салму, образуя в пределах залива циклонические и антициклонические круговороты. Скорости постоянного течения в средней и южной частях залива, как правило, не превышают 10-15 см/сек и лишь в Восточной Соловецкой салме достигают 25-35 см/сек.

Приливная волна, входящая из Баренцева моря через Горло в пределы собственно Белого моря, распространяется по Бассейну и входит в Кандалакшский, Онежский и Двинский заливы. На мелководьях Онежского залива движение приливной волны замедляется, и приливы в пределах залива становятся полусуточными мелководными, особенностью которых является разница в продолжительности времени роста и падения уровня – время роста меньше времени падения. Приливные колебания уровня увеличиваются с севера на юг: на границе с Бассейном величина сизигийного прилива составляет около 1 м, в средней части Онежского залива – около 2 м и в куту залива – около 3 м.

Приливо-отливные течения в Онежском заливе имеют большие скорости и оказывают существенное влияние на особенности его

гидрологии. Особенно велики скорости приливо-отливных течений в Соловецких салмах, где могут достигать в сизигию 1 м/сек и более. На стадии прилива течения в Западной и Восточной Соловецкой салмах имеют генеральное направление на юг, на стадии отлива – на север.

Таким образом, благодаря суммарному действию постоянных и приливо-отливных течений, происходит постоянный водообмен между Бассейном и Онежским заливом, оказывающий первостепенное влияние на гидрологический режим последнего. Гидрологическое следствие сильных приливо-отливных течений заключается в интенсивном вертикальном турбулентном перемешивании вод, что приводит к полной вертикальной гомотермии и гомогалинности на большей части акватории Онежского залива.

Большое влияние на гидрологический режим залива оказывает также значительный речной сток, годовой объем которого составляет 45 км³ (19% объема всего залива), из которых на долю р. Онега приходится примерно 20 км³/год, а остальная часть приходится на долю малых рек Поморского и Лямецкого берегов. Относительно большой речной сток существенно распресняет воды залива, в результате чего его средняя соленость оказывается гораздо ниже, чем в Бассейне Белого моря. Помимо распреснения, крупные реки летом и зимой (при положительной разности температур между водами материкового стока и морскими) оказывают согревающее влияние на воды прилегающих морских акваторий.

В целом особенности термического режима Онежского залива определяются его географическим положением (самая южная часть Белого моря), относительной мелководностью, интенсивным турбулентным перемешиванием (в результате больших скоростей приливо-отливных течений), а также большим объемом речного стока, согревающего рек. В силу этих причин, в Онежском заливе температура воды на поверхности летом достигает наиболее высоких значений (24° С) для Белого моря (такая высокая температура наблюдается еще лишь в устье Северной Двины). В

результате интенсивного турбулентного перемешивания на большей части акватории залива часто наблюдается полная гомотермия от поверхности до дна и, как следствие этого, аномально высокие для Белого моря значения летних придонных температур. Например, по нашим измерениям температура воды на глубине 73 м в центральной части залива достигала в августе 8° С. Ни в одном другом районе моря такой высокой температуры на соответствующей глубине не наблюдается. Если учесть, что зимой температура воды в этих районах опускается до значений от -1,4 до -1,5°С, то годовая амплитуда придонных температур составит около 10° С, что, по мнению В. В. Тимонова (1950), может иметь важные биологические следствия.

Иными словами, если летом придонные температуры в Онежском заливе аномально высоки, то зимой в силу выхолаживания на мелководьях и интенсивного турбулентного перемешивания придонные температуры в заливе ниже, чем на соответствующих горизонтах в других районах собственно Белого моря. Следовательно, большую амплитуду температурных колебаний и относительно низкую зимой среднюю температуру всей водной толщи можно считать характерными чертами термического режима Онежского залива.

По данным Н. Я. Арсеньевой (1972), наиболее высокие летние температуры наблюдаются в куту залива и у Онежского берега, несколько ниже температура воды у Поморского берега. Необходимо иметь в виду, что максимальные, средние и минимальные температуры воды для зимних месяцев могут быть равными температуре замерзания воды при соответствующих соленостях и лишь в непосредственной близости от устьев рек принимать нулевые значения. Общий характер пространственного распределения летней температуры воды на поверхности определяется тем, что в центральной части залива от Соловецких островов тянется клин относительно холодных вод (температура ниже 10° С), а по направлению к вершинной части залива температура повышается.

Режим солености Онежского залива определяется водообменом с сопредельным Бассейном, а также большим объемом речного стока и его неравномерным распределением по акватории залива. Испарение и осадки, будучи величинами одного порядка, играют лишь второстепенную роль. При большом поступлении пресных вод ($45 \text{ км}^3/\text{год}$) можно было бы ожидать низких значений средней солености Онежского залива. Однако по нашим наблюдениям и по литературным данным (Кузнецов, 1960) средняя соленость залива составляет 25-26 ‰, то есть достаточно высока, что свидетельствует об интенсивном водообмене залива с сопредельным Бассейном. Минимум солености воды, наблюдаемый в апреле, связан с таянием льдов и весенним половодьем рек; максимум наблюдается зимой и связан с ледообразованием, являющимся причиной, повышенной солености в поверхностном слое (Кузнецов, 1960).

В пространственном распределении солености наблюдается общая тенденция ее уменьшения по направлению к вершине залива и по направлению от оси залива к его берегам. Летом в районе Соловецких островов соленость в поверхностном слое достигает 26-27 ‰, а в это же время в кутовой части залива составляет 24—25 ‰. Значительное понижение солености наблюдается вблизи устьев рек (Кеми, Выга, Онеги), где она снижается до 20 ‰ и менее. Таким образом, в результате неравномерного распределения речного стока, соленость у западного берега залива ощутимо ниже, чем у восточного.

Благодаря интенсивному турбулентному перемешиванию, на большей части акватории залива наблюдается гомотермия и гомогалинность вод по вертикали. Там же, где наблюдается стратификация, летом температура с увеличением глубины понижается, а соленость увеличивается.

В Онежском заливе, чаще, чем в других районах моря, наблюдаются сулои — зоны резкого изменения направления и скорости течения, причем часть из них имеет чисто динамическое происхождение и не сопровождается изменением основных океанологических характеристик при пересечении

сулоя. Но в некоторых случаях сулой имеет черты гидрологического фронта, сопровождаясь изменением термогалинных характеристик. Сулой отчетливо видны на поверхности моря, благодаря скоплению водорослей, плавника, поверхностно-активным пленкам («сликам»), образующим взаимосвязанный и взаимообусловленный комплекс (Бабков, 1967).

Согласно принятой нами классификации (Бабков, Голиков, 1984) воды Онежского залива слагаются из двух водных масс: атлантической высокобореальной и эстуарно-бореальной, температурные характеристики которых имеют большую амплитуду сезонных колебаний, а соленость первой из них выше 16‰. В виду этого, эстуарно-бореальная водная масса в Онежском заливе занимает небольшие акватории, прилегающие к устьям рек, а основная часть объема заполнена атлантической высокобореальной водной массой.

Характер ледового режима Онежского залива определяется пространственным распределением солености (неравномерностью распределения речного стока) и большими скоростями приливо-отливных течений. Неравномерность распределения речного стока приводит к наиболее раннему образованию льда вдоль западных берегов залива, где больше сказывается распресняющее действие рек, и на прилегающих распресненных морских акваториях. В центральных частях залива из-за повышенной солености образование льда происходит при более низких температурах, но основным препятствием для образования неподвижного льда являются большие скорости приливо-отливных течений, а поэтому в центральной и северной частях Онежского залива, судя по литературным данным (Кузнецов, 1960), сплошного ледяного покрова не бывает.

Сроки появления льда и его исчезновения в разных частях Онежского залива различны: в среднем можно считать, что лед появляется в начале декабря, а к середине мая залив очищается ото льда. Таким образом, продолжительность ледового периода составляет около 5,5 месяцев. Весеннему очищению Онежского залива ото льда способствуют юго-

западные ветры (повторяемость их в это время года достаточно велика), выносящие льды через Соловецкие салмы за пределы залива. Эти же ветры служат причиной образования стационарных полыней у Поморского и Карельского берегов (Кузнецов, 1961).

На распределение цвета и прозрачности воды в Онежском заливе влияют его малые глубины и материковый сток. Воды материкового стока непосредственно уменьшают прозрачность, а на малых глубинах вода взмучивается ветровым волнением, что приводит к снижению прозрачности воды. Наибольшая относительная прозрачность воды наблюдается по оси залива в его северной части, где она достигает 8 м; в центральной части залива она колеблется около 6 м и снижается до 3 м в южной части залива. Резкое снижение прозрачности происходит вблизи устьев крупных рек западного берега залива. Цвет воды изменяется от желтовато-зелёного северной части залива до коричневатого-желтого в его южной части.

1.2. Осадочные образования и донные отложения на акватории Белого моря

Структура и характер распространения осадочных образований Белого моря неразрывно связаны с общим геологическим строением региона. Его развитие на неотектоническом этапе, характеризуется установлением водообмена с Баренцевым морем, а также глобальными оледенениями и потеплениями климата, приводящими к гляциоизостатическим поднятиям. Различия в составе осадочной толщи отдельных районов Белого моря обуславливаются асинхронностью протекания этапов осадконакопления в каждом из них. Результаты исследований тяжелых минералов ($>2,89 \text{ г/см}^3$) могут быть использованы для выявления питающих провинций морских голоценовых и ледниково-морских верхнеплейстоценовых донных отложений Белого моря, что существенно дополняет картину палеообстановок осадконакопления в верхнечетвертичное время.

В пределах Белого моря выделена единая минералогическая провинция, являющаяся типично терригенной (моренная). Она подразделяется на пять подпровинций: 1) Юго-Восточную; 2) Восточную; 3) Центральную; 4) Западную; 5) Северо-Западную.

Для минералов тяжелой подфракции современных морских отложений основным источником поступления являются четвертичные моренные отложения Балтийского щита. В пребореальный период при формировании состава тяжелых минералов южной части беломорского бассейна усиливается влияние сноса с Русской плиты, в связи с ледниково-морскими условиями осадконакопления. Количество тяжелых минералов в донных осадках зависит от гранулометрической крупности материала. Во многих работах описана общая закономерность в распределении тяжелых минералов, по которой концентрации последних увеличиваются в песчаных отложениях, тогда как в илах оно минимально. Содержание тяжелой подфракции крупноалевритовой размерности в осадках Белого моря колеблется от единичных знаков в центральной глубоководной части бассейна до 11% в прибрежных районах (Лисицын, 2013).

Распределение тяжелых минералов в осадках центральной части моря имеет тенденцию к обогащению в северной (Терское побережье) и северо-восточной (южное устье Горла) частях района, где в прибрежной области имеются обширные и мощные накопления чистых песков. В целом же, в Бассейне Белого моря тяжеломинеральная подфракция ($>2,89 \text{ г/см}^3$) распространена ограничено вследствие развития здесь тонких пелитовых отложений. В илах Бассейна отмечены следы тяжелых минералов, не превышающие 1%, повышенные концентрации характерны периферийным областям, вблизи берегов, где развиты пески. В крайних западных районах (до 5%) процент тяжелой компоненты ниже, чем в восточных (до 8%), что связано с обилием на востоке аллювиального материала р. Северная Двина. Схожее обогащение (9-15%) акцессориями в северной части района связано с выносами р. Варзуга (Стунжас, Бородкин, 2014).

В осадках Белого моря в составе крупноалевритовой фракции обнаружено тридцать пять обломочных минералов. Они имеют разную частоту встречаемости и неоднородность в распространении. Анализ схем распределения отдельных минералов и их групп позволяет сделать выводы об источниках поступления обломочного материала, масштабах пространственного распространения минералов и дальности их переноса (Лисицын, 2013).

Неравномерное распределение минералов обусловлено первоначальным их размером в материнских породах и абразивной прочностью минералов. В своих работах Е.В. Рухина (Рухина, 1960, 1973) отмечает, что мелкоалевритовые фракции обогащаются цирконом, рутилом, топазом и другими, в то время как роговая обманка, эпидот, пироксены, ставролит и другие тяготеют к более крупным размерным фракциям. Однако их размеры изменяются во время транспортировки, и они в связи с этим могут переходить в мелкие размерные фракции.

Амфиболы являются доминирующей группой минералов в поверхностных осадках Белого моря. Среди них преобладает обыкновенная буро зеленая роговая обманка, в меньших количествах встречается бурая, зеленая и базальтическая роговые обманки, актинолит. Источником роговых обманок являются граниты, гранодиориты, диабазы, кристаллические сланцы, амфиболиты, кварциты, гнейсы широко распространенные в обнажениях коренных пород Карельского берега, а также сланцы, габбро-диабазы и сиениты Терского берега. Нередко амфиболы встречаются и в осадочных породах Русской плиты, в качестве переотложенных минералов, однако здесь их содержания незначительны. Эпидот является широко распространенным и часто встречаемым минералом в отложениях Белого моря. Среднее содержание (17,8%) в осадках в два раза ниже, чем у амфиболов, но сопоставимо с гранатами (Пересыпкин и др., 2004).

ГЛАВА 2. СОДЕРЖАНИЕ ПОЛЛЮТАНТОВ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БЕЛОГО МОРЯ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)

Анализ имеющихся литературных источников и содержащейся в научных публикациях информации позволяет подойти к осмыслению и решению основной цели исследования – выявлению закономерностей и количественной оценки переноса и накопления нефтеуглеводородов (НУ), осадочного вещества (ОВ) и соединений металлов (ТМ) на акватории основных заливов Белого моря. В ходе работы просмотрен большой объём опубликованных первичных данных, осреднённых за многолетний период наблюдений, обобщающих сводок и картографических материалов. Оценен вклад речных и баренцевоморских вод в формирование гидрохимического режима Белого моря и их влияние на пространственно-временное распределение растворённых веществ. Полученные литературные данные могут быть использованы в качестве фоновых.

2.1. Антропогенное воздействие и пути поступления загрязняющих веществ на акваторию Белого моря

Оценка уровня антропогенного воздействия, путей поступления и динамики распределения загрязняющих веществ по морской акватории является не только важной экологической проблемой, но и сложной аналитической задачей, связанной с исследованием и контролем состава многокомпонентных жидкостных матриц. Кадмий, свинец, медь, кобальт, никель, хром входят в группу минеральных экотоксикантов и являются наиболее токсичными металлами, поступающими в водную среду, как при естественных процессах: из горных пород, подземных водоемов, так и в результате техногенного воздействия. В моря и океаны соединения тяжелых

металлов поступают с речным стоком с континентов. В наибольшей степени мигрируют в морскую среду такие элементы, как кадмий и ртуть, а также цинк, сурьма, медь и молибден (Исидородов 2001). Железо и марганец являются менее токсичными элементами, однако они влияют на геохимическое поведение других тяжелых металлов, что необходимо учитывать при проведении мониторинга загрязнения морской среды.

Анализ содержания загрязняющих веществ в водах и донных отложениях основных заливов Белого моря показал, что современная экологическая ситуация характеризуется значительным разнообразием условий и факторов антропогенного воздействия. Среди них можно выделить следующие:

1. Загрязнение поверхностных вод водосбора моря плохо очищенными или неочищенными сточными водами предприятий деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, горнодобывающей, пищевой промышленности (включая рыбопереработку), содержащими взвешенные вещества (в том числе, угольные шламы), нефтяные углеводороды (НУ), токсичные неорганические и органические вещества, а также тяжелые металлы и некоторые радиоактивные элементы.

2. Выброс в атмосферу диоксида серы, сероводорода, сероуглерода, метилмеркаптана, соединений тяжелых металлов и других загрязняющих веществ промышленными предприятиями, расположенными на водосборе Белого моря и сопредельных территориях (западная часть Кольского п-ва). Имеет место и загрязнение атмосферы за счет выброса автомобильным транспортом отработанных газов, содержащих диоксид углерода, соединения азота, углеводороды, полиядерные ароматические углеводороды (ПАУ) и многие другие соединения. Дальний перенос воздушных масс может являться причиной воздействия источников загрязнения, расположенных за пределами водосборного бассейна Белого моря.

3. Загрязнение природной среды возле крупных тепловых электростанций (работающих на твердом топливе) оксидами серы и азота, тяжелыми металлами, сажей и ПАУ.

4. Механическое нарушение почвенного и растительного покрова преимущественно в районах многолетней мерзлоты.

5. Дополнительно можно отметить рекреационную нагрузку на Соловецкий архипелаг и связанную с этим активность морского транспорта.

В территориальном аспекте в бассейне Белого моря выделяют зону воздействия в районе северо-западного побережья (преимущественно на Кольском п-ве), в юго-восточной части водосбора Белого моря (Двинский, Онежский, Мезенский заливы), буферные зоны, а также условно-фоновые участки. Импактная зона Кольского п-ва оказывает воздействие в первую очередь на Кандалакшский залив. Здесь расположены горнопромышленные производства, влияние которых проявляется в загрязнении воздуха, земель, подземных и поверхностных вод. Юго-восточная часть водосбора Белого моря характеризуется наличием предприятий целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей и лесной промышленности, предприятий транспорта (включая речной и морской), теплоэнергетики, объектов Минобороны РФ и ЖКХ. Буферные зоны представляют собой территорию, удаленную до 100 км от промышленных площадок. Условно-фоновые участки включают районы, еще сохранившие свои первоначальные природные характеристики. Они на водосборе Белого моря превалируют над всеми остальными (Толстиков, Чернов, 2014).

Что касается добычи полезных ископаемых в непосредственной близости от акватории Белого моря, то здесь она развита относительно слабо, хотя на водосборе отмечается значительное разнообразие горных пород, содержащих, например, титановые и железные руды, цирконий, гранаты, алмазы и даже янтарь. Его обломки иногда находят на Конушинском берегу, в районе устьев рек Мезень, Чижма, Яжма, а также у мыса Святой Нос. В Воронке, Горле, районе м. Святой Нос присутствуют гранаты,

железомарганцевые конкреции. Песчаные и песчано-гравийные образования расположены на Летнем и Терском берегах, восточнее мыса Святой Нос и в Воронке Белого моря. Эти месторождения в настоящее время еще активно не разрабатываются. Алмазы добывают в районе кимберлитовых трубок «Ломоносовская» и «им. В. Гриба». Например, в 2006 г. уровень добычи алмазоносной породы на месторождении «Ломоносовское» превысил 800 тыс. тонн. Добыча минеральных ресурсов также вносит свой вклад в загрязнение водоема, как при поисковых работах, так и при промышленной разработке месторождений (Система Белого моря, 2010).

Целлюлозная и лесная промышленность загрязняют морскую акваторию в основном фенолами, лигносульфатами и метиловым спиртом. Поступающие с речными водами таниды, смолы, органические вещества и кислоты, метанол, лигнин, ионы железа и другие соединения изменяют в худшую сторону химический режим морской воды (Новоселов, Студенов, 2014).

Горнодобывающая промышленность не меньше лесной способствует появлению экологических проблем для Белого моря. В большей степени загрязнение происходит свинцом, медью, цинком, никелем, хромом. Дело в том, что многие тяжелые металлы накапливаются в морских растениях и животных, делая их ядовитыми. В настоящее время эта проблема пока не стоит с особой остротой, но, если загрязнения такого рода будут продолжаться и дальше теми же темпами, питаться дарами Белого моря может быть просто опасно. Дожди в Беломорском регионе закислены. Хотя они и несут в себе слабую кислоту, они вредны для пресноводных водоемов, биоценозов и прибрежного населения. В то же время, непосредственно для морской экосистемы они особой опасности не представляют, поскольку кислотное равновесие в морской воде сдвинуть довольно непросто (Система Белого моря, 2010).

Сельское хозяйство, слабо развитое в Поморье по сравнению с другими отраслями, наносит значительно меньший вред морской акватории.

В основном оно пополняет морской бассейн стоками с животноводческих ферм, пестицидами и небольшим количеством минеральных удобрений. Также как пока нет особой угрозы для Белого моря и от попадания в него синтетических моющих средств (СПАВ) (Система Белого моря, 2010).

И, наконец, как и все остальные моря Арктического бассейна, Белое море испытывает негативное воздействие в результате попадания в морские воды нефти. Технические масла и топливо попадают в воду самыми разными способами, но основной – это утечка с нефтебаз. Нефть больше страшна своими физическими свойствами, нежели химическими. Перья птиц, намокая в этой густой жидкости, лишаются теплоизоляционного слоя и птицы теряют способность к полету, в результате чего они погибают либо от голода, либо от холода. Нефтяная пленка препятствует нормальному обмену кислородом воздуха с водой. К счастью, чаще всего разлитую нефть удастся относительно быстро собрать и обезвредить. То, что остается в море, сбивается волнами в комки и уходит на дно, где в дальнейшем перекрывается донными отложениями и нейтрализуется. Такие нефтяные комки со временем уничтожаются бактериями. Гораздо опаснее для экологии водоемов являются незначительные поступления в воду этого продукта. Как бы плохо «черное золото» не растворялось водой, все же этот процесс с течением времени происходит. В силу этого ядовитые вещества, содержащиеся в нефтепродуктах, попадают в гидросферу. Не нанося вреда сразу, они включаются в круговорот веществ, что со временем приводит к негативному воздействию на морскую флору и фауну (Система Белого моря, 2013).

Согласно литературным данным, основные источники поступления загрязняющих веществ на акваторию Белого моря подразделяются на три типа (Атлас..., 1999).

- экзогенные – речной сток, эоловый снос, волновая абразия, ледниковый, ледовый и айсберговый разносы;

- эндогенные – вещества, поступающие из недр Земли, например, вынос из осадочной толщи нефтяных углеводородов, метана, выходы газогидратов и т.д.;

- акваполитехногенные – дампинг отходов, транспортировка нефтепродуктов и токсичных веществ, разработка морских месторождений, перенос загрязняющих веществ системой глобальных океанских течений (Атлас..., 1999).

Речной сток. Важнейшим экзогенным источником осадочного материала, включая загрязняющие вещества, является речной сток. По данным ряда авторов (Лукашин и др., 2013) общий водный сток всех рек составляет 2932 км³/год. Реки собирают свои воды с растворенной и взвешенной (твердой) нагрузкой с огромной водосборной площади – почти 13 млн. км², расположенной в разных климатических зонах. Общий вынос в Арктику твердого материала составляет 103 млн тонн в год. Речные воды выносят в океан 19,4 млн тонн растворенного и 3,8 млн тонн взвешенного органического углерода (Леонов и др., 2014). Наиболее важными источниками поступления металлов непосредственно в Белое море являются стоки рек Северная Двина, Мезень, Онега и более мелких рек. Общий сток всех рек в море составляет 463 км³ /год воды и 22·10⁶ т/год взвеси (Система Белого моря, 2013).

Сток рек является интегральным показателем гидрофизических процессов на водосборе, обусловленных климатическими характеристиками и хозяйственной деятельностью. Загрязнители с речным стоком распространяются в прибрежной зоне, постепенно испытывая разбавление и депонирование (Пересыпкин и др., 2004). Поскольку реки с максимальным расходом на водосборе Белого моря имеют равнинный характер (Северная Двина, Онега, Мезень), их сток замедлен, что приводит к малому содержанию кислорода в воде. Кроме того, эти реки характеризуются достаточно низкой летней температурой. В результате, загрязняющие вещества в воде плохо окисляются, а самоочищение рек оценивается как

«неблагоприятное» (Кукина и др. 2012). В результате, из всех районов Белого моря Двинский залив, в любом случае, испытывает максимальное антропогенное воздействие посредством влияния речного стока. По мере усиления нагрузки на реки бассейна Белого моря отмечается общая тенденция увеличения межгодовой и внутригодовой изменчивости концентраций в них соединений азота и фосфора.

По литературным источникам (Геоэкология шельфа..., 2011), сброс загрязненных сточных вод на водосборе Белого моря колеблется в диапазоне 0,0-267,7 млн. м³. В основном на территории бассейна Белого моря сброс загрязненных сточных вод составляет 0,0-10,0 млн. м³. Максимальные значения этого показателя отмечаются в бассейне р. Северная Двина в районе крупных промышленных центров Архангельской области в Приморском районе (гг. Архангельск, Новодвинск, Северодвинск) - 267,7 млн. м³ и Котласском районе (гг. Котлас, Коряжма) - 165,3 млн. м³, а также в Сыктывдинском районе (г. Сыктывкар) Республики Коми - 235,7 млн. м³. Сброс сточных вод от 10,0 до 70,0 млн. м³ приходится на промышленные центры Мурманской области (гг. Кировск, Мончегорск, Апатиты, Кандалакша с подведомственными территориями, Ковдорский и Ловозерский районы) и Республики Карелия (Сегежский район и г. Костомукша с подчиненными его администрации населенными пунктами).

Самыми загрязненными на водосборе Белого моря являются р. Пельшма и р. Нюдуай, воды которых относятся к VII классу качества и являются «чрезвычайно грязными», а также руч. Комариный и р. Сухона (ниже г. Сокола, у с. Наремы), относящиеся к V классу качества вод и являющиеся «грязными» (Калинина и др., 2012). В основном на водосборе Белого моря водные объекты относятся к III и IV классам качества вод и являются, соответственно, «умеренно загрязненными» и «загрязненными». К «относительно чистым» (II класс качества вод) относятся реки Карельского и Поморского берегов, а также притоки Мезени - Вашка и Пеза (Федоров и др., 2015).

Для Белого моря можно выделить районы загрязнения аммонийным азотом (водосборы р. Кемь, р. Золотица); нитратным азотом (р. Сосновка, р. Варзуга); легко окисляемыми органическими веществами (р. Мезень, р. Мудьюга); нефтяными продуктами (р. Мудьюга, р. Золотица). По загрязнению тяжелыми металлами выделяются: р. Сосновка, р. Чапома, р. Нива, р. Умба (загрязнение медью); р. Мудьюга, р. Онега (цинк); р. Нива (никель). Таким образом, наибольший спектр загрязняющих веществ содержат водосборы р. Мудьюги и р. Золотицы, что может быть связано как с естественным повышенным содержанием в этих реках указанных веществ, так и с подготовкой территории к открытой разработке месторождений алмазов (там же). Все загрязняющие вещества с их водным стоком попадают в Двинский залив, и большая часть далее направляется в Горло из-за особенностей гидродинамики этого района моря (Толстиков, Чернов, 2014).

Для Карельского и Поморского берегов Белого моря нет выраженной тенденции изменения объема сбрасываемых сточных вод в поверхностные воды за последние годы: в 2006 г. он составил 83,45 млн. м³, в 2009 г. – 71,75 млн. м³, в 2011 г. – 64,80 млн. м³, в 2012 г. – 73,28 млн. м³ и в 2013 г. – 54,47 млн. м³. Основными загрязнителями в этих водах являлись сульфаты (9963,00 т), калий (3038,00 т), натрий (2439,00 т), взвешенные вещества (1000,00 т), магний (382,27 т), аммонийный азот (202,89 т), фосфаты (135,65 т), нитриты (100,91 т), нефтепродукты (21,60 т), СПАВ (7,66 т), марганец (1,15 т), фтор (0,91), алюминий (0,36 т), никель (0,08 т), медь (0,08 т) (Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2011 году, в 2013 году, 2012, 2014).

Основными загрязнителями, рассчитанными за год в этих водах, как и раньше в Республике Карелия, остаются сульфаты (9963,00 т), натрий (2439,00 т), калий (3038,00 т), магний (382,27 т), аммонийный азот (205,17 т), СПАВ (7,66 т), марганец (1,15 т), алюминий (0,36 т), никель (0,08 т). Поскольку реки с максимальным расходом на водосборе Белого моря имеют равнинный характер (Северная Двина, Онега, Мезень), их сток замедлен, что

приводит к малому содержанию кислорода в воде. Кроме того, эти реки характеризуются достаточно низкой летней температурой. В результате, загрязняющие вещества в воде плохо окисляются, а самоочищение рек оценивается как «неблагоприятное». Таким образом, из всех районов Белого моря именно Двинский залив испытывает максимальное антропогенное воздействие влияния речного стока. По мере усиления нагрузки на реки бассейна Белого моря отмечается общая тенденция увеличения межгодовой и внутригодовой изменчивости концентраций в них соединений азота и фосфора (Брызгало, Иванов, 2002).

В основном на водосборе Белого моря значения коэффициента АНВР (антропогенная нагрузка на водные ресурсы) варьируют от 5 до 40 чел./106 м³. Максимальные значения этого показателя отмечаются в бассейне Северной Двины в крупных промышленных центрах: в Вологодском районе - 316, в Сыктывдинском районе - 112 чел./106 м³. В этих районах отмечаются также максимальные значения плотности населения и минимальные значения слоя стока. Значения индекса АНВР от 40 до 100 чел./106 м³ приходятся также на бассейн Северной Двины (Приморский, Котласский и Сокольский районы) и водные объекты Кандалакшского берега (гг. Апатиты, Оленегорск, Мончегорск, Полярные Зори) (Бабков, Голиков, 2014). Все загрязняющие вещества испытывают значительную внутригодовую изменчивость, связанную с режимом стока рек, впадающих в Белое море, и чем сильнее нагрузка на участок акватории, тем выше разброс значений концентраций веществ.

Вынос с речными водами, в первую очередь, со стоком р. Северная Двина, является одним из основных источников поступления нефтяных углеводородов в Белое море. Значительный вклад может также давать их приток с водами Баренцева моря и с атмосферными осадками (Балансы нефтяных углеводород в морях Советского Союза. Белое море, 1984).

Поступление тяжелых металлов с речными водами относительно невелико, и, принимая их в верхнем и среднем течении рек, они успевают

самоочищаться. Поэтому в устьях рек Обь, Енисей, Лена концентрации тяжелых металлов близки к фоновым, т.е. не превышают порога, хотя выше встречаются локальные участки, где концентрации ТМ могут многократно превышать пороговые показатели. Исходя из анализа многочисленных данных, можно заключить, что основные источники поступления тяжелых металлов в Белое море связаны со стоком именно малых и небольших рек (не более 200 км по протяженности), в которых процесс самоочищения не может реализоваться в полной мере (Елисеев, 1999).

Исключительно важную роль в интенсивности поступления на морскую акваторию Белого моря поллютантов играет зона смешения речных и морских вод. Эта зона представляет собой очень эффективную ловушку поставляемого рекой аллохтонного материала. По оценкам некоторых исследователей (Лисицын, 2013), в этой зоне осаждается и выбывает из дальнейшего транспорта в океан до 90–95% взвешенных и 20–40% растворенных веществ, включая загрязняющие вещества.

Аэротехногенный перенос. Помимо речного стока, антропогенное воздействие на акваторию Белого моря происходит также за счет общего загрязнения вод от промышленных (техногенных) выбросов в атмосферу. Поступившие поллютанты способны оседать на поверхности Белого моря в виде пленок, что изменяет процессы поглощения и отражения солнечной радиации, нарушает процесс испарения. Это приводит к изменению температуры поверхностного слоя водоема. Так, с речным стоком и воздушным переносом в Белое море попадает большое количество различных веществ, способных нанести ущерб экологической обстановке в зоне воздействия. Это особенно актуально для территории Двинского залива с развитыми на его водосборе машиностроением, судостроением, лесной и целлюлозно-бумажной промышленностью, а также для района, расположенного вдоль берегов Кандалакшского залива, где, например, есть предприятия цветной металлургии.

Установлено, что атмосферные выпадения являются важнейшим источником поступления металлов на морскую акваторию. Аэрозоли над акваториями Белого моря и других морей Российской Арктики значительно обогащены многими металлами, особенно никелем и медью, что является результатом деятельности указанных выше горнодобывающих и металлургических производств. Свой вклад в возможное загрязнение Белого моря тяжелыми металлами вносят и крупные города-порты на берегу моря — Архангельск, Северодвинск и др. Основное загрязнение природных экосистем в бассейне Белого моря тяжелыми металлами связано с выбросами производств, расположенных в Норильском промышленном районе, Мурманской и Архангельской областях, где сосредоточены крупнейшие предприятия цветной металлургии, горнодобывающие, горно-обогатительные и электроэнергетические объекты (Система Белого моря, 2013).

В бассейне Белого моря, особенно на Кольском полуострове, сосредоточены многие полезные ископаемые и геохимические провинции с промышленным содержанием редких элементов. Здесь же располагаются крупные горнорудные и металлургические компании: ПО «Апатит» с рудником и обогатительными фабриками; комбинат «Североникель», включающий плавильный комплекс по получению Cu, Ni, Co, а также попутных металлов — Au, Ag, Pt и Se; Оленегорский горно-обогатительный комбинат, который добывает и обогащает железные руды; крупный металлургический комбинат «Печенганикель» (г. Никель). Эти предприятия оказывают определенное воздействие на воды Белого моря, но, по результатам последних исследований, выбросы не превышают пороговых показателей (Система Белого моря, 2013).

Учитывая направление господствующих ветров, следует предположить, что предприятия окрестностей Кандалакшского залива лидируют по переносу загрязнителей над акваторией Белого моря, однако специального исследования этого вопроса нами не проводилось. Иными словами, с речным

стоком и воздушным переносом в Белое море попадает большое количество различных веществ, способных нанести ущерб экологической обстановке в зоне влияния.

Из акваполитехногенных источников наиболее существенным являются **морские перевозки нефти и нефтепродуктов** (Елисов, 1999). До 50% всех поступлений нефти в морскую среду приходится на эксплуатационные сбросы с судов. Все более активное освоение нефтяных месторождений существенно в перспективе увеличит объемы попадающих в моря нефтяных углеводородов. Другим важным источником данного типа являются океанские течения. Достаточно упомянуть, что система Гольфстрима переносит, по оценкам исследователей (Геоэкология шельфа..., 2011), до 1-1,5 млн. тонн нефтепродуктов в год. При этом различные загрязняющие вещества могут находиться в самых разных состояниях – растворенном в природных водах, в виде тонких частиц, коллоидном, газообразном и других формах. А от форм нахождения тех или иных загрязняющих веществ зависят способы и пути их переноса от источников до областей их осаждения и аккумуляции.

Второстепенными источниками нефтяного загрязнения Белого моря являются морские порты, прибрежные населенные пункты и судоходство. Следует отметить, что на локальных участках моря вклад отдельных промышленных (транспортных) объектов может доминировать над другими составляющими природной части баланса нефтяных углеводородов. Повышенные уровни нефтяного загрязнения характерны для мелководной прибрежной зоны вблизи городов, портов и гаваней (Система Белого моря, 2013).

Тяжелые металлы поступают в атмосферу, водные и наземные экосистемы в результате естественных и антропогенно-обусловленных процессов, протекающих как на поверхности Земли, так и в ее недрах. При этом выделяют три основных пути поступления тяжелых металлов в воды Белого моря: перенос воздушными потоками, а также наземно-пресноводный

(речной сток, льды) и океанический (океанские течения) пути. Последние научные данные свидетельствуют о том, что атмосферный перенос ртути является основным фактором его привноса в район Арктики и, в частности, в Белое море (Савенко, 2011). Кадмий и свинец поступают в близких объемах, тогда как цинка значительно больше привносится с речным стоком (Кукина и др., 1999). Ртуть относится к одним из наиболее токсичных элементов. Ее поступление ртути в окружающую среду, связанное в основном с горнодобывающей промышленностью и сжиганием различных видов топлива, увеличилось за прошлое столетие от 2 до 20 раз вследствие антропогенной эмиссии в локальном, региональном и глобальном масштабах.

2.2 Аварийные поступления загрязняющих веществ в Белое море

В осенний период 2003 г. в южной части Онежского залива в результате аварии при швартовке двух танкеров на рейдовом погрузочном комплексе «Осинки» в условиях штормовой погоды произошел разлив нефтепродуктов. По данным Архангельской специализированной морской инспекции МПР РФ в море вылилось более 50 тонн топочного мазута марки М-100. В течение первых суток мазут был выброшен на берега архипелага островов Осинки, и большая его часть была разнесена в северо-восточную и юго-восточную части залива. Часть водонефтяной смеси дрейфовала в сторону Соловецких островов и западного побережья Онежского полуострова. В результате разлива наиболее загрязнённой оказалась акватория в районе островов Осинки, Пурлуда и прибрежной части Онежского полуострова в районе д. Лямцы и д. Пурнема протяжённостью более 40 км. Выброс мазута на берег был зафиксирован в районе деревень Тамица и Ворзогоры, а также на берегах о. Кий (Андрианов, 2005).

