

**КЛИМОВСКИЙ Николай Владимирович**

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И СЕЗОННО-ГODOВАЯ ДИНАМИКА  
ПОЛЛЮТАНТОВ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БЕЛОГО  
МОРЯ**

25.00.36 - Геоэкология (Науки о Земле)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертация на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Архангельск – 2021



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** 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 еще 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. 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). 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).

В последние десятилетия, в условиях возрастающего воздействия техногенных факторов на водные экосистемы, усиливается поступление в них различных поллютантов (загрязнителей). Не является исключением и Белое море, где вследствие аварийных поступлений концентрация загрязняющих веществ на многих участках акватории в 2-3 раза превышала норму (Андреанов и др., 2012 а,б). 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 освоения ресурсов Белого моря и его водосбора. При этом увеличение интенсивности судоходства, и прежде всего риски, связанные с перегрузкой нефти и нефтепродуктов, могут вести к созданию аварийных ситуаций и росту потока антропогенных углеводородов в этом районе (Система Белого моря, 2013; Немировская, 2015). В этой связи материалы, освещающие современный уровень содержания загрязняющих веществ в донных отложениях (ДО) Белого моря (фоновые показатели), представляют практический интерес.

Это вызывает необходимость в ведении комплексного экологического мониторинга, включающего в себя физическую, геохимическую и биологическую составляющие. Предметом предполагаемого исследования является выполнение **геохимической составляющей** экологического мониторинга, а именно проведение систематических

наблюдений за уровнем загрязнения 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 научный интерес.

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

**Задачи диссертационной работы:**

- провести литературный обзор оценки уровня изученности современного состояния вод и донных отложений Белого моря;
- изучить изменение их количественных характеристик в пространственном аспекте;
- выявить изменение их количественных параметров в сезонно-годовом аспекте;
- оценить возможные последствия воздействия техногенных поллютантов на зообентосное сообщество (на примере Двинского залива);
- разработать рекомендации по ведению геохимического мониторинга гидрополлютантов на акватории Белого моря.

**Научная новизна и теоретическое значение.** В работе впервые представлены многолетние данные по содержанию поллютантов в водах Белого моря, содержание загрязняющих веществ в донных отложениях в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах Белого моря. Проанализированы пространственные и временные изменения их содержания. Установлено, что наибольшая концентрация нефтяных углеводородов наблюдалась в весенний период, наименьшая – в летний период. Выявлена тесная корреляционная связь между средней концентрацией нефтяных углеводородов в поверхностном и придонном слоях Двинского залива в осенний период. Прослежена тенденция к накоплению загрязняющих веществ в глинистых илах и глине. Установлена связь интенсивности аккумуляция загрязняющих веществ с минералогическим составом донных отложений. Проанализирована зависимость биомассы и численности макрозообентоса Двинского залива Белого моря от содержания нефтепродуктов в донных

отложениях. 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. То есть с увеличением концентрации загрязняющего вещества (НУ), наблюдается некоторое снижение как биомассы, так и численности зообентоса.

**Практическое значение.** Результаты исследования могут быть использованы при реализации комплексных программ и разработке системы экологического (геохимического) мониторинга Белого моря. Разработанные карты-схемы по пространственному распределению исследованных поллютантов могут применяться при оценке степени негативного воздействия и расчете ущерба водным биологическим ресурсам при проведении дноуглубительных и других гидромеханизированных работ на акватории Белого моря. Полученные данные могут быть использованы при проведении экологического мониторинга (всего комплекса программ) Белого моря, российских и международных проектов по сохранению биоразнообразия водных экосистем, а также разработке практических рекомендаций по рациональному использованию рыбохозяйственных водоемов.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Пространственное распределение поллютантов позволяет предположить, что основным источником их поступления в морские воды 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 минералогическим 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, посвященная 125-летию проф. В. А. Водяницкого «Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование» (Севастополь, 2018).

**Публикации.** По результатам исследования опубликовано **13** работ, **7** из которых в рецензируемых журналах, входящий в список ВАК Минобрнауки РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, шести 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 искреннюю 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 поллютантов в исследуемом районе.

Автор выражает также свою признательность заведующей сектором аспирантуры ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН Тельтевской С.Е.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. Общее описание района исследований**

В данной главе представлено общее описание района исследований; рассмотрены гидрологические характеристики основных заливов Белого моря, структура и характер распространения осадочных образований Белого моря.

### **Глава 2. Содержание поллютантов в воде и донных отложениях Белого моря**

В главе представлен анализ литературных источников по результатам исследований загрязнения Белого моря. 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). Также в данной главе представлены данные о аварийных поступлениях загрязняющих веществ в Белое море.

Также в данной главе рассмотрены аварийные поступления загрязняющих веществ в Белом море за последние 15 лет.

### **Глава 3. Материалы и методы**

Работы по представляемой тематике выполнялись в рамках ведения мониторинга Белого моря, проводимого 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 исследования велись 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. 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. 1).

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 «Gydrbios» с поверхностного и придонного горизонтов (ГОСТ 17.1.5.05-85).

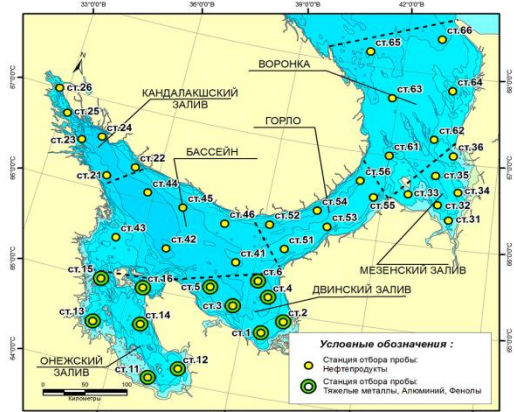


Рис. 1. - Карта-схема расположения комплексных станций в Белом море.

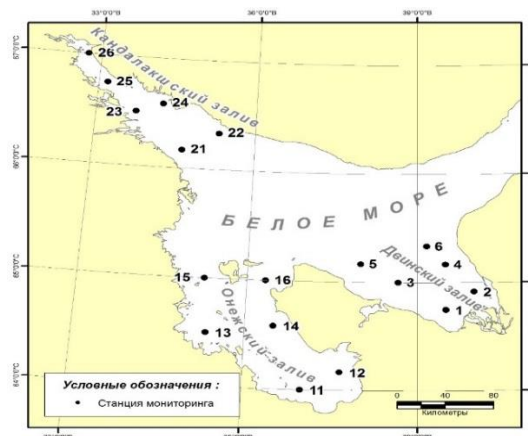


Рис. 2. - Станции отбора проб донных отложений в Белом море.

Отбор проб донных отложений выполнялся в Кандалакшском, Онежском и Двинском заливах (рис. 2) с помощью дночерпателя Ван-Вина с площадью захвата 0,1 м<sup>2</sup>. 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 подготовительные полипропиленовые пробирки с завинчивающейся крышкой.

Для определения массовой концентрации нефтяных углеводородов, фенолов, алюминия и бенз(а)пирена в пробах природных вод и донных отложений применялся флуориметрический метод.

Для определения массовой концентрации токсичных металлов в пробах природных вод и донных отложений использовался атомно-абсорбционный метод.

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.

