

На правах рукописи

Кириевская Дубрава Владимировна

**ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ЭКОСИСТЕМЫ ЧУКОТСКОГО МОРЯ ОТ
ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОСВОЕНИЮ ШЕЛЬФА**

Специальность 25.00.28 – Океанология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург – 2013

Работа выполнена на кафедре промышленной океанологии и охраны природных вод
ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет»
и
в комплексной партии ФГУП «ВНИИОкеангеология» им. И. С. Грамберга

- Научный руководитель:** доктор географических наук,
профессор
Шилин Михаил Борисович
- Научный консультант:** доктор географических наук
Анохин Владимир Михайлович
- Официальные оппоненты:** доктор географических наук,
профессор Скакальский Борис Гдальевич,
ФГБОУ ВПО «Российский государственный
гидрометеорологический университет»,
заведующий кафедрой химии природной среды
- доктор геолого-минералогических наук
Рыбалко Александр Евменьевич,
ОАО «Севморгео»,
главный научный сотрудник
- Ведущая организация:** ФГБУ «Арктический и Антарктический
научно-исследовательский институт»

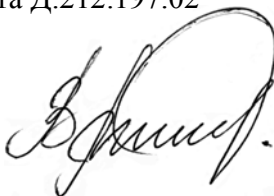
Защита диссертации состоится 20 июня 2013 года в 15:30 на заседании диссертационного совета Д.212.197.02 при Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр. 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан 18 мая 2013 года

Ученый секретарь диссертационного совета Д.212.197.02

кандидат географических наук



профессор В.Н. Воробьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Основной угрозой ухудшения состояния Арктических морских экосистем является антропогенное воздействие в результате разработки и эксплуатации нефтегазовых месторождений и транспортных операций (Додин и др., 2000; Погребов, Шилин, 2001). Несмотря на то, что Чукотский сектор не является высокоприоритетным в «Программе разведки континентального шельфа Российской Федерации на период с 2012 по 2030 гг.», он требует детального изучения, так как подвержен загрязнению в результате хозяйственной деятельности по освоению шельфа и при увеличении трафика Северного морского пути (СМП), что в свою очередь ведет к угрозе нефтяного загрязнения из-за роста интенсивности перевозок и аварийных разливов. Кроме того, по оценкам ряда экспертов (Граumberг и др, 2004; Виноградов и др. 2005) не исключено, что в будущем Чукотское море (ЧМ) станет третьим из арктических морей России (после Баренцева и Карского), где начнется разработка углеводородного сырья. По освоению нефтегазовых ресурсов на арктическом шельфе США, ЧМ уже занимает второе место после моря Бофорта, т.к. в северо-восточном секторе ЧМ (Arctic Marine Synthesis..., 2010) бурение разведочной скважины уже началось в сентябре 2012 года. В условиях планирующейся активизации деятельности по освоению нефтегазовых ресурсов ЧМ и увеличению трафика СМП стало необходимым получение научно обоснованных представлений об уязвимости экосистемы ЧМ от разливов нефти. В практическом отношении такая информация представляет интерес прежде всего для летнего периода, потому что это время наиболее благоприятно для интенсивных потенциально опасных хозяйственных работ, особенно при резком сокращении площади морского льда в условиях потепления климата (вплоть до его полного отсутствия в летний период).

До настоящего времени комплексных и крупномасштабных исследований российской части ЧМ не проводилось. Американский сектор ЧМ изучен гораздо более подробно. Актуальной задачей в связи с этим является преодоление отставания в изученности российской части данной акватории, осуществление комплексной геоэкологической оценки российской части ЧМ, в том числе и для использования полученной информации в качестве «фоновой» (эталонной) для морей Восточной Арктики. Необходимость изучения уязвимости экосистемы (**предмет исследования**) ЧМ (**объект исследования**) от разливов нефти, прежде всего в летний период, а также важность геоэкологической оценки современного состояния экосистемы ЧМ приводят к формулированию следующей цели настоящего исследования.

Цель исследования: основываясь на изучении современного геоэкологического состояния экосистемы ЧМ, осуществить оценку интегральной уязвимости его экосистемы от потенциального воздействия деятельности по освоению шельфа.

Для выполнения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**.

1. Обобщить существующие подходы к изучению уязвимости морских экосистем и выбрать в наибольшей степени подходящий для определения уязвимости экосистемы ЧМ с учетом различных океанологических процессов. На основе различных источников проанализировать современное состояние экосистемы ЧМ, выявить потенциальные источники воздействия на его экосистему.
2. На основе данных экспедиционных исследований, провести изучение состояния донной экосистемы ЧМ как основного каркасного компонента, с одной стороны, являющегося индикатором состояния всей морской экосистемы, с другой стороны, вносящего существенный вклад в интегральную уязвимость рассматриваемой экосистемы.
3. Провести оценку уязвимости важнейших компонент экосистемы ЧМ, на основе которой получить интегральную характеристику уязвимости экосистемы ЧМ в целом от потенциального воздействия деятельности по освоению шельфа.