В июле 2005 г. сотрудниками Института экологических проблем Севера УрО РАН было проведено обследование берегов архипелага Осинки, остров

Пурлуда, Осинки, Шоглы, Няпа. Исследование показало, что мазут оставался на прибрежных камнях, а на мелководье он присутствовал в виде отдельных вязких песчано-мазутных агрегатов (ПМА) различной величины, полузамытых песком. Кроме этого, были отобраны пробы грунта и воды из придонного горизонта в южной части Онежского залива для определения общего содержания нефтяных углеводородов (НУВ). Результаты съемки, выполненной в июле 2005 г. в южной части залива показали, что содержание УВ в донных осадках во всех точках отбора, как на литорали, так и в мористой части залива, составляло менее 50 мг/кг, что находилось на грани чувствительности метода определения. Однако эти данные не отражали реальной степени загрязнения донных отложений нефтяными углеводородами в целом.

После аварии тяжелые фракции мазута распространялись течениями по дну не в виде сплошной пленки, а в виде отдельных агрегаций или пятен. Поэтому при «слепом» отборе проб донных отложений, вероятность попадания на пятна мазута была достаточно низкой. В то же время, концентрации УВ в пробах придонного слоя воды, напротив, оказались довольно высокими. Это обусловлено тем, что УВ пятен мазута, лежащего на дне, постепенно растворяются в водной среде. Проведенная съемка показала, что через 2 года после аварии на значительной части акватории Онежского залива содержание УВ в придонном слое воды превышало ПДК ($\text{ПДК}=0,05 \text{ мг/дм}^3$) (Патин, 1997) в 10 и более раз.

В июле 2012 г. была организована и проведена научная экспедиция на борту научно-исследовательского судна «Профессор Молчанов» по Белому и Баренцеву моря. В данной экспедиции отбирались пробы морской воды на содержание тяжелых металлов, таких как ртуть и свинец. Разрез м. Канин Нос – м. Святой нос, находящийся в воронке Белого моря, отделяет Белое море от Баренцева. Этот разрез характеризуется сравнительно небольшой глубиной – до 70 м. Содержание свинца в пробах оказалось невысоким, не

превышающим 10 мг/дм³, что соответствует ПДК свинца для морских водоемов.

Результаты исследований последних лет свидетельствуют о том, что состояние всех компонентов экосистемы Белого моря не претерпело пока заметного ущерба от антропогенного воздействия и море по-прежнему относится к одному из наиболее чистых морей европейской части России. Однако и оно получает значительные количества загрязняющих веществ, а состояние отдельных его заливов далеко от благополучного.

2.3 Распределение поллютантов в водах и донных отложениях Белого моря

В течение 15 лет сотрудниками Северного филиала ПИНРО велись работы по изучению влияния нефтяного загрязнения на экосистему Белого моря. Проводятся исследования по содержанию нефти в воде и донных отложениях на сетке станций. Также определения фенолов, алюминия и тяжелых металлов в водах Онежского и Двинского заливов. С 2004 г. начаты работы по определению бенз(а)пирена в воде, донных отложениях и в тканях гидробионтов моря. Мониторинговые экологические исследования позволили выявить, что для Белого моря в целом характерен низкий уровень загрязненности вод и донных отложений. Наиболее неблагоприятные ситуации в данном отношении отмечаются в эстуарных районах, в первую очередь, в устьях рек Северная Двина, Онега и Выг. В вершине Двинского залива Белого моря в 2002 году в весенний период отмечалась превышение допустимого уровня по нефтепродуктам и фенолам до 2-5 ПДК (Мискевич, 2003). Значительное загрязнение донных отложений Белого моря нефтяными углеводородами в настоящее время отмечается только для иловых отложений на акватории портов и прибрежных населенных пунктов. Здесь их концентрации могут достигать 50-100 мг/кг сухого грунта и более. (Мискевич, 2003). В 2004 году аварийных ситуаций, связанных с

поступлением в водную среду Белого моря нефтеуглеводородов, не отмечалось. Анализ полученных результатов показал, что наибольшее загрязнение морских вод углеводородами в летний и осенний периоды наблюдалось в Мезенском (до 0,03 мг/дм³) и Двинском (до 0,04 мг/дм³) заливах. (Оберюхтина, 2007). Содержание нефтяных углеводородов в донных отложениях Белого моря в основном колебалось в диапазоне 0-32 мг/кг сухого грунта. Наибольшее загрязнение грунтов (35 мг/кг) было отмечено в Двинском залив, где имеются благоприятные условия для аккумуляции нефтепродуктов и мощные источники их поступления в морские воды. (Оберюхтина, 2007). Содержание бенз(а)пирена в Двинском заливе был выявлен только на одной станции – 0,079 нг/л в поверхностном и 0,008 нг/л в придонном слоях. Содержание данного загрязняющего вещества в донных отложениях в Двинском заливе варьировалось в диапазоне от 0,056 до 3,458 мг/кг сухого грунта. (Оберюхтина, 2007).

По литературным источникам, максимум весеннего содержания фосфатов был отмечен в поверхностном слое **воды** кутовой части Двинского залива (0,036 мг/л) и в Мезенском заливе (0,015 мг/дм³ на поверхности и 0,151 мг/дм³ у дна) (Леонов и др., 2014). В осенний период содержание фосфора было несколько ниже и составляло от 0,020 до 0,030 мг/дм³ также почти с равномерными значениями его концентраций в поверхностных и придонных слоях. Если рассматривать отдельные районы Белого моря, то наибольшие концентрации неорганического фосфора летом и осенью наблюдались в Кандалакшском заливе (0,020-0,080 мг/дм³). Что касается содержания солей азота, то здесь также наблюдалось аналогичное фосфатам сезонное их распределение (Леонов и др., 2014).

Летом в поверхностных водах относительно глубоководных стратифицированных районов (Кандалакшский залив и Бассейн Белого моря) количество нитратов уменьшалось. В то же время, в придонных слоях их концентрации увеличивались, по всей видимости, за счет минерализации органического вещества. Максимальные значения наблюдались у дна в

Кандалакшском (0,178 мг/дм³) и Двинском (до 0,170 мг/дм³) заливах, а также в Бассейне (до 0,251 мг/дм³). В хорошо перемешиваемых водах Онежского и Мезенского заливов их количество изменялось незначительно с отклонениями в ту или другую сторону от весеннего их содержания (Бабков, Голиков, 2014).

Потоки вещества в толще воды от поверхности до дна являются прямой (инситной) основной количественной характеристикой при изучении осадкообразования, позволяют в динамике и во времени изучать процессы современной седиментации рассеянного вещества и его преобразования при прохождении через водную толщу. Возникает возможность измерять количество и состав вещества, поступающего на дно (Леонов, Чичерина, 2014).

Изучение **рассеянного осадочного вещества** в толще воды обеспечивается внедрением в практику исследований седиментационных ловушек разных типов, которые являются важными частями глубинных автоматических седиментационных обсерваторий - станций круглогодичного изучения водной толщи на разных глубинах. Учение о потоках вещества и загрязнений в океане пока только начинает развиваться. Седиментологи, геохимики, а также биологи и экологи все еще недостаточно оценивают значение этого количественного метода, огромных возможностей его использования для понимания природы океана, построения количественных моделей, методов прогноза (Леонов, Чичерина, 2014).

Первоначально значительная часть исследований была посвящена потокам органического вещества и других биогенных компонентов (в мг/м²/год) (Deuser, 1996; Honjo et. al., 1982; Knauer et. al., 1979; Lohrenz et. al., 1992; Soutar et. al., 1977; Suess, 1980; Walsh, 1988 и др.). Однако количество надежных наблюдений за потоками осадочного вещества на вертикальных разрезах водной толщи Белого моря пока не велико и исчисляется несколькими десятками станций, при этом большая их часть относится к районам освобождающимся летом от льдов. Данных для Центральной

Арктики, из области круглогодичного распространения льдов, на сегодняшний день – очень мало (Лисицын, 2014).

В Белом море очень ярко выраженная сезонная изменчивость потоков осадочного вещества. Максимальные значения наблюдаются для летней межени, а значения приближенные к минимуму для зимнего периода, когда море и питающие периферии покрыты снежно-ледовым покровом. При изменении гидрологического режима характерны устойчивые максимумы потоков рассеянного осадочного вещества из года в год (повышенное содержание потоков в декабре; ледовая разгрузка в апреле; майская вспышка цветения фитопланктона и паводок Северной Двины; повышенные потоки во фронтальных зонах) (Система Белого моря, 2013).

По химическому составу осаждающееся осадочное вещество в Белом море занимает промежуточное положение между взвесью фотического слоя и самым поверхностным слоем донных осадков. Наибольшее обогащение осаждающегося осадочного вещества органическим углеродом и кремнеземом наблюдается в поверхностных горизонтах, а придонных слоях существенно обогащены литогенными элементами и по химическому составу приближаются к поверхностному слою донных осадков (Система Белого моря, 2013). Минеральный состав материала из глубинных седиментационных ловушек и поверхностного слоя донных осадков очень близки. Изменение потока загрязняющих веществ донных отложений близко к изменениям содержания данных веществ в водах Белого моря. В течение каждого сезона происходят количественные изменения с учетом движения вод, их притока или застоя.

Проведенный анализ литературных источников по результатам исследований загрязнения Белого моря позволяет сделать следующие выводы:

1) Основные закономерности пространственного распределения металлов по пути от источников поступления к районам разгрузки могут быть объяснены влиянием таких факторов и процессов как: а) перенос

растворённых и взвешенных форм элемента течениями, б) смешение водных масс в результате ветрового, приливного и конвективного перемешивания, в) осаждение частиц взвеси, имеющих разный размер и удельное содержание микроэлементов, в) взмучивание донных отложений (Федоров и др., 2015).

2) Поступление металлов вместе с частицами взвеси из абразионных берегов может существенно определять региональные особенности распределения металлов в растворённой и взвешенной формах, влиять на уровни накопления металлов в донных отложениях не только в районах активной абразии, но и в достаточно удалённых районах Белого моря.

3) Обменные процессы металлами в системе "вода-взвесь" в морской системе смещены в сторону десорбции подвижных форм металлов, в результате относительный вклад растворённой формы металла возрастает, но при этом объём захоронения элементов в донных отложениях устьевых и шельфовых районов моря уменьшается (Система Белого моря, 2013).

4) В результате комплексного влияния гидрологических, литологических и геохимических процессов в Белое море может выноситься от 47 до 66% соединений меди, поступающих из всех источников.

5) Основными источниками поступления терригенного материала в Белое море являются абразия берегов и твёрдый сток рек. Всего при абразии поступает 67,1 млн. т твёрдого вещества, из них 60 млн. т преимущественно с восточной части Белого моря: Канинского, Конушинского и Абрамовского берегов. Твёрдый сток в Белое море на порядок меньше, чем поступление обломочного материала при абразии и составляет около 5,8 млн. т. Поступление твердых частиц на поверхность Белого моря из атмосферы незначительно (0,25 млн. т/год) (Демина и др., 2015).

Таким образом следует, что обломочного материала дефицит и в качестве источника выступает донная абразия и перераспределение донных осадков

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работы по представляемой тематике выполнялись в рамках ведения мониторинга Белого моря, осуществляемого Северным филиалом ФГБНУ «Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича» (ПИНРО) в 2001-2016 годы по Госзаданию 1.2.1.7. «Осуществление мониторинга загрязнения водных биологических ресурсов и среды их обитания в Баренцевом море и прибрежной части Белого моря». Экспедиционные работы проводились на научно-исследовательских судах ПИНРО: НИС «Поиск», «Протей» и «Профессор Бойко». Характеристика загрязнения донных отложений Белого моря на акваториях Кандалакшского, Онежского и Двинского заливов представлена на основании анализа материалов, полученных в ходе исследований, проведенных Северным филиалом ФГБНУ «ПИНРО» в 2015-2016 гг.

Следует отметить, что содержание загрязняющих веществ в донных отложениях российскими нормативными документами не регламентируется. В этой связи, оценка степени загрязнения донных отложений выполнялась нами на основе соответствия уровней содержания ЗВ критериям экологической оценки загрязненности грунтов по голландским нормативам – «голландские листы» (Warmer, 2002). Они хорошо известны в нашей стране благодаря использованию в ежегодниках «Качество морских вод по геохимическим показателям» для сопоставления содержания загрязняющих веществ установленным допустимым концентрациям (ДК). В таблице 1 представлены используемые нами допустимые концентрации загрязняющих веществ в донных осадках по Голландским нормативам.

Таблица 1. Допустимые концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях по голландским нормативам.

Нормируемые показатели	Элемент, мкг/г					Б(а)П, нг/г
	Zn	Cu	Pb	Cd	HУ	
Допустимые концентрации (ДК)	140	36	85	0,8	50	25

Сбор и первичная обработка материалов выполнялись в соответствии со стандартными методиками (ГОСТ 17.1.5.05-85). В каждом из районов отбор проб воды производился на 6 станциях комплексного мониторинга, расположение которых оптимальным образом способствует созданию картографической информации (рис. 3). Координаты мониторинговых станций в Белом море представлены в таблице 2.

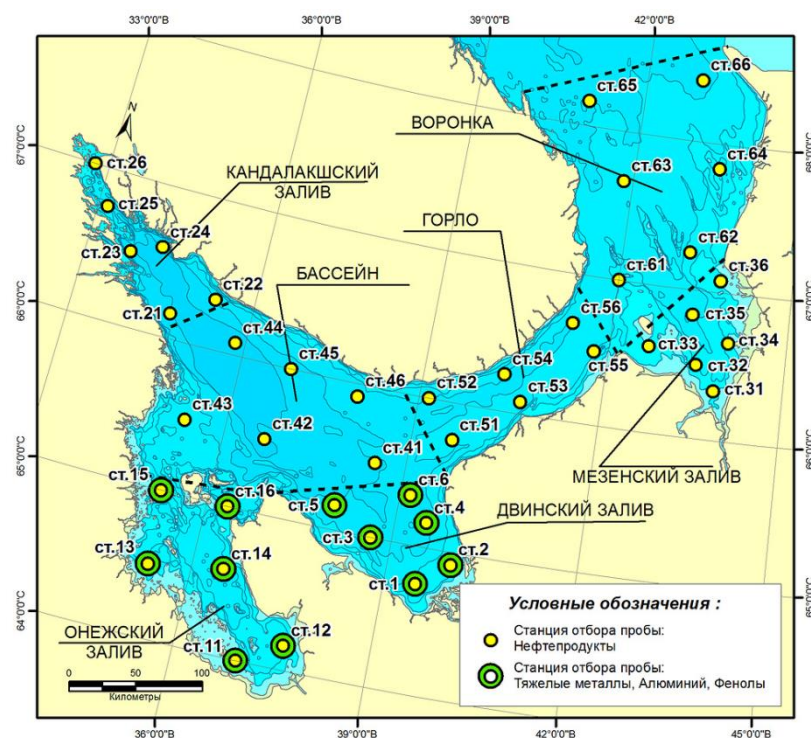


Рисунок 3. Карта-схема расположения комплексных станций в Белом море.

Таблица 2. Координаты мониторинговых станций в Белом море

Наименование района	№№ станций	Координаты	
		широта	долгота

Двинский залив	1	64° 45'	39° 30'
	2	64° 55'	40° 00'
	3	65° 00'	38° 40'
	4	65° 10'	39° 30'
	5	65° 10'	38° 00'
	6	65° 20'	39° 10'
Онежский залив	11	64° 00'	37° 00'
	12	64° 10'	37° 40'
	13	64° 30'	35° 20'
	14	64° 35'	36° 30'
	15	65° 00'	35° 15'
	16	65° 00'	36° 20'
Кандалакшский залив	21	66° 10'	34° 40'
	22	66° 20'	35° 20'
	23	66° 30'	33° 45'
	24	66° 35'	34° 15'
	25	66° 45'	33° 10'
	26	67° 00'	32° 45'
Мезенский залив	31	66° 20'	43° 50'
	32	66° 30'	43° 30'
	33	66° 35'	42° 40'
	34	66° 40'	44° 00'
	35	66° 50'	43° 20'
	36	67° 05'	43° 45'
Бассейн	41	65° 30'	38° 30'
	42	65° 30'	36° 40'
	43	65° 30'	35° 20'
	44	66° 05'	35° 50'
	45	66° 00'	36° 50'
	46	65° 55'	38° 00'
Горло	51	65° 45'	39° 40'
	52	66° 00'	39° 10'
	53	66° 05'	40° 40'
	54	66° 15'	40° 20'
	55	66° 30'	41° 45'
	56	66° 40'	41° 20'
Воронка	61	67° 00'	42° 00'
	62	67° 15'	43° 10'
	63	67° 40'	41° 50'
	64	67° 50'	43° 30'

	65	68° 10'	41° 00'
	66	68° 25'	43° 00'

Гидрохимические наблюдения включали в себя отбор проб на нефтяные углеводороды, фенолы (только в Двинском и Онежском заливах), алюминий (только в Двинском и Онежском заливах) тяжелые металлы (только в Двинском и Онежском заливах) и бенз(а)пирен (только в Двинском и Онежском заливах). Отбор проб воды для гидрохимических анализов производился с поверхностного и придонного горизонтов пластмассовым 5-ти литровым батометром типа «*Gydrobios*» с поверхностного и придонного горизонтов (ГОСТ 17.1.5.05-85).

В программу контроля качества морской воды согласно нормативам, ГОСТ 17.1.3.08 входит определение содержания таких тяжелых металлов, как ртуть, свинец, кадмий и медь (ГОСТ 17.1.3.08-82). Предельно допустимые концентрации этих металлов для морских рыбохозяйственных водоемов составляют: свинец 10 мкг/дм³, ртуть 0,1 мкг/дм³, кадмий 5 мкг/л, медь 5 мкг/л. (Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения»).

Отбор проб донных отложений выполнялся в Кандалакшском, Онежском и Двинском заливах (рис. 4) с помощью дночерпателя Ван-Вина с площадью захвата 0,1 м². Для определения содержания нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена пробы помещались в специально подготовленные стеклянные бутылки с завинчивающимися крышками. Для определения содержания металлов отбиралась только центральная часть проб, которые не контактировали со стенками пробоотборника. Отобранные пробы тщательно перемешивались фарфоровой ложкой, освобождались от

макровключений (камней, ракушек, водорослей и пр.) и помещались в подготовленные полипропиленовые пробирки с завинчивающейся крышкой.

После доставки в судовую лабораторию пробы незамедлительно помещались в морозильную камеру и до проведения анализа хранились при температуре – 18 °С (ГОСТ 17.1.5.01-80).

Для определения массовой концентрации нефтяных углеводородов в пробах природных вод применялся флуориметрический метод, согласно (ПНД Ф 14.1: 2:4.128-98) (М01-05-2012).

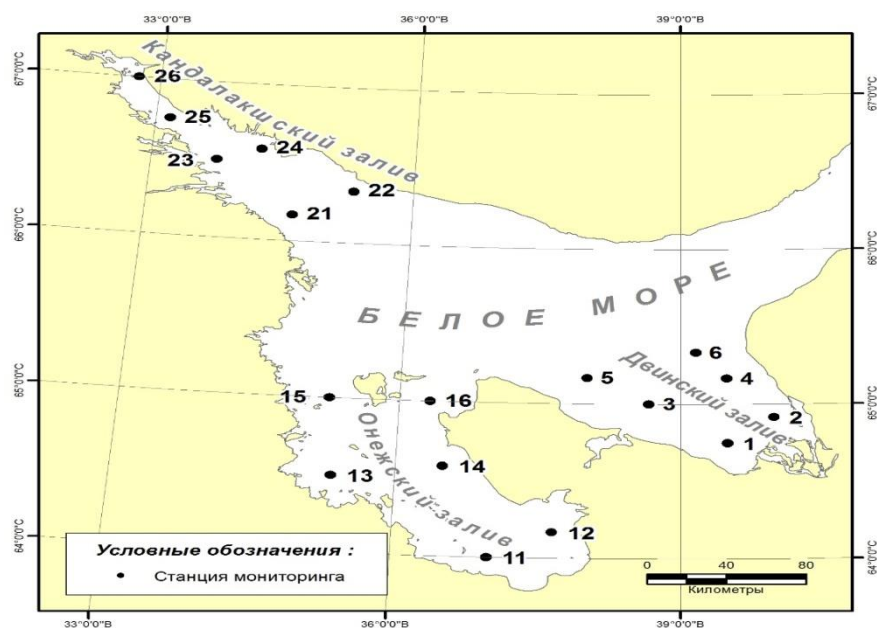


Рисунок 4. Станции отбора проб донных отложений в Белом море.

При определении массовой концентрации фенолов в пробах природных вод применялся флуориметрический метод, согласно (ПНД Ф 14.1: 2:4.182-02).

Для определения массовой концентрации алюминия в пробах природных вод также был использован флуориметрический метод, основанный на взаимодействии ионов алюминия с люмогаллионом в среде ацетатного буфера (рН 4,8-4,9) с образованием флуоресцирующего комплекса в присутствии маскирующего агента – аскорбиновой кислоты с

последующим измерением на анализаторе «Флюорат – 02» (ПНД Ф 14.1:2:4.181-02).

При определении массовой концентрации бенз(а)пирена в пробах природных вод применялся метод высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуоресцентным детектированием с использованием жидкостного хроматографа «Люмахром». Метод основан на экстракции бенз(а)пирена из проб воды гексаном или хлористым метиленом, концентрировании экстракта, при необходимости очистке его методом колончатой хроматографии, и определении бенз(а)пирена методом ВЭЖХ с использованием флуориметрического детектирования. (ПНД Ф 14.1:2:4.186-02).

Для определения массовой концентрации токсичных металлов в пробах природных вод использовался атомно-абсорбционный метод, согласно (ФР.1.31.2007.03683).

При определении массовой концентрации нефтяных углеводородов в донных отложениях применялся флуориметрический метод, согласно (ПНД Ф 16.1: 2.21-98).

Для определения массовой концентрации бенз(а)пирена в пробах донных отложений применялся метод высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуоресцентным детектированием с использованием жидкостного хроматографа «Люмахром». Метод заключается в экстрагировании хлористым метиленом бенз(а)пирена из проб донных отложений, концентрировании экстракта и его очистке методом колоночной хроматографии с последующим количественным определением бенз(а)пирена (ПНД Ф 16.1: 2:2:2: 2:3:3.39-2003).

Определение валовой массовой концентрации токсичных металлов в пробах почв проводилось с использованием атомно-абсорбционного метода. Он заключается в обработке измельченной сухой пробы почвы соответствующими реагентами и последующим атомно-абсорбционным

определением металлов в пламени пропан-воздух или ацетилен-воздух (ФР.1.31.2007.04106).

Математическую обработку экспериментальных данных осуществляли согласно следующему общему алгоритму:

- расчет статистических характеристик показателя концентрации нефтяных углеводородов в заливе;
- определение корреляции между концентрацией нефтяных углеводородов в поверхностном и придонном слоях залива;
- расчет критерия Фишера;
- регрессионный анализ зависимости концентрации нефтяных углеводородов в поверхностном и придонном слоях залива;
- исключение аномальных данных во временных рядах (на основании расчета критерия Ирвина);
- сглаживание кривых средней концентрации нефтяных углеводородов в заливе, подбор аппроксимирующей функции, расчет критерия аппроксимации.

Все вычисления выполнены в компьютерной программе МО Excel 2007 с помощью встроенных функций и пакета «Анализ данных» для каждого залива по годам и сезонам, для поверхностного и донного слоев. Результаты математической обработки были проанализированы отдельно по каждому заливу.

Одной из задач исследования явилось изучение воздействия НУ на организмы макрозообентоса, которые не только участвуют в формировании донных сообществ, но и служат пищей для донных рыб. Это определяет важность и актуальность проводимых исследований, как в научном, так и практическом аспектах.

Материалом для работы являлись собранные в летний сезон 2016 г. на 17-ти станциях пробы ДО для анализа содержания в них НУ и оценки состояния зообентоса (рис. 5). На месте осуществлялась классификация грунтов по содержанию в них мелкой фракции и по крупности частиц (ГОСТ

25100-2011). Поскольку от этого условия, а также от глубины отбора, солености и температуры, скорости течения, как правило, зависит качественный и количественный состав бентоса.

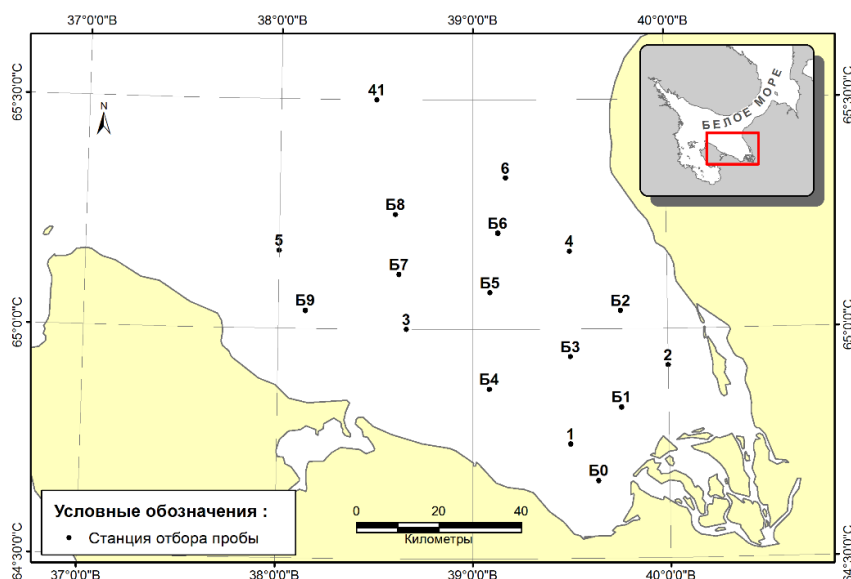


Рисунок 5. Станции отбора проб в Двинском заливе Белого моря в 2016 г.

Гидробиологические пробы отбирались с помощью дночерпателя Ван-Вина в трехкратной повторности на каждой станции. Площадь раскрытия дночерпателя - 0,1 м². Промывка отобранного грунта проводилась на палубе судна через сито с размером ячеей 1 мм. Пробы зообентоса фиксировались 4%-м раствором формальдегида в морской воде. Количественный анализ организмов, а также качественный таксономический определялся в соответствии со стандартной методикой в ходе камеральной обработки проб в лаборатории (Цыбань, 1980). Пробы отмывались от формалина, просматривались при помощи бинокля Leica MZ95, выявленные организмы определялись до вида с использованием соответствующих определителей (Гаевская, 1948; Наумов, 2006; Гостиловская, 1978; Марфенин, 2006; Цетлин, Жадан, Марфенин, 2010; Жирков, 2001; WoRMS World Register of Marine Species). Взвешивание каждой группы организмов проводилось на электронных весах «KERN EW» с точностью до 0,001 г. Далее оценивались количественные показатели развития зообентоса, а именно численность в экз./м² и биомасса в г/м².

Для определения содержания НУ в донных отложениях пробы грунта помещались в специально подготовленные стеклянные бутылки с завинчивающимися крышками. После доставки в судовую лабораторию пробы незамедлительно помещались в морозильную камеру, где до дальнейшего проведения анализа хранились при температуре – 18 °С (ГОСТ 17.1.5.01-80). По завершению экспедиционных работ пробы доставлялись в лабораторию Северного филиала ФГБНУ «ПИНРО» (г. Архангельск) для проведения дальнейшей пробоподготовки и последующего анализа. Для определения массовой концентрации нефтепродуктов в донных отложениях применялся флуориметрический метод, согласно (ПНД Ф 16.1: 2.21-9)

ГЛАВА 4. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И СЕЗОННО-ГODOVЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ В ВОДАХ БЕЛОГО МОРЯ

4.1 Нефтеуглеводороды

В морские и речные воды значительная часть нефтепродуктов попадают со сточными водами различных промышленных предприятий, таких как нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих. Также необходимо отметить, что большой вклад в загрязнение нефтепродуктами носит сточные воды хозяйственно-бытовых предприятий и транспортировки нефти водным путем. В результате протекающих в водных объектах процессов испарения, сорбции, биохимического и химического окисления концентрация нефтепродуктов в воде может существенно снижаться, при этом значительным изменениям может подвергаться и их химический состав. Скорость этих процессов зависит от состава нефтепродуктов, температурного режима водного объекта, а также интенсивности развития утилизирующих их микроорганизмов.

Нефтепродукты могут находиться в природных водах в различных миграционных формах: минеральной, эмульгированной, сорбированной на твердых частицах взвешенных веществ и донных отложений, и в виде пленки на поверхности воды. Количественное соотношение этих форм определяется комплексом факторов, важнейшими из которых являются условия поступления нефтепродуктов в водные объекты, расстояния от мест сброса, скорость течения и перемешивания водных масс, характер и степень загрязнённости природных вод, а также состав нефтепродуктов, их вязкость, растворимость, плотность и температура кипения компонентов. Три последних фактора является причиной того, что фракционирование нефтепродуктов сопровождается заметными изменением их химического состава в различных формах миграции. Предельно допустимая концентрация

нефтепродуктов в рыбохозяйственном водном объекте составляет 0,05 мг/дм³. Нефтепродукты могут находиться в природных водах в различных миграционных формах: растворенной, эмульгированной, сорбированной на твердых частицах взвешенных веществ и донных отложений, и в виде пленки на поверхности воды. Количественное соотношение этих форм определяется комплексом факторов, важнейшими из которых являются условия поступления нефтепродуктов в водные объекты, расстояния от мест сброса, скорость течения и перемешивания водных масс, характер и степень загрязнённости природных вод, а также состав нефтепродуктов, их вязкость, растворимость, плотность и температура кипения компонентов. Три последних фактора является причиной того, что фракционирование нефтепродуктов сопровождается заметными изменением их химического состава в различных формах миграции. Предельно допустимая концентрация нефтепродуктов в рыбохозяйственном водном объекте составляет 0,05 мг/дм³ (Приказ Минобразования РФ от 13 декабря 2016 г № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». [online] Доступно по ссылке: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot-13.12.2016-N-552> [Дата обращения 25.04.2020].)

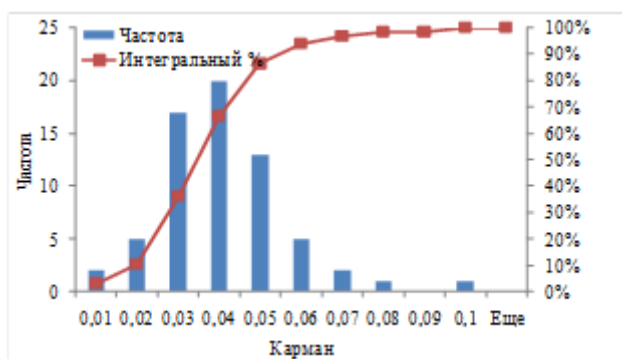
4.1.1. Двинский залив

По результатам многолетних наблюдений на акватории Двинского залива установлено, что наибольшая среднегодовая концентрация нефтяных углеводородов характерна для весеннего периода (как в поверхностном, так и в придонном слоях, 0,037 и 0,035 мг/дм³ соответственно), наименьшая – в летний период. Высокие значения эксцесса, асимметричности и интервала концентраций характерны для осеннего периода, что указывает на статистическую неоднородность выборки (табл. 3).

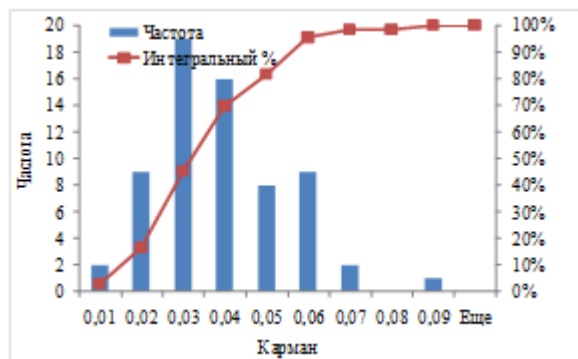
Таблица 3. Результаты вероятностно-статистического анализа данных по содержанию НУ в водах Двинского залива с 2001-2016 гг.

Показатели	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно
Число измерений	66	66	54	54	70	70
Среднее	0,037	0,030	0,032	0,022	0,034	0,034
Стандартная ошибка	0,0019	0,0019	0,0036	0,0022	0,0025	0,0026
Медиана	0,036	0,03245	0,024	0,017	0,0275	0,028
Мода	0,040	0,036	0,016	0,014	0,027	0,015
Стандартное отклонение	0,016	0,015	0,027	0,016	0,024	0,024
Дисперсия выборки	0,00024	0,00023	0,00071	0,00025	0,0005	0,0005
Экссесс	2,55565	0,52066	3,25856	1,97012	9,8615	3,2239
Асимметричность	0,98122	0,60067	1,80539	1,4929	2,8032	1,8574
Интервал	0,091	0,076	0,127	0,07	0,15	0,109
Минимум	0,005	0,0067	0,003	0,003	0,005	0,006
Максимум	0,096	0,083	0,13	0,073	0,155	0,115
Уровень надежности (95,0%)	0,0038	0,0038	0,0073	0,0043	0,0051	0,00

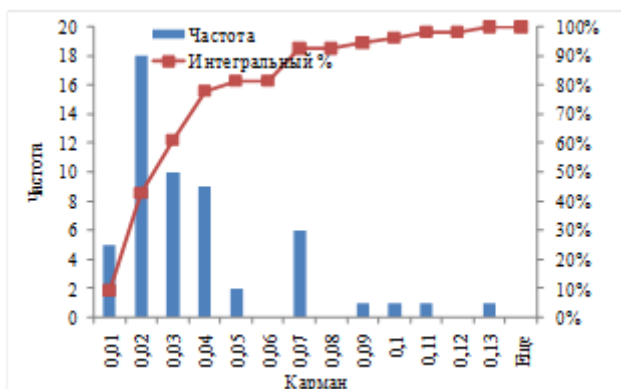
Согласно гистограммам распределения (рис 6.) частоты встречаемости концентрации углеводородов по сезонам года группируются около различных максимальных значений: весной – 0,03-0,04 мг/дм³, летом – 0,02 мг/дм³, осенью – 0,02-0,04 мг/дм³ (Климовский, 2020).