При построении карт применялся метод обратных взвешенных расстояний (Inverse Distance Weighting) в программе MapInfo версия 11.

Результаты математической обработки были проанализированы отдельно по каждому заливу.

В 2016 г. гидробиологические и гидрохимические исследования в Двинском заливе Белого моря выполнялись в рамках Государственного задания Северного филиала ФГБНУ «ПИНРО» в ходе мониторинга состояния зообентоса и ДО. 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 определило важность и актуальность проводимых исследований, как в научном, так и практическом аспектах.

Материалом для работы явились собранные в летний сезон 2016 г. на 17-ти станциях пробы ДО для анализа содержания в них НУ и оценки состояния зообентоса (рис. 3). 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.

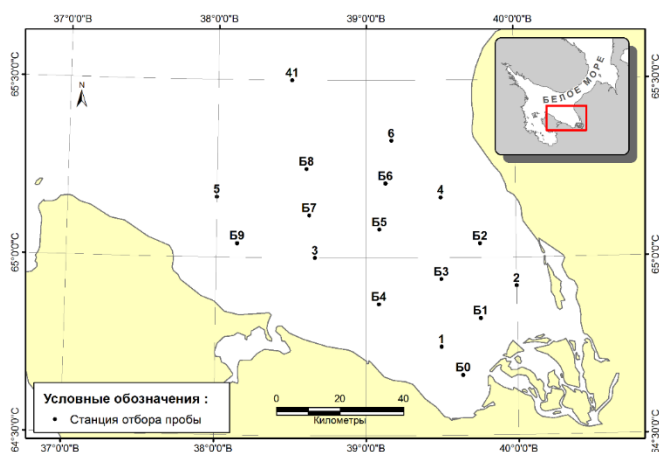


Рис. 3. - Станции отбора проб макрозообентоса и ДО в Двинском заливе Белого моря в 2016 г.

Гидробиологические пробы отбирались с помощью дночерпателя Ван-Вина в трехкратной повторности на каждой станции. Площадь раскрытия дночерпателя - 0,1 м<sup>2</sup>. Промывка отобранного грунта проводилась на палубе судна через сито с размером ячеек 1 мм. Пробы зообентоса фиксировались 4%-м раствором формальдегида в морской воде. Таксономический, качественный и количественный анализ организмов осуществлялся 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./м<sup>2</sup> и биомасса в г/м<sup>2</sup>.

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 камеральной обработки и последующего анализа. Для определения массовой концентрации нефтепродуктов в донных отложениях применялся флуориметрический метод, основанный на экстракции их гексаном и измерении интенсивности флуоресценции экстракта на анализаторе жидкости «Флюорат-02» (ПНД Ф 16.1: 2.21-98).

В таблице 1 представлено количество собранного и проанализированного материала с 2001-2016 гг. в Белом море.

Таблица 1

Количество собранного и проанализированного материала с 2001-2016 гг. в Белом море.

Вода				Донные отложения		
НП	ТМ	Фенолы	Алюминий	НП	ТМ	Б(а)П
2655	125	113	125	36	36	36

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Глава 4. Пространственные и сезонно-годовые изменения содержания поллютантов в водах Белого моря

#### 4.1 Нефтепродукты

Основной вклад, в загрязнение Белого моря нефтепродуктами происходит через речные воды, очевидно, это дает совокупность мелких утечек нефтепродуктов от водного и наземного транспорта, в том числе, попадающих в ливневые (дренажные) стоки с территорий населенных пунктов и автомагистралей. Некоторые количества углеводородов поступают в воду в результате прижизненных и посмертных выделений растительными и животными организмами.

##### 4.1.1. Двинский залив

По результатам многолетних наблюдений (2001-2016 гг.) на акватории Двинского залива установлено, что наибольшая среднегодовая концентрация нефтяных углеводородов характерна для весеннего периода (как в поверхностном, так и в придонном слоях, составляя 0,037 и 0,035 мг/дм<sup>3</sup> соответственно), наименьшая – летом. Высокие значения эксцесса, асимметричности и интервала концентраций характерны для осеннего периода, что указывает на статистическую неоднородность выборки.

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 Двинском заливе по сезонам года, водным слоям (поверхностный и 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. 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 в 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 июне – июле 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.

#### **4.1.2. Онежский залив**

В Онежском заливе (2001-2016 гг.) наибольшая среднегодовая концентрация нефтяных углеводородов оказалась характерной для осеннего периода (как в поверхностном, так и в донном слоях – 0,042 и 0,032 мг/дм<sup>3</sup> соответственно), наименьшая – летом. Высокие значения эксцесса, асимметричности и интервала концентраций характерны для осеннего периода, что указывает на статистическую неоднородность выборки.

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) также 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.

#### **4.1.3. Кандалакшский залив**

По результатам многолетних наблюдений (2001-2016 гг.) 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/дм<sup>3</sup> соответственно), наименьшая – весной. Высокие значения эксцесса, асимметричности и интервала концентраций характерны для осеннего периода, что указывает на статистическую неоднородность выборки.

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.

#### **4.1.4. Мезенский залив**

В Мезенском заливе (2001-2016 гг.) среднегодовая концентрация нефтяных углеводородов оказалась практически одинаковой как для весеннего, так и для 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.

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).

#### **4.1.5. Горло Белого моря**

В Горле Белого моря (2001-2016 гг.) среднегодовая концентрация нефтяных углеводородов также была 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.

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 ( $R^2=0,8058-0,9845$ ).

#### **4.1.6. Воронка Белого моря**

В Воронке Белого (2001-2016 гг.) среднегодовая концентрация нефтяных углеводородов в период исследований имела максимальные значения моря в осенний период (0,032 мг/дм<sup>3</sup> – поверхность, 0,028 мг/дм<sup>3</sup> – дно) и несколько ниже летом. Высокие значения эксцесса, асимметричности и интервала концентраций характерны для осеннего периода, что указывает на статистическую неоднородность выборки.

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 ( $R^2=0,7424-0,9999$ ).

#### **4.1.7. Бассейн Белого моря**

По результатам многолетних наблюдений (2001-2016 гг.) в Бассейне Белого моря 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/дм<sup>3</sup> соответственно), наименьшая – летом. Высокие значения эксцесса, асимметричности и интервала концентраций характерны для осеннего периода, что указывает на статистическую неоднородность выборки.

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 ( $R^2=0,8677-0,9817$ ).

#### **4.1.8. Пространственные и сезонно-годовые изменения НУ в водах Белого моря**

Загрязнение НУ поверхностных и придонных вод Белого моря в весенний и летний периоды 2001-2016 гг. не превышало предельно допустимых (0,05 мг/дм<sup>3</sup>) концентраций (ПДК) (рис 4-5). Максимальные (от 0,04 до 0,05 мг/дм<sup>3</sup>) показатели были отмечены лишь на некоторых станциях Двинского, Онежского и Мезенского заливов (рис. 4-5).