В ходе работы над диссертацией были сформулированы и обоснованы **основные положения**, которые выносятся на защиту.

- современное геоэкологическое состояние донной экосистемы ЧМ, отображенное на построенной геоэкологической карте-схеме ЧМ, остается близким к среднегодовой норме, уровень техногенного загрязнения – низкий. Однако, в выделенных геоморфологических ловушках, наблюдаются относительно благоприятные условия для аккумуляции загрязняющих веществ.
- ранжирование берегов ЧМ по шкале уязвимости показало, что благодаря высокой защищенности берегов от воздействия волн, затрудняющих процессы их самоочищения от нефти и превалированию песчано- и гравийно-галечных литологических структур, обеспечивающих глубокое проникновение нефти в осадочную толщу, в ЧМ преобладают уязвимые и высоко уязвимые от воздействия нефтяного загрязнения берега.
- оценка интегральной уязвимости экосистемы ЧМ в летний период, временные рамки которого в последнее время имеют тенденцию к увеличению (вместе с сокращением площади морских льдов), выявила наиболее уязвимые участки ЧМ от воздействия нефти. В целом, картина «относительной» уязвимости акватории ЧМ характеризуется повышением уязвимости по направлению к берегам.

Научная новизна:

- Впервые на основе изучения состояния ведущих индикаторов экосистемы – донных отложений и бентоса была дана оценка современного состояния экосистемы ЧМ и представлена в виде ГИС.
- Впервые берега всего ЧМ ранжированы по степени уязвимости к воздействию от потенциальных нефтяных разливов, происходящих в результате аварийной ситуации при добыче нефти на шельфе и при авариях судов.
- Впервые выделены компоненты и районы экосистемы ЧМ наиболее уязвимые к потенциальному воздействию нефтяных разливов.
- Впервые дана интегральная оценка уязвимости экосистемы ЧМ от потенциального воздействия деятельности по освоению шельфа, которая представлена в виде ГИС.

Работа выполнена при поддержке проектов: международная стипендия для молодых ученых по исследованию океана «SCOR-POGO», грант лаборатории морских и полярных исследований им. Отто Юльевича Шмидта (ОШЛ).

Обоснованность и достоверность результатов исследования обеспечена значительным объемом исходных материалов (тщательно отобранных для исключения ошибок), использованием современных методов обработки и визуализации данных, использованием математических моделей, анализом значительного количества российских и зарубежных публикаций по теме исследования, апробацией основных научных результатов на российских и международных конференциях, их обсуждением на семинарах Всемирного фонда природы (WWF) с ведущими специалистами в области защиты морской среды от разливов нефти.

Теоретическая и практическая значимость. В исследовании успешно развивается концепция уязвимости арктических морских экосистем. Применительно к ЧМ обобщаются рекомендации, данные различными российскими и международными организациями для интегральной оценки уязвимости экосистем (Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, IMO-IPЕСА, WWF). Выделенные в исследовании наиболее потенциально уязвимые районы ЧМ должны стать приоритетными в изучении ЧМ в будущем и подлежат учету при планировании хозяйственной деятельности по освоению нефтегазовых месторождений и транспортировке углеводородного сырья. Работа будет полезна государственным органам и частным корпорациям, разрабатывающим стратегии развития шельфа ЧМ, для учета потенциального воздействия деятельности по освоению шельфа на уязвимость экосистемы ЧМ. Кроме того, результаты исследования могут быть использованы для прокладки трасс при возобновлении

функционирования СМП и в работе МЧС для принятия мер по противодействию чрезвычайным ситуациям в регионе Восточной Арктики, разработки планов ЛАРН.

Личный вклад автора заключается в сборе, лабораторной и статистической обработке фактического материала, анализе, интерпретации полученных результатов, формулировке выводов и рекомендаций. Все основные выводы, изложенные в работе, соискателем получены самостоятельно.

Апробация. Соискатель принимал участие в международном семинаре WWF «Разработка методики построения карт уязвимости морских акваторий и берегов от разливов нефти» (2010 г., Санкт-Петербург). Результаты исследования докладывались и обсуждались на научных конференциях различного уровня и специализации, включая: Школу по морской геологии, Институт океанологии РАН, 2007; Arctic Frontiers Conference, 2010, 2011, Tromso, Norway; IPY 2012, Montreal, Canada; ART Workshop, 2012, Sopot, Poland; семинары в организациях: ВНИИОкеангеология, ААНИИ, на итоговой сессии ученого совета РГГМУ в 2012 г. и на кафедре Промысловой океанологии и охраны природных вод в 2013 г..

Публикации. Результаты работы представлены в 3 публикациях в изданиях перечня ВАК, 9 тезисах и материалах конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 135 наименований, приложения. Общий объем диссертации составляет 181 страницу, в том числе 11 таблиц и 41 рисунок.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обосновываются актуальность и новизна, формулируются цели и задачи работы, защищаемые положения, излагается практическая значимость диссертации.