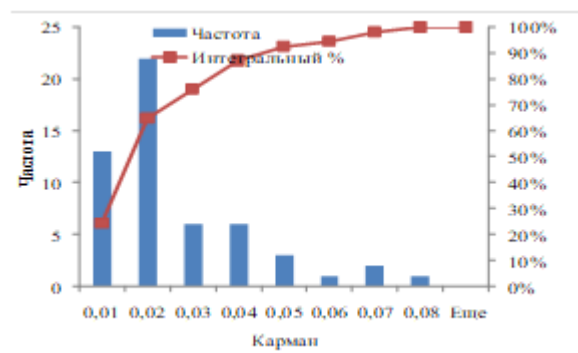
а) вес на, поверхность



б) весна, дно

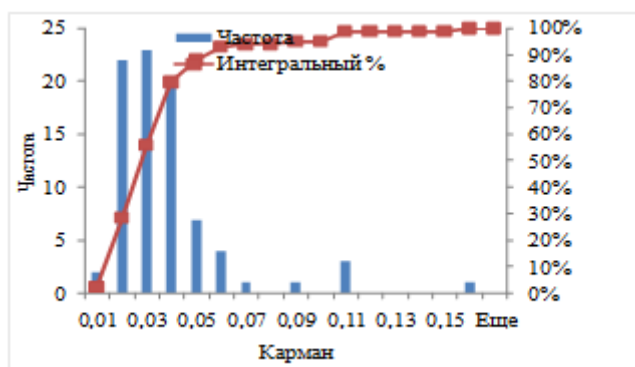


в) лето, поверхность

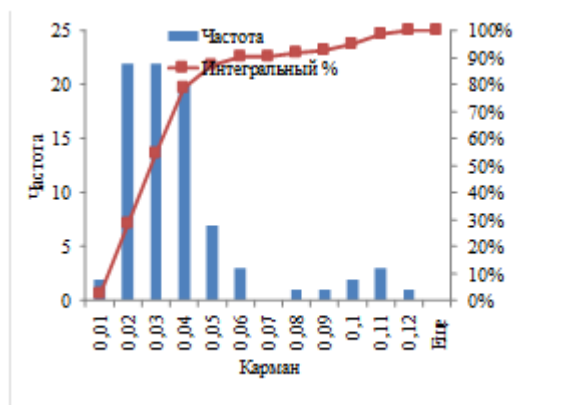


г) лето, дно

д) о



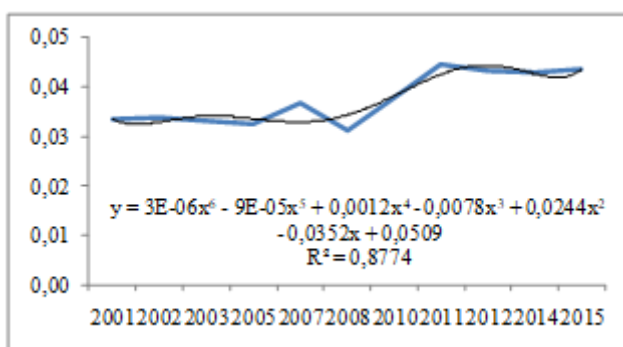
сень, поверхность



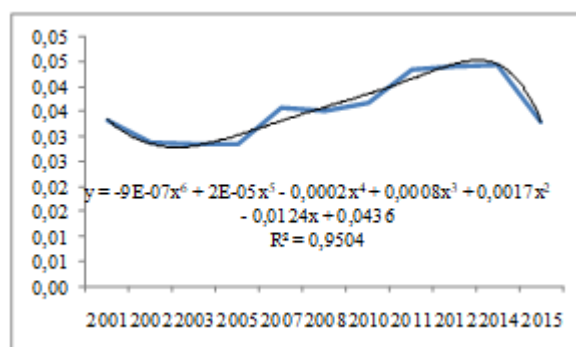
е) осень, дно

Рисунок 6. Гистограммы распределения концентрации нефтяных углеводородов в Двинском заливе

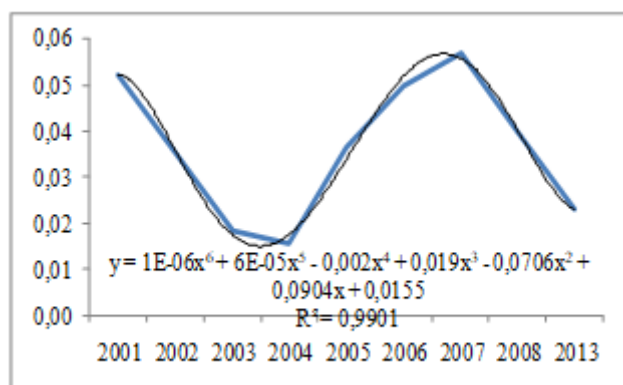
Расчет коэффициента корреляции показал сильную связь между концентрацией нефтяных углеводородов в поверхностном и придонном слоях в осенний период (0,92446) и слабую – летом (0,3425). Динамика среднегодовых концентраций нефтяных углеводородов в заливе по сезонам года, водным слоям (поверхностный, придонный) описывается полиномами 6-й степени с высокими значениями коэффициентов аппроксимации, кроме осеннего сезона ($R^2=0,5477$, 0,5482), для которого характерны значительные колебания рассматриваемого показателя по годам (рис. 7).



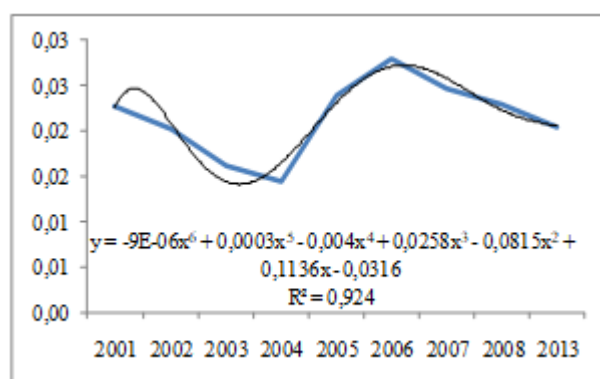
а) весна, поверхность



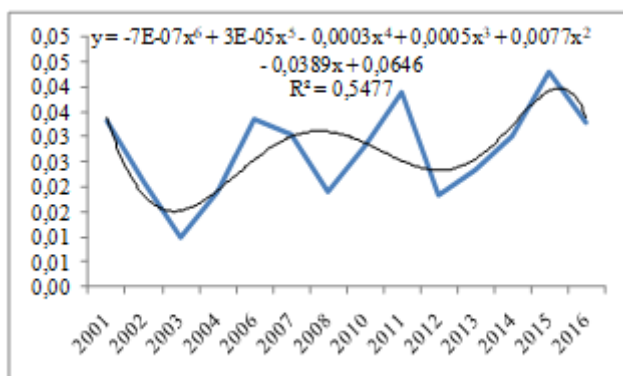
б) весна, дно



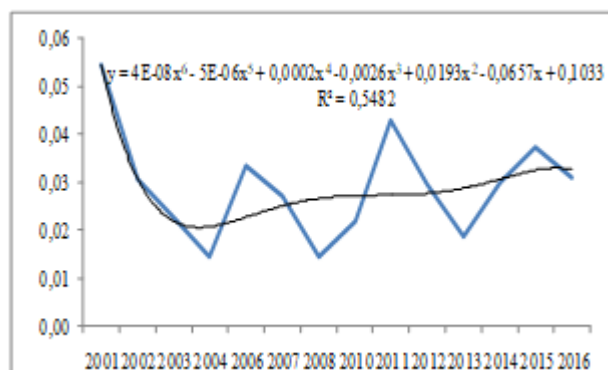
в) лето, поверхность



г) лето, дно



д) осень, поверхность



е) осень, дно

Рисунок 7. Сглаживание кривой средней концентрации нефтяных углеводородов в Двинском заливе

Расчетные параметры регрессионного анализа сезонных изменений концентрации нефтеуглеводородов в водах Двинского залива представлены в таблице 4, расчетные значения критерия Фишера при сравнении поверхностных и придонных слоев воды – в таблице 5.

Таблица 4. Регрессионный анализ концентрации нефтяных углеводородов в
Двинском заливе

Расчетные параметры	Сезоны года		
	Весна	Лето	Осень
Значение коэффициента b	0,869734	0,180092	0,908765
Среднеквадратическое отклонение b	0,237265	0,18672	0,108196
Коэффициент детерминации R^2	0,598879	0,117306	0,854629
F-статистика	13,4371	0,930265	70,54735
Регрессионная сумма квадратов	0,000676	0,0000725	0,004824
Значение коэффициента a	0,002512	0,016385	0,003751
Среднеквадратическое отклонение a	0,009003	0,006719	0,004276
Среднеквадратическое отклонение y	0,007091	0,008828	0,008269
Число степеней свободы	9	7	12
Остаточная сумма квадратов	0,000453	0,000545	0,000821

Таблица 5. Расчетные значения критерия Фишера

Параметры	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно
F	1,23851	0,6105	1,330207	0,95097	1,7164724	1,66989
F _{критич}	1,804482	0,5541	1,929213	0,51834	1,681644	1,68164

Пространственное изменение концентрации нефтяных углеводородов в Двинском заливе, как в поверхностных, так и в придонных слоях в различные сезоны с 2001-2016 гг. имеет ряд общих тенденций. В период весеннего половодья и осенней межени наблюдается тенденция постепенного увеличения концентрации нефтяных углеводородов воде. Минимум содержания нефтяных углеводородов приходится на период летней межени, когда процессы самоочищения морской среды получают наибольшее развитие (сочетание высокого прогрева поверхностных вод с периодом «белых ночей»). В осенний период концентрация увеличивается при достаточно активном техногенном поступлении нефтепродуктов (интенсивности морского судоходства) в морскую среду на фоне ослабления процессов самоочищения. В придонных слоях Двинского залива наименьшие

значения средних концентраций в безледоставный период наблюдаются весной и летом. Это можно объяснить сезонной спецификой гидрологических процессов в Двинском заливе. Весной перемешивание поверхностных слоев и слоев ниже горизонта 10 м практически не происходит из-за наличия устойчивой термохалинной стратификации вод, и нефтепродукты, поступившие в поверхностные воды залива, не успевают проникнуть в глубоководные воды залива. В летние месяцы стратификация водных слоев ослабевает, но усиливаются процессы самоочищения морских вод. В осенний период концентрация увеличивается при достаточно активном техногенном поступлении нефтепродуктов в морскую среду на фоне ослабления процессов самоочищения и увеличения перемешивания морских вод по вертикали (Лебедев, 2007).

4.1.2 . Онежский залив

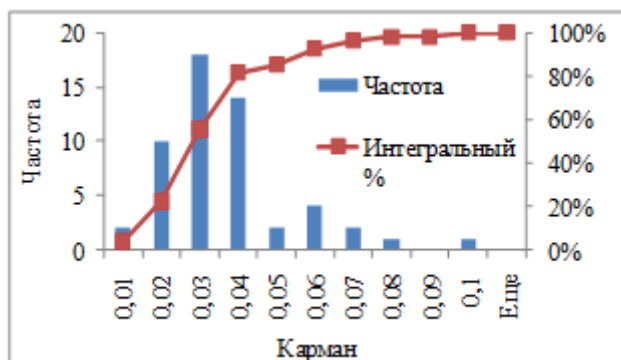
По результатам многолетних наблюдений установлено, что для Онежского залива наибольшая среднегодовая концентрация нефтяных углеводородов характерна уже для осеннего периода (как в поверхностном, так и в донном слоях – 0,042 и 0,032 мг/дм³ соответственно), наименьшая – летом. Высокие значения эксцесса, асимметричности и интервала концентраций характерны для осеннего периода, что указывает на статистическую неоднородность выборки (табл. 6).

Таблица 6. Результаты вероятностно-статистического анализа по содержанию НУ в водах Онежского залива с 2001-2016 гг.

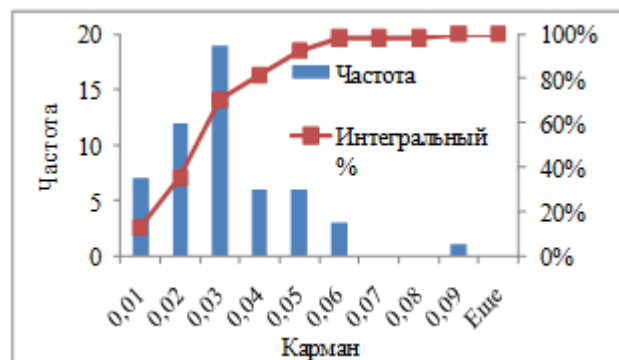
Показатели	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно
Число измерений	54	54	54	54	78	78
Среднее	0,032	0,027	0,023	0,023	0,042	0,032

Стандартная ошибка	0,002316	0,00211	0,00177	0,00203	0,00314	0,00157
Медиана	0,029	0,026	0,017	0,021	0,036	0,029
Мода	0,018	0,012	0,017	0,013	0,03	0,034
Стандарт. отклонение	0,017	0,016	0,013	0,015	0,028	0,014
Дисперсия выборки	0,00029	0,00024	0,00017	0,00022	0,00077	0,00019
Экссесс	2,769116	2,04732	- 0,54396	- 0,15974	8,16092	0,24957
Асимметричность	1,402852	1,09272	0,69297	0,84947	2,76105	0,88553
Интервал	0,089	0,079	0,053	0,053	0,144	0,061
Минимум	0,006	0,005	0,001	0,004	0,014	0,01
Максимум	0,095	0,084	0,054	0,057	0,158	0,071
Уровень надежности (95,0%)	0,004645	0,00424	0,00356	0,00407	0,00625	0,00313

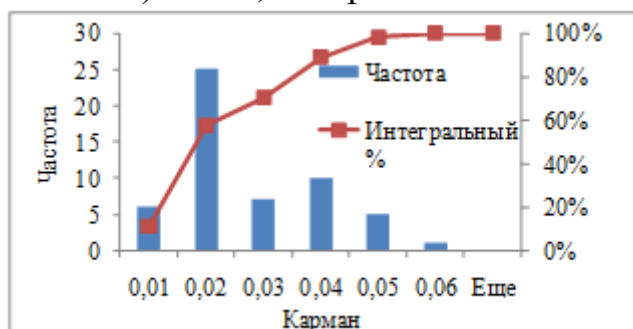
Согласно гистограммам распределения (рис. 8) частоты встречаемости концентрации углеводородов по сезонам года группируются около одних и тех же значений – 0,02-0,04 мг/дм³ (весной, летом, осенью).



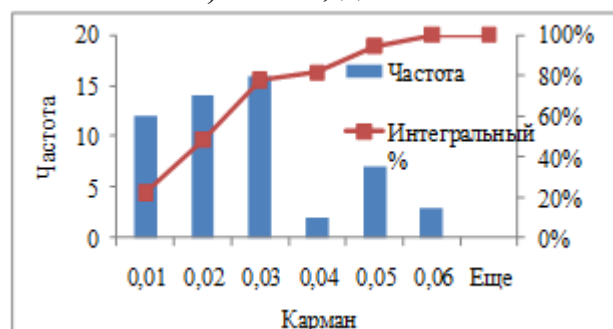
а) весна, поверхность



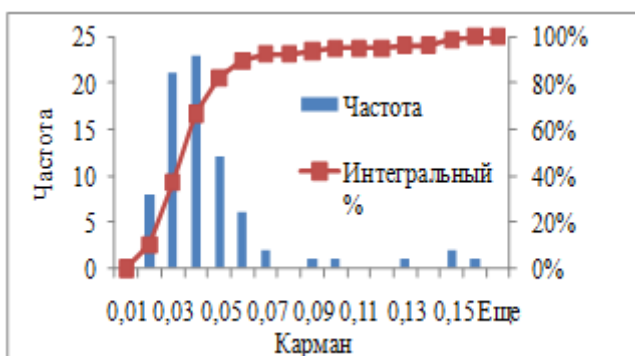
б) весна, дно



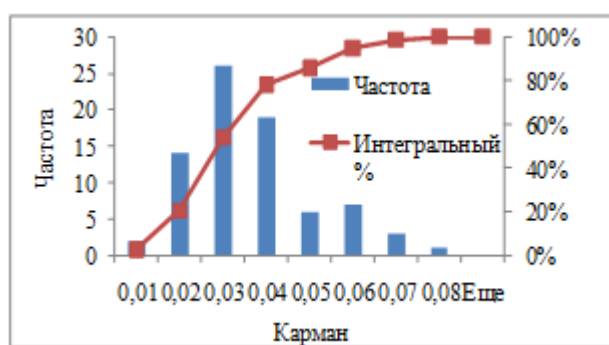
в) лето, поверхность



г) лето, дно



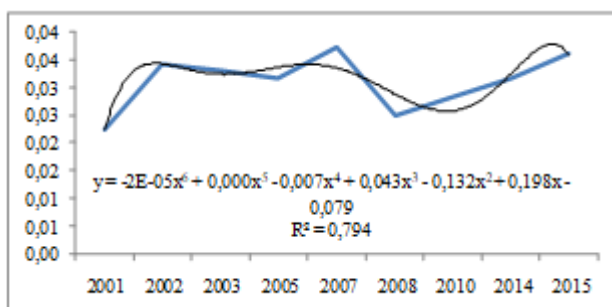
д) **осень, поверхность**



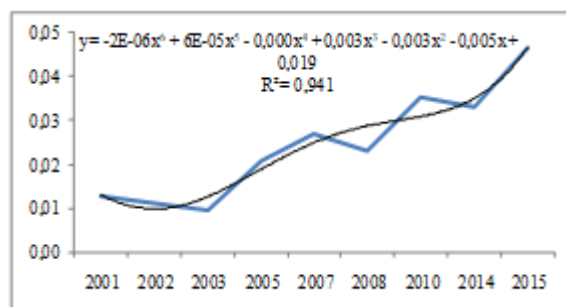
е) **осень, дно**

Рисунок 8. Гистограммы распределения концентрации нефтяных углеводородов в Онежском заливе

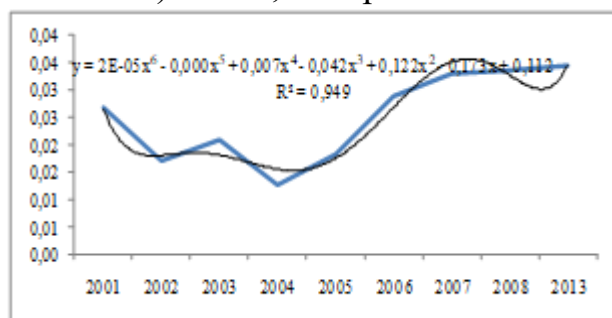
Расчет коэффициента корреляции показал сильную связь между концентрацией нефтяных углеводородов в поверхностном и придонном слоях весной (0,898569) и слабую – летом (0,218456). Динамика среднегодовых концентраций нефтяных углеводородов в заливе по сезонам года, водным слоям (поверхностный, придонный) описывается полиномами 6-й степени с высокими значениями коэффициентов аппроксимации, кроме осеннего сезона (придонный слой, $R^2=0,682$), для которого характерны значительные колебания рассматриваемого показателя по годам (рис. 8).



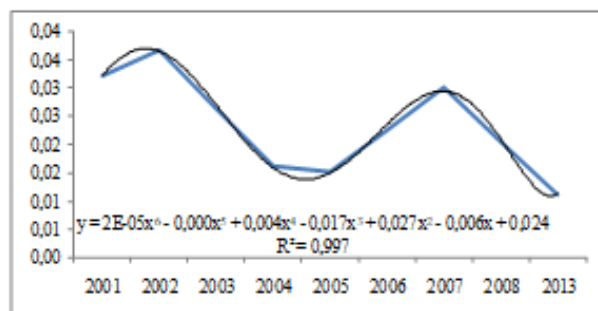
а) **весна, поверхность**



б) **весна, дно**



в) **лето, поверхность**



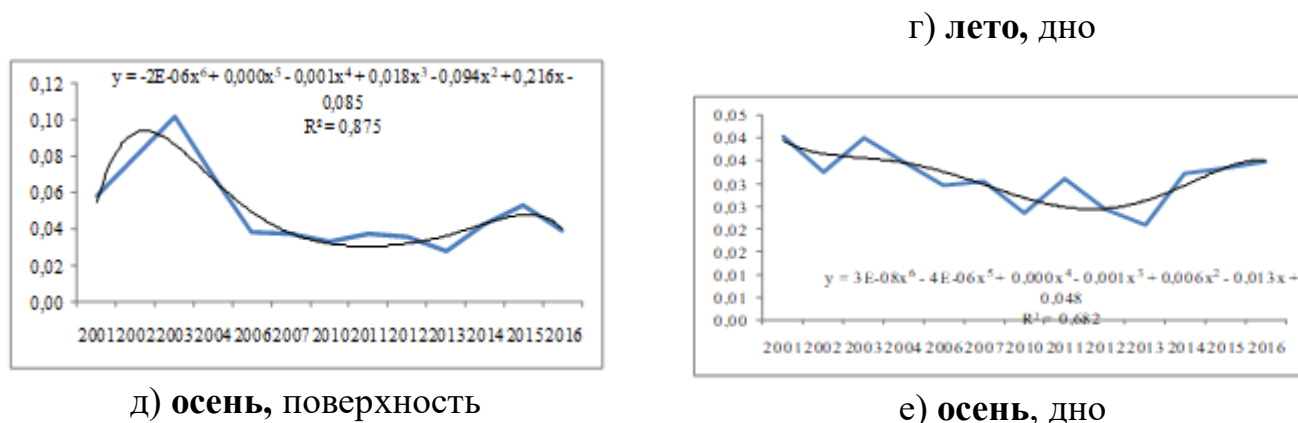


Рисунок 9. Сглаживание кривой средней концентрации нефтяных углеводородов в Онежском заливе.

Расчетные параметры регрессионного анализа сезонных изменений концентрации нефтеуглеводородов в водах Онежского залива представлены в таблице 7, расчетные значения критерия Фишера при сравнении поверхностных и придонных слоев воды – в таблице 8.

Таблица 7. Регрессионный анализ концентрации нефтяных углеводородов в Онежском заливе

Параметры	Сезоны года		
	Весна	Лето	Осень
Значение коэффициента b	0,881107	0,286174	0,315737
Среднеквадратическое отклонение b	0,16264	0,483169	0,129113
Коэффициент детерминации R^2	0,807426	0,047723	0,352184
F-статистика	29,34959	0,350803	5,980142
Регрессионная сумма квадратов	0,000956	0,0000416	0,000487
Значение коэффициента a	-0,00115	0,016574	0,018377
Среднеквадратическое отклонение a	0,005598	0,011708	0,00599
Среднеквадратическое отклонение y	0,005707	0,010891	0,009029
Число степеней свободы	7	7	11
Остаточная сумма квадратов	0,000228	0,00083	0,000897

Таблица 8. Расчетные значения критерия Фишера

Параметры	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверхност	дно	поверхност	дно	поверхност	дно

	ь		ь		ь	
F	1,452059	1,5648 0	0,741466	0,8817 4	1,547761	0,9841 8
F _{критич}	1,929213	1,9292	0,518346	0,5183 4	1,716687	0,5825 1

Пространственное изменение концентрации нефтяных углеводородов в Онежском заливе, как в поверхностных, так и в придонных слоях в различные сезоны с 2001-2016 гг. имеет ряд общих тенденций. В период весеннего половодья и осенней межени наблюдается тенденция постепенного увеличения концентрации нефтяных углеводородов воде. В период летней межени наблюдается противоположная тенденция – постепенное снижение концентрации нефтяных углеводородов по всему заливу. По-видимому, в этот период происходит биохимическая продукция.

4.1.3. Кандалакшский залив

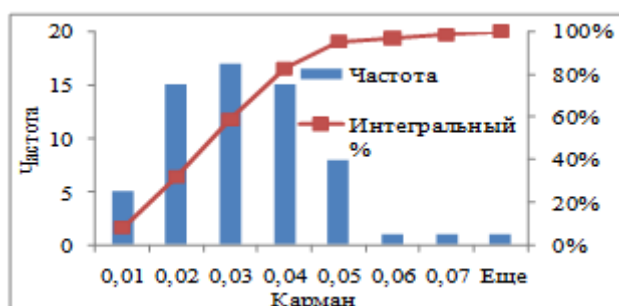
По результатам многолетних наблюдений установлено, что наибольшая среднегодовая концентрация нефтяных углеводородов в Кандалакшском заливе характерна для осеннего периода (как в поверхностном, так и в придонном слоях, составляя 0,047 и 0,037 мг/дм³ соответственно), наименьшая – весной. Высокие значения эксцесса, асимметричности и интервала концентраций характерны для осеннего периода, что указывает на статистическую неоднородность выборки (табл. 9).

Таблица 9. Результаты вероятностно-статистического анализа по содержанию НУ в водах Кандалакшского залива с 2001-2016 гг.

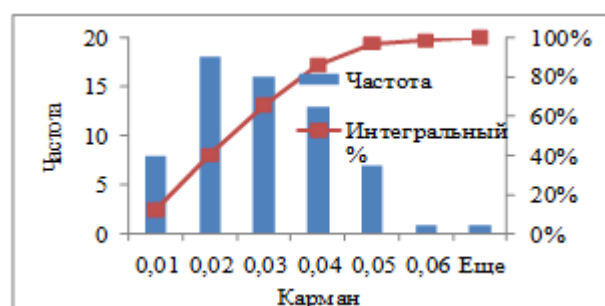
Показатели	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверх ность	дно	поверх ность	дно	поверх ность	дно
Число измерений	63	64	54	54	78	78
Среднее	0,027	0,026	0,031	0,025	0,047	0,037
Стандартная ошибка	0,0018	0,0017	0,0024	0,0020	0,0043	0,0026

Медиана	0,027	0,024	0,0275	0,024	0,035	0,034
Мода	0,010	0,017	0,026	0,011	0,027	0,035
Стандартное отклонение	0,015	0,014	0,017	0,015	0,038	0,023
Дисперсия выборки	0,00021	0,00019	0,00030	0,00022	0,0014	0,0005
Эксцесс	1,89647	0,91112	1,27765	3,42899	4,5793	3,6488
Асимметричность	1,03918	0,71550	1,13803	1,41166	2,1725	1,6679
Интервал	0,073	0,073	0,079	0,082	0,174	0,122
Минимум	0,008	0,001	0,004	0,001	0,011	0,01
Максимум	0,081	0,074	0,083	0,083	0,185	0,132
Уровень надежности (95,0%)	0,00365 4	0,00344 9	0,00472 3	0,00406 4	0,0085 63	0,0051 34

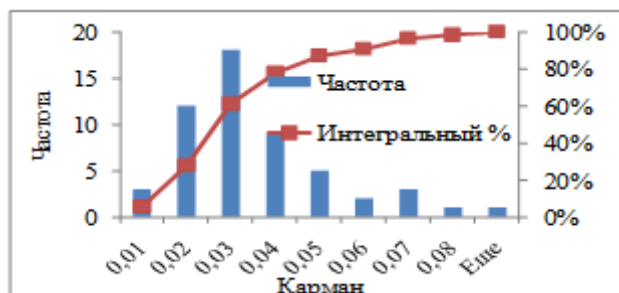
Согласно гистограммам распределения (рис. 10), частоты встречаемости концентрации углеводов по сезонам года группируются около одних и тех же значений – 0,02-0,03(0,04) мг мг/дм³ (весной, летом, осенью).



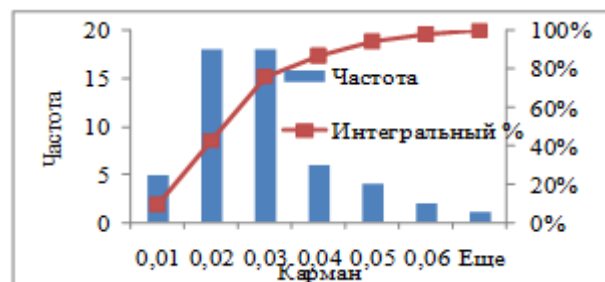
а) весна, поверхность



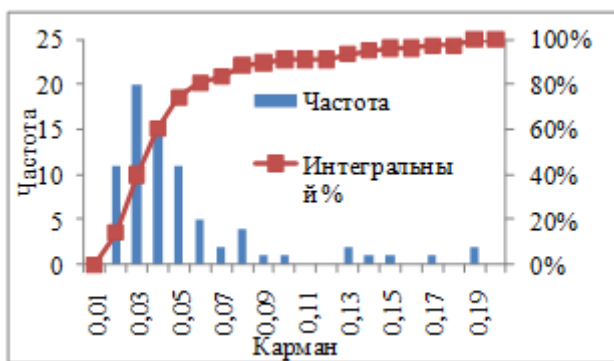
б) весна, дно



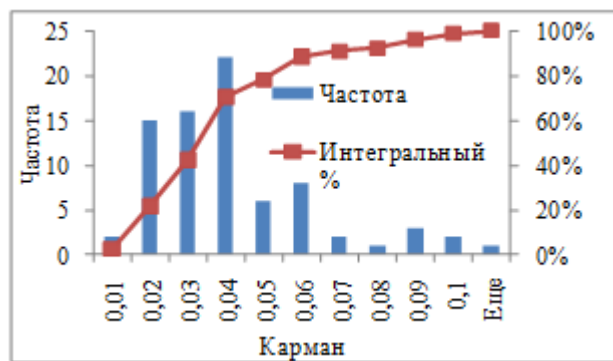
в) лето, поверхность



г) лето, дно



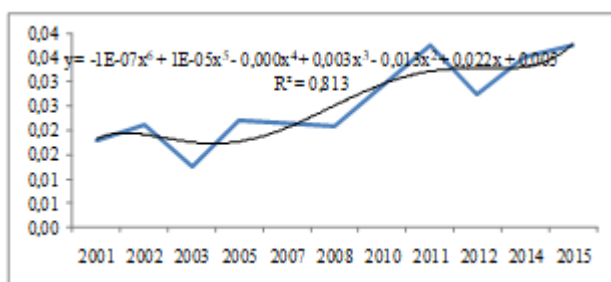
д) осень, поверхность



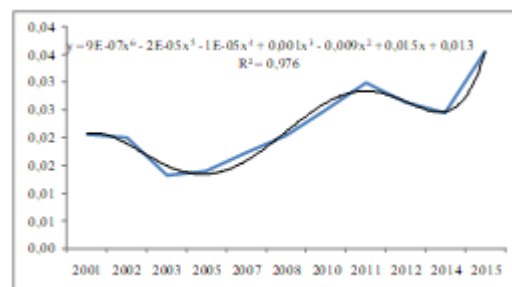
е) осень, дно

Рисунок 10. Гистограммы распределения концентрации нефтяных углеводородов в Кандалакшском заливе

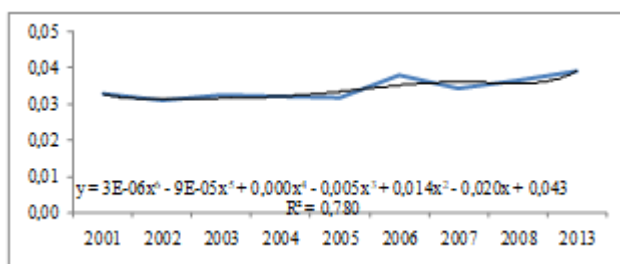
Расчет коэффициента корреляции показал сильную связь между концентрацией нефтяных углеводородов в поверхностном и придонном слоях весной (0,914653) и более слабую – летом и осенью (0,654387 и 0,600233). Динамика среднегодовых концентраций нефтяных углеводородов в заливе по сезонам года, водным слоям (поверхностный, придонный) описывается полиномами 6-й степени с высокими значениями коэффициентов аппроксимации, кроме осеннего сезона ($R^2=0,633$, $R^2=0,528$), для которого характерны значительные колебания рассматриваемого показателя по годам (рис. 11).



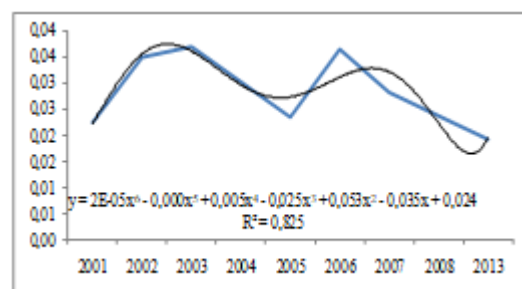
а) весна, поверхность



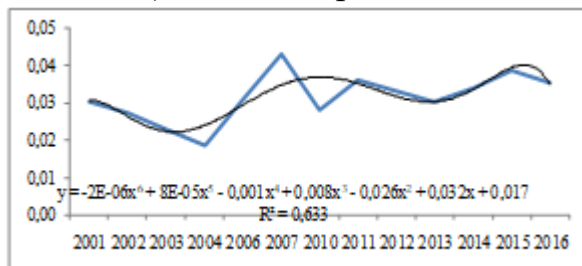
б) весна, дно



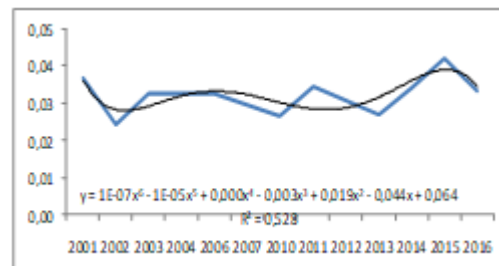
в) лето, поверхность



г) лето, дно



д) осень, поверхность



е) осень, дно

Рисунок 11. Сглаживание кривой средней концентрации нефтяных углеводородов в Кандалакшском заливе.

Расчетные параметры регрессионного анализа сезонных изменений концентрации нефтеуглеводородов в водах Кандалакшского залива представлены в таблице 10, расчетные значения критерия Фишера при сравнении поверхностных и придонных слоев воды – в таблице 11.

Таблица 10. Регрессионный анализ концентрации нефтяных углеводородов в Кандалакшском заливе

Параметры	Сезоны года		
	Весна	Лето	Осень
Значение коэффициента b	0,83263	0,9950308	0,3260855
Среднеквадратическое отклонение b	0,12266	0,4345763	0,1310118
Коэффициент детерминации R ²	0,83659	0,4282228	0,3602796
F-статистика	46,07647	5,2425306	6,19501
Регрессионная сумма квадратов	0,00074	0,0003725	0,0009596
Значение коэффициента a	0,00185	-0,005954	0,0220037
Среднеквадратическое отклонение a	0,00372	0,0137066	0,0070694
Среднеквадратическое отклонение y	0,00401	0,0084297	0,0124461
Число степеней свободы	9	7	11
Остаточная сумма квадратов	0,00014	0,0004974	0,001704

Таблица 11. Расчетные значения критерия Фишера

Параметры	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно
F	0,533178	1,02593	0,944497	1,88976	1,539154	0,91397
F _{критич}	0,546943	1,82213	0,518346	1,92921	1,716687	0,58251

4.1.4. Мезенский залив

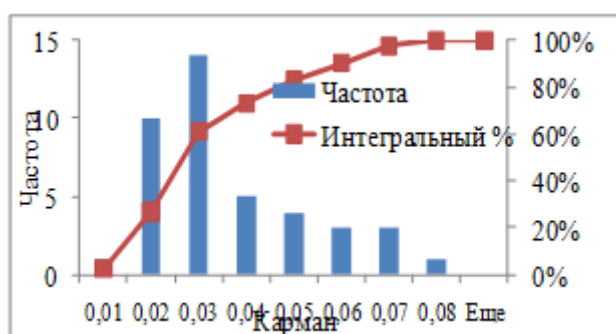
По результатам многолетних наблюдений установлено, что среднегодовая концентрация нефтяных углеводородов в Мезенском заливе практически одинакова для весеннего и осеннего периода (как в поверхностном, так и в придонном слоях) и несколько ниже летом. Высокие значения эксцесса, асимметричности и интервала концентраций характерны для осеннего периода, что указывает на статистическую неоднородность выборки (табл. 12).