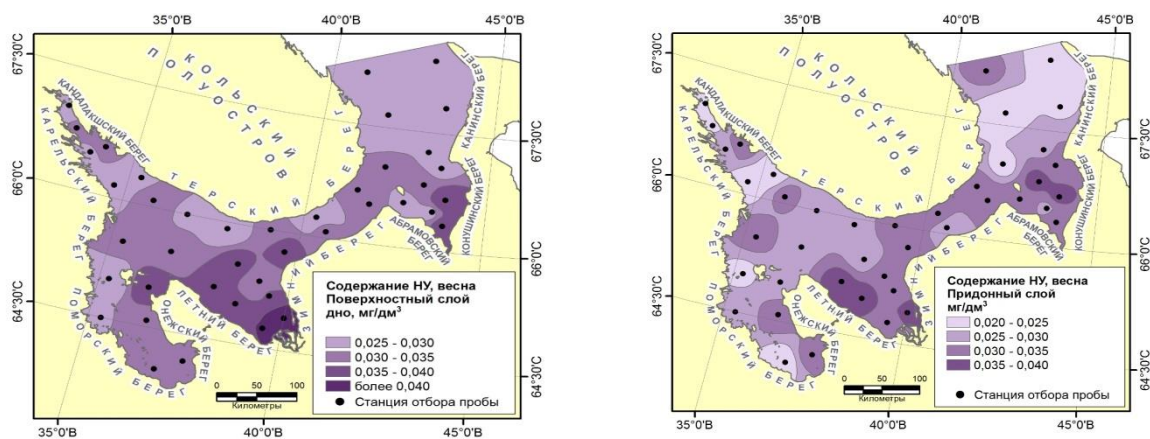


Рис. 4. Распределение средней концентрации НУ в поверхностном (а) и придонном (б) слоях вод Белого моря в **весенние периоды** 2001-2016 гг.

В осенний период с 2001-2016 гг. незначительное превышение рыбохозяйственного норматива НУ (концентрации от 0,054 до 0,056 мг/дм<sup>3</sup>) 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.6).

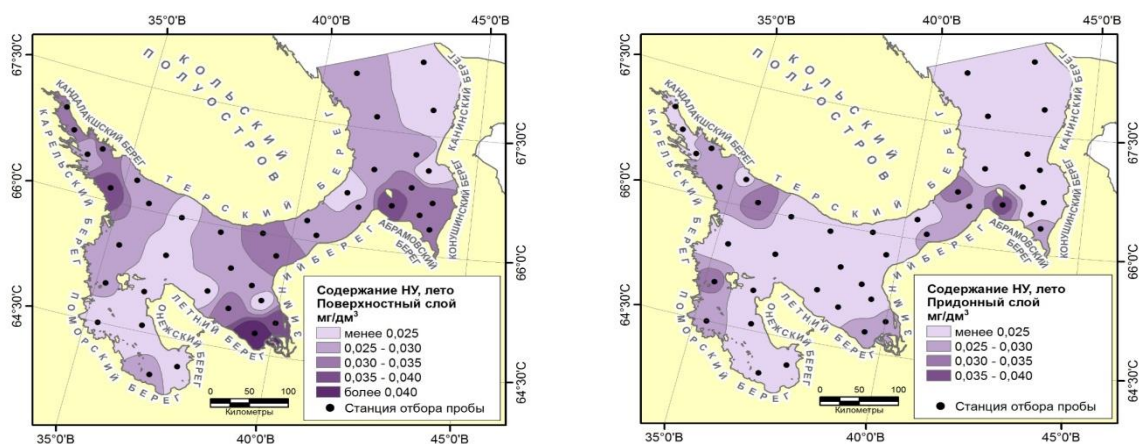


Рис. 5. Распределение средней концентрации НУ в поверхностном (а) и придонном (б) слоях вод Белого моря в **летние периоды** 2001-2016 гг.

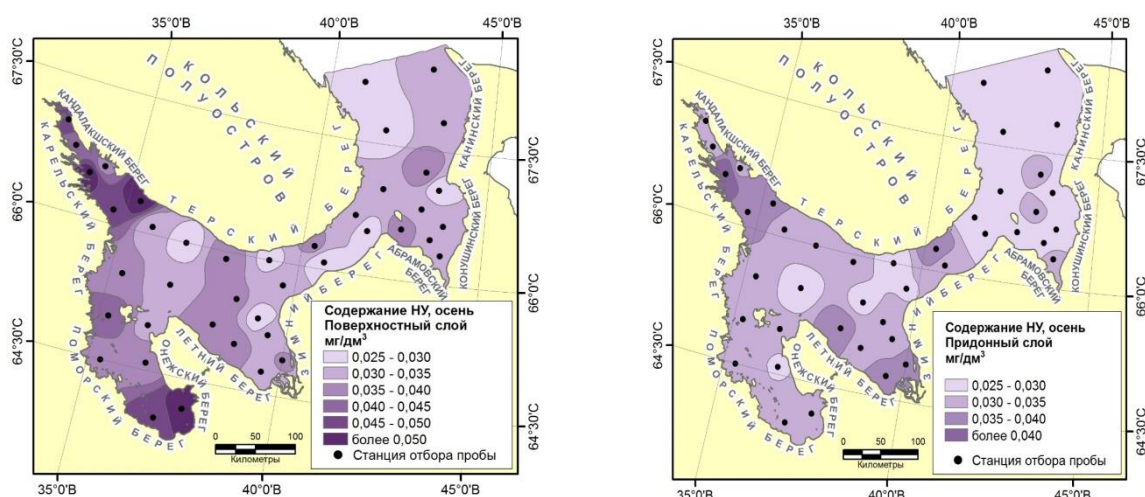


Рис. 6. Распределение средней концентрации НУ в поверхностном (а) и придонном (б) слоях вод Белого моря в **осенние периоды 2001-2016 гг.**

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.

Анализ пространственного распределения НУ позволяет предположить, что основным источником их поступления в морские воды является речной сток, при этом его влияние наиболее отчетливо выражено в Двинском и Онежском заливах. 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.

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

Фенолы в естественных условиях образуются 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, поступающих в природные воды со сточными водами нефтеперерабатывающих, лесохимических, коксохимических и других предприятий. В природных водах фенолы могут находиться в растворенном состоянии в виде фенолятных ионов и свободных фенолов. Предельно допустимая концентрация нефтепродуктов в рыбохозяйственном водном объекте составляет 0,001 мг/дм<sup>3</sup>.

Источниками поступления фенолов в кутовую часть Онежского залива в морскую среду могут являться промышленные и бытовые сточные воды с болота Конинник. Начиная с 50-х годов прошлого века на болоте Конинник началось размещение свалок твердых отходов предприятий лесопиления и деревообработки, золошлакового материала, сточных вод гидролизного завода и очистных сооружений города. Общий сброс воды с болота происходит через Лов-ручей в Белое море. 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.

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. 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) (рис. 7).

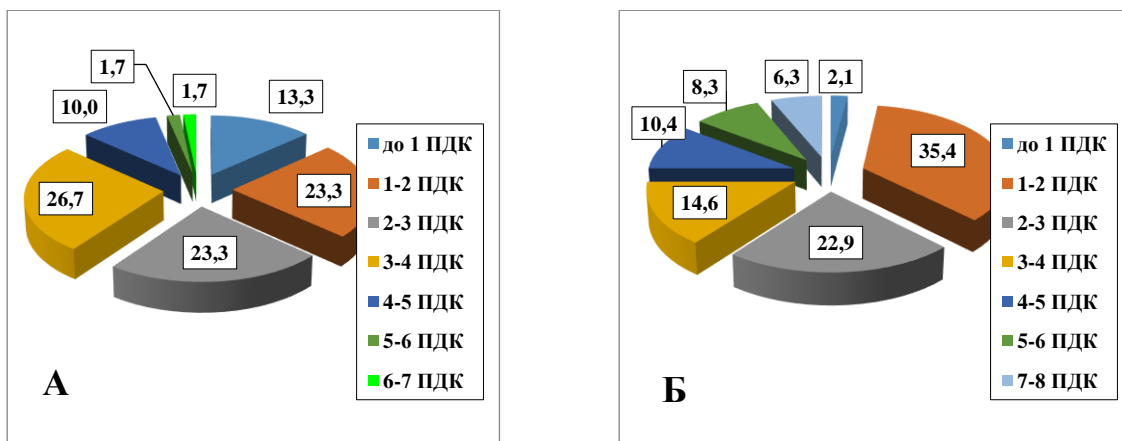


Рис. 7. Повторяемость концентраций фенолов (%) в Двинском (А) и Онежском (Б) заливах в осенние период 2011-2016 гг.

### 4.3.Алюминий

Источниками поступления алюминия в поверхностные воды являются: частичное растворение глин и алюмосиликатов, атмосферные осадки и сточные воды различных производств. Предельно допустимая концентрация алюминия в рыбохозяйственном водном объекте составляет  $0,04 \text{ мг/дм}^3$ .

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  $0,166 \text{ мг/дм}^3$  и  $0,149 \text{ мг/дм}^3$ , в Онежском – соответственно  $0,332 \text{ мг/дм}^3$  и  $0,479 \text{ мг/дм}^3$ .

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

Повторяемость концентраций, превышающих уровень ПДК алюминия в Двинском и Онежском заливах с 2011 г. по 2016 г., представлена на рисунке 9. 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) (рис.8).

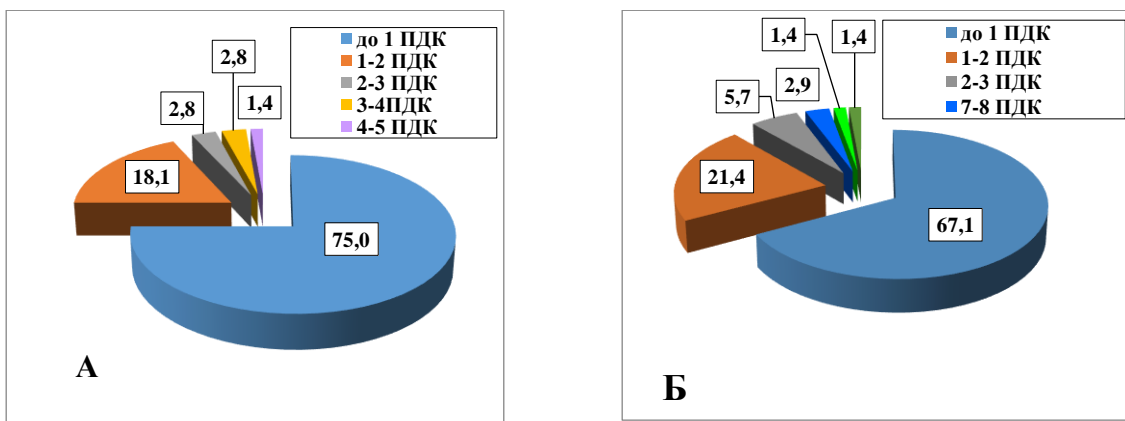


Рис. 8 Повторяемость концентраций алюминия (%) в Двинском (А) и Онежском (Б) заливах в осенние периоды 2011-2016 гг.

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

#### 4.4. Тяжелые металлы

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/дм<sup>3</sup>). Количество цинка варьировало в пределах от  $<0,001$  до  $0,006$  мг/дм<sup>3</sup>. Диапазон изменчивости концентрации кадмия изменялся от  $<0,0005$  мг/дм<sup>3</sup> до  $0,005$  мг/дм<sup>3</sup>. 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/дм<sup>3</sup> 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/дм<sup>3</sup>. 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. 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 % (рис.9).

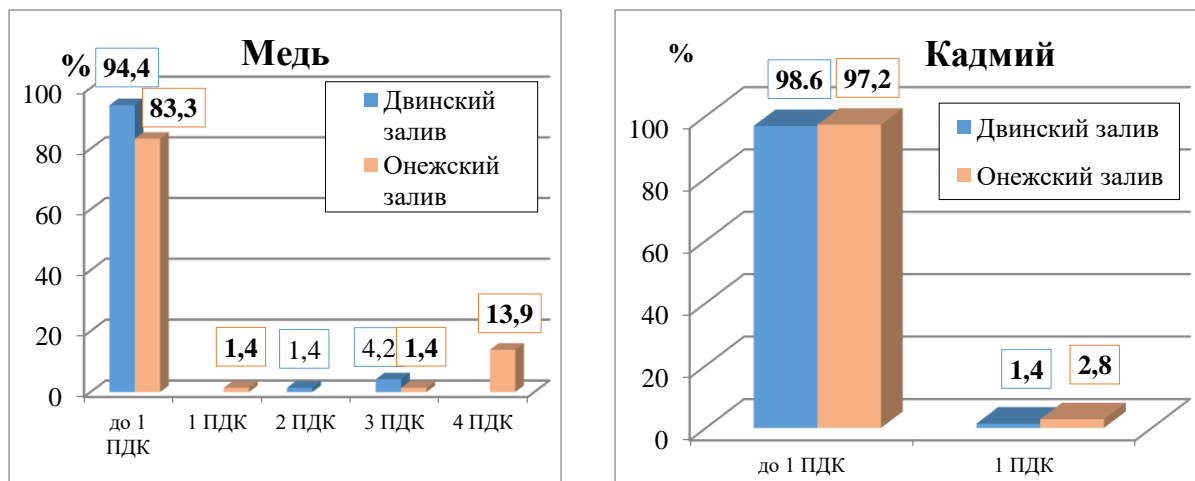


Рис. 9 Повторяемость концентраций меди и кадмия (%) в Двинском и Онежском заливах в осенние периоды 2011-2016 гг.

## Глава 5. Закономерности аккумуляции поллютантов в донных отложениях

### 5.1. Двинский залив

Из-за интенсивной седиментации в Двинском заливе основным накопителем ЗВ становятся илстые отложения. ДО Двинского залива в значительной степени испытывают влияние выносимого рекой терригенного материала. Их основным типом является песчаный ил, нередко включающий крупные зерна песка, частицы гравия и гальки (Бергер, 1995).

В ходе проведенного анализа 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 песчаных осадках до 20,74 мг/кг в илстых. 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. 10).