Таблица 12. Результаты вероятностно-статистического анализа по содержанию НУ в водах Мезенского залива

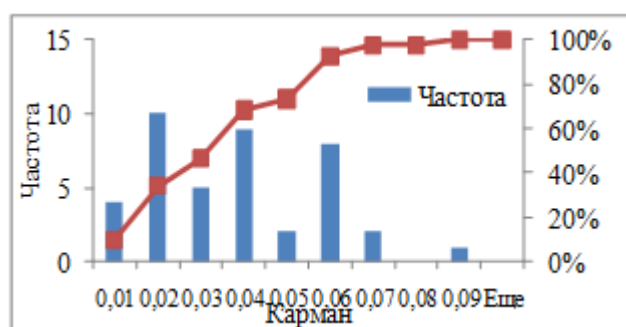
Показатели	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно
Число измерений	41	41	54	54	67	66
Среднее	0,033	0,033	0,031	0,025	0,032	0,029
Стандартная ошибка	0,0026	0,0031	0,0028	0,0023	0,0017	0,0015
Медиана	0,029	0,033	0,0245	0,0215	0,029	0,0275
Мода	0,029	0,039	0,019	0,018	0,027	0,035
Стандартное отклонение	0,017	0,020	0,020	0,017	0,014	0,012
Дисперсия выборки	0,00028	0,00040	0,00041	0,00028	0,0002	0,0001
Эксцесс	-	-				
	0,05648	0,27972	1,41824	2,47996	6,21504	0,4626
Асимметричность	0,75813	0,60403	1,36368	1,39529	1,6657	0,3590

	4					6
Интервал	0,069	0,082	0,089	0,08	0,09	0,063
Минимум	0,006	0,006	0,003	0,001	0,009	0,003
Максимум	0,075	0,088	0,092	0,081	0,099	0,066
Уровень надежности (95,0%)	0,00527	0,00633	0,00554	0,00453	0,00345	0,0029

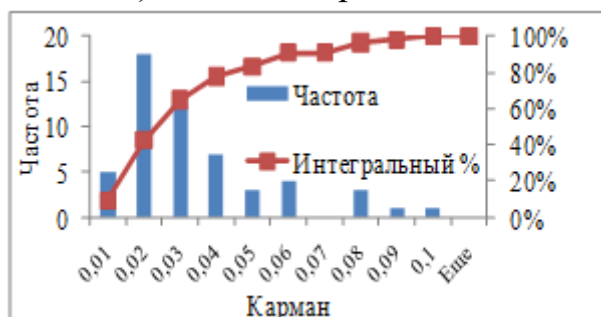
Согласно гистограммам распределения (рис. 12), частоты встречаемости концентрации углеводородов по сезонам года группируются в Мезенском заливе около одних и тех же значений – 0,02-0,04 мг/дм³ (весна, лето, осень).



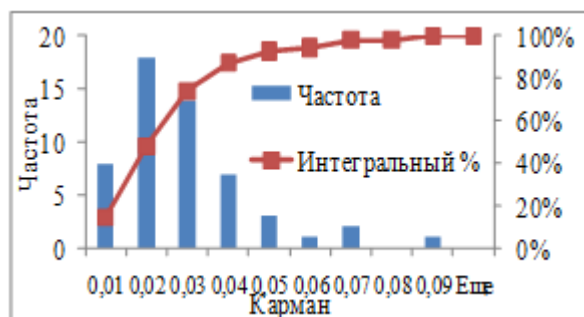
а) весна, поверхность



б) весна, дно



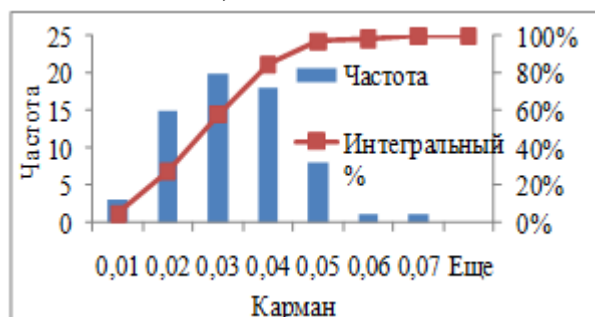
в) лето, поверхность



г) лето, дно



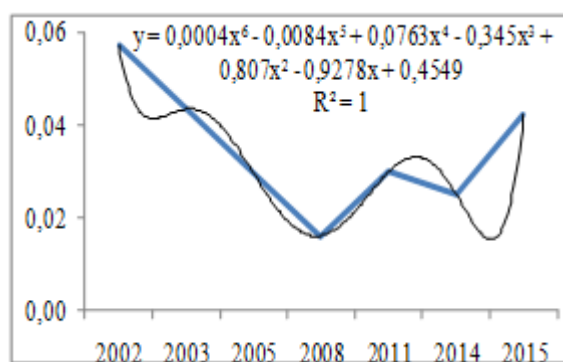
д) осень, поверхность



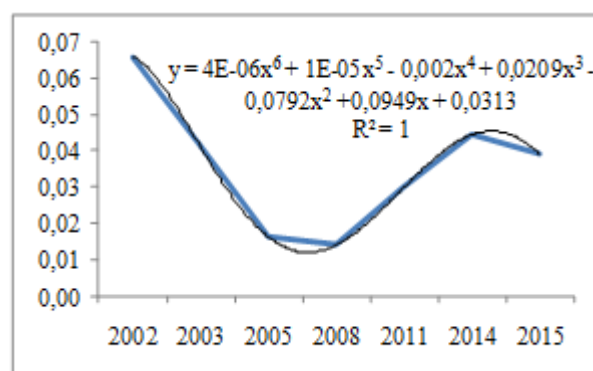
е) осень, дно

Рисунок 12. Гистограммы распределения концентрации нефтяных углеводородов в Мезенском заливе

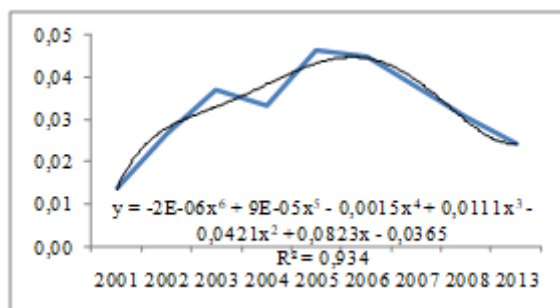
Расчет коэффициента корреляции показал сильную связь между концентрацией нефтяных углеводородов в поверхностном и придонном слоях по всем сезонам года (0,823903 – весной, 0,912196 – летом и 0,792858 – осенью). Динамика среднегодовых концентраций нефтяных углеводородов в заливе по сезонам года, водным слоям (поверхностный, придонный) описывается полиномами 6-й степени с высокими значениями коэффициентов аппроксимации весной и летом, более низкими – осенью ($R^2=0,8096$, $0,5934$) (рис. 13).



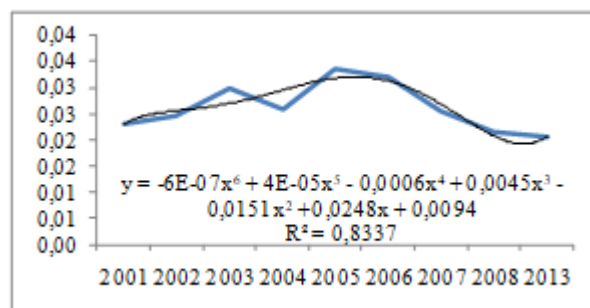
а) весна, поверхность



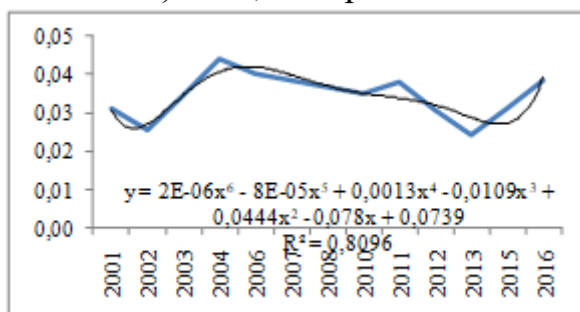
б) весна, дно



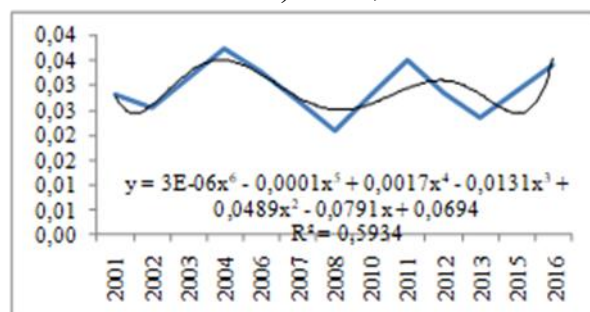
в) лето, поверхность



г) лето, дно



д) осень, поверхность



е) осень, дно

Рисунок 13. Сглаживание кривой средней концентрации нефтяных углеводородов в Мезенском заливе

Расчетные параметры регрессионного анализа сезонных изменений концентрации нефтеуглеводородов в водах Мезенского залива представлены в таблице 13, расчетные значения критерия Фишера при сравнении поверхностных и придонных слоев воды – в таблице 14.

Таблица 13. Регрессионный анализ концентрации нефтяных углеводородов в Мезенском заливе Белого моря

Параметры	Сезоны года		
	Весна	Лето	Осень
Значение коэффициента b	1,122041	0,609385	0,874357
Среднеквадратическое отклонение b	0,345163	0,103462	0,20263
Коэффициент детерминации R^2	0,678816	0,832101	0,628624
F-статистика	10,56741	34,69172	18,61956
Регрессионная сумма квадратов	0,001352	0,000763	0,000671
Значение коэффициента a	-0,00309	0,006207	0,001089
Среднеквадратическое отклонение a	0,012003	0,003554	0,006856
Среднеквадратическое отклонение y	0,011309	0,00469	0,006001
Число степеней свободы	5	7	11
Остаточная сумма квадратов	0,000639	0,000154	0,000396

Таблица 14. Расчетные значения критерия Фишера

Параметры	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно
F	2,552825	1,952189	1,888305	1,375416	1,624336	2,087212
F _{критич}	2,137009	2,137009	1,929213	1,929213	1,798904	1,804482

4.1.5. Горло Белого моря

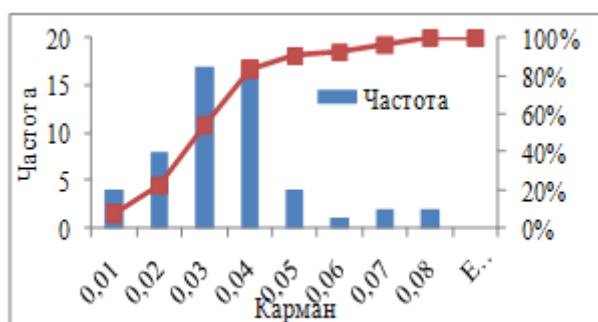
По результатам многолетних наблюдений установлено, что в Горле Белого моря среднегодовая концентрация нефтяных углеводородов

практически одинакова для весеннего и осеннего периодов (как в поверхностном, так и в придонном слоях) и несколько ниже летом. Высокие значения эксцесса, асимметричности и интервала концентраций характерны для осеннего периода, что указывает на статистическую неоднородность выборки (табл. 15).

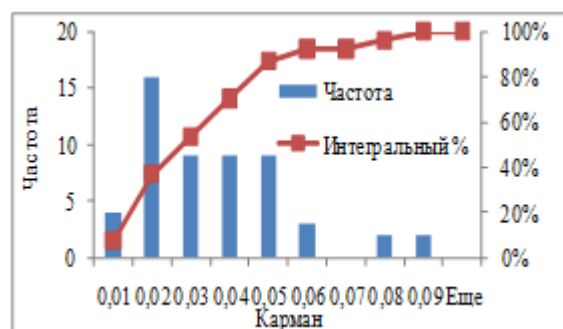
Таблица 15. Результаты вероятностно-статистического анализа по содержанию НУ в водах Горла Белого моря

Показатели	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно
Число измерений	54	54	51	51	80	80
Среднее	0,031	0,031	0,028	0,026	0,031	0,030
Стандартная ошибка	0,0020	0,0026	0,0022	0,0025	0,0020	0,0018
Медиана	0,0293	0,029	0,026	0,018	0,0285	0,0295
Мода	0,035	0,021	0,031	0,016	0,018	0,038
Стандартное отклонение	0,015	0,019	0,016	0,018	0,018	0,016
Дисперсия выборки	0,00023	0,00037	0,00024	0,00032	0,00031	0,0002
Эксцесс	1,29227	0,77907	0,8863	0,28567	14,7011	4,1269
Асимметричность	1,00409	1,06742	0,92271	0,94866	2,72454	1,3282
Интервал	0,068	0,078	0,068	0,077	0,13	0,098
Минимум	0,008	0,005	0,002	0,001	0,006	0,005
Максимум	0,076	0,083	0,070	0,078	0,136	0,103
Уровень надежности (95,0%)	0,00409	0,00526	0,00438	0,00500	0,00392	0,0035

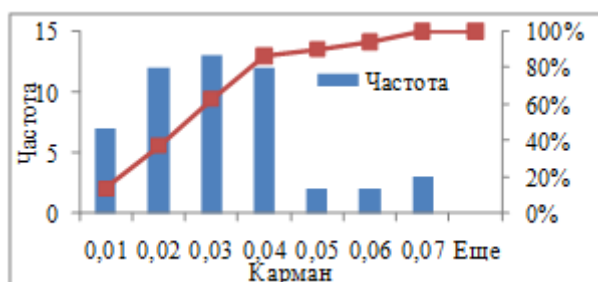
Согласно гистограммам распределения (рис. 14), частоты встречаемости концентрации углеводородов по сезонам года группируются около различных значений – 0,03-0,04 мг/дм³ (весна, лето), 0,02-0,05 мг/дм³ (осень).



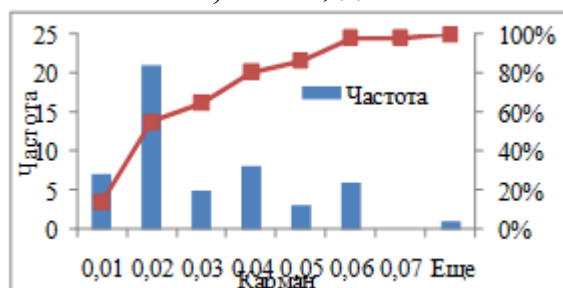
а) весна, поверхность



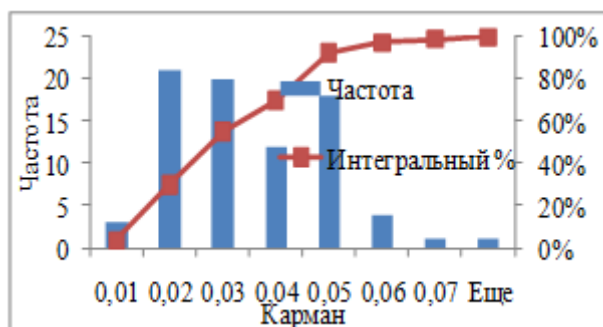
б) весна, дно



в) лето, поверхность



г) лето, дно



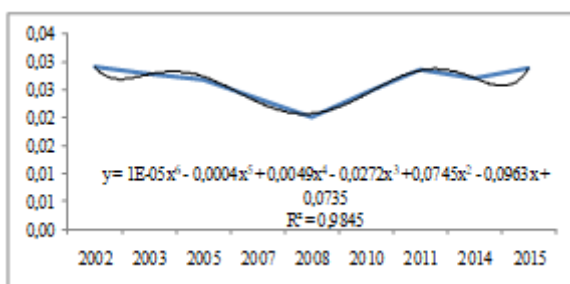
д) осень, поверхность



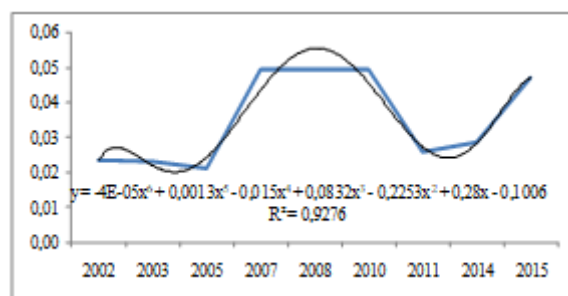
е) осень, дно

Рисунок 14. Гистограммы распределения концентрации нефтяных углеводородов Горле Белого моря

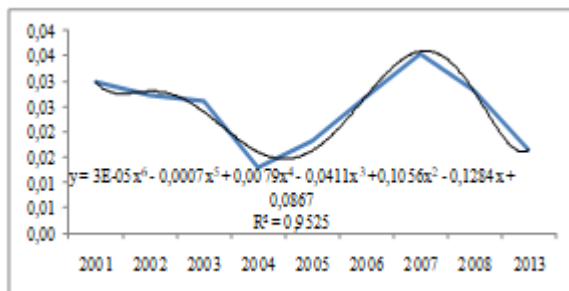
Расчет коэффициента корреляции показал сильную связь между концентрацией нефтяных углеводородов в поверхностном и придонном слоях Горла по всем сезонам года (0,786627 – весной, 0,714982 – летом и 0,870912 – осенью). Динамика среднегодовых концентраций нефтяных углеводородов в Горле по сезонам года, водным слоям (поверхностный, придонный) описывается полиномами 6-й степени с высокими значениями коэффициентов аппроксимации по всем сезонам ($R^2=0,8058-0,9845$) (рис. 15).



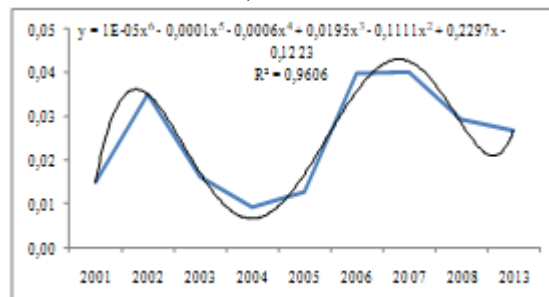
а) весна, поверхность



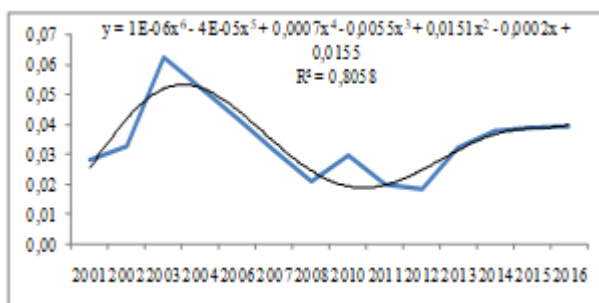
б) весна, дно



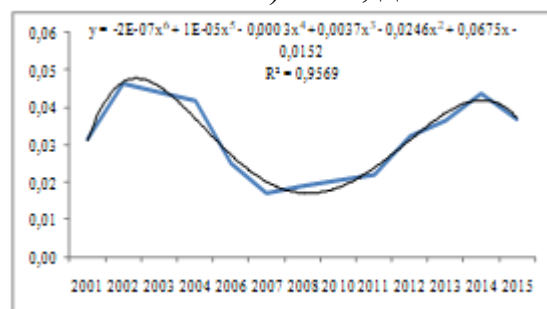
в) лето, поверхность



г) лето, дно



д) осень, поверхность



е) осень, дно

Рисунок 15. Сглаживание кривой средней концентрации нефтяных углеводородов в Горле Белого моря.

Расчетные параметры регрессионного анализа сезонных изменений концентрации нефтеуглеводородов в водах Горла Белого моря представлены в таблице 16, расчетные значения критерия Фишера при сравнении поверхностных и придонных слоев воды – в таблице 17.

Таблица 16. Регрессионный анализ концентрации нефтяных углеводородов в Горле Белого моря

Показатели	Сезоны года		
	Весна	Лето	Осень
Значение коэффициента b	0,816712	0,782651	0,760749
Среднеквадратическое отклонение b	0,242291	0,289261	0,123922

Коэффициент детерминации R^2	0,618782	0,511199	0,758487
F-статистика	11,36219	7,320767	37,68685
Регрессионная сумма квадратов	0,000881	0,000593	0,001149
Значение коэффициента а	0,00603	0,003639	0,006727
Среднеквадратическое отклонение а	0,008096	0,008401	0,004168
Среднеквадратическое отклонение у	0,008807	0,009	0,005523
Число степеней свободы	7	7	12
Остаточная сумма квадратов	0,000543	0,000567	0,000366

Таблица 17. Расчетные значения критерия Фишера

Параметры	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно
F	0,325079	1,711746	0,785973	0,658703	1,933752	0,675612
F _{критич}	0,518346	1,929213	0,509086	0,509086	1,704465	0,586694

4.1.6. Воронка Белого моря

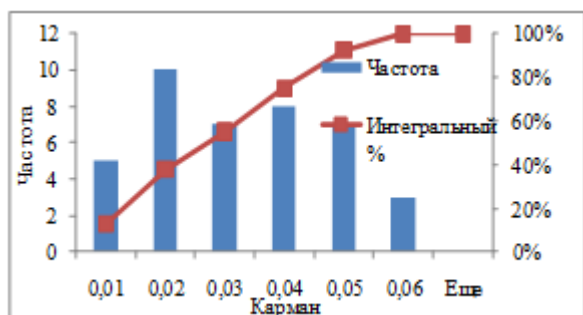
По результатам многолетних наблюдений установлено, что среднегодовая концентрация нефтяных углеводородов имеет максимальные значения в Воронке Белого моря в осенний период (0,032 мг/дм³ – поверхность, 0,028 мг/дм³ – дно) и несколько ниже летом. Высокие значения эксцесса, асимметричности и интервала концентраций характерны для осеннего периода, что указывает на статистическую неоднородность выборки (табл. 18).

Таблица 18. Результаты вероятностно-статистического анализа по содержанию НУ в водах Воронки Белого моря

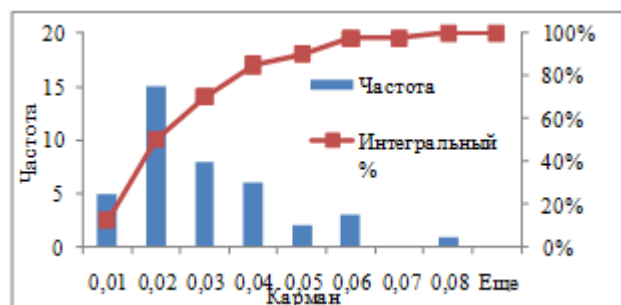
Показатели	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверхн	дно	поверх	дно	поверх	дно

	ость		ность		ность	
Число измерений	40	40	53	53	60	60
Среднее	0,028	0,025	0,025	0,019	0,032	0,028
Стандартная ошибка	0,00232	0,00255	0,00132	0,00143	0,0022	0,0017
Медиана	0,029	0,0205	0,026	0,018	0,029	0,03
Мода	0,015	0,016	0,026	0,014	0,03	0,018
Стандартное отклонение	0,01464	0,01611	0,00961	0,01044	0,0171	0,0134
Дисперсия выборки	0,00021	0,00026	0,00009	0,00011	0,0003	0,0001
Экссесс	-1,26995	2,19125	0,72577	0,03704	1,8762	0,8040
Асимметричность	0,150221	1,40040	0,06910	0,58923	1,1648	0,0668
Интервал	0,05	0,074	0,038	0,046	0,083	0,058
Минимум	0,006	0,006	0,007	0,002	0,005	0,001
Максимум	0,056	0,080	0,045	0,048	0,088	0,059
Уровень надежности (95,0%)	0,00468	0,00515	0,00265	0,00288	0,0044	0,0034

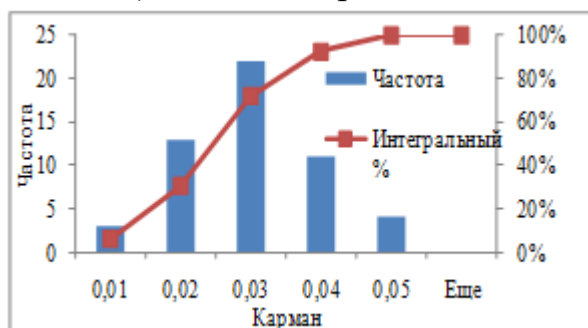
Согласно гистограммам распределения (рис. 16), частоты встречаемости концентрации углеводородов по сезонам года группируются около одних и тех же значений – 0,02-0,03 мг/дм³ (весна, лето, осень).



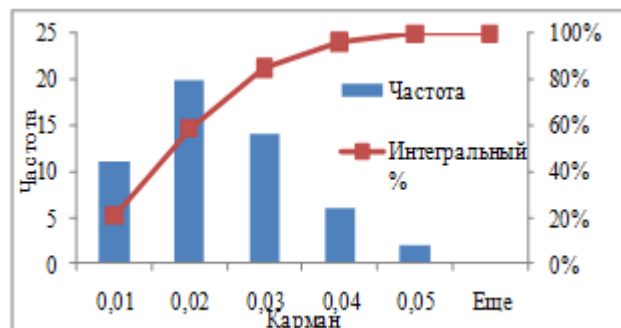
а) весна, поверхность



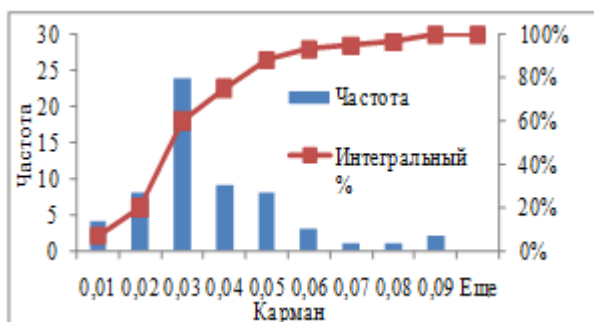
б) весна, дно



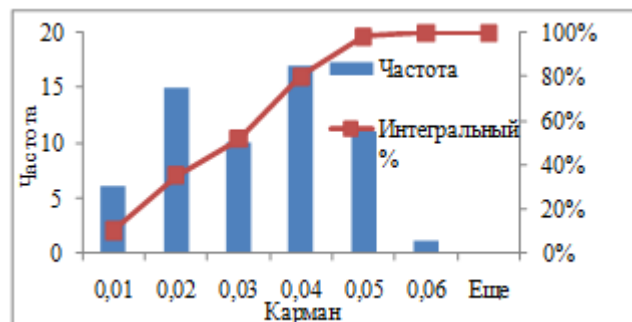
в) лето, поверхность



г) лето, дно



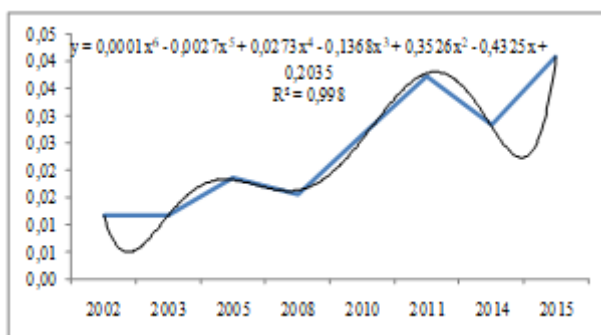
д) осень, поверхность



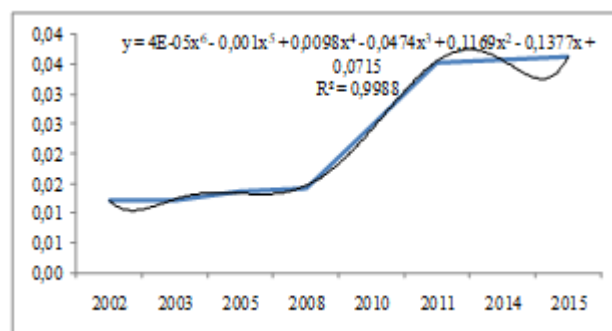
е) осень, дно

Рисунок 16. Гистограммы распределения концентрации нефтяных углеводородов в Воронке Белого моря.

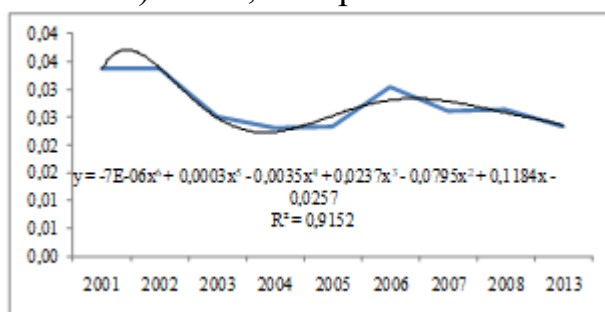
Расчет коэффициента корреляции показал сильную связь между концентрацией нефтяных углеводородов в поверхностном и придонном слоях по всем сезонам года (0,954036 – весной, 0,812277 – летом и 0,844857 – осенью). Динамика среднегодовых концентраций нефтяных углеводородов в Воронке по сезонам года, водным слоям (поверхностный, придонный) описывается полиномами 6-й степени с высокими значениями коэффициентов аппроксимации по всем сезонам года ($R^2=0,7424-0,9999$) (рис. 17).



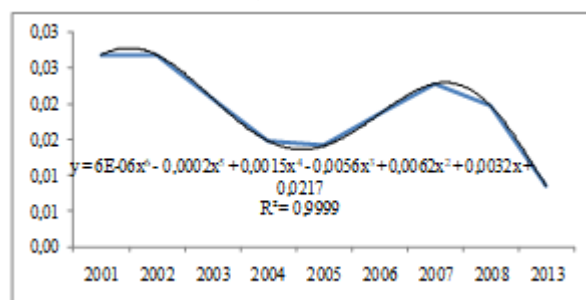
а) весна, поверхность



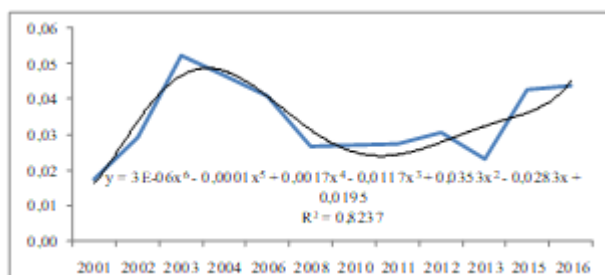
б) весна, дно



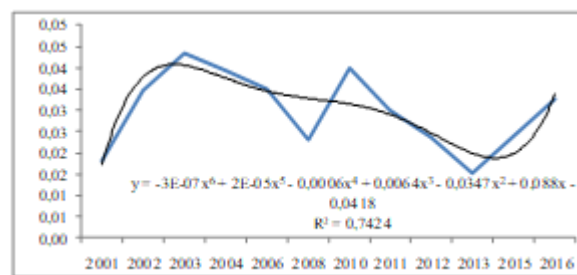
в) лето, поверхность



г) лето, дно



д) осень, поверхность



е) осень, дно

Рисунок 17. Сглаживание кривой средней концентрации нефтяных углеводородов в Воронке Белого моря

Расчетные параметры регрессионного анализа сезонных изменений концентрации нефтеуглеводородов в водах Воронки Белого моря представлены в таблице 19, расчетные значения критерия Фишера при сравнении поверхностных и придонных слоев воды – в таблице 20.

Таблица 19. Регрессионный анализ концентрации нефтяных углеводородов в Воронке Белого моря

Показатели	Сезоны года		
	Весна	Лето	Осень
Значение коэффициента b	0,8923	0,941081	0,677941
Среднеквадратическое отклонение b	0,114432	0,255414	0,135755
Коэффициент детерминации R^2	0,910185	0,659794	0,713783
F-статистика	60,80378	13,57576	24,9385
Регрессионная сумма квадратов	0,00097	0,000227	0,001105
Значение коэффициента a	-0,00046	-0,00499	0,006282
Среднеквадратическое отклонение a	0,003271	0,006828	0,005003
Среднеквадратическое отклонение y	0,003994	0,004092	0,006657
Число степеней свободы	6	7	10
Остаточная сумма квадратов	0,0000957	0,000117	0,000443

Таблица 20. Расчетные значения критерия Фишера

Параметры	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно
F	2,917263	0,5126	1,516613	2,33734	1,000607	1,98001
F _{критич}	2,168252	0,46120	1,937514	1,937514	1,860811	1,860811

4.1.7. Бассейн Белого моря

По результатам многолетних наблюдений установлено, что наибольшая среднегодовая концентрация нефтяных углеводородов характерна для осеннего периода (как в поверхностном, так и в донном слоях, 0,033 и 0,031 мг/дм³ соответственно), наименьшая – летом. Высокие значения эксцесса, асимметричности и интервала концентраций характерны для осеннего периода, что указывает на статистическую неоднородность выборки (табл. 21).

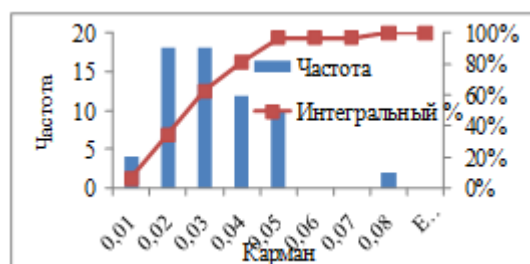
Таблица 21. Результаты вероятностно-статистического анализа по содержанию НУ в водах Бассейна Белого моря

Показатели	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно
Число измерений	64	64	53	53	75	75
Среднее	0,031	0,029	0,027	0,023	0,033	0,031
Стандартная ошибка	0,0017	0,0017	0,0023	0,0023	0,0019	0,0019
Медиана	0,029	0,027	0,02	0,018	0,031	0,028
Мода	0,029	0,018	0,02	0,009	0,024	0,025
Стандартное отклонение	0,014	0,014	0,017	0,016	0,016	0,017
Дисперсия выборки	0,00019	0,00019	0,00029	0,0002	0,0002	0,0002
Эксцесс	-0,14062	1,91604	1,72477	2,60821	4,0523	5,2308
Асимметричность	0,358156	1,08198	1,25812	1,50547	1,3643	1,5946
Интервал	0,06	0,071	0,0846	0,082	0,101	0,105
Минимум	0,006	0,007	0,0004	0,001	0,005	0,002
Максимум	0,066	0,078	0,085	0,083	0,106	0,107
Уровень надежности (95,0%)	0,0035	0,0035	0,0047	0,0045	0,0038	0,0038

Согласно гистограммам распределения видно, что частоты встречаемости концентрации углеводородов по сезонам года группируются около различных значений – 0,02-0,04 мг/дм³ (весной), 0,02 мг/дм³ (летом), 0,02-0,04 (0,05) мг/дм³ (осенью) (Рис. 18).



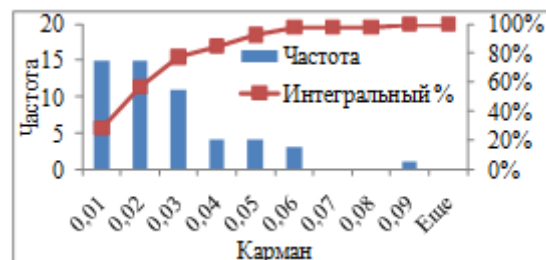
а) весна, поверхность



б) весна, дно



в) лето, поверхность



г) лето, дно



д) осень, поверхность

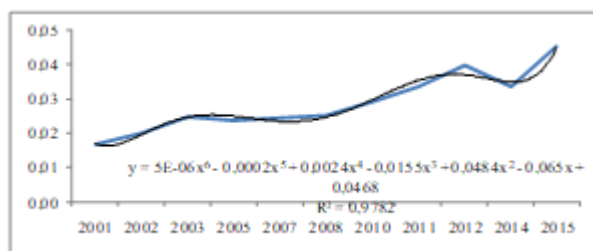


е) осень, дно

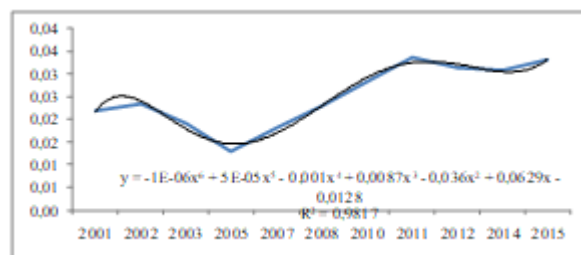
Рисунок 18. Гистограмма распределения концентрации нефтяных углеводородов в заливе Бассейн

Расчет коэффициента корреляции показал сильную связь между концентрацией нефтяных углеводородов в поверхностном и придонном слоях весной и осенью (0,716711, 0,789175) и слабую – летом (0,397836).

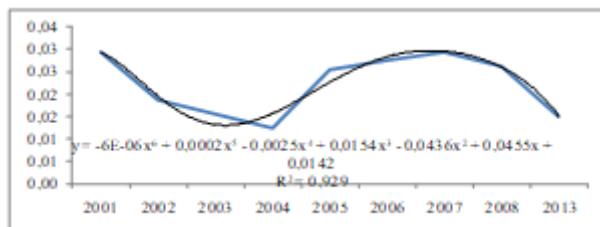
Динамика среднегодовых концентраций нефтяных углеводородов в заливе по сезонам года, водным слоям (поверхностный, придонный) описывается полиномами 6-й степени с высокими значениями коэффициентов аппроксимации по всем сезонам ($R^2=0,8677-0,9817$).



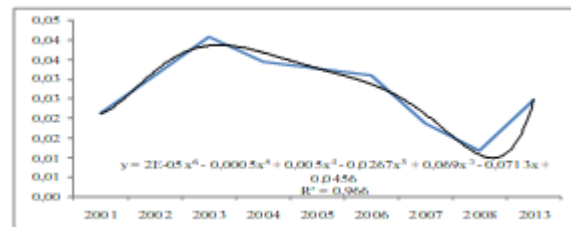
а) весна, поверхность



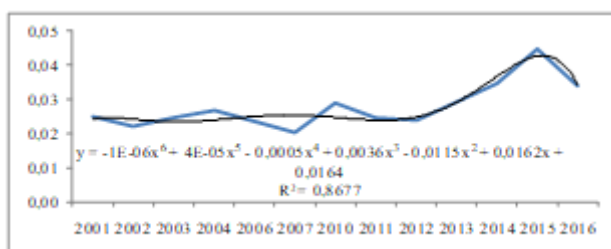
б) весна, дно



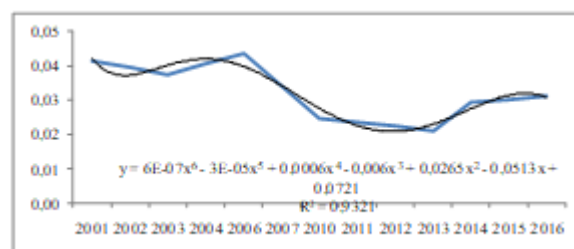
в) лето, поверхность



г) лето, дно



д) осень, поверхность



е) осень, дно

Рисунок 19. Сглаживание кривой средней концентрации нефтяных углеводородов в заливе Бассейн

Расчетные параметры регрессионного анализа сезонных изменений концентрации нефтеуглеводородов в водах Воронки Белого моря представлены в таблице 22, расчетные значения критерия Фишера при сравнении поверхностных и придонных слоев воды – в таблице 23.

Таблица 22. Регрессионный анализ концентрации нефтяных углеводородов в Воронке Белого моря

Показатели	Сезоны года		
	Весна	Лето	Осень
Значение коэффициента b	0,762406	0,393778	0,865808
Среднеквадратическое отклонение b	0,247278	0,343229	0,203161
Коэффициент детерминации R ²	0,513674	0,158273	0,622797

Ф-статистика	9,506114	1,316238	18,162
Регрессионная сумма квадратов	0,000506	0,000171	0,001175
Значение коэффициента а	0,005198	0,011871	0,002377
Среднеквадратическое отклонение а	0,007944	0,009965	0,007142
Среднеквадратическое отклонение у	0,007295	0,011393	0,008044
Число степеней свободы	9	7	11
Остаточная сумма квадратов	0,000479	0,000909	0,000712

Таблица 23. Расчетные значения критерия Фишера

Параметры	Сезоны года					
	Весна		Лето		Осень	
	поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно
F	1,064365	1,779228	1,126718	2,201759	0,84496	0,403876
F _{критич}	1,822132	1,822132	1,937514	1,937514	0,576648	0,576648

Таким образом, можно заключить, что сезонная изменчивость содержания нефтяных углеводородов в Двинском заливе во многом зависит от речного стока Северной Двины, и от процессов самоочищения. Индикатором таких процессов, в первую очередь в первом приближении, может выступать температура морской воды с учетом повышенной способности фотохимического окисления углеводородов в период «белых ночей». При этом речной сток выступает не только как поставщик нефтепродуктов с водосбора Северной Двины, но и как фактор, регламентирующий обмен загрязняющих веществ между поверхностными и глубоководными слоями Двинского залива. Следует заметить, что зафиксированный для поверхностных слоев Двинского залива тип сезонной изменчивости нефтяных углеводородов также прослеживается в Горле и Воронке Белого моря. Для них характерно наличия двух максимум – в весенний и осенний периоды, при летнем снижении среднего содержания загрязняющего вещества в водной среде. Однако отсутствие стратификации в Горле и Воронке из-за наличия сильных приливных течений распространяет

такую закономерность и на их придонные слои. Возможно, данный тип сезонной изменчивости нефтяных углеводородов в вышеуказанных трех заливах Белого моря связан со структурой квазистационарных течений Белого моря. Среди них выделяются Двинское течение, направляющееся из вершины Двинского залива вдоль Зимнего берега в Горло, а также Беломорское течение, начинающееся от мыса Зимнегорского и идущее вдоль Зимнего берега до мыса Инцы в Горле, далее отклоняющееся к острову Сосновец и, затем, следующее на север в Воронку (Лебедев, 2007).

4.1.8. Пространственное и сезонно-годовое распределение НУ в водах Белого моря

На рисунках 20-22 (а, б) представлено интегральное распределение средней концентрации НУ на акватории Белого моря в весенний, летний и осенний периоды за 2001-2016 гг. Из них следует, что загрязнение НУ поверхностных и придонных вод Белого моря в весенний и летний периоды не превышало предельно допустимых ($0,05 \text{ мг/дм}^3$) концентраций (ПДК). Максимальные (от $0,04$ до $0,05 \text{ мг/дм}^3$) показатели были отмечены лишь на некоторых станциях Двинского, Онежского и Мезенского заливов (Климовский и др, 2019).

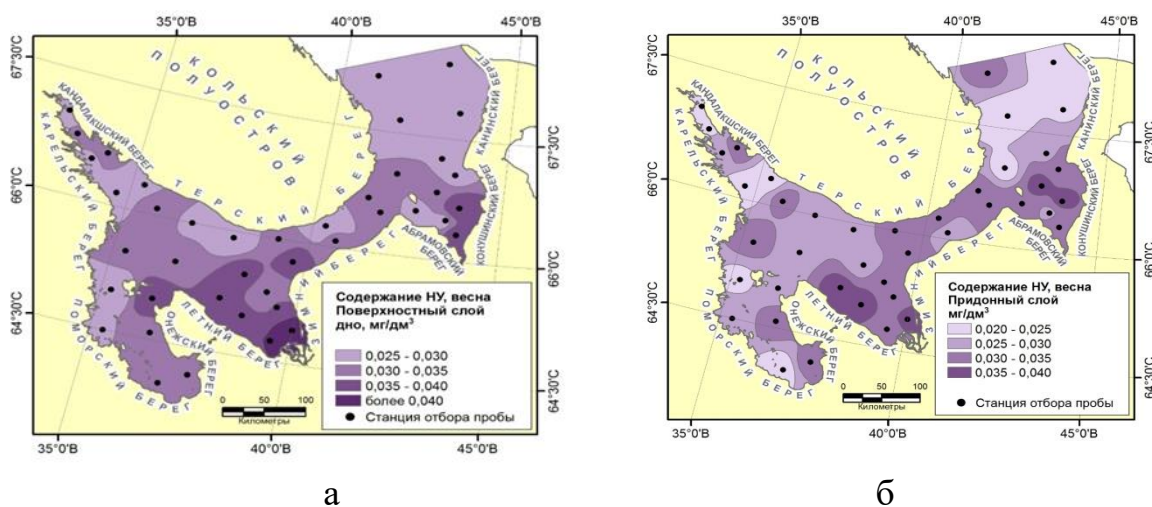


Рисунок 20. Распределение средней концентрации НУ в поверхностном (а) и придонном (б) слоях вод Белого моря в **весенние периоды 2001-2016 гг.**

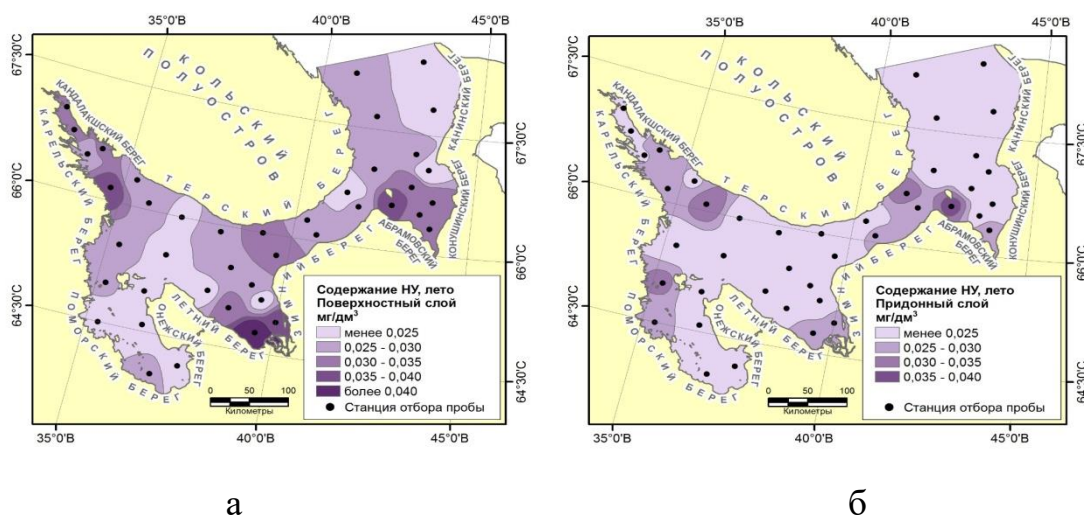


Рисунок 21. Распределение средней концентрации НУ в поверхностном (а) и придонном (б) слоях вод Белого моря в **летние периоды** 2001-2016 гг.

В осенний период незначительное превышение рыбохозяйственного норматива НУ (концентрации от 0,054 до 0,056 мг/дм³) наблюдалось в поверхностном слое воды кутовой части Онежского залива, а также напротив губ Ругозерская и Ковда Кандалакшского залива. В придонном горизонте превышение рассматриваемого поллютанта не зафиксировано (рис. 22 а,б).

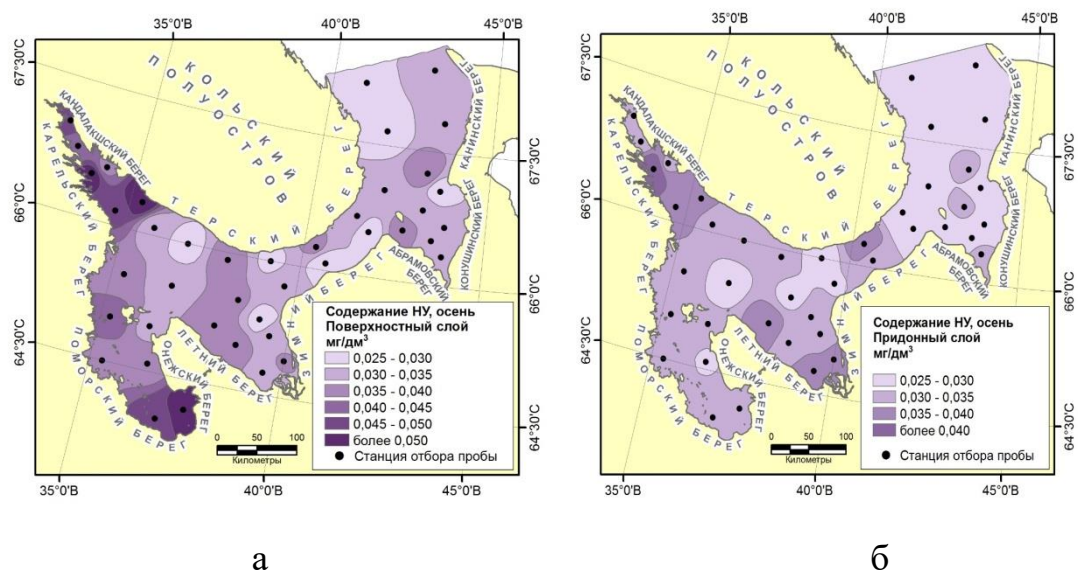


Рисунок 22. Распределение средней концентрации НУ в поверхностном (а) и придонном (б) слоях вод Белого моря в **осенние периоды** 2001-2016 гг.

Интегральные значения не показывают локальных особенностей распределения НУ. На акватории Белого моря в течение всего периода

исследований наблюдалось эпизодическое превышение уровня ПДК НУ в различных районах по годам и сезонам (Мохова и др., 2017).

В таблице 24 приведены статистические характеристики содержания НУ в различных районах Белого моря во все толще воды в весенне-летний и осенний периоды 2001-2016 гг. В зависимости от района исследования средние концентрации НУ в воде уменьшались в следующей последовательности (мг/дм³): Двинский и Кандалакшский заливы (0,033) > Онежский залив (0,031) > Горло (0,030) > Бассейн (0,029) > Воронка (0,026) > Мезенский залив > (0,020). Если ориентироваться на медианную концентрацию, как на фоновую величину, то можно выделить наиболее загрязненный район, к которому относится Двинский залив.

Таблица 24. Статистические характеристики содержания нефтяных углеводородов в водах Белого моря в период с 2001 по 2016 гг.

Районы моря	Концентрация НУ, мг/дм ³			Стандартное отклонение	Медиана	Количество наблюдений
	Максимальная	Средняя	Минимальная			
Мезенский з-в	0,099	0,020	0,001	0,017	0,027	323
Воронка БМ	0,088	0,026	0,001	0,014	0,025	412
Бассейн БМ	0,107	0,029	0,001	0,016	0,026	384
Горло БМ	0,136	0,030	0,001	0,017	0,028	370
Онежский з-в	0,158	0,031	0,001	0,019	0,028	372
Двинский з-в	0,115	0,033	0,003	0,021	0,029	403
Кандалакшский з-в	0,185	0,033	0,001	0,024	0,028	391

В настоящий момент город Северодвинск является наиболее мощным источником загрязнения вод Белого моря нефтепродуктами. Здесь нефтяные техногенные углеводороды попадают непосредственно в морскую среду, в отличие от устьев рек, где они проходят через эстуарный биогеохимический барьер, выступающий в роли деструктора нефтепродуктов, особенно в нерастворимых формах. Объемы поступления нефтепродуктов от города Северодвинска на 2-3 порядка превышают их сборы от других населенных пунктов в прибрежной полосе Белого моря следует отметить, что

наибольший приток нефтяных углеводородов в Белое море происходит с речным стоком, причем вклад Северной Двины в загрязнение морской среды явно доминирует. Основными источниками поступления нефтяных углеводородов в морские воды в городе Северодвинске являются предприятия ВПК и в частности, ПО «Севмашпредприятие» и ГМП «Звездочка». С другой стороны, ПО «Севмашпредприятие» обеспечивает строительство ледостойких морских платформ, предназначенных для разведки и добычи нефти и газа на шельфе Баренцева и других арктических морей. При широкомасштабных разведке и добыче углеводородного сырья на морском шельфе Арктики возрастут и объемы хозяйственной деятельности в г. Северодвинске. В этой ситуации негативное воздействие на рыбохозяйственные ресурсы будет иметь место не только за счет расширения дноуглубительных работ, но в следствие увеличения поступления нефтепродуктов со сточными водами и при их утечках с маломерного флота работающего на акватории порта.

Разумеется, в прибрежной зоне Белого моря, если не считать устьев рек, имеются и другие локальные источники загрязнения морской среды нефтепродуктами. Это, в первую очередь, порт Кандалакша, а также порты Беломорск и Кемь. Отметим, что порт Кандалакша находится недалеко от Беломорской нефтебазы, поэтому вершина Кандалакшского залива испытывает совместное влияние этих двух техногенных объектов. Относительно новым является порт Витино (1995 г) который круглогодичный начал работать с 2001 г. в самих портах, а также соседних с ними участках происходят те же процессы, что и при загрязнении воды нефтепродуктами. Таким образом, в рамках исследуемой проблемы целесообразно сосредоточиться на изучении вершины Двинского и Кандалакшского заливов, где не исключается повышение содержание нефтепродуктов в воде и донных отложениях, что в свою очередь может негативно сказаться на биоресурсах Белого моря.

Анализ пространственного распределения НУ позволяет предположить, что главным источником их поступления в морские воды является речной сток, при этом его влияние наиболее отчетливо выражено в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах (см. табл. 24). Основным загрязнителем Двинского залива является сток р. Северная Двина, на берегах которой расположены крупные населенные пункты и производственные комплексы деревоперерабатывающей промышленности. Периодически повышенные концентрации НУ отмечались и в районе Яндовой губы, где расположен г. Северодвинск. На акватории Онежского залива воды с повышенным содержанием НУ отмечались в его южной части, в районе впадения р. Кемь, периодически – в Бассейне, Горле и Воронке Белого моря. Так, в результате аварии 2003 г. в южную часть Онежского залива было вылито более 50 т мазута и уже на протяжении длительного времени в прибрежной зоне присутствуют мазутно-песчаные агрегаты (Лебедев, 2013).

В Кандалакшском заливе основным источником загрязнения, вероятно, является морской порт Витино, который используется главным образом для экспорта нефти и нефтепродуктов. Повышенные концентрации НУ в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах отмечались и другими авторами (Максимова, 2014; Корякин, 2010).

Таким образом, проведенные исследования показали, что уровень загрязнения НУ морских вод Белого моря в настоящее время можно считать незначительным, не способным негативно отразиться на условиях развития его биоресурсов. Сверхнормативные концентрации НУ имели локальный характер и наблюдались чаще всего в районах наиболее интенсивной хозяйственной деятельности, включая устьевые области рек. Несмотря на эпизодическое превышение НУ уровня ПДК в Двинском, Кандалакшском, Онежском заливах и Бассейне Белого моря воды их остаются достаточно «чистыми». Тем не менее, считаем необходимым продолжение проведения геохимического мониторинга вод как составляющей части комплексного экологического мониторинга Белого моря.

4.2. Фенольные соединения

В естественной среде фенолы появляются при процессах метаболизма водных организмов, при биохимическом окислении и трансформации органических веществ, протекающих как в водной толще, так и в донных отложениях. Являются одним из наиболее распространённых загрязняющих веществ, попадающих в природные воды со сточными водами нефтеперерабатывающих, лесохимических, коксохимических и других предприятий. Фенолы в природных водах могут находиться в минеральном состоянии в виде фенолятных ионов и свободных фенолов. Могут вступать в реакции конденсации и полимеризации, образуя сложные гумусоподобные и другие довольно устойчивые соединения. В природных водных объектах процессы адсорбции фенолов донными отложениями и взвешенными веществами играют незначительную роль. Фенолы являются соединениями нестойкими и могут подвергаться биохимическому и химическому окислению. Интенсивность и направление процесса зависит от температуры воды, значений pH, содержания кислорода, состава фенолов, их концентрации, химической структуры, содержания и количественного состава органических веществ. Предельно допустимая концентрация нефтепродуктов в рыбохозяйственном водном объекте составляет 0,001 мг/дм³ (Гидрохимический словарь, 1988).

На рисунке 23 показана динамика изменения концентраций фенольных соединений в поверхностном (А) и придонном (Б) слоях воды в осенние периоды 2011-2016 гг. в водах Двинского и Онежского заливов. Выявлено, что осенью 2016 г. в обоих заливах наблюдалось меньшее значение концентрации фенолов по сравнению с аналогичным периодом 2015 г., однако при рассмотрении динамики за 2011-2016 г. тренды указывают на увеличение загрязнителя в обоих заливах.

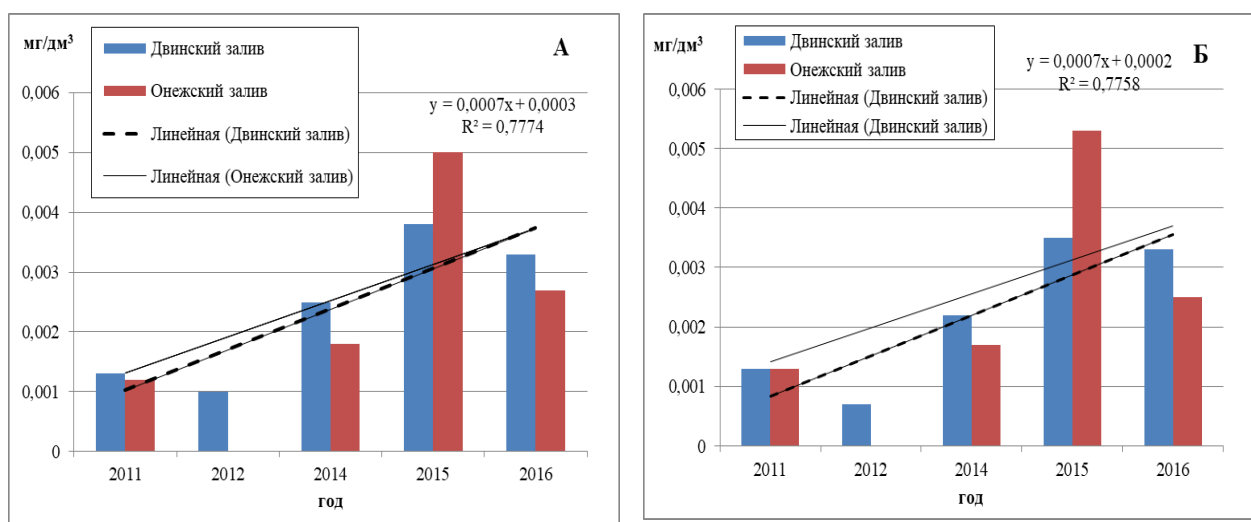


Рисунок 23. Динамика изменения концентрации фенолов в поверхностном (А) и придонном (Б) слоях воды Двинского и Онежского заливов в осенние периоды 2011-2016 гг.

Источниками поступления фенолов в кутовую часть Онежского залива в морскую среду могут являться промышленные и бытовые сточные воды с болота Конинник.

На болоте Конинник в начале 50-х годов началось размещение свалок твердых отходов с различных предприятий таких, как лесопиления и деревообработки, а также золошлакового материала, сточных вод гидролизного завода и очистных сооружений города (Тельминов, Невзоров, 2014). Общий сброс воды с болота происходит через Лов-ручей в Белое море (Тельминов, Невзоров, 2015; Тельминов, Вешнякова, 2013). Хотя не исключается и влияние чисто природных процессов, например, деструкция морской растительности.

Повышение концентрации фенолов в водах Онежского залива в 2015 г, возможно связано с открытием в г. Онеге крупнейшего в Европе завода по производству пеллет. Предприятие по переработке отходов лесопереработки организовано на территории бывшего Онежского гидролизного завода. Сырьем для него станут отходы гидролизной промышленности, готовой продукцией будут так называемые пеллеты. В Двинском заливе оказывает

влияние деревообрабатывающая промышленность. Предприятия лесной и целлюлозной промышленности выбрасывают в море метиловый спирт, фенолы и лигносульфаты.

Повторяемость концентраций, превышающих уровень ПДК фенолов в Двинском и Онежском заливах с 2011 г. по 2016 г. представлена на рисунке 24. Максимальные концентрации до 7 и 8 ПДК были отмечены в Двинском и Онежском заливах, но частота этих превышений находилась на низком уровне (1,7 % и 6,3 % от всех определенных проб соответственно).

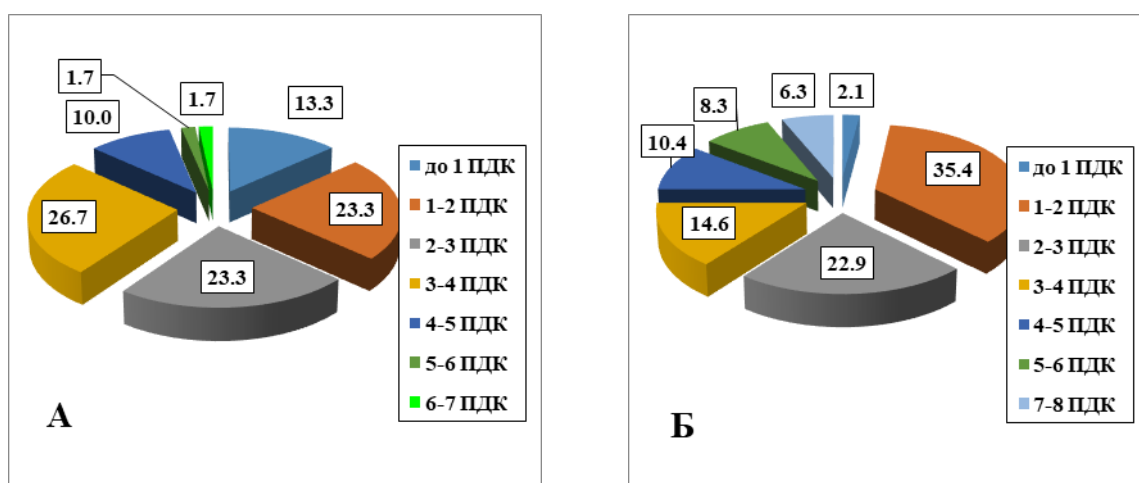


Рисунок 24. Повторяемость концентраций фенолов (%) в Двинском (А) и Онежском (Б) заливах в осенние период 2011-2016 гг.

4.3. Алюминий

В свободном состоянии в природе алюминий не встречается. Основные формы нахождения алюминия определяются его большим сродством с кислородом и способностью замещать в силикатах атомы кремния, преобразуя их в алюмосиликаты (полевые шпаты, слюды, нефелин, цеолиты и др.), а также в процессе химического выветривания которых образуются глины. Источниками поступления алюминия в поверхностные воды являются: частичное растворение глин и алюмосиликатов, атмосферные осадки и сточные воды различных производств. В природных водах алюминий присутствует в ионной, коллоидной и взвешенной формах, при

этом его миграционная способность невысока. Образует довольно устойчивые комплексы, в т.ч. органоминеральные, находящиеся в воде в растворенном или коллоидном состоянии. Предельно допустимая концентрация алюминия в рыбохозяйственном водном объекте составляет 0,04 мг/дм³ (Гидрохимический словарь, 1988).

Анализ изменения содержания алюминия в осенние периоды 2011-2016 гг. в Двинском и Онежском заливах Белого моря показал, что максимальные концентрации загрязнителя были зафиксированы в 2013 г. в поверхностном и придонном слоях вод их кутовых частей. В Двинском заливе показатели составляли соответственно 0,166 мг/дм³ и 0,149 мг/дм³, в Онежском – соответственно 0,332 мг/дм³ и 0,479 мг/дм³ (табл. 25). Превышение ПДК часто наблюдались в пробах воды из кутовой части Онежского залива, что связано либо с деятельностью Северо-Онежского бокситового рудника, в который включает в себя Иксинское месторождение — одно из самых крупных месторождений бокситов, либо с деятельностью ОАО «КарьерПокровское», расположенного в устье р. Онеги. В результате штормов происходит взмучивание донных осадков и воде резко повышалось содержание алюминия, которое не наблюдалось при тихой погоде (Чугайнова, 2015).

В целом, в осенние сезоны исследований, проведенных в период с 2011 по 2016 гг., прослеживается динамика, выражающаяся в уменьшении количества анализируемого поллютанта в обоих сравниваемых заливах.

Таблица 25. Содержание алюминия (мг/дм³) в Двинском и Онежском заливах Белого моря в осенние периоды 2011-2016 гг.

№ станций	Годы исследований					
	2011 год	2012 год	2013 год	2014 год	2015 год	2016 год
Двинский залив						
Поверхностный слой						
1	<0,010	0,024	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
2	<0,010	0,072	0,166	0,049	0,049	<0,010

3	<0,010	0,056	<0,010	0,016	0,016	<0,010
4	<0,010	0,047	<0,010	0,060	0,060	0,019
5	<0,010	0,024	<0,010	0,022	0,022	<0,010
6	<0,010	0,043	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Придонный слой						
1	<0,010	0,065	<0,010	0,019	0,040	<0,010
2	<0,010	0,050	0,149	0,030	0,110	<0,010
3	<0,010	0,042	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
4	<0,010	0,055	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
5	<0,010	0,046	<0,010	<0,010	0,011	0,130
6	<0,010	0,042	0,015	<0,010	<0,010	<0,010
Онежский залив						
Поверхностный слой						
11	<0,010	0,059	0,320	0,048	0,092	0,046
12	<0,010	0,044	0,311	0,036	0,109	0,029
13	<0,010	0,037	0,030	0,021	<0,010	<0,010
14	<0,010	0,095	0,029	<0,010	0,048	<0,010
15	<0,010	-	0,017	<0,010	<0,010	<0,010
16	<0,010	0,056	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Придонный слой						
11	<0,010	0,060	0,295	0,081	<0,010	<0,010
12	<0,010	0,070	0,479	0,056	0,078	<0,010
13	<0,010	0,033	0,044	0,028	<0,010	0,033
14	<0,010	0,072	0,026	0,012	0,043	<0,010
15	<0,010	-	<0,010	<0,010	0,047	<0,010
16	<0,010	0,052	<0,010	<0,010	<0,010	0,026

Повторяемость концентраций, превышающих уровень ПДК алюминия в Двинском и Онежском заливах с 2011 г. по 2016 г., представлена на рисунке 25. Более высокие концентрации были отмечены в Онежском заливе – их максимум достигал 12 ПДК, тогда как в Двинском заливе – до 5 ПДК, но частота этих превышений была низкой (всего по 1,4 % от всех определенных проб).

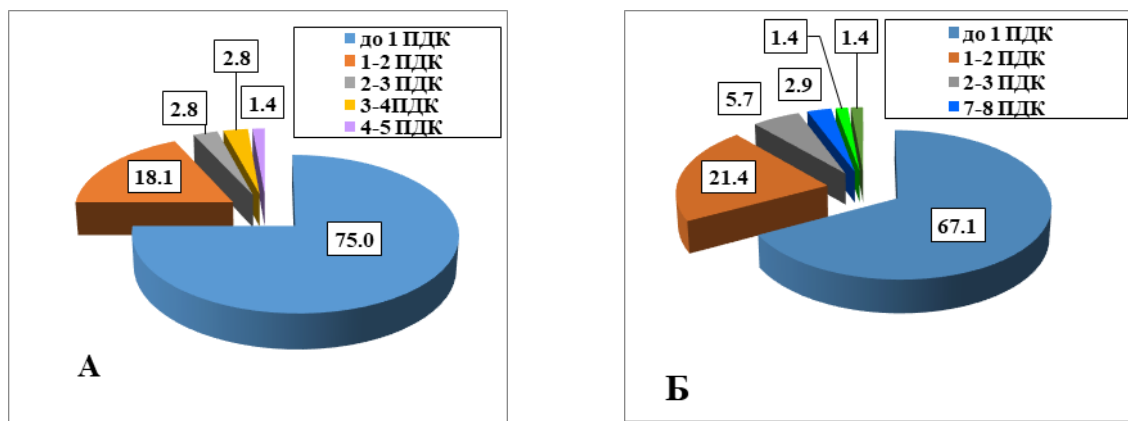


Рисунок 25. Повторяемость концентраций алюминия (%) в Двинском (А) и Онежском (Б) заливах в осенние периоды 2011-2016 гг.

4.4. Тяжелые металлы

Тяжелые металлы находятся в различных формах в природных водах. В состав живых организмов различные тяжелые металлы находятся, как жизненно важные компоненты и могут стимулировать процессы метаболизма, так и другие являются для них токсикантами. Токсичными могут стать и первые при концентрациях выше природных, что обычно наблюдается в загрязненных промышленными стоками водоемах. При этом ингибируются различные биохимические системы в живых организмах и подавляются как процессы новообразования органического вещества, так и процессы его деструкции (Никани, Корсак, 1976).

Кадмий в природные воды поступает при выщелачивании почв, полиметаллических и медных руд, в результате разложения водных организмов, способных его накапливать.

Вследствии высокой биоаккумуляции кадмий- один из наиболее опасных токсикантов. Соединения кадмия выносятся в поверхностные воды со сточными водами горно-металлургических комбинатов, химических заводов по производству красителей и минеральных удобрений, тепловых электростанций, а также транспортом. Понижение концентрации растворенных соединений кадмия происходит за счёт процессов сорбции,

выпадения в осадок его гидроксида и карбоната, и потребления их водными организмами. Растворенные формы кадмия в природных водах представляют собой главным образом минеральные и органо-минеральные комплексы. Основной взвешенной формой кадмия являются его сорбционные соединения. Значительная часть кадмия может мигрировать в составе клеток гидробионтов. В речных незагрязненных и слабозагрязненных водах кадмий содержится в субмикрограммовых концентрациях, в загрязненных и сточных водах концентрация кадмия может достигать десятки миллиграммов в 1 дм³. Соединения кадмия играют важную роль в процессе жизнедеятельности животных и человека, поскольку в повышенных концентрациях он токсичен, особенно в сочетании с вредными воздействиями (сочетанное действие). Предельно допустимая концентрация кадмия в воде рыбохозяйственного назначения 0,005 мг/дм³ (Гидрохимический словарь, 1988).

Медь – один из наиболее токсичных металлов для морских организмов. Основными источниками поступления меди в морские экосистемы являются предприятия цветной металлургии, транспорт, сельское хозяйство (медьсодержащие пестициды и удобрения), продукты сжигания нефти, угля и др. Степень токсичности меди в морских экосистемах зависит от ряда факторов, в том числе от комплексообразования с растворенными органическими веществами, pH, температуры и жесткости воды. Содержание меди в природных и пресных водах колеблется от 2 до 30 мкг/дм³, в морских водах – от 0,5 до 3,5 мкг/дм³. Предельно допустимая концентрация меди в воде рыбохозяйственного назначения составляет 0,001 мг/дм³ (Гидрохимический словарь, 1988).

Цинк попадает в природные воды в результате протекающих в природе процессов разрушения и растворения горных пород и минералов (сфалерит, цинкит, госларит и др.), а также со сточными водами рудообогатительных фабрик и гальванических цехов, производств пергаментной бумаги, минеральных красок, вязкого волокна и др. В воде существует главным образом в ионной форме его минеральных и

органических комплексов, иногда встречается в нерастворённых формах (в виде гидроксида, карбоната, сульфида и др.). В речных водах концентрация цинка обычно колеблется от 3 до 120 мкг/дм³, в морских – от 1,5 до 10 мкг/дм³. Цинк относится к числу активных микроэлементов, влияющих на рост и нормальное развитие организмов. В то же время, многие соединения цинка токсичны, и прежде всего его сульфат и хлорид. Предельно допустимая концентрация цинка в воде рыбохозяйственного назначения составляет 0,01 мг/дм³ (Гидрохимический словарь, 1988).

Свинец – поступает в окружающую среду в результате техногенного воздействия установок, работающих на угле и жидком топливе, при выплавке металлов, добыче руд и т.д.

Только дожди вымывают из атмосферы 250 000 т свинца над океаном и 100 000 т над сушей. Из почв ежегодно поступает в океан 150 000 т свинца. В связи с этим, за последние 45 лет содержание свинца в морской среде возросло с 0,01 -0,02 до 0,07 мг/кг (Гидрохимический словарь, 1988). Естественными источниками поступления свинца в поверхностные воды являются процессы растворения минералов (галенит, англезит, церуссит и др.). Значительное повышение его содержания в окружающей среде (в том числе и в поверхностных водах) связано со сжиганием углей, применением тетраэтилсвинца (C₂H₅)₂Pb в качестве антидетонатора в моторном топливе, с выносом в водные объекты со сточными водами рудообогатительных фабрик, некоторых металлургических заводов, химических производств, шахт и т.д. Тетраэтилсвинец, разрушаясь, образует в воде растворимые высокотоксичные производные – соединения тетраэтилсвинца и этилсвинца, обладающие генотоксическим эффектом для водорослей (Гидрохимический словарь, 1988). Свинец находится в природных водах в растворенном и взвешенном (сорбированном) состоянии. В растворенной форме встречается в виде минеральных и органических комплексов, а

также простых ионов, в нерастворённой – главным образом в виде сульфидов, сульфатов и карбонатов.