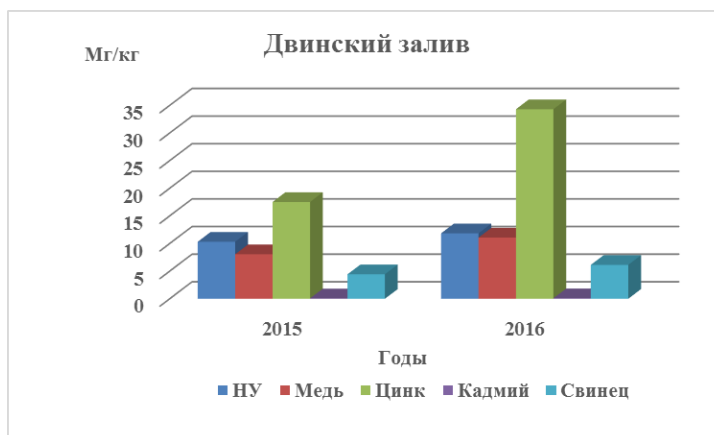


Рис. 10. Средняя концентрация загрязняющих веществ в донных отложениях Двинского залива Белого моря в 2015-2016 гг.

В работе использовали наиболее распространённый метод – сравнение полученных массовых концентраций ТМ со значением величины кларка литосферы. Для оценки уровня загрязнённости 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. 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.

## 5.2. Онежский залив

В Онежском заливе на большей части станций в поверхностном слое донных осадков преобладают грубозернистые пески (Долотов, 2008). Здесь основным загрязнителем является сток р. Онега. 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

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.

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 (рис. 11).

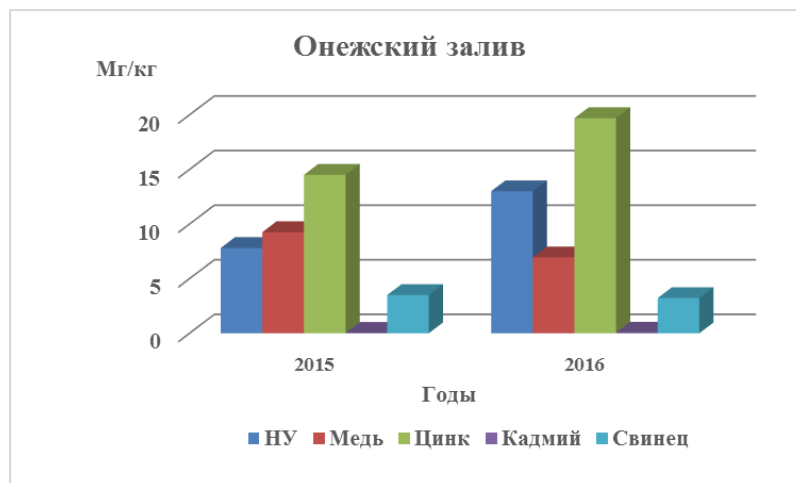


Рис. 11 Средняя концентрация загрязняющих веществ в донных отложениях Онежского залива Белого моря в 2015-2016 гг.

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

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. 12).

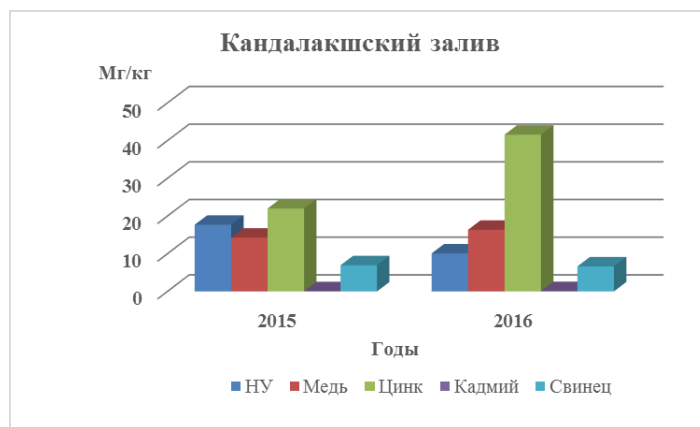


Рис.12. Средняя концентрация загрязняющих веществ в донных отложениях Кандалакшского залива Белого моря в 2015-2016 гг.

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.

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



#### 5.4. Пространственное распределение загрязняющих веществ в донных отложениях Белого моря

Концентрации **НП** в ДО в Двинском заливе в 2015 г. изменялись от 6,5 мг/кг в песчаных 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 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 (рис.13).

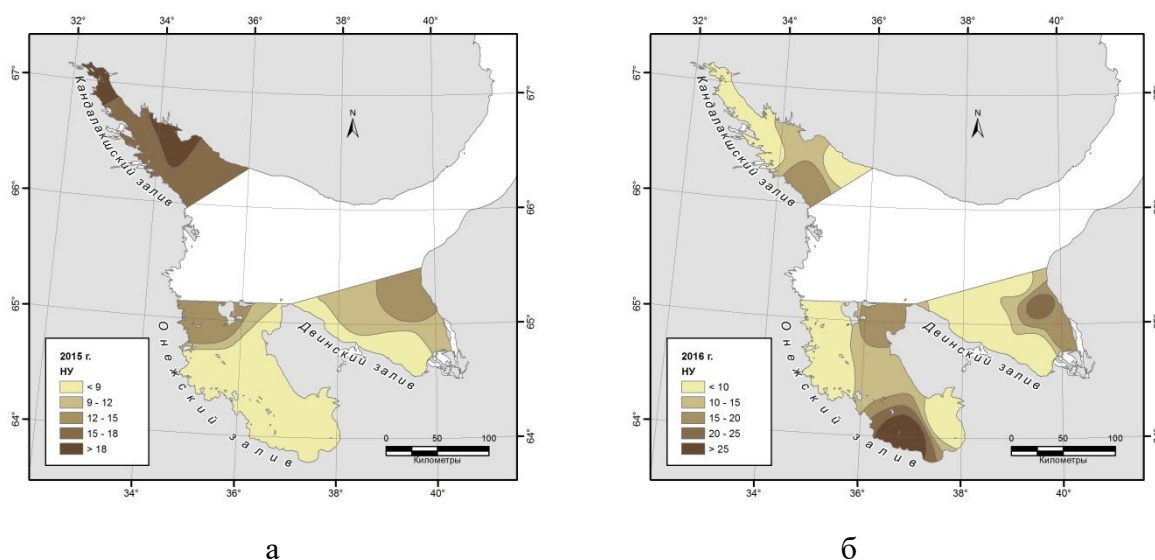


Рис. 13. Распределение нефтепродуктов (мг/кг) в донных отложениях в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах в 2015 (а) и 2016 (б) гг.

Относительно **свинца** 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 предыдущего 2015 г. (рис.14).

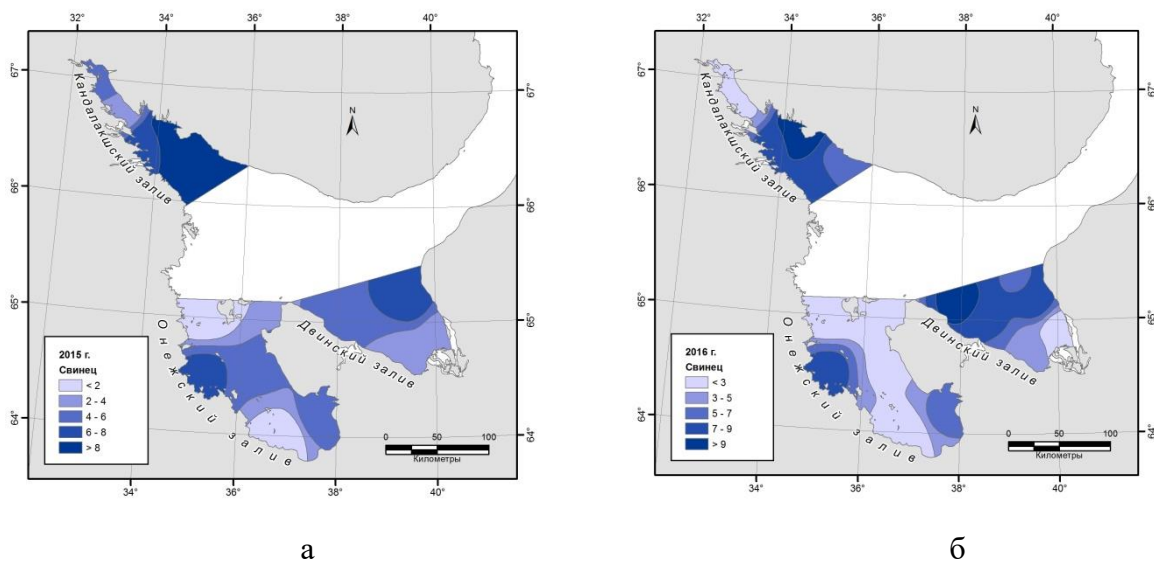


Рис.14. Распределение свинца (мг/кг) в донных отложениях в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах в 2015 (а) и 2016 (б) гг.

Наибольшая концентрация **кадмия** 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 (рис.15).

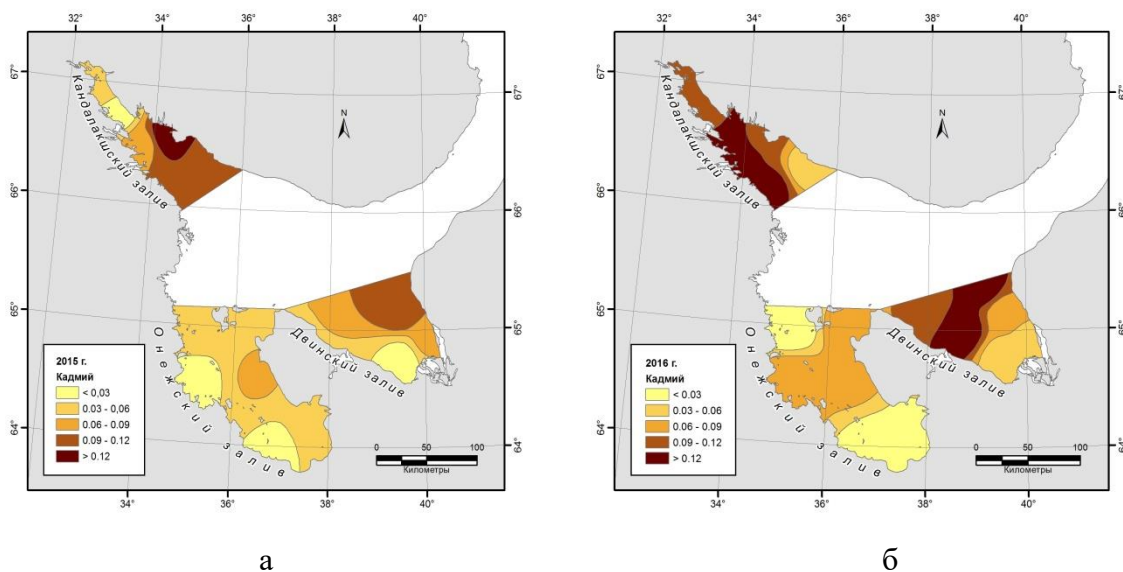


Рис. 15. Распределение кадмия (мг/кг) в донных отложениях в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах в 2015 (а) и 2016 (б) гг.

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 песчаных осадках до 18,5 мг/кг в илистых. В 2016 г. содержание меди составляло в среднем 16,4 мг/кг (рис. 16). Увеличение концентрации тяжелых металлов (в т.ч. и кадмия) 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.

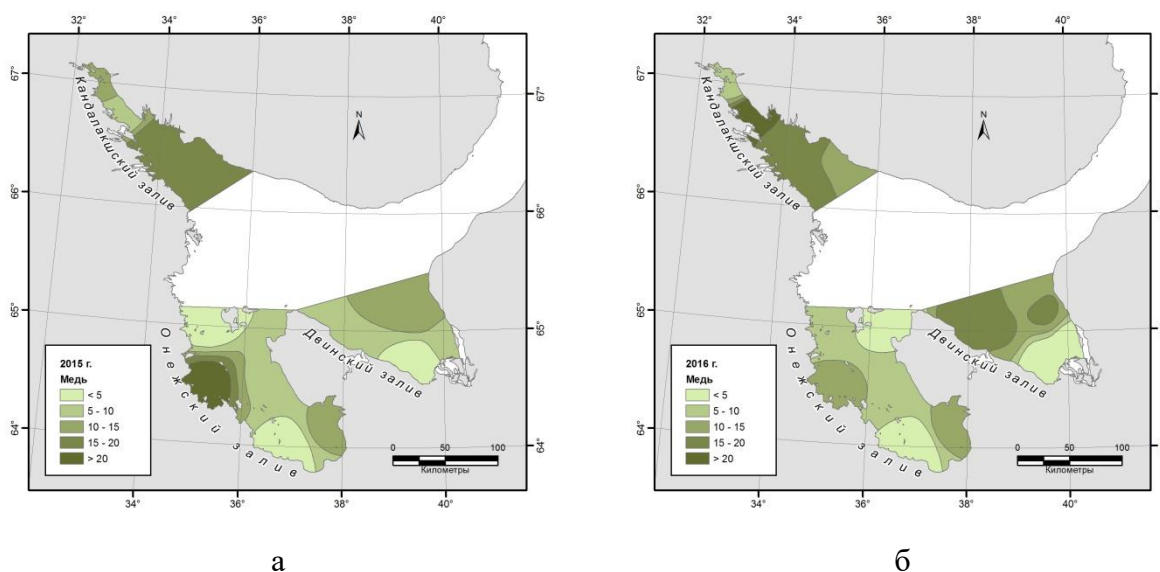


Рис. 16. Распределение меди (мг/кг) в донных отложениях в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах в 2015 (а) и 2016 (б) гг.

В Двинском заливе в 2015 г. содержание **цинка** в ДО варьировало от 8,7 мг/кг в песчаных 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 изменялось 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 (рис. 17). 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.