Существенными факторами понижения концентрации свинца в воде является его сорбция взвешенными и осаждение с ними в донные отложения. Кроме того, в числе других металлов, он извлекается и накапливается в телах беспозвоночных пресных и морских водоемов, нарушая газовый состав крови у ракообразных. Установлена способность свинца накапливаться и в тканях рыб. Это приводит к нарушениям плавательной активности, ускорению движения жаберных крышек, заглатыванию воздуха. Наибольшее отложение свинца происходит в скелете рыб. Накопление в икре приводит к мутагенному эффекту, в тканях – к деструкции и их деформации (Леонова и др., 1992).

На водные растения действия свинца проявляется при концентрации 0,1-0,5 мг/л. Наиболее токсичны металлоорганические соединения свинца. Свинец представляет собой промышленный яд, способный при неблагоприятных условиях оказаться причиной отравления животных. Удаляется из организма очень медленно, вследствие чего накапливается в костях, печени и почках. Предельно допустимая концентрация меди в воде рыбохозяйственного назначения составляет 0,006 мг/дм³ (Гидрохимический словарь, 1988).

Выполненный в результате проведенных исследований анализ содержания таких ТМ как, цинк, кадмий, свинец в водной среде за осенний период наблюдений с 2011 по 2016 гг. не выявил высоких концентраций в водах Двинского и Онежского заливов, все показатели находились на уровне или ниже ПДК. Содержание свинца было ниже предела обнаружения используемого метода анализа ($<0,005$ мг/дм³). Количество цинка варьировало в пределах от $<0,001$ до 0,006 мг/дм³. Диапазон изменчивости концентрации кадмия изменялся от $<0,0005$ мг/дм³ до 0,005 мг/дм³. В то же время, прослеживается тенденция повышения содержания кадмия за исследуемый период. При этом в Двинском заливе его концентрация

несколько превышала показатели, полученные в Онежском заливе, что, возможно, связано со стоковым течением р. Северная Двина.

Максимальная концентрация меди за весь период наблюдения достигала 0,004 мг/дм³ и была зарегистрирована в 2011 г. в поверхностном и придонном слоях на всей обследованной акватории Онежского залива. Кроме того, повышенное содержание меди также отмечалось в кутовых частях Двинского и Онежского заливов в 2015 г. и составляло 0,003 мг/дм³. Повторяемость концентраций менее ПДК и превышающих уровень ПДК меди и кадмия в Двинском и Онежском заливах в осенний период с 2011 г. по 2016 г. представлена на рисунке 26. Частота превышения норматива и амплитуда колебаний по их содержанию невелики. Более высокие концентрации отмечены по меди – максимум до 3 ПДК в Двинском и 4 ПДК в Онежском заливах. Максимум превышения норматива по кадмию зафиксирован на уровне 1 ПДК, а частота превышения составила менее 3 % (Мохова и др., 2017).

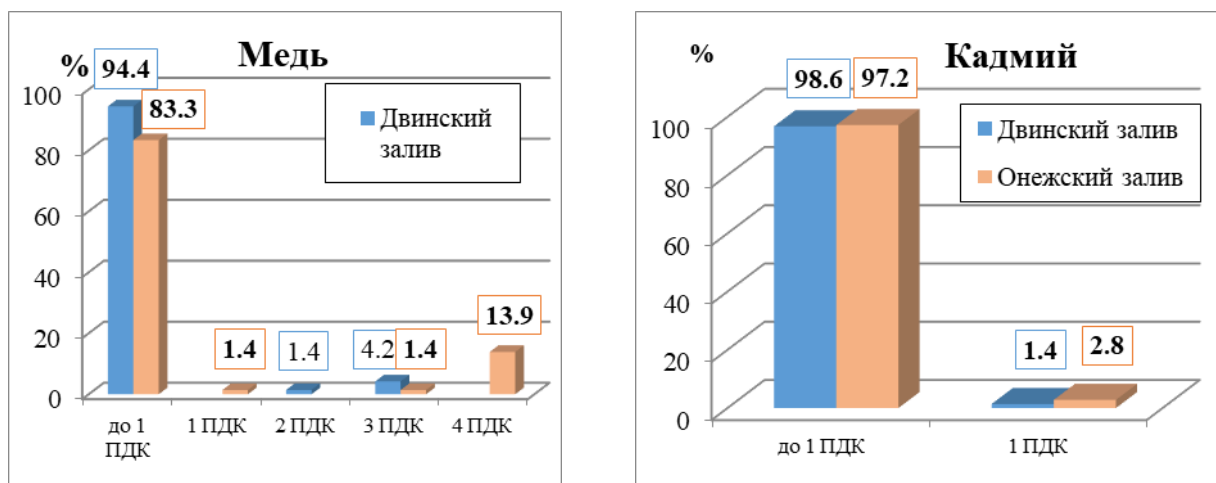


Рисунок 26. Повторяемость концентраций меди и кадмия (%) в Двинском и Онежском заливах в осенние периоды 2011-2016 гг.

В целом, проведенные исследования свидетельствуют о том, что уровень загрязнения НУ морских вод Белого моря в настоящее время можно считать незначительным, не способным негативно отразиться на условиях

развития его биоресурсов. Сверхнормативные концентрации НУ имели локальный характер и наблюдались чаще всего в районах наиболее интенсивной хозяйственной деятельности, включая устьевые области рек.

В осенние периоды 2001-2016 гг. концентрации НУ в воде Белого моря были сравнительно низкими, а их незначительное превышение (до 2-3 ПДК) в некоторых районах не способно оказать негативного воздействия на условия развития его биоресурсов. В Двинском и Онежском заливах максимальные концентрации фенольных соединений достигали 7 и 8 ПДК, но частота этих превышений достаточно низка. Повышенное содержание фенолов может иметь как антропогенное (стоки рр. Северная Двина и Онега), так и природное происхождение. В последнем случае оно носит автохтонный характер и связано с биохимическими процессами разложения органического вещества (например, деструкцией микро и макроводорослей).

Эпизодическое превышение алюминия относительно уровня ПДК связано с увеличением в осенний период числа штормов, под воздействием которых происходит взмучивание донных отложений и, в результате десорбции, в воду выделяется дополнительное количество алюминия. Концентрации ТМ в Онежском и Двинском заливах в основном были значительно ниже рыбохозяйственных ПДК, или ниже пределов обнаружения применяемого метода анализа. Превышения установленного норматива до 3 ПДК и 4 ПДК отмечены только по меди, но частота их незначительна.

Полученные результаты содержания рассмотренных загрязняющих веществ показывают, что уровень загрязнения вод Белого моря в целом является невысоким. Зафиксированный интервал колебаний и пространственного распределения ЗВ в воде исследованных районов не указывает на наличие каких-либо явных признаков влияния хозяйственной деятельности на водные биогеоценозы, за исключением кутовых участков губ и районов размещения крупных населенных пунктов.

ГЛАВА 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ПОЛЛЮТАНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

При проведении анализа содержания металлов в донных отложениях различных участков морской акватории можно оценить общий уровень загрязнения, определить районы, различающиеся по антропогенной нагрузке, а также выявить характерные особенности распределения металлов-токсикантов в зависимости от природных геохимических процессов и уровня антропогенного воздействия (Овсяный, 2009). Установлено, что основную массу загрязнений Мирового океана (порядка 95 %) составляют источники антропогенного происхождения (Дурягина, 2011). При этом донные отложения, адсорбируя нефтяные углеводороды (НУ), с одной стороны, ведут к уменьшению их содержания в воде, а с другой являются вторичным источником загрязнения воды (Немировская, 2004). В районах с постоянными нефтяными поступлениями донные отложения отличаются высоким содержанием НУ и вариабельностью их концентраций.

Морские донные отложения накапливают загрязняющие вещества (ЗВ), растворенные в водной среде и сорбированные взвесью. Неравномерность их накопления определяется гидродинамическим переносом и аккумуляцией осадочного материала. При определенном изменении условий происходит обратный процесс – десорбция и поступление поллютантов в водную среду, так называемое «вторичное загрязнение» (Ильин и др., 2015). Донные осадки являются важнейшим компонентом геоэкологического пространства водных бассейнов, что обусловлено, прежде всего, их средообразующими свойствами. Это среда обитания бентосных организмов, и именно в ней происходит аккумуляция загрязняющих веществ, являющихся потенциальными источниками вторичного загрязнения. Анализ ДО позволяет определить факторы загрязнения, его объем и распределение, а также потенциальную опасность накопления поллютантов для водной

экосистемы в целом. В частности, рассмотрение донных отложений в геологическом разрезе, позволяет выявить различия между естественными и антропогенными источниками загрязнения (Манихин, 2001), так как они представляют собой историческую «запись» накопления металлов в течение периода существования водного объекта. Так, послойный анализ донных отложений может показать изменение антропогенной нагрузки на водные экосистемы за последние десятилетия и столетия в результате роста населения и развития промышленности, а также дать оценку фоновому содержанию тех или иных компонентов. Изучая количество, качество и характеристики донных осадков, можно выявить их источники и оценить воздействие поллютантов на водную среду, и, в итоге – принять обоснованные меры по сокращению поступления загрязнителей (Усенков, 1999).

Основными составляющими ДО, как природных сорбентов, являются иловые частицы, природные глинистые вещества и песок. Ил – это сложная смесь органических веществ, обладающая высокой сорбционной способностью за счет высокой степени дисперсности и способности к взаимодействию поверхностных функциональных групп с компонентами природных вод (Кленова, 1960). Глины, т.е. алюмосиликаты, имеют слоистую структуру, способны к изоморфизму, и являются как природными сорбентами, так и источником микроэлементов, поступающих при ионном обмене в водоем. Песчаные донные отложения в меньшей степени способны сорбировать как органические вещества, так и ионы тяжелых металлов (Horowitz, 1987; Папина, 2001; Соколова, 2005).

Донные осадки Белого моря в основном относятся к пелитам и алеврито-пелитам, при этом содержание пелитовой фракции в них колеблется от 65 до 80 % с максимальной долей в глубоководной части Бассейна. Пески в основном приурочены к авандельте р. Северная Двина. Концентрация загрязняющих веществ изменяется в широком интервале и зависит от гранулометрического типа донных осадков. При переходе от

песчанистых осадков к илистым их содержание увеличивается более чем в 3 раза (Немировская, 2015).

Принято, что в морских донных осадках концентрации НУ ≤ 50 мкг/г в илистых и ≤ 10 мкг/г в песчанистых грунтах считаются фоновыми, при этом их доля в составе $C_{\text{орг}}$ обычно составляет $\leq 1\%$ (Немировская, 2013; Tolosa, 2004). Относительно тяжелых минералов их содержание в донных осадках зависит от гранулометрической крупности осадочного материала. Во многих работах описана общая закономерность в распределении тяжелых минералов, согласно которой концентрации последних увеличиваются в песчаных отложениях, тогда как в илах оно минимально. Установлено, что содержание ТМ в донных отложениях Белого моря довольно изменчиво, а поверхностные осадки в различных заливах отличаются пестрым гранулометрическим составом с преобладанием песчаной фракции осадков. При этом содержание тяжелой подфракции крупноалевритовой размерности в осадках Белого моря колеблется от единичных знаков в центральной глубоководной части Бассейна до 11% в прибрежных районах (Лисицын, 2010).

Следует иметь в виду, что валовое содержание тяжелых металлов является фактором ёмкости, показывающим в первую очередь потенциальную опасность загрязнения, характеризует общую загрязнённость и не отражает степени доступности элементов для гидробионтов.

5.1. Двинский залив

Основным загрязнителем Двинского залива является сток р. Северная Двина, на берегах которой расположены крупные населенные пункты и производственные комплексы. Из-за интенсивной седиментации в Двинском заливе основным накопителем ЗВ становятся илистые отложения. ДО Двинского залива в значительной степени испытывают влияние выносимого рекой терригенного материала. Их основным типом является песчанистый ил, нередко включающий крупные зерна песка, частицы гравия и гальки (Бергер, 1995). В кутовой части залива донные осадки преобладают в

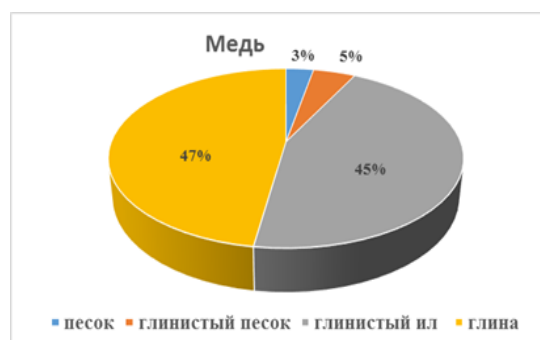
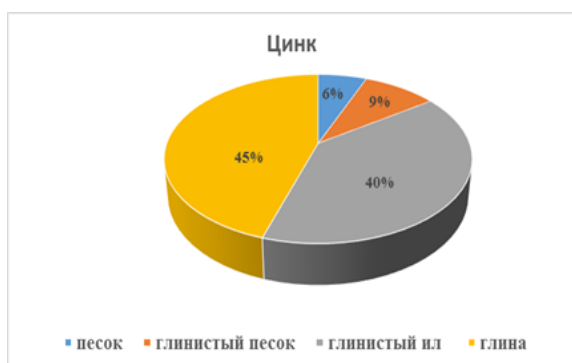
основном в виде мелкозернистого песка и по мере удаления на север представлены в виде глинистого ила. Концентрации НУ в ДО в 2015 г. изменялись от 6,46 мг/кг в песчанистых осадках до 12,61 мг/кг в илистых. В 2016 г. содержание НУ повысилось незначительно и составляло в среднем 11,84 мг/кг.

Анализ полученных данных показал, что наибольшие концентрации цинка, кадмия, меди и свинца были обнаружены в центральной части залива. При этом интенсивность аккумуляции ЗВ находится в зависимости от типа ДО (табл. 26).

Таблица 26. Относительные и абсолютные величины загрязняющих веществ в зависимости от типа донных отложений в Двинском заливе в 2016 г.

Тип ДО	Загрязняющее вещество											
	НУ		Б(а)П		Cu		Zn		Cd		Pb	
	мкг/г	%	нг/г	%	мкг/г	%	мкг/г	%	мкг/г	%	мкг/г	%
Песок	6,6	14	< 5	1	1,0	3	6,6	6	0,04	12	3,6	15
Глинистый песок	17,0	37	< 5	0	1,6	5	10,0	9	0,06	15	1,9	9
Глинистый ил	9,4	21	12	59	15,3	45	42,8	40	0,16	44	7,2	35
Глина	12,7	28	8	40	16,2	47	48,8	45	0,10	29	8,2	41

В относительном выражении (%) максимальные величины содержания **цинка** наблюдались в глине и глинистых илах, составляя соответственно 45% и 40%, минимальные – в песке и глинистом песке (соответственно 6% и 9%). Аналогичная картина наблюдалась и относительно других металлов. В относительном выражении максимальные величины **меди** также, были отмечены в глине и глинистых илах, составляя соответственно 47% и 45%, минимальные – в песке и глинистом песке (соответственно 3% и 5%)



А

Б

Рисунок 27. Относительное содержание в (%) цинка (А) и меди (Б) в донных отложениях в Двинском заливе в 2016 г.

В относительном выражении **свинец** наиболее интенсивно аккумулировался в глине и глинистых илах (соответственно 41% и 35%), наименее – в глинистых песках и песках (соответственно 9% и 15%). **Кадмий** характеризовался такой же тенденцией к накоплению. Его содержание в глинистых илах и глине составляло 44% и 29%, в песках и глинистых песках – соответственно 12% и 15% (рис. 28) (Климовский, 2017).

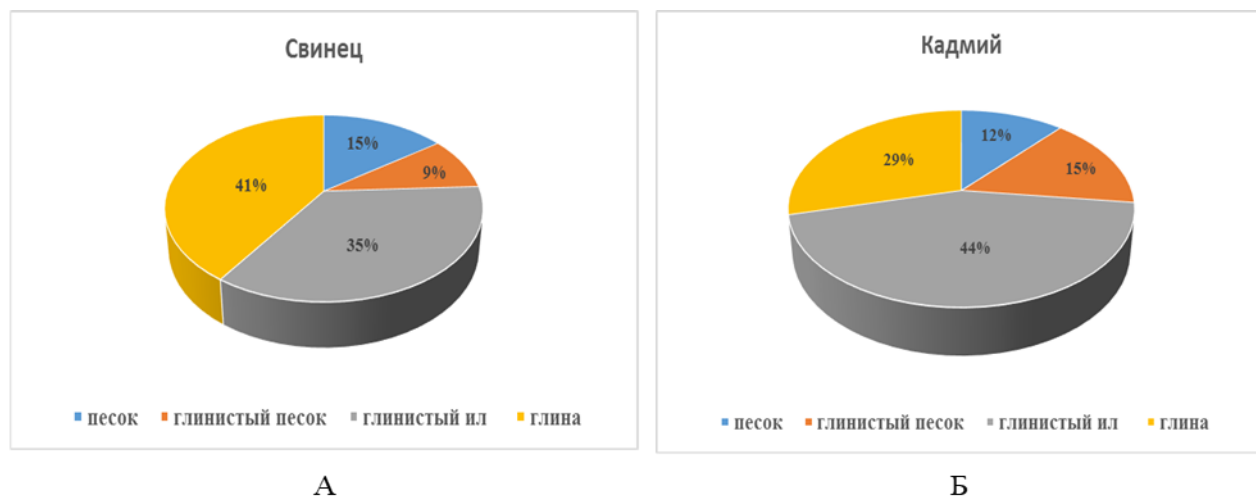
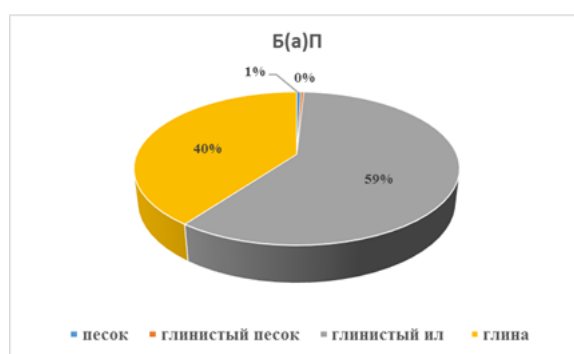


Рисунок 28. Относительное содержание в (%) свинца (А) и кадмий (Б) в донных отложениях в Двинском заливе в 2016 г.

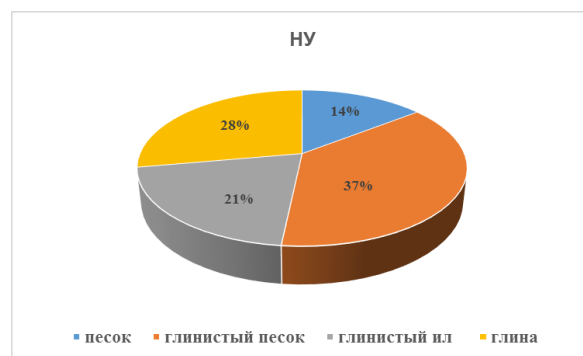
Анализ полученных данных позволил выявить порядок убывания концентраций ТМ в донных отложениях, который имеет следующий вид: для песка и глинистого песка $Zn > Pb > Cu > Cd$, для глинистого ила и глины $Zn > Cu > Pb > Cd$ (Климовский и др., 2017).

Содержание нефтеуглеводородов в донных отложениях в период исследования носило несколько иной характер. Анализ полученных результатов показал, что в относительном выражении их максимальная

концентрация наблюдалась в глинистом песке (37%), минимальная – в песке (14%). Наибольшая их концентрация в глинистых песках связана, по всей видимости, с близостью станции к промышленному узлу г. Архангельска. В относительном выражении максимальное содержание **бенз(а)перена** (59%) наблюдалось в глинистом иле (рис. 29).



А



Б

Рисунок 29. Относительное содержание в (%) Б(а)П (А) и НУ (Б) в донных отложениях в Двинском заливе в 2016 г.

В ходе проведенного исследования были выявлены годовые различия в содержании ТМ в донных отложениях Двинского залива в абсолютном выражении (мг/кг). Так, в 2015 г. количество **цинка** варьировало от 8,70 мг/кг в песчанистых осадках до 20,74 мг/кг в илистых. Концентрация **меди** в среднем составляла 8,07 мг/кг. Концентрации **свинца** и **кадмия** характеризовались незначительными величинами и составляли в среднем 4,43 мг/кг и 0,066 мг/кг соответственно. В 2016 г. наблюдалось увеличение содержания тяжелых металлов на всех обследованных станциях Двинского залива, причем на некоторых станциях превышение составило 1,5-2 раза (рис. 30).

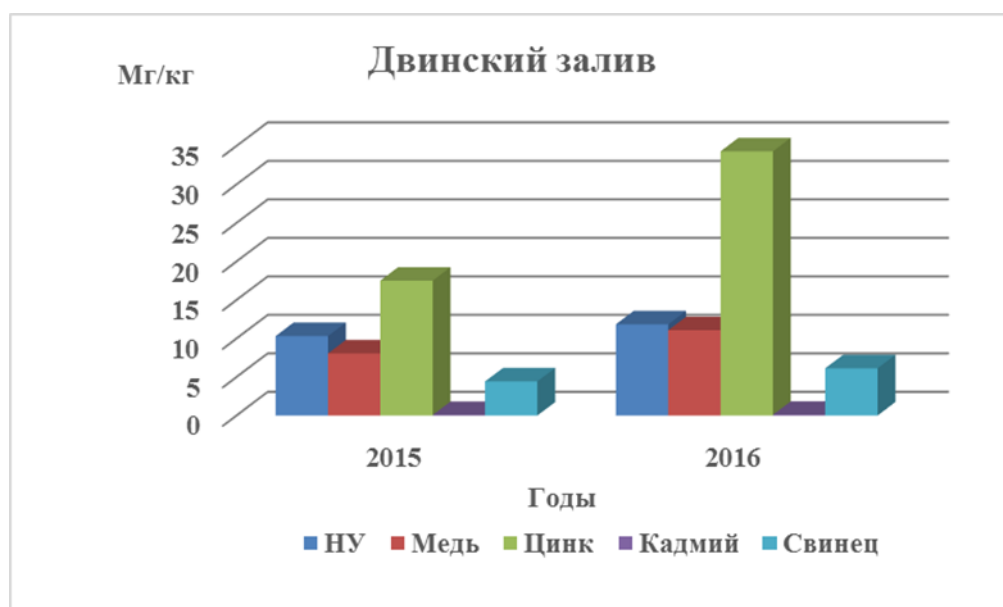


Рисунок 30. Средняя концентрация загрязняющих веществ в донных отложениях Двинского залива Белого моря в 2015-2016 гг.

В работе использовали наиболее распространённый метод – сравнение полученных массовых концентраций ТМ со значением величины кларка литосферы (табл. 27).

Таблица 27. Диапазоны ТМ в ДО в Двинском заливе, средняя глобальная распространённость ТМ в мг/кг сухого вещества

Химическое элементы	Двинский залив		Кларки литосферы по (Виноградо в, 1962)
	Содержание в ДО в 2015 г	Содержание в ДО в 2016 г	
Cu	2,32-13,94	1,02-18,5	47,00
Zn	8,7-24,7	6,6-52,0	83,00
Pb	3,22-6,81	1,87-9,61	16,00
Cd	0,019-0,113	0,041-0,157	0,13

Для оценки уровня загрязненности использовали коэффициент обогащения (КО), показывающий, во сколько раз содержание ТМ в ДО превышает их кларковые (КО) значения. Следует отметить, что по КО

оценить уровень загрязнённости ДО можно чисто условно, т.к. не существует нормально определённых значений коэффициента обогащения, а приводимые в литературе значения величин фоновых концентраций различными авторами рассчитываются и трактуются по-разному.

Таблица 28. Коэффициент обогащения по кларку литосферы в Двинском заливе

Химический элемент	КО в 2015 г.	КО в 2016 г.
Cu	0,049-0,297	0,022-0,394
Zn	0,105-0,298	0,080-0,588
Pb	0,146-0,869	0,315-1,208
Cd	0,201-0,426	0,117-0,601

Полученные нами данные по содержанию ТМ в ДО в Двинском заливе Белого моря представлены в таблицах 27, 28. Анализ данных показал, что содержание исследованных ТМ не превышали кларки литосферы. Исключение составило содержание кадмия в 2016 г, где концентрация незначительно превышала кларковое значение этого элемента в литосфере.

Коэффициент обогащения меди за период исследований изменялся незначительно и составлял в 2015 и в 2016 гг. от 0,049-0,297 и 0,022-0,394 соответственно. Коэффициент обогащения в ДО по цинку, по кларку литосферы этого элемента составил 0,105-0,298 в 2015 году с последующим увеличением 0,080-0,588 в 2016 году. По свинцу и кадмию КО, рассчитанные по кларку литосферы, составили 0,146-0,869, 0,201-0,426 в 2015 году и 0,315-1,208 и 0,117-0,601 в 2016 году соответственно, что свидетельствует о хорошей мобильности данных элементов.

Содержание Б(а)П в ДО Двинского залива в целом не велико, составляя в среднем по всем типам грунтов 7,5 нг/г. Максимальная концентрация в абсолютном выражении была зафиксирована в глинистом иле и составляла 12,0 нг/г. В песке и глинистом песке концентрация данного поллютанта была ниже предела обнаружения метода анализа.

5.2. Онежский залив

В Онежском заливе на большей части станций в поверхностном слое донных осадков преобладают грубозернистые пески (Долотов, 2008). Здесь загрязнителями является сток р. Онега, а также на водосборе реки Выг в Карелии находятся большое количество промышленных объектов, и идет интенсивное судоходство. Кроме того, в результате аварии 2003 г. в южную часть акватории залива попало более 50 т мазута, в результате чего уже на протяжении длительного времени в прибрежной зоне присутствуют мазутно-песчаные агрегации (Лебедев, 2012, 2013; Saukel, 2010).

В 2015 г. наиболее высокое содержание НУ было установлено на станции, расположенной около о. Соловецкий, где оно составляло 14,76 мг/кг. В кутовой части Онежского залива концентрация НУ варьировала незначительно – от 5,66 до 6,35 мг/кг. Содержание меди в ДО мористой части изменялось от 2,04 до 22,5 мг/кг. Концентрация цинка в пробах варьировала в диапазоне от 3,47 до 23,55 мг/кг. Для содержания свинца был характерен диапазон 0,66-6,52 мг/кг. Концентрация кадмия была незначительна и составляла в среднем 0,039 мг/кг (рис. 31).

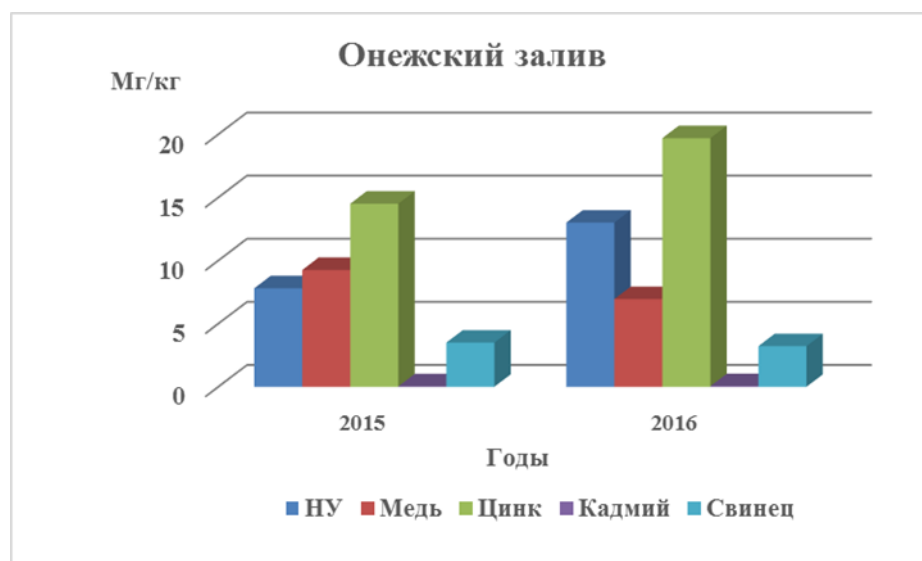


Рисунок 31. Средняя концентрация загрязняющих веществ в донных отложениях Онежского залива Белого моря в 2015-2016 гг.

В 2016 г. содержание НУ в ДО Онежского залива характеризовалось более высокими показателями и составляло в среднем 13,00 мг/кг. Концентрация цинка увеличилась на некоторых станциях в 1,5 раза, его содержание варьировало от 5,25 мг/кг в песчанистых осадках до 41,27 мг/кг илистых. В то же время, концентрация меди уменьшилась по сравнению с прошлым годом и составила в среднем 6,95 мг/кг. Содержание кадмия и свинца находилось на уровне прошлого года (см. рис. 31).

В таблице 29 представлены диапазоны ТМ в ДО в Онежском заливе в 2015 и 2016 гг.

Таблица 29 Диапазоны ТМ в ДО в Онежском заливе, средняя глобальная распространённость ТМ в мг/кг сухого вещества

Химические элементы	Онежский залив		Кларки литосферы по (Виноградов, 1962)
	Содержание в ДО в 2015 г	Содержание в ДО в 2016 г	
Cu	1,9-22,5	1,5-12,0	47,00
Zn	3,5-23,6	5,3-41,3	83,00
Pb	0,66-6,52	0,96-7,62	16,00
Cd	0,023-0,062	<0,001-0,086	0,13

Таблица 30. Коэффициент обогащения по кларку литосферы в Онежском заливе

Химический элемент	КО в 2015 г	КО в 2016 г
Cu	0,039-0,479	0,032-0,256
Zn	0,042-0,284	0,063-0,497
Pb	0,041-0,408	0,060-0,476
Cd	0,177-0,477	0-0,662

Полученные нами данные по содержанию ТМ в ДО в Онежском заливе Белого моря представлены в таблицах 29, 30. Анализ данных показал, что содержание исследованных ТМ не превышали кларки литосферы.

Коэффициент обогащения меди за период исследований в Онежском заливе изменялся незначительно и составлял в 2015 и в 2016 гг. от 0,039-0,479 и 0,032-0,256 соответственно. Коэффициент обогащения в ДО по цинку, по кларку литосферы этого элемента составил 0,042-0,284 в 2015 году с последующим увеличением 0,063-0,497 в 2016 году. По свинцу и кадмию КО, рассчитанные по кларку литосферы, составили 0,041-0,408, 0,177-0,477 в 2015 году и 0,060-0,476 и 0-0,662 в 2016 году соответственно, что свидетельствует о хорошей мобильности данных элементов.

5.3. Кандалакшский залив

Антропогенное влияние в Кандалакшском заливе наиболее ярко проявляется в его мелководной части (вершине залива). Очагами загрязнения залива органическими веществами являются акватория Кандалакшского рейда, участки, непосредственно прилегающие к морскому торговому порту и специализированному морскому порту «Витино», а также территория ЗАО «Беломорская нефтебаза» и районы выпуска сточных вод предприятий и г. Кандалакша с подведомственными территориями (преимущественно сброс в р. Нива) (Макимова, 2014). При авариях, сопровождающихся разливами нефтепродуктов, данный район характеризуется достаточно сложными гидрометеорологическими условиями, что приводит к затруднениям в ликвидации разлива. Согласно имеющимся научным публикациям (Корякин, 2006, 2010) с лета 1971 г. в вершине Кандалакшского залива были отмечены пятна нефтяных пленок в связи с введением в эксплуатацию первой очереди нефтебазы (осень 1970 г.). Впоследствии в данном районе неоднократно наблюдались локальные превышения уровня загрязнения вод

нефтепродуктами, несущие непосредственную угрозу для состояния биоты Кандалакшского заповедника.

Кутовая часть залива наиболее резко отличается от других районов Белого моря. Ее крутые, скалистые берега возвышаются на 50-70 м, в 2-3 км от моря абсолютные отметки превышают 100-150 м. Защищенность от волнения и прочность слагающих побережье кристаллических пород сводят здесь к минимуму абразионно-аккумулятивную деятельность моря. Приливно-отливные течения интенсивно действуют лишь в узкостях проливов. Мелкозернистый материал в незначительных количествах поставляется в виде взвешенных наносов малыми реками, устья которых приурочены к вершинам заливов. Вдоль побережья Кандалакшского залива широко распространены морские поздне- и послеледниковые отложения, представленные горизонтально-слоистыми иловатыми суглинками, тонко- и среднезернистыми песками, реже – грубозернистыми песками с галькой (Смирнова, 1960).

В 2015 г. содержание НУ в ДО изменялось незначительно – от 15,87 до 20,40 мг/кг. Концентрация меди варьировала от 7,06 до 18,47 мг/кг, для содержания цинка был характерен диапазон от 14,12 до 26,12 мг/кг. Концентрации свинца и кадмия характеризовались невысокими показателями и составляли в среднем 6,95 мг/кг и 0,078 мг/кг соответственно.

В 2016 г., по сравнению с предыдущим годом, концентрация НУ была несколько ниже и составляла в среднем 10,09 мг/кг. Содержание цинка, напротив, увеличилось в 2 раза и достигло в среднем - 41,6 мг/кг. Концентрации кадмия и свинца оказались на уровне 2015 г. (рис. 32).

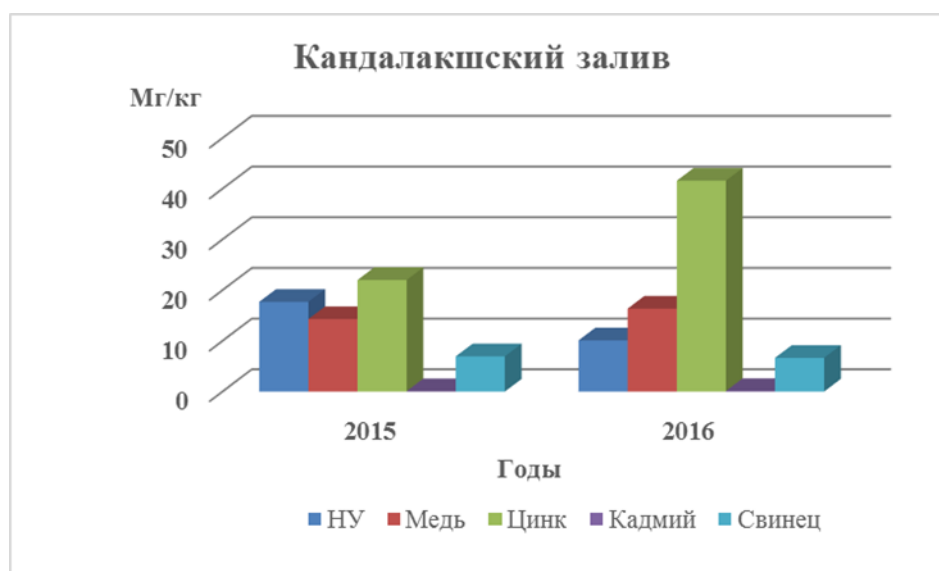


Рисунок 32. Средняя концентрация загрязняющих веществ в донных отложениях Кандалакшского залива Белого моря в 2015-2016 гг.

В таблице 31 представлен диапазон содержания ТМ в ДО в Кандалакшском заливе в 2015-2016 гг.

Таблица 31 Диапазоны ТМ в ДО в Кандалакшском заливе, средняя глобальная распространённость ТМ в мг/кг сухого вещества

Химический элемент	Кандалакшский залив		Кларки литосферы по (Виноградов, 1962)
	Содержание в ДО в 2015 г	Содержание в ДО в 2016 г	
Cu	7,0-18,5	7,6-25,8	47,00
Zn	14,1-26,1	22,0-48,6	83,00
Pb	2,31-10,01	2,65-11,72	16,00
Cd	0,018-0,142	0,046-0,146	0,13

Таблица 32. Коэффициент обогащения по кларку литосферы в Кандалакшском заливе

Химический элемент	КО в 2015 г	КО в 2016 г
Cu	0,149-0,393	0,162-0,549
Zn	0,170-0,315	0,265-0,586
Pb	0,144-0,626	0,166-0,733

Cd	0,138-1,092	0,354-1,123
----	-------------	-------------

Полученные нами данные по содержанию ТМ в ДО в Кандалакшском заливе Белого моря представлены в таблицах 31, 32. Анализ данных показал, что содержание исследованных ТМ не превышал кларки литосферы. Исключение составило содержание кадмия, где концентрация незначительно превышала кларковое значение этого элемента в литосфере.