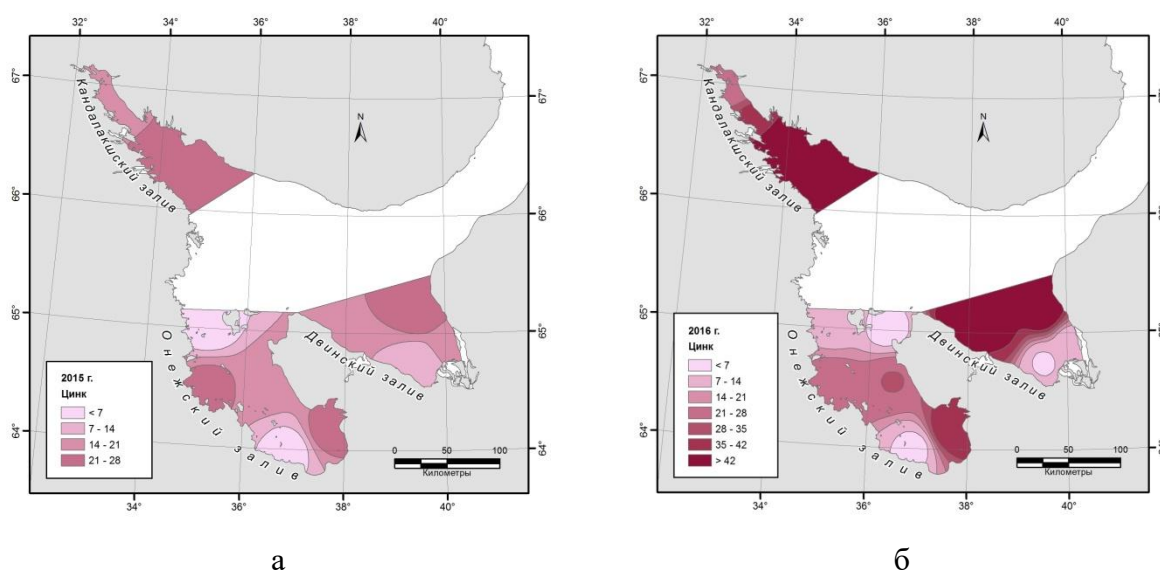


Рис. 17. Распределение цинка (мг/кг) в донных отложениях в Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах в 2015 (а) и 2016 (б) гг.

Анализ полученных нами материалов показал, что за последние два года 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.

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)

В Двинском заливе Белого моря 2016 году в ходе исследования была сделана попытка выявить зависимость между количественными показателями зообентоса (численность и биомасса) и содержанием НУ в ДО.

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). Отмечено, что с увеличением концентрации вредного вещества (НУ), наблюдается некоторое снижение, как его биомассы, так и численности (рис 18, 19).

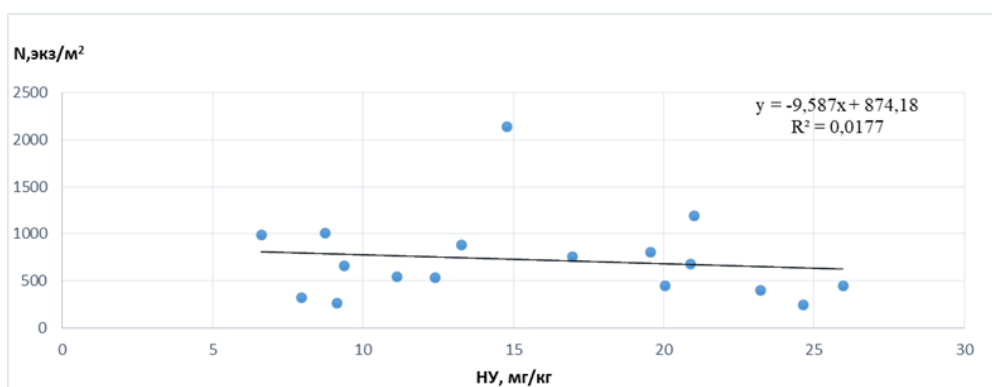


Рис.18. Зависимость численности макрозообентоса Двинского залива Белого моря от содержания НУ в донных отложениях ( $r = -0,133$ ).

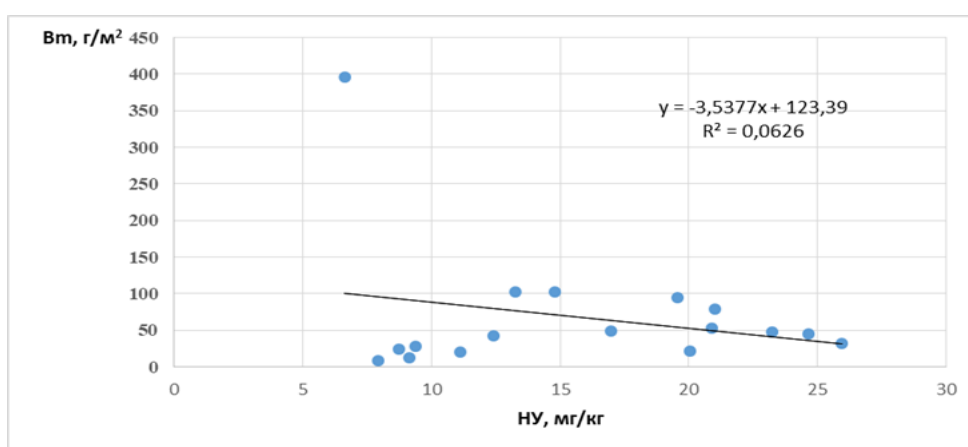


Рис. 19. Зависимость биомассы макрозообентоса Двинского залива Белого моря от содержания НУ в донных отложениях ( $r = -0,250$ ).

## **Глава 7. Рекомендации по ведению геохимического мониторинга Белого моря**

Анализ полученной информации дает возможность разработки конкретных рекомендаций по дальнейшей рационализации и оптимизации системы экологического мониторинга. Опыт исследований Северного филиала ФГБНУ «ПИНРО» 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 рассматриваемой ситуации мониторинг должен быть ориентирован (рис. 20):

- на выделение воздействия контролируемого техногенного объекта на морскую экосистему на фоне ее природной изменчивости и влияния других источников загрязнения водной среды;
- для решения этой проблемы необходимо 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;