Коэффициент обогащения меди за период исследований в Кандалакшском заливе изменялся незначительно и составлял в 2015 и в 2016 гг. от 0,149-0,393 и 0,162-0,549 соответственно. Коэффициент обогащения в ДО по цинку, по кларку литосферы этого элемента составил 0,170-0,315 в 2015 году с последующим увеличением 0,265-0,586 в 2016 году. По свинцу и кадмию КО, рассчитанные по кларку литосферы, составили 0,138-1,092, 0,144-0,626 в 2015 году и 0,166-0,733 и 0,354-0,1,123 в 2016 году соответственно, что свидетельствует о хорошей мобильности данных элементов (Климовский, 2020).

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить следующее. За последние два года наблюдается увеличение концентрации всех анализируемых загрязнителей в донных отложениях Двинского залива, НУ и Zn в Онежском, а также Cu и Zn в Кандалакшском заливах. В то же время, за этот же период отмечено снижение содержания в ДО Cu в Онежском и НУ в Кандалакшском заливах. Это может свидетельствовать о повышении антропогенной нагрузки на бассейн Белого моря. В то же время, проведенные исследования показали, что по фактическим показателям уровень загрязнения донных отложений Белого моря НУ и ТМ можно еще считать незначительным, не способным негативно отразиться на условиях развития и формирования его биологических ресурсов (Климовский и др., 2017).

5.4. Пространственное и межгодовое распределение загрязняющих веществ в донных отложениях Белого моря

На рисунке 33 (а, б) приведено сравнительное распределение **нефтепродуктов** в донных отложениях в 2015 и 2016 гг. в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах. Концентрации НУ в ДО в Двинском заливе в 2015 г. изменялись от 6,5 мг/кг в песчанистых осадках до 12,6 мг/кг в илистых. В 2016 г. содержание НУ повысилось незначительно и составляло в среднем 11,8 мг/кг.

В Онежском заливе в 2015 г. наиболее высокое содержание НУ было установлено на станции, расположенной около о. Соловецкий, где оно составляло 14,8 мг/кг. В кутовой части Онежского залива концентрация НУ варьировала незначительно – от 5,7 до 6,4 мг/кг. В 2016 г. содержание НУ в ДО Онежского залива характеризовалось более высокими показателями и составляло в среднем 13,0 мг/кг. В Кандалакшском заливе в 2015 г. содержание НУ в ДО изменялось незначительно – от 15,9 до 20,4 мг/кг. В 2016 г., по сравнению с прошлым годом, концентрация НУ была несколько ниже и составляла в среднем 10,1 мг/кг (Климовский, 2020).

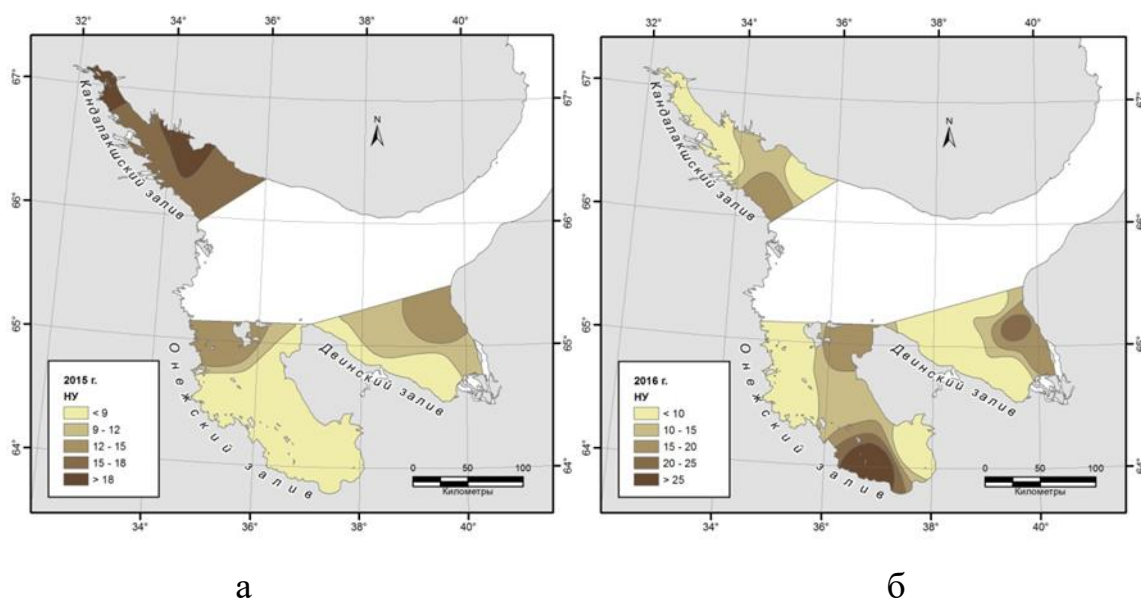


Рисунок 33. Распределение нефтепродуктов (мг/кг) в донных отложениях в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах в 2015 (а) и 2016 (б) гг.

Относительно **свинца** (рис. 34, а, б) анализ полученных данных показал, что его наибольшая концентрация была обнаружена в центральной части Двинского залива. В 2015 г. содержание свинца характеризовалось незначительной величиной и составляло в среднем 4,4 мг/кг. В 2016 г. наблюдалось увеличение поллютанта на всех обследованных станциях Двинского залива, причем на некоторых участках превышение составило 1,5-2 раза. В Онежском заливе его количество в 2015 г варьировало от 0,66 до 6,5 мг/кг, в 2016 г находилось на уровне прошлого года. В Кандалакшском заливе в 2015 г оно характеризовалось невысокими показателями и составляло в среднем 7,00 мг/кг. В 2016 г концентрация свинца была на уровне 2015 г (Климовский, 2020).

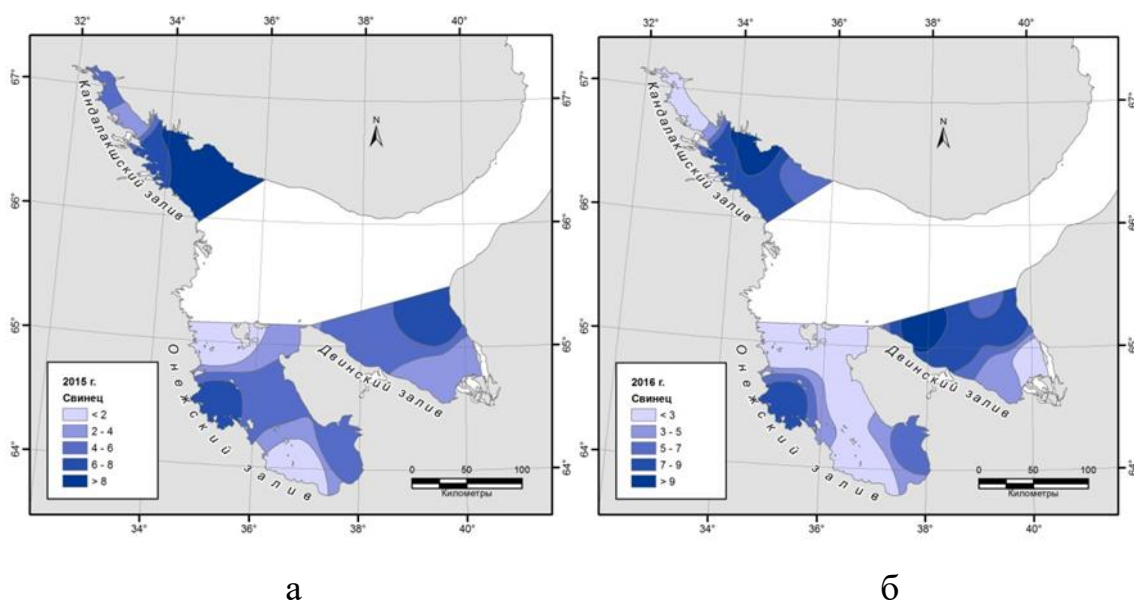


Рисунок 34. Распределение свинца (мг/кг) в донных отложениях в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах в 2015 (а) и 2016 (б) гг.

Наибольшая концентрация **кадмия** (рис. 35, а, б) была также обнаружена в центральной части Двинского залива. В 2015 г. его содержание характеризовалось незначительной величиной и составляло в среднем 0,07 мг/кг. В 2016 г. наблюдалось увеличение его содержания на всех обследованных станциях с 1,5-2-х кратным увеличением на некоторых

участках. В Онежском и Кандалакшском заливах в 2015 г. и в 2016 гг. концентрация кадмия была незначительной и составляла в среднем не более 0,04 мг/кг и 0,08 мг/кг соответственно (Климовский, 2020).

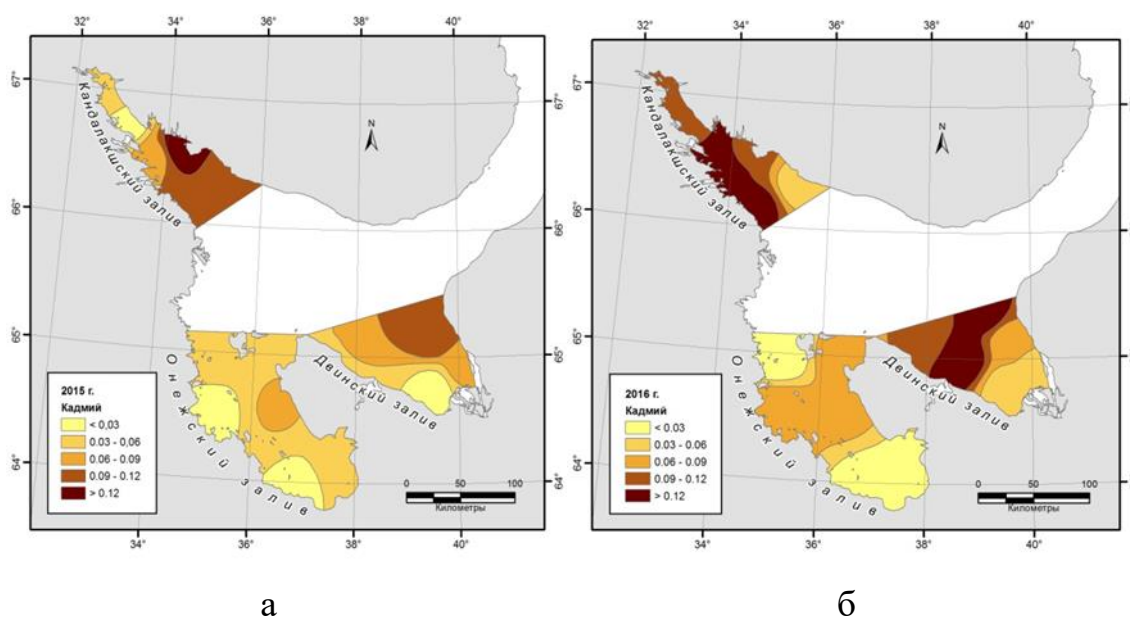


Рисунок 35. Распределение кадмия (мг/кг) в донных отложениях в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах в 2015 (а) и 2016 (б) гг.

На рисунке 36. приведено распределение **меди** в донных отложениях вышеуказанных заливов. В Двинском заливе в 2015 г. концентрация меди в среднем составляла 8,1 мг/кг с некоторым увеличением в 2016 г. Содержание меди в Онежском заливе в ДО мористой части изменялось в широком диапазоне от 2,0 до 22,5 мг/кг с последующим снижением в 2016 г в среднем до 7,00 мг/кг. В Кандалакшском заливе в 2015 г. концентрация меди варьировала от 7,1 в песчанистых осадках до 18,5 мг/кг в илистых. В 2016 г содержание меди составляло в среднем 16,4 мг/кг (Климовский, 2020).

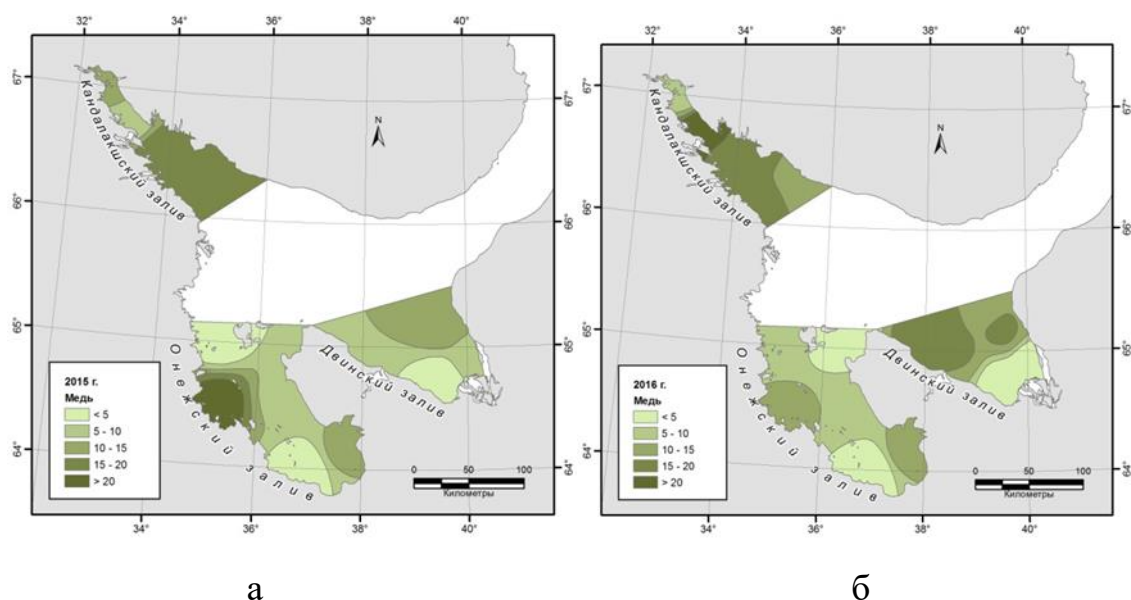


Рисунок 36. Распределение меди (мг/кг) в донных отложениях в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах в 2015 (а) и 2016 (б) гг.

В Двинском заливе в 2015 г содержание **цинка** (рис. 37, а, б) в ДО варьировало от 8,7 мг/кг в песчанистых осадках до 20,7 мг/кг в илистых. В 2016 г наблюдалось увеличение содержания цинка во всех отобранных пробах, причем на некоторых станциях превышение составило 1,5-2 раза. В Онежском заливе в 2015 г. концентрация цинка варьировала в диапазоне от 3,5 мг/кг в песчаных осадках до 23,6 мг/кг в илистых. В 2016 г она возросла на некоторых станциях в 1,5 раза, где его содержание варьировало от 5,3 мг/кг в песчанистых осадках до 41,3 мг/кг в илистых. В Кандалакшском заливе в 2015 г. эти показатели варьировали от 14,1 до 26,1 мг/кг с последующим увеличением в 2016 г В 2016 г содержание цинка, напротив, увеличилось в 2 раза в среднем до 41,6 мг/кг (Климовский, 2020). Увеличение концентрации тяжелых металлов (в т.ч. и цинка) в донных отложениях Кандалакшского залива прежде всего связано с деятельностью горнодобывающих предприятий (Костомукшский ГОК). Кроме того, на территории Республики Карелия, в том числе и у берегов Кандалакшского залива расположены предприятия цветной металлургии (порядка 50), в

сбросах которых (аэротехногенный перенос) содержатся различные тяжелые металлы, такие как цинк, хром, свинец, медь и никель.

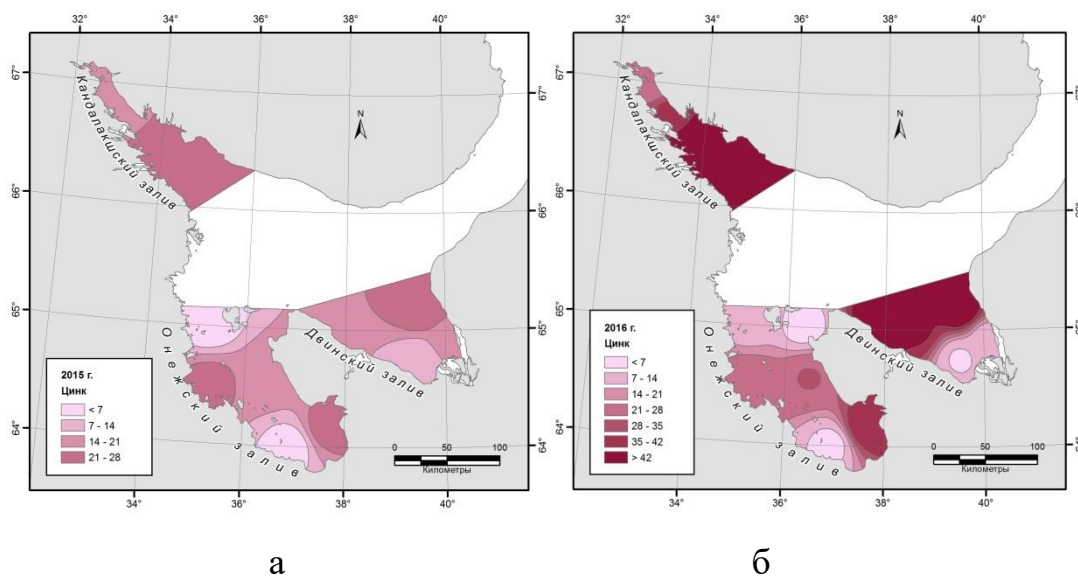


Рисунок 37. Распределение цинка (мг/кг) в донных отложениях в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах в 2015 (а) и 2016 (б) гг.

Анализ полученных нами материалов показал, что за два сравниваемых года исследований было отмечено некоторое снижение содержания в ДО Си в Онежском и НП в Кандалакшском заливах. При этом, за исследуемый период наблюдалось увеличение концентрации всех анализируемых загрязнителей в ДО Двинского залива, НУ и Zn в Онежском, а также Си и Zn в Кандалакшском заливах. Это может свидетельствовать о повышении антропогенной нагрузки на весь бассейн Белого моря. В то же время, проведенные исследования показали, что по фактическим показателям уровень загрязнения ДО Белого моря НП и ТМ можно еще считать незначительным (Климовский, 2020).

Аккумуляция ЗВ тесно связана с типом грунтов и характеристиками различных донных отложений. Наибольший потенциал к накоплению загрязняющих веществ отмечается на иловых и глинистых отложениях, наименьший — для песков.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке элементов геохимического мониторинга основных заливов Белого моря.

ГЛАВА 6. ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕФТЕУГЛЕВОДОРОДОВ НА БЕНТОСНЫЕ СООБЩЕСТВА (НА ПРИМЕРЕ ДВИНСКОГО ЗАЛИВА)

Под загрязнением водоемов понимается ухудшение качества воды и их экономического значения в результате антропогенного поступления вредных веществ. Негативное воздействие загрязняющих веществ на биотическую часть водных экосистем проявляется на организменном, популяционном, биоценоотическом и экосистемном уровнях. В конечном счете, происходит деградация водной экосистемы, а именно ухудшение ее качества как среды обитания гидробионтов, ведущее и к обесцениванию в хозяйственном отношении (Константинов, 1986).

Как в морских, так и в пресноводных экосистемах загрязнение донных осадков нефтью и нефтепродуктами приводит к перестройке бентосных сообществ (Миловидова, Кирюхина, 1985; Попков и др., 2002; Рузанова, Воробьев, 1999). Под влиянием загрязнения может происходить перераспределение доминантных групп гидробионтов – в сообществах начинают преобладать несколько толерантных видов, достигающих аномально высокой численности, тогда как более чувствительные становятся редкими и исчезают (Белан, 2001). Установлено, что бентосные организмы значительно выносливее к нефтяному загрязнению, чем планктонные, которые быстро гибнут в концентрациях нефти порядка 0,01...0,001 мг/л (Калугина и др., 1967; Миловидова, 1974). На гаммаридах было показано, что молодь донных беспозвоночных гораздо чувствительнее к нефтепродуктам, чем взрослые особи (Смоляр, 1981).

Основные структурные характеристики макрозообентоса (видовое разнообразие, численность и биомасса) зависят как от физических свойств грунта и количества в нем преобразованного бактериями легкоусвояемого органического вещества, так и от качества отложений. Для грунтов с признаками нефтяного загрязнения характерна бедность видового состава при высокой численности и биомассе выносливых к загрязнению форм, а при

сильном хроническом загрязнении наблюдается угнетение всего сообщества, включая и устойчивые формы (Михайлова и др., 1998; Виноградов и др., 2002; Самохина, 2010; Патин, 2017).

В целом, среди основных поллютантов, загрязняющих акваторию Белого моря, можно выделить вещества органической и неорганической природы, а также нефтяные углеводороды. При ежегодном сбрасывании в воду до 40 т нефтепродуктов (Корякин, Юрченко, 2007) нефтяное загрязнение Белого моря является наиболее сильным антропогенным воздействием, приводящим к перестройке видовой структуры биоценозов. Нефтяные углеводороды антропогенного происхождения, которые часто поступают в морскую среду в течение короткого времени и, распределяясь на ограниченных акваториях, могут присутствовать в концентрациях, способных оказать токсическое воздействие на морские организмы (Патин, 1997). Наиболее опасными оказываются полиароматические углеводороды, обладающие высокой токсичностью, канцерогенностью и максимальной растворимостью и входящие в международный перечень потенциально опасных веществ (Arduini et.al., 1996).

В собранном материале в составе макрозообентоса были обнаружены типичные для данного района Белого моря гидробионты. Всего было определено более 60 видов (таксонов), относящихся к 7 типам и 10 классам (подклассам) донных организмов (Артемьев и др., 2018).

В ходе исследования была сделана попытка выявить зависимость между количественными показателями зообентоса (численность и биомасса) и содержанием НУ в ДО (см. табл. 33).

Таблица 33. Показатели нефтепродуктов в донных отложениях Двинского залива Белого моря в 2016 г.

Номер станции и состав донных отложений	Глубина, м	Содержание нефтепродуктов в донных отложениях, мг/кг
Кутовая часть залива		
1 (песчаные донные отложения)	13,5	6,6

Номер станции и состав донных отложений	Глубина, м	Содержание нефтепродуктов в донных отложениях, мг/кг
2 (илистые донные отложения)	11	17,0
Б0 (песчаные донные отложения)	9	20,0
Б1 (глинистые донные отложения)	15	13,3
Б2 (глинистые донные отложения)	27	21,0
Б3 (глинистые донные отложения)	50	14,8
Б4 (глинистые донные отложения)	47	8,7
Среднее		14,5
Основная часть залива		
3 (глинистые илы)	53	9,4
4 (глинистые донные отложения)	57	21,0
5 (глинистые илы)	87	7,9
6 (глинистые донные отложения)	68	9,1
Б5 (глинистые донные отложения)	57	24,6
Б6 (глинистые донные отложения)	74	23,2
Б7 (глинистые илы)	82	12,4
Б8 (глинистые илы)	123	26,0
Б9 (глинистые илы)	67	19,5
Среднее	53	17,0
Морская часть залива		
41 (глинистые илы)	107	11,1

Анализируя полученные графики, не удалось выявить зависимости вышеуказанных параметров на конкретных станциях от концентрации загрязнителя (рис. 38, 39).

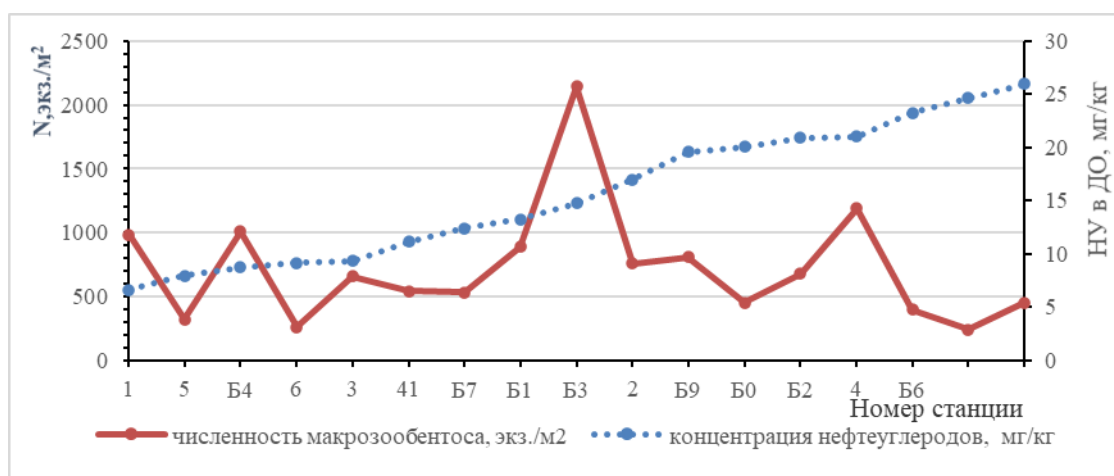


Рисунок 38. Распределение численности зообентоса в зависимости от содержания НУ в донных отложениях.

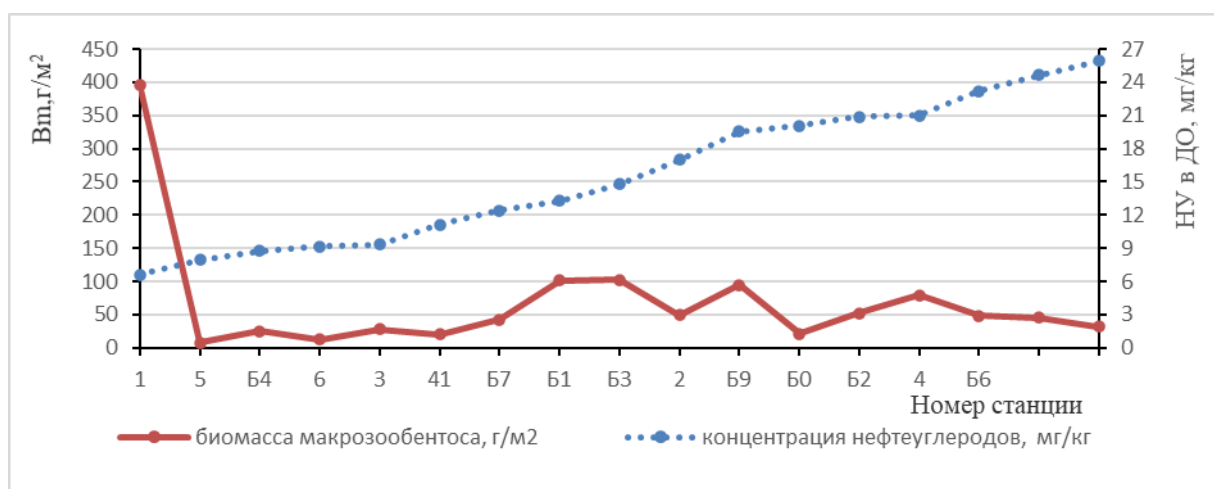


Рисунок 39. Распределение биомассы зообентоса в зависимости от содержания НУ в донных отложениях.

Это вполне закономерно и может быть объяснено наличием следующих причинно-следственных связей. Прежде всего, на значительной акватории залива располагаются различные типы грунтов: в кутовой части – песчано-илистые, в центральной и в морской частях – глинистый ил (Климовский и др., 2017). Различные биотопы на донной поверхности населены присущими им группами зообентоса с конкретной численностью и биомассой. Они характеризуются разной скоростью ответной реакции на воздействие загрязнителя, имеющего к тому же мозаичный характер накопления в ДО (см. табл. 26). Кроме того, с увеличением концентрации НУ в ДО может происходить (и происходит) смена доминантных групп зообентоса в составе донных биоценозов, сопровождающаяся как снижением, так и повышением численности и биомассы. Это связано с адаптационными процессами организмов, необходимыми для существования в новых условиях среды путем изменения структуры сообществ. Кроме того, загрязненность донных отложений НУ зависит от сорбционной способности, обусловленной их

составом (механическим, химико-минералогическим) и физическими свойствами. Наибольший потенциал к накоплению НУ отмечается на иловых отложениях, наименьший – для галечно-гравийных песков и мелкозернистого песка.

Тем не менее, анализ соотношения численных показателей зообентоса и содержания загрязнителя в ДО в целом по акватории Двинского залива позволил выявить слабую обратную взаимосвязь (коэффициент корреляции (r) - 0,133 для показателей численности и - 0,250 для биомассы). На рисунках 40 и 41 представлены графики зависимости численности и биомассы от концентрации НУ в ДО. Отмечено, что с увеличением концентрации вредного вещества (НУ), наблюдается некоторое снижение, как биомассы, так и численности зообентоса.

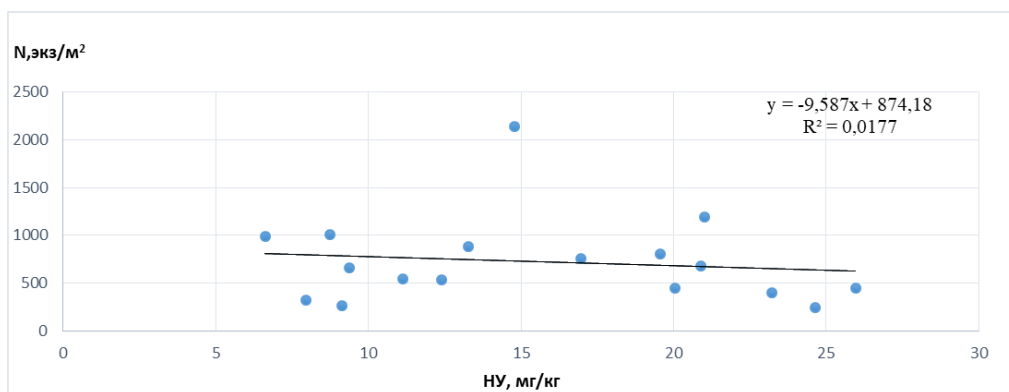


Рисунок 40. Зависимость численности макрозообентоса Двинского залива Белого моря от содержания НУ в донных отложениях ($r = -0,133$).

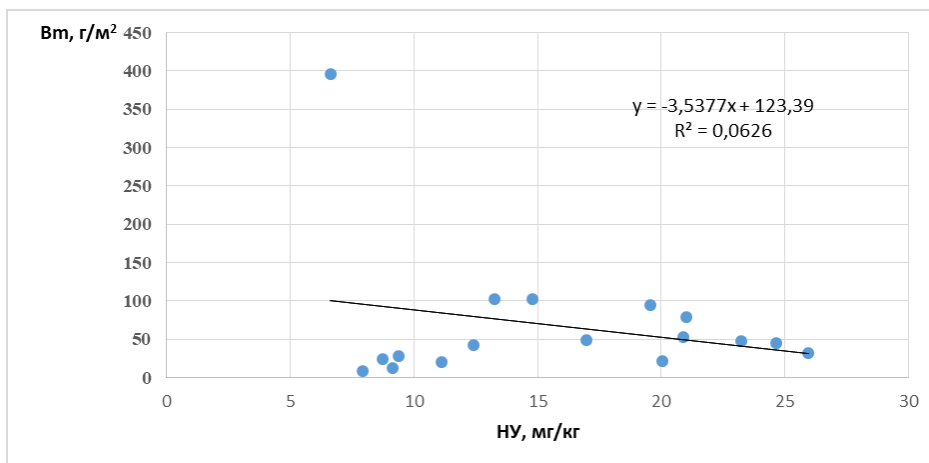


Рисунок 41. Зависимость биомассы макрозообентоса Двинского залива Белого моря от содержания НУ в донных отложениях ($r = -0,250$).

Анализ содержания НУ в ДО показал, что оно варьирует в значительных пределах – от 6,61 мг/кг в песчанистых осадках кутовой части до 25,96 мг/кг в илистых грунтах основной части залива. Наибольшие концентрации были обнаружены в основной части залива и песчанистых осадках кутовой части, что может быть вызвано техногенным влиянием г. Северодвинска. В целом, загрязненность ДО НУ зависит от сорбционной способности, обусловленной их составом (механическим, химико-минералогическим) и физическими свойствами. Наибольший потенциал к накоплению НУ отмечается на иловых отложениях, наименьший – для галечно-гравийных песков и мелкозернистого песка.

Отсутствие сильной зависимости количественных показателей зообентоса на конкретных станциях акватории Двинского залива от концентрации на них загрязнителя объясняется рядом факторов. Прежде всего – это видоспецифичность донных биотопов (грунтов), определяющих количественные параметры обитающих на них групп макрозообентоса, различная скорость ответной реакции организмов зообентоса на воздействие загрязнителя, имеющего к тому же мозаичный характер накопления в ДО. А также смена с увеличением концентрации НУ в ДО доминантных групп зообентоса в составе донных биоценозов, сопровождающаяся как снижением, так и повышением численности и биомассы. Играть роль и адаптационные процессы при развитии организмов, необходимые для существования видов в новых условиях среды путем изменения структуры сообществ.

В то же время, выявлена определенная тенденция (тренд) изменений, касающихся зависимости соотношения количественных показателей зообентоса и содержания загрязнителя в ДО в целом по акватории Двинского залива. То есть с увеличением концентрации загрязняющего

вещества (НУ), наблюдается некоторое снижение, как биомассы, так и численности зообентоса.

Полученные результаты имеют определенное научное и практическое значение для последующей разработки рекомендаций по ведению геоэкологического мониторинга на акватории Белого моря.

ГЛАВА 7. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЕДЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БЕЛОГО МОРЯ

Определение достоверной оценки воздействия хозяйственной деятельности на состояние водных экосистем является одной из наиболее серьезных проблем для охраны и рационального использования природных ресурсов Белого моря. Комплексное воздействие поллютантов может существенно влиять на качество морских вод, биоразнообразие и биопродуктивность морской флоры и фауны, запасы различных промысловых объектов, их пищевую ценность и, в конечном счете, вызывать необратимые негативные изменения в морских биоценозах. Наиболее эффективным инструментом для определения характера и масштабов влияния хозяйственной деятельности на водную экосистему является мониторинг состояния ее различных элементов. Наличие мониторинговой информации дает вероятность отслеживать существующие и возникающие процессы с негативными последствиями и, на этой основе, предсказывать их развитие. Также это позволяет сделать хозяйственную деятельность экологически оптимальной, разработать и реализовать эффективные природоохранные мероприятия.

В комплекс мониторинговых наблюдений Белого моря, входят гидрологические показатели (температура воды, соленость, содержание взвесей), гидробиологические показатели (фитопланктон, зоопланктон и зообентос) и гидрохимические показатели (кислород, БПК₅, биогенные элементы, нефтяные углеводороды). В основных заливах, где явно выражена хозяйственная деятельность (Двинский, Онежский и Кандалакшский) необходим—систематический отбор пробы воды и донных отложений на содержание тяжелых металлов (Cd, Pb, Zn, Cu), алюминия и бенз(а)пирена.

Анализ полученной информации дает возможность разработки конкретных рекомендаций по дальнейшей рационализации и оптимизации

системы экологического мониторинга. Опыт исследований Белого моря и участков расположения крупных промышленных объектов в прибрежной зоне Белого моря показывает, что на фоне природной изменчивости выявить сигнал о негативных изменениях в водных биогеоценозах крайне сложно. Подобные изменения начинают четко проявляться только при возникновении аварийных ситуаций, связанных с поступлением в морские воды больших объемов загрязняющих веществ. В то же время, при длительном мониторинге (7-10 лет и более) всегда можно зафиксировать наличие или отсутствие негативных тенденций в изменениях морских экосистем, но они также могут в значительной степени быть связаны с динамикой природных процессов.

В данной ситуации мониторинг должен быть ориентирован на выделение воздействия контролируемого техногенного объекта на морскую экосистему на фоне ее природной изменчивости и влияния других источников загрязнения водной среды. Для решения данной проблемы целесообразно использовать синхронные наблюдения в течение приливного цикла за состоянием морской среды на участке техногенного воздействия и на фоновом участке вне зоны его влияния, но имеющем аналогичные природные условия. Экологический мониторинг целесообразно проводить в периоды, когда гидробиологические процессы в Белом море получают наибольшее развитие. Он обычно соответствуют весне и лету и приходится на май и конец июля - начало августа.

Донные отложения, аккумулируя загрязняющие вещества, являются показателем антропогенного воздействия на поверхностные воды и могут быть источником их вторичного загрязнения. Поэтому они отбираются с целью оконтуривания зоны распространения отдельных вредных веществ, определения характера, степени и глубины проникновения специфических ЗВ в донные отложения, а также изучения закономерностей процессов самоочищения (ГОСТ 17.1.5.01-80). Количественный состав донных отложений контролируется один раз в год (конец июля – начало августа).

Конкретные этапы мониторинга предполагают выполнение исследований по следующим основным направлениям (рис. 42).

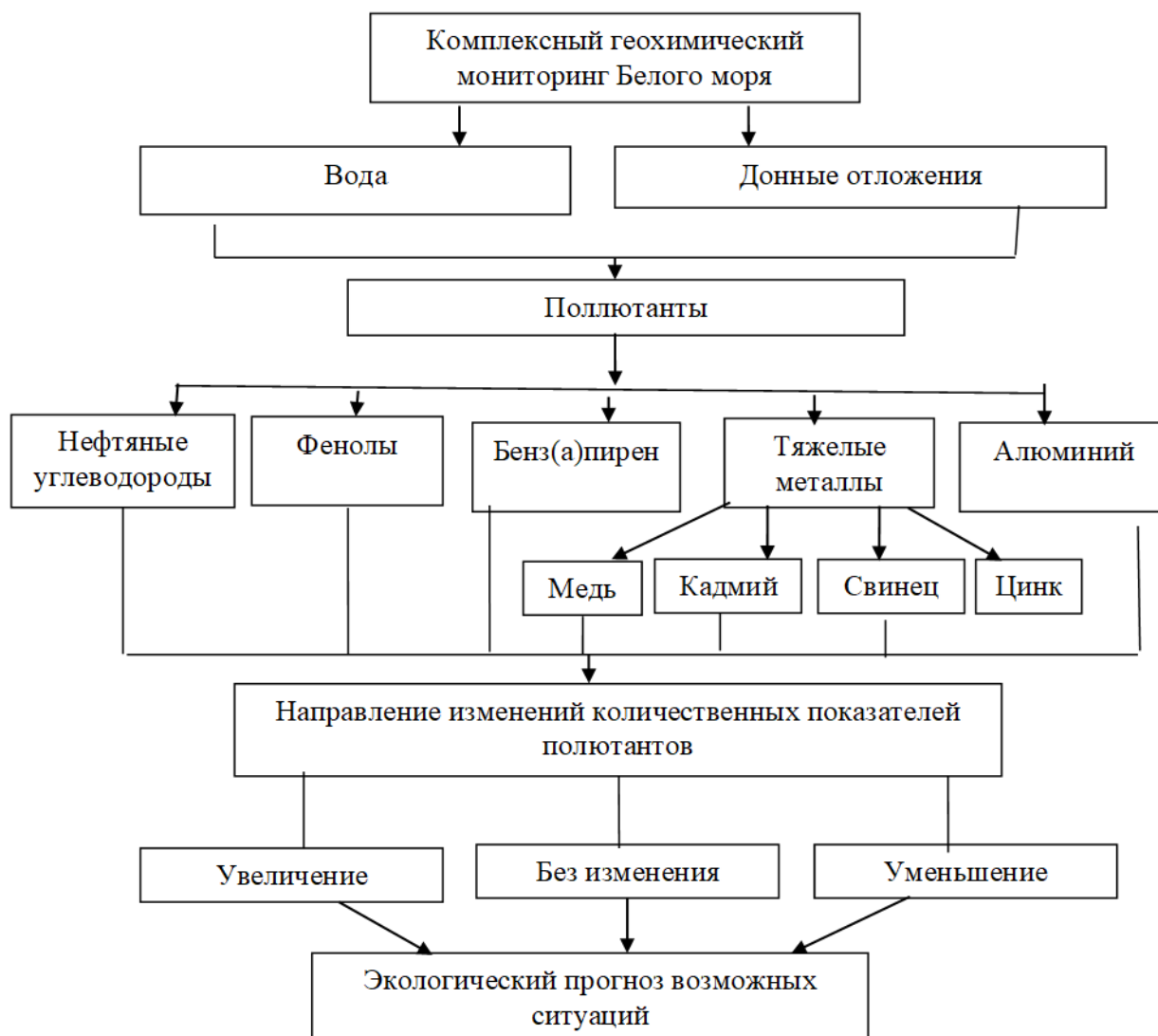


Рисунок 42. Основные направления комплексного экологического мониторинга водных экосистем

По снижению уровней загрязнения экосистемы Белого моря в последующие годы, необходимо, в первую очередь, особое внимание уделять борьбе с загрязнением вод устьевых областях и в нижнем течении рек в весенний период и в периоды затяжных дождей. В данное время года значительное количество загрязняющих веществ поступают в реки с талыми водами и ливневыми (дренажными) водами с территорий населенных

пунктов, складов ГСМ, заправок транспорта топливом и различных промышленных предприятий. Этому во многом способствует интенсификация приобретения населением в последние годы личного автотранспорта. Для решения рассматриваемого вопроса необходимо расширение систем ливневой канализации, оборудованных простыми очистными устройствами типа мазутоловушек. Подобные системы следует сооружать, как для обширных территорий населенных пунктов, так и для каждого, даже небольшого, предприятия, осуществляющего операции с ГСМ.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования в пространственном аспекте в период с 2001-2016 гг. показали, что основным источником их поступления в морские воды заливов является речной сток. Сверхнормативные концентрации НУ имели локальный характер и наблюдались чаще всего в районах наиболее интенсивной хозяйственной деятельности, включая устьевые области рек. Несмотря на эпизодическое превышение НУ уровня ПДК в Двинском, Кандалакшском, Онежском заливах и Бассейне Белого моря воды их остаются достаточно «чистыми». Тем не менее, считаем необходимым продолжение проведения геохимического мониторинга вод как составляющей части комплексного экологического мониторинга Белого моря.

2. Наблюдается ярко выраженная сезонная изменчивость распределения поллютантов в Белом море. Так, максимальные значения характерны для весеннего и осеннего периодов, а минимальные значения для летнего сезона, по-видимому, в этот период происходит окисление нефтепродуктов.

3. Анализ полученных материалов показал, что за два сравниваемых года (2015 и 2016) исследований было отмечено некоторое снижение содержания в ДО Си в Онежском и НП в Кандалакшском заливах. При этом, за исследуемый период наблюдалось увеличение концентрации всех анализируемых загрязнителей в ДО Двинского залива, НУ и Zn в Онежском, а также Си и Zn в Кандалакшском заливах. Это может свидетельствовать о повышении антропогенной нагрузки на весь бассейн Белого моря. В то же время, проведенные исследования показали, что по фактическим показателям уровень загрязнения ДО Белого моря НП и ТМ можно еще считать незначительным. В то же время, аккумуляция поллютантов зависит от сорбционной способности, обусловленной их составом (механическим, химико-минералогическим) и физическими свойствами. Наибольший

потенциал к накоплению поллютантов отмечается на иловых отложениях, наименьший – для галечно-гравийных песков и мелкозернистого песка.

4. Выявлена определенная тенденция изменений, касающихся зависимости соотношения количественных показателей зообентоса и содержания загрязнителя в ДО в целом по акватории Двинского залива. С увеличением, концентрации нефтепродуктов в донных отложениях, наблюдается некоторое снижение, как биомассы, так и численности зообентоса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Андрианов, В.В. О последствиях нефтяного загрязнения акватории южной части Онежского залива Белого моря в 2003 году / В.В. Андрианов, А.А. Ненашев, В.М. Белькович, Л.Р. Лукин // Теория и практика комплексных исследований в интересах экономики и безопасности российского Севера. Тезисы докладов межд. науч.-практ. конф.. Мурманск, 15-17 марта 2005 г. – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2005. С. 13-14.
- 2 Арсеньева Н.Я. Пространственно-временная изменчивость температуры воды в прибрежной зоне Баренцева, Белого и Балтийского морей II Тр. ГОИН. 1972. Вып. 110. С. 19-36.
- 3 Арсеньева Н.Я. Тепловой баланс Белого моря и его изменения во времени и пространстве //Тр. ГОИН. Вып. 81. JL: Гидрометеиздат. 2014. С. 62-93.
- 4 Артемьев С.Н., Климовский Н.В., Новоселов А.П. Состояние макрозообентоса Двинского залива Белого моря в условиях загрязнения донных отложений нефтепродуктами //Вода: химия и экология, Выпуск №1-3 январь-февраль-март /2018 С., 80-93.
- 5 Атлас загрязнения природной среды акваторий и побережья морей Российской Арктики /Под ред. С.А. Мельникова, А.Н. Горшкова. Спб: Региональный центр «Мониторинг Арктики» (Росгидромет); Arctic 1999 Monitoring and Assessment Programme (AMAP). 2012. (1999) – С. 54.
- 6 Атлас научных основ рыбопромысловой карты Онежского залива Белого моря II Изд. АН СССР. М.-Л. 1956. 56 с.
- 7 Бабков А. И. Взаимосвязь явлений в зонах гидрологических фронтов II Фотограмметрическая обработка и дешифрование аэроснимков «Наука». Л. 1967. С, 164-168.

- 8 Бабков А. И.. Гидрология Белого моря. 1998. 94 с.
- 9 Бабков А. И. Краткая гидрологическая характеристика губы Чупа Белого моря II Экологические исследования перепективных объектов марикультуры фауны Белого моря, Л. 1982. С, 3-16.
- 10 Бабков А. И., Голиков А. Н. Гидробиокомплексы Белого моря. Л. 1984. с.
- 11 Бабков А. П., Прыгункова Р. В. Структура температурного поля и распределение зоопланктона в Кандалакшском заливе Белого моря в связи с особенностями динамики вод II Биоценозы губы Чуда Белого моря и их сезонная динамика. 1985. С. 59-93.
- 12 Бабков А.И., Голиков А.Н. Гидробиокмплексы Белого моря. ЛТ., ЗИН АН СССР. 2014. – С. 103.
- 13 Беклемишев К. В., Валовая Н. А., Иванова В. Л., Майер Е. М., Панголин А. Н., Семенова Н. Л., Сергеева О. М. Новые представления об океанологической и биологической структуре Белого моря II ДАН СССР. 1975. Т. 224. № 1. С. 209-211.
- 14 Беклемишев К. В., Малютин О. И., Семенова Н. Л. Структура биологической границы псевдобатиали в Белом море II Журн. общ, биол. 1982. Т. 43. № 3. С. 366-373.
- 15 Беклемишев К. В., Пантюлин А. Н., Семенова Н. Л. Биологическая структура Белого моря II Тр. Беломорск. биостанции МГУ. 1980. Т. 5. С. 8-19.
- 16 Белан Т.А. Особенности обилия и видового состава бентоса в условиях загрязнения (залив Петра Великого, Японское море: Автореф. дис. На соискание ученой степени канд. биолог. наук. — Владивосток, 2001. — 27 с.
- 17 Бергер. В.Я. Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования: В 2 ч. СПб., 1995. – 249 с.

- 18 Брызгалов В.А., Иванов В.В. Многолетняя и сезонная изменчивость химического стока рек Белого моря в условиях антропогенного воздействия // Экологическая химия. 2012. - № 11 (2). – С. 91-104.
- 19 Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 565-571.
- 20 Виноградов Г.А., Березина Н.А., Лаптева Н.А., Жариков Г.П. Использование структурных показателей бактерио- и зообентоса для оценки качества донных отложений (на примере водоемов Верхневолжского бассейна) // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 3. С. 329–336.
- 21 Вустер У. С. Океанские водные массы II Энциклопедия Океан-атмосфера. Л. 1983. 464 с.
- 22 Гаевская Н.С. Определитель фауны и флоры северных морей СССР / Под ред. Н.С. Гаевская. М.: Изд-во «Советская наука», 1948. 736 с.
- 23 Геоэкология шельфа и берегов морей России. М.: Ноосфера, 2011. – С. 427.
- 24 ГОСТ 17.1.3.08-82 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Правила контроля качества морских вод
- 25 ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. М.: ИПК Издательство стандартов, 1980. 5 с.
- 26 ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация. Межгосударственный научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (протокол №39 от 8 декабря 2011г.) 62 с.
- 27 Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2011 году. – Петрозаводск: Мин-во по природопользованию и экологии РК. 2012 294 с.

- 28 Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2013 году. – Петрозаводск: Мин-во по природопользованию и экологии РК. 2014 300 с.
- 29 Гостиловская М.Г. Определитель мшанок Белого моря. Л.:изд-во «Наука», 1978, 248 с.
- 30 Гурьянова Е. Ф. Краткие результаты гидробиологических исследований Мезенского залива летом 1952 года II Материалы по комплексному изучению Белого моря. 1957. Вып. 1. С. 252-281.
- 31 Дёмина Л.Л., Филиппева К.В, Шевченко В.П. и др. Геохимия донных осадков в зоне смешения реки Кемь (Белое море) //Океанология. 2015. Т. 45. №6. - С. 851-865.
- 32 Дерюгин К. М. Фауна Белого моря и условия ее существования II Исследование морей СССР. 1928. Вып. 7-8. 510 с.
- 33 Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР. Учебное пособие для вузов по спец. «Океанология». М. МГУ. 1982. 192 с.
- 34 Долотов Ю. С. Комплексные исследования в Онежском заливе Белого моря и эстуарии реки Онега в летний период / Ю. С. Долотов, Н.Н. Филатов, В.П. Шевченко и др. // Океанология. 2008. Т. 48, № 2. С. 276-289.
- 35 Дурягина Е.Г. Нефтепродукты в морской среде // Ученые записки. РГМУ. 2011. № 17. С. 122-130.
- 36 Елисов В.В. Оценка водного, теплового и солевого балансов Белого моря //Метеорология и гидрология. 2012. - № 9. - С. 83-93.
- 37 Елисов В.В. Оценка объемов водных масс Белого моря //Метеорология и гидрология. 1999. - № 9. – С. 78-85.
- 38 Жирков И.А. Полихеты Северного ледовитого океана. М.: Изд-во Янук-К. 2001 .632 с.
- 39 Залогин Б. С, Гнатовский Ю. С. Характеристика зимней вертикально циркуляции в Белом море II Вести. МГУ. 1974. № 5. С. 87-92.

- 40 Зубов Н. Н. Динамическая океанология. Гидрометеиздат. М.-Л. 1960. 430 с.
- 41 Зубов Н. Н. Основы учения о приливах Мирового океана. М. Географиз. 1956. 240 с.
- 42 Ильин Г.В., Усягина, Н.Е. Касаткина Геоэкологическое состояние среды морей Российского сектора Арктики в условиях современных техногенных нагрузок// Вестник Кольского научного центра РАН 2/2015(21).82-93 с.
- 43 Исидоров В.А. Экологическая химия Уч для ВУЗ, Спб.: химиздат, 2001, 304 с.
- 44 Калинина Л.И., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Картирование абразионных берегов России //Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2012. - № 3. – С. 46-50.
- 45 Калугина А.А., Миловидова Н.Ю., Свиридова Т.В., Уральская И.В. О влиянии загрязнений на морские организмы Новороссийской бухты Черного моря // Гидробиологический журнал. 1967. № 1. С. 47–53.
- 46 Кленова М.В. Геология моря. М. АН СССР 1960 г. 367 с.
- 47 Климовский Н.В. К вопросу о накоплении поллютантов в донных отложениях Двинского залива Белого моря / Н.В. Климовский // Живая природа Арктики: сохранение биоразнообразия, оценка состояния экосистем. сб. тез. междунар. конф. (Архангельск 30 окт.-3 нояб. 2017 г.) / Ин-т проблем экологии и эволюция им. А.Н. Северцова РАН [и др.]. – С.128-130.
- 48 Климовский Н. В. Пространственное распределение загрязняющих веществ в донных отложениях Белого моря // Астраханский вестник экологического образования. 2020. № 2 (56). С. 57-66.
- 49 Климовский Н. В. Содержание загрязняющих веществ в водах Двинского залива Белого моря Астраханский вестник экологического образования. 2020. № 2 (56). С. 66-74.

- 50 Климовский Н.В., Чернова В.Г., Новоселов А.П. Содержание загрязняющих веществ в донных отложениях Двинского, Онежского, Кандалакшского заливов Белого моря // Вода: химия и экология. 2017. № 6. С. 12-22.
- 51 Климовский Н.В. Чернова В.Г., Петракова И.В., Новоселов А.П. Аккумуляция загрязняющих веществ донными отложениями // Вода: химия и экология. 2017. № 10. С. 3-9.
- 52 Климовский Н.В., Левицкий А.Л., Новоселов А.П. Пространственное распределение и многолетняя динамика содержание нефтяных углеводородов в водах и донных отложениях Белого моря // Вода: химия и экология. 2019. № 3-6. С. 21-29.
- 53 Константинов А.С. Общая гидробиология // М.: Высшая школа, 1986. 472 с.
- 54 Корякин А. С. Аварийные разливы нефтепродуктов в Кандалакшском заливе. Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2010 год / А. С. Корякин, С. В. Юрченко. Кандалакша: Кандалакшский заповедник, 2010. Кн. 56. Т. 1. С. 92-107.
- 55 Корякин А. С. Сбросы загрязняющих веществ ЗАО «Беломорская нефтебаза» в акваторию Кандалакшского залива. 2004-2006 гг. Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2006 год / А. С. Корякин, С. В. Юрченко. Кандалакша: Кандалакшский заповедник, 2006. Кн. 52. Т. 1. С. 27-37.
- 56 Корякин А. С., Юрченко С. В. Сбросы загрязняющих веществ беломорской нефтебазой в Кандалакшский залив в 2004–2006 гг. // Экологические исследования беломорских организмов. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. С. 59–60.
- 57 Кузнецов В. В. Белое море и биологические особенности его флоры и фауны. Изд. АН СССР. М.-Л. 1960. 322 с.
- 58 Кузнецов В. В. Стационарные полыньи в Белом море II Тр. ГОИН. 1961. Вып. 64. С. 78-92.

- 59 Кукина С.Е., Садовникова Л.К., Калафт-Фрау А., Палеруд Р., Хуммель Х. Формы металлов в донных отложениях некоторых эстуариев бассейна Белого и Баренцева морей //Геохимия. 1999. - № 12. – С. 1329-1334.
- 60 Лебедев А.А. Вторичное загрязнение нефтепродуктами прибрежной зоны Онежского залива Белого моря / А.А. Лебедев, В.В. Андрианов, Н.В. Неверова, Л.Р. Лукин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, № 3(3). С. 927-931.
- 61 Лебедев А.А. Последствия аварийного разлива нефтепродуктов в южной части Онежского залива Белого моря / А.А. Лебедев, В.В. Андрианов, Н.В. Неверова, Л.Р. Лукин // Вестник САФУ. Серия «Естественные науки». 2012. № 4. С. 5-12.
- 62 Лебедев А.А., Мискевич И.В. Сезонная изменчивость содержания нефтяных углеводородов в водах Белого моря на примере Двинского залива//Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря/ Материалы X Международной конференции, Архангельск, Изд-во СГМУ, 2007. - С. 38-41.
- 63 Леонов А.В., Филатов Н.Н., Здоровеннов Р.Э., Здоровеннова Г.Э. Функционирование экосистемы Белого моря: исследование на основе математической модели трансформации органогенных веществ //Водные ресурсы. 2014. – Т.31. - № 5. – С. 556-575.
- 64 Леонов А.В., Чичерина О.В. Вынос биогенных веществ в Белое море с речным стоком //Водные ресурсы. 2014. Т. 31. №2. – С. 170-192.
- 65 Лисицын А.П. Новые возможности четырехмерной океанологии и мониторинга второго поколения опыт двухлетних исследований на Белом море //Актуальные проблемы океанологии /Под ред Н.П. Лаверова; Ин-т океанологии им П.П. Ширшова. М.: Наука. 2013. - С.503-556.
- 66 Лисицын А.П. Осадкообразование в океане. М.: Наука. 2014. – С. 483.

- 67 Лисицын А.П. Процессы в водосборе Белого моря: подготовка, транспортировка и отложение осадочного материала, потоки вещества, концепция «живого водосбора» // Система Белого моря. М.: Научный мир, 2010. Т. 1. С. 353-445.
- 68 Лукашин В.Н., Косолобова К.Н., Шевченко В.П. и др. Результаты комплексных океанографических исследований в Белом море в июне 2000 г. //Океанология. 2013. – Т.43. - № 2. – С. 237-253.
- 69 Максимова В. В. Особенности протекания процесса деградации нефтяных углеводородов в водах Кандалакшского залива по результатам физико-химического моделирования / В. В. Максимова, С. И. Мазухина, В. А. Маслобоев // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 2. С. 369-375.
- 70 Манихин В.И. Растворенные и подвижные формы тяжелых металлов в донных отложениях пресноводных экосистем. / Манихин В.И., Никаноров А.М. – Спб.: Гидрометеиздат, 2001. - С. 107- 122.
- 71 Марфенин Н.Н. Иллюстрированный атлас беспозвоночный белого моря / Под общ. ред. Н.Н. Марфенина. М.: Т-во научных изданий КМК. 2006. 312 с.
- 72 Миловидова Н.Ю. Действие нефти на некоторых прибрежных ракообразных Черного моря // Гидробиологический журнал. 1974. № 4. С. 96–100.
- 73 Миловидова Н.Ю., Кирюхина Л.Н. Влияние нефти и нефтепродуктов на донные осадки и макрозообентос в природных условиях // Проблемы химического загрязнения вод мирового океана. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 86–124.
- 74 Мискевич И.В. Мониторинг состояния экосистем Белого и юго-востока Баренцева морей (2001-2002 гг.): итоги исследований и перспективы.// Материалы отчетной сессии Северного отделения ПИНРО по итогам научно-исследовательских работ 2001-2002 гг. – Архангельск: Изд-во Арханг. Гос. техн. ун-та, 2003. С 5- 17.

- 75 Михайлова Л.В., Акатьева Т.Г., Рыбина Г.Е. Токсичность и генетическая опасность донных отложений малых рек в районе нефтедобычи // I съезд токсикологов России: Тез. докл. М., 1998. 300 с.
- 76 Мохова О.Н., Климовский Н.В., Мельник Р.А., Новоселов А.П. Пространственно-временная динамика содержания нефтяных углеводородов в водах Белого моря. // Вода: химия и экология, 2007. № 1. С. 19-26.
- 77 Мохова О.Н., Климовский Н.В., Чернова В.Г., Мельник Р.А. Количественная и качественная оценка содержания загрязняющих веществ в водах Белого моря // Экологическая химия, 2017, Т.26, № 6 С. 340-348.
- 78 Наумов А.Д. Двустворчатые моллюски Белого моря // Опыт эколого-фаунистического анализа. СПб.: Изд-во: Типография ЦСИ, 2006. 367 с.
- 79 Немировская И. А. Углеводороды в водах и донных Белого моря / И. А. Немировская, А. В. Травкина, И. П. Трубкин // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. Т.3. С. 77-90.
- 80 Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир, 2013. 423 с.
- 81 Немировская И.А. Углеводороды в водах и донных осадках Белого моря / И.А. Немировская, А.В. Травкина, И.П. Трубкин // Проблемы Арктики и Антарктики. СПб: изд-во ААНИИ, 2015. Т. 3. С. 77-90.
- 82 Немировская И.А. Углеводороды в океане. М.: Научный мир, 2004. 328 с.
- 83 Новоселов А.П., Студенов И.И. Факторы техногенного воздействия на бассейн реки Северная Двина//Вестник С(А)ФУ, Серия «Естественные науки». № 2, 2014. С. 32-40.
- 84 Оберюхтина И.А. Оценка загрязнения экосистемы Белого моря нефтяными углеводородами и бенз(а)пиреном в 2004 году.// Материалы отчетной сессии Северного филиала ПИНРО по итогам

- научно-исследовательских работ 2003-2004 гг. – Архангельск, 2007. С 27- 35.
- 85 Овсяный Е. И. Мышьяк и тяжелые металлы в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море) / Е. И. Овсяный, Е. А. Котельянец, Н. А. Орехова // Экспериментальные и экспедиционные исследования. 2009. С. 67-80.
- 86 Павлидис Ю.А., Щербаков Ф.А., Шевченко А.Я. Глинистые минералы донных осадков шельфа Кубы и Белого моря: геология и климат - сопоставления//Океанология. 2015. Т. 35. № 1. – С. 121-127.
- 87 Пантюлин А. Н. Некоторые особенности структуры вод Белого моря II Тр. Беломорск. биол. станции МГУ. 1974. Т. 4. С. 7-13.
- 88 Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем: Аналитический обзор / Т.С. Папина. ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН. – Новосибирск, 2001. – 58 с. – (Сер. Экология. Вып. 62).
- 89 Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа: в 2-х т. Т. 1 М.: изд-во ВНИРО, 2017. – 326 с.
- 90 Патин С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. М.: изд-во ВНИРО, 1997. – 350 с.
- 91 Пересыпкин В.И., Лукашин В.Н., Исаева А.Б., Прего Р. Лигнин и химические элементы в осадках Кандалакшского залива Белого моря //Океанология. 2014. Т. 44. № 5. - С. 743-755.
- 92 ПНД Ф 14.1: 2:4.128-98 Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат -02». М, 2012. 25 с.
- 93 ПНД Ф 14.1: 2:4.181-02 Методика выполнения массовой концентрации алюминия в пробах природных питьевых и сточных вод

- флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат -02». М, 2010. 25 с.
- 94 ПНД Ф 14.1: 2:4.182-02 Методика измерений массовой концентрации фенолов (общих и летучих) в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат -02». М, 2010. 29 с.
- 95 ПНД Ф 14.1: 2:4.186-02 Методика измерений массовой концентрации бенз(а)пирена в пробах природных, питьевых (в том числе расфасованных в емкости) и сточных вод методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектированием с использованием жидкостного хроматографа «ЛЮМАХРОМ» М, 2010. 44 с.
- 96 ПНД Ф 16.1: 2.21-98 Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат -02». М, 2012. 25 с.
- 97 ПНД Ф 16.1:2:2:2:2:3:3.39-2003 Методика измерений массовой концентрации бенз(а)пирена в пробах почв, грунтов, твердых отходов, донных отложений, осадках сточных вод методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектированием с использованием жидкостного хроматографа «ЛЮМАХРОМ» М, 2012. 25 с.
- 98 Попков В.К., Воробьев Д.С., Лукьянцева Л.В., Рузанова А.И. Бассейн реки Васюган (средняя Обь) как модель пойменно-речной системы для изучения влияния нефтяного загрязнения на водные сообщества // Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби / Под ред. В.В. Зуева. Томск: Изд-во «РАСКО», 2002. С. 220–245.
- 99 Рузанова А.И., Воробьев Д.С. Трансформация донных сообществ в условиях нефтяного загрязнения // Экология пойм сибирских рек и Арктики / Под ред. В.В. Зуева. Новосибирск: Изд -во СО РАН, 1999. – С. 71–78.

- 100 Рухина Е. В. Литология ледниковых отложений. — Л.:Недра, 1973. — 176 с.
- 101 Рухина Е.В. Литология моренных отложений. — Л., 1960.
- 102 Савенко А.В. Гидрохимическая структура устьевых областей малых рек, впадающих в Кандалакшский залив Белого моря //Океанология. 2011. - Т. 41. - № 6. – С. 835-843.
- 103 Самохина Л.В. Воздействие нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена на количественные характеристики макрозообентоса Белого и юго-восточной части Баренцева морей: Автореф. дис. На соискание ученой степени канд. биолог. наук. — Мурманск, 2010. — 27 с.
- 104 Система Белого моря. Т. 3. Рассеянный осадочный материал гидросферы, микробные процессы и загрязнения//Буренков В.И.,Гольдин Ю.А.,Копелевич О.В. Кравчишина М.Д.,Филиппов А.С. Вазюля С.В. Ключиткин А.А.,Новигатский А.Н.,Серебряный А.Н.,Политова Н.В.,Иванов М.В.,Шевченко В.П.,Дара О.М.,Золотых Е.О.,Мошаров С.А.,Саввичев А.С.,Русанов И.И.,Веслополова Е.Ф.,Мицкевич И.Н.,Леин А.Ю.,Шеберстов С.В.,Федорова Н.К.,Рыбалко А.Е.,Исаев А.В.,Гарькуша Д.Н.,Федоров Ю.А.,Овсебян А.Э.,Киселев Г.П.,Дружинин С.В.,Зыков С.Б.,Киселева И.М.,Крячюнас В.В.,Блинова О.А.,Сапожников Ю.А.,Трубкин И.П.,Троянская А.Ф.,Вахрамеева Е.А.- Научный мир, 2013. – С. 71.
- 105 Скарлато О.А. Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования 1 ч / Под ред. О.А. Скарлато. СПб.: изд-во ЗИН РАН 1995. 249 с.
- 106 Смирнова В. С. Объяснительная записка / В. С. Смирнова, Р. И. Солодка // Геологическая карта СССР масштаба 1:200000 // Сер. Карельская. Лист Q-36-XVI. М., 1960. 60 с.
- 107 Смоляр Р.И. Выживаемость молоди и интенсивность размножения бокоплава *Gammarus olivii* М. Edwards при хронической

- нефтяной интоксикации // Гидробиологический журнал. 1981. Т. 17. № 3. С. 132–133.
- 108 Соколова Т.А. Глинистые минералы в почвах: Учебное пособие/Т.А. Соколова, Т. Я. Дронова, И.И. Толпешта – Тула: Гриф и К, 2005. – 336 с.
- 109 Стратегическая программа действий по охране окружающей среды арктической зоны Российской Федерации (одобрена Морской коллегией при Правительстве Российской Федерации (протокол совещания от 19 июня 2009 г. № 2 (11), раздел I, пункт 2) http://npa-arctic.ru/rus/da_content_ru.html.
- 110 Стунжас П.А., Бородкин С.О. Гидрохимические критерии обмена поверхностных и глубинных вод Белого моря //Океанология. 2014. Т. 44. № 2. – С. 189-198.
- 111 Тельминов И.В., Невзоров А.Л. Изучение выноса загрязняющих веществ с заболоченной территории// Вестник МГСУ.2015. №4. с.115-125
- 112 Тельминов И.В., Вешнякова Л.А. Оценка сорбционной способности верхового торфа // Вода:химия и экология 2013. №2. с.104-108
- 113 Тельминов И.В., Невзоров А.Л. Прогноз продолжительности выноса загрязняющих веществ с заболоченной территории// Вестник ВГАСУ. 2015 Вып.42(61) с. 25-38
- 114 Тимонов В. В. Главные особенности гидрологического режима Белого моря II Сборник «Памяти Ю. М. Шокальского» Изд. АН СССР. М.-Л. 1950. Ч. 2. С. 206-235.
- 115 Тимонов В. В. К вопросу о гидрологическом режиме Горла Белого моря // Исследования Русских морей. 1925. № 104. Вып. 1. С. 8 - 57.
- 116 Тимонов В. В. О водообмене между Белым и Баренцевым морями II Тр. ин-та по изучению Севера. 1929. Вып. 1 (13). С. 118-131.

- 117 Толстиков А.В. Чернов И.А. Антропогенное воздействие на экологическое состояние Белого моря // Научно-исследовательские публикации № 15(19) /2014. С 19-31.
- 118 Усенков, С. М. Природный седиментогенез и техногенез в Ладожском озере. / С. М. Усенков, А. Г. Свешников, В. А. Щербаков. СПб. Изд-во СПбГУ. 1999. -151 с
- 119 Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Овсепян А.Э., Кузнецов А.Н. Основные результаты экспедиционных исследований на Северной Двине и Двинской губе Белого моря //Изв. Вузов. Сев.-Кав. Регион. Естеств. Науки. 2015. - №3. – С. 95-100.
- 120 ФР.1.31.2007.03683 Методика выполнения измерений массовой концентрации токсичных металлов в пробах природных, питьевых и сточных вод атомно-абсорбционным методом. М., 2007. 12 с.
- 121 ФР.1.31.2007.04106 Методика выполнения измерений массовой долей токсичных металлов в пробах почв атомно-абсорбционным методом. М., 2007. 12 с.
- 122 Хмызникова В. Л. Распределение количества планктона в Бассейне Белого моря как показатель гидрологических «полюсов» тепла и холода II Тр. ГОИН. 1947. Выш. 1 (13). С. 155-164.
- 123 Цетлин А.Б. Флора и фауна белого моря: иллюстрированный атлас / под ред. А.Б. Цетлина, А.Э. Жадан, Н.Н. Марфенина. М.: Т-во научных изданий КМК, 2010. 471 с.
- 124 Цыбань А.В. Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений // Методы изучения морского зообентоса / Под ред. А.В. Цыбань. Л.: Изд-во ГИДОМЕТЕОИЗДАТ, 1980. 190 с.
- 125 Цыганкова А.Е., Бердников С.В. Масс-балансовый подход к изучению крупномасштабного водообмена и его влияния на формирование гидрохимического режима в Белом море //Изв. Вузов.

- Сев.-Кав. регион. Естественные науки. Приложение. 2013. - № 12. – С. 31-44.
- 126 Цыганкова А.Е., Бердников С.В. Моделирование переноса и седиментации взвешенного вещества в Белом море //Изучение зообентоса шельфа. Информационное обеспечение экосистемных исследований. Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 2014. – С. 316-330.
- 127 Черновская Е. Н. Некоторые сведения по термике и гидрохимии Мезенского залива II Тр. Мурманской биол. станции. 1958. Т. 4. С. 165-171.
- 128 Чугайнова В.А. Антропогенное воздействие на экосистему Белого моря// Арктическое морское природопользование в XXI веке – современный баланс научных традиций и инноваций.// Тезисы докладов Международной научной конференции г. Мурманск, 1-3 апреля,- С. 247-249.
- 129 Шокальский Ю. М. Океанография. Петроград. 1917. 616 с.
- 130 Arduini A., Peschchera A., Dottori S., Sciarroni A., Serafini F., Calvani M. High performance liquid chromatography of long-chain acilcarnitine and phospholipids in fatty acid turmover stadies // J. of Lipid Research. 1996. Vol. 37. P. 684–689.
- 131 Helland-Hansen B., Nansen F. The eastern North Atlantic. Geofysiske Publikasjoner, Oslo, 1927. Vol. IV. № 2. P. 1-72.
- 132 Horowitz, A., Elrick, K. The relation of stream sediment surface area, grain size, and composition to trace element chemistry/ Appl. Geochem. – 1987. – 451 p.
- 133 Saukel C. Clay-mineral and grain-size distributions in surface sediments of the White Sea (Arctic Ocean): indicators of sediment sources and transport processes / C. Sauke, R. Stein, Ch. Vogt et al. // Geo-Mar Letter. 2010. V. 30. P. 605–616.
- 134 Svedrup H. U., Johnson M. W., Fleming R. H. The Oceans: Their Physics, Chemistry and General Biology. New York. 1942.

- 135 Tolosa, I. Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments / I. Tolosa, S. Mora, M.R. Sheikholeslami et al. // Mar. Pol. Bul. 2004. Vol. 48. P. 44-60.
- 136 WoRMS Editorial Board. World Register of Marine Species. Available from <http://www.marinespecies.org>. at VLIZ. 2013. Accessed 2013-11-02.