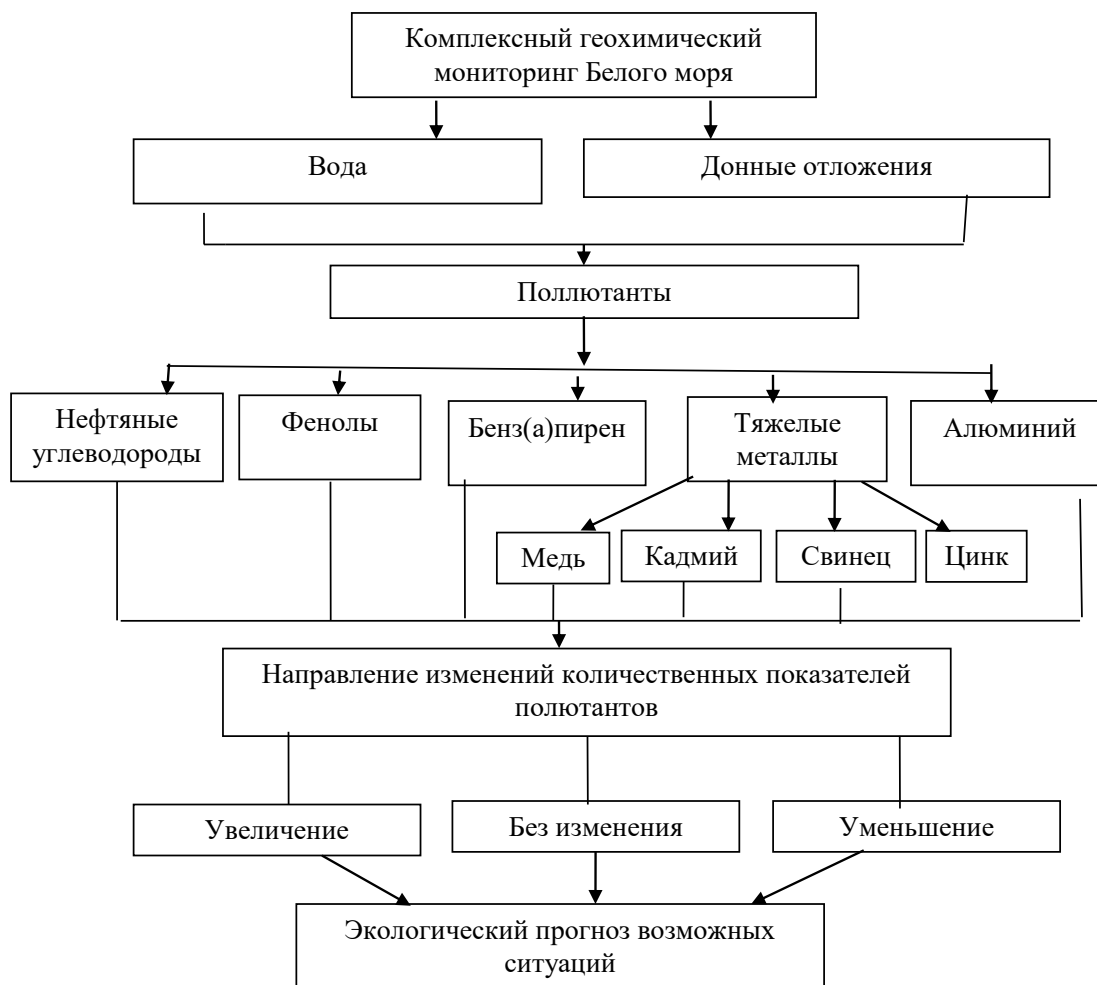


Рис. 20. Основные направления комплексного экологического мониторинга водных экосистем

- экологический мониторинг целесообразно проводить в периоды, когда гидробиологические процессы в Белом море получают наибольшее развитие. Он обычно соответствует весне и лету и приходится на май и конец июля - начало августа.
- Количественный состав донных отложений контролируется один раз в год (конец июля – начало августа).

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 тальми 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.

### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

#### **Работы, опубликованные в изданиях из перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК РФ**

1. 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, Выпуск №1/2017 С. 19-26.
2. Климовский Н.В., Чернова В.Г., Новоселов А.П. Содержание загрязняющих веществ в донных отложениях Двинского, Онежского и Кандалакшского заливов Белого моря // Вода: химия и экология, Выпуск №6/2017 С.15-21.
3. Климовский Н.В. Чернова В.Г., Петракова И.В., Новоселов А.П. Аккумуляция загрязняющих веществ донными отложениями // Вода: химия и экология, Выпуск №10/2017 С. 3-9.
4. Артемьев С.Н., Климовский Н.В., Новоселов А. Состояние макрозообентоса Двинского залива Белого моря в условиях загрязнения донных отложений нефтепродуктами // Вода: химия и экология, Выпуск №1-3 /2018 С. 80-93.
5. 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.
6. Климовский Н.В. Содержание загрязняющих веществ в водах Двинского залива Белого моря // Астраханский вестник экологического образования, 2020 №2 (56). С. 66-74.
7. Климовский Н.В. Пространственное распределение загрязняющих веществ в донных отложениях Белого моря // Астраханский вестник экологического образования, 2020 № 2(56). С. 57-66.

#### **Работы, опубликованные в сборниках конференций**

8. Мохова О.Н. О состоянии загрязненности вод Белого моря / О.Н. Мохова, Н.В. Климовский, В.Г. Чернова, Р.А. Мельник // Мат-лы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Морские биологические исследования: достижения и перспективы», приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции (Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.) /

- под общ. ред. А.В. Гаевской. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. – Т. 3. С. 163-167.
9. Климовский Н.В. Оценка загрязнения экосистемы Белого моря нефтяными углеводородами в 2015 году. //Биоразнообразие: глобальные и региональные процессы. Материалы IV Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием. г. Улан-Удэ, 23-27 июня 2016 г Издательство БНЦ СО РАН, 2016. С. 243-244.
  10. Климовский Н.В., Мохова О.Н., Чернова В.Г., Каргин М.В. Распределение загрязняющих веществ в водах Белого моря//Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование Материалы VII Всероссийскую научно-практическую конференцию с международным участием, посвященная 75-летию юбилею КамчатГТУ 21-23 марта 2017 г., КамчатГТУ г. Петропавловск-Камчатский. Ч 2, 2017. С. 93-96.
  11. Климовский Н.В. Содержание и распределение нефтяных углеводородов в водах Белого моря в весенне-летний период 2010-2015 гг// «Изучение, рациональное использование и охрана природных ресурсов Белого моря». Материалы XIII Всероссийской конференции с международным участием приурочено к 60-летию Беломорской биостанции Зоологического института РАН мыс Картеш 17-20 октября 2017 г – СПб: ЗИН РАН. 2017. С. 280-282.
  12. Климовский Н.В. К вопросу о накоплении поллютантов в донных отложениях Двинского залива Белого моря // Международная конференция «Живая природа Арктики: сохранение биоразнообразия, оценка состояния экосистем». Архангельск 30 октября-3 ноября 2017. Сборник тезисов. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2017. С. 128-130.
  13. Климовский Н.В., Чернова В.Г., Петракова И.В. Оценка содержания загрязняющих веществ в экосистеме кустовой части Онежского залива Белого моря // «Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование» сборник статей Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященная 125-летию профессора В.А. Водяницкого, Севастополь, 28 мая-1 июня, 2018 г. – Севастополь: «Колорит», 2018. С. 111-115.

## **СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Введение**

### **Глава 1. Общее описание района исследования**

1.1. Гидрологические характеристики основных районов Белого моря

1.2. Осадочные образования и донные отложения

## **Глава 2. Содержание поллютантов в воде и донных отложениях Белого моря (литературный обзор)**

2.1. Антропогенное воздействие на акваторию БМ

2.2. Аварийные поступления загрязняющих веществ в Белом море

2.3. Распределение поллютантов в водах и донных отложениях Белого моря

## **Глава 3. Материал и методика исследований**

## **Глава 4. Пространственные и сезонно-годовые изменения содержания загрязняющих веществ в водах Белого моря**

4.1. Нефтеуглеводороды

4.1.1. Двинский залив

4.1.2. Онежский залив

4.1.3. Кандалакшский залив

4.1.4. Мезенский залив

4.1.5. Горло

4.1.6. Воронка

4.1.7. Бассейн

4.1.8. Пространственные и сезонно-годовые изменения НУ в водах Белого моря

4.2. Фенольные соединения

4.3. Алюминий

4.4. Тяжелые металлы

## **Глава 5. Закономерности аккумуляции поллютантов в донных отложениях**

5.1. Двинский залив

5.2. Онежский залив

5.3. Кандалакшский залив

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

## **Глава 6. Воздействие нефтеуглеводородов на бентосные сообщества (на примере Двинского залива)**

## **Глава 7. Рекомендации по ведению экологического мониторинга Белого моря**

**Выводы**

**Список литературы**