В начале **первой главы** вводится *понятие экологической уязвимости* как интегральной характеристики состояния и пределов устойчивости морских экосистем. Рассматриваются различные подходы к формированию понятия экологической уязвимости на основе различных концепций. Отмечается, что на сегодняшний день отсутствует единство трактовки понятия «экологическая уязвимость» специалистами различных стран, организаций и институтов. В настоящей работе под интегральной экологической уязвимостью экосистемы к антропогенному воздействию понимается совокупность особенностей биотопов и основных групп растений и животных (являющихся компонентами морских экосистем), проявляющихся на экосистемном уровне. Данная трактовка понятия «уязвимость» соответствует представлениям, сформированным

Рабочей группой WWF (Методические подходы..., 2012) при определении уязвимости прибрежно-морской зоны от разливов нефти. Важной особенностью подхода является учет как абиотических так и биотических компонентов экосистемы

Далее приводится *обзор исследований экосистемы ЧМ* (начиная с 19 века по настоящее время). Показывается, что ЧМ характеризуется относительно слабой изученностью, особенно - в геохимическом отношении.

Океанологические факторы, такие как течения, температура воды, соленость, скорость и направление ветров, высота волн, протяженность ледяного покрова и т.п. оказывают влияние как на вероятность разлива нефти в результате деятельности нефтегазового сектора, так и на последствия такого разлива и могут крайне затруднить операции по ликвидации разливов нефти.

Особое внимание уделено вопросу будущего изменения климата в Восточной Арктике. Представлены различные процессы повышения температуры воздуха и последствий её изменения для экосистемы ЧМ (Grebmeier et al., 2011; P. Wassman et al., 2011). На основе анализа литературы видно, что до сих пор существует большая неопределенность в оценках роли влияния продолжающегося потепления Арктики на экосистему ЧМ. При этом все исследователи сходятся в том, что глобальное потепление должно сыграть ведущую роль в изменении видового разнообразия. Механизмы этого процесса, однако, остаются неясными, так как не существует надежных моделей, описывающих влияние уменьшения площади морского льда (ключевого фактора в экосистеме ЧМ) на изменения в биогеоценозах.

Источники антропогенного воздействия с учетом влияния океанологических факторов. Оценка источников антропогенного воздействия в ЧМ выявила, что основным потенциальным источником поступления загрязняющих веществ являются деятельность по разработке нефтегазового месторождения в районе северного склона Аляски и морские перевозки, грозящие крупными экологическими катастрофами. В распределении загрязняющих веществ и их выносе за пределы ЧМ также большой вклад вносят течения и ледовый и айсберговый разнос.

Для учета особенностей воздействия нефти в разных океанологических условиях целесообразно выделять три типа нефтяных разливов:

- без контакта нефти с берегом (пелагический сценарий);
- при контакте нефти с берегом (литоральный сценарий);
- при разливе нефти во льдах.

Самыми опасными считаются разливы, сопровождающиеся контактом нефти с берегом, так как они затрагивают наиболее продуктивную зону моря, где концентрируются биологические

ресурсы (колонии птиц, стоянки мигрирующих птиц, лежбища тюленей и т.п.); сосредоточены объекты антропогенной деятельности; а также происходит быстрый вынос на побережье относительно свежей и потому наиболее токсичной нефти (Шавыкин и др., 2007; Блиновская и др., 2012; Шилин и др., 2012).

Воздействие нефтегазового комплекса и транспортных операций на экосистему ЧМ. Анализ литературы (например, АМАР 1998; ИРЕСА, 2003; Патин, 2008, Карлин, Музалевский, 2011, Шилин, 2012) свидетельствует, что морской нефтегазовый комплекс и транспортные операции всегда будут оказывать некоторое воздействие (физическое и (или) химическое и (или) биологическое) на морскую среду и при нормальных условиях эксплуатации (хроническое загрязнение), и тем более при авариях, сопровождающихся нефтяными разливами. Интенсивность этих воздействий, их пространственно-временной масштаб и величина последствий будет во многом определяться тем, к острому или хроническому стрессу относится данное воздействие. При оценке уязвимости акватории от воздействия нефти необходимо включение информации об объектах повышенной уязвимости и приоритетной охраны – *особоохраняемых природных территориях* (ООПТ). В районе исследования выделяется 5 заповедников и (или) национальных парков, 5 заказников или памятников природы, 17 ключевых орнитологических территорий (Arctic Marine Synthesis..., 2010; Атлас биологического разнообразия..., 2011), однако, их явно не достаточно для обеспечения устойчивого функционирования экосистемы ЧМ. Многие экологически важные места обитания на Аляске, в связи с разработкой нефтегазовых месторождений могут исчезнуть уже в ближайшие годы.

Таким образом, проведенный литературный анализ показывает, что наиболее актуальным для дальнейшего исследования является вопрос, связанный с оценкой уязвимости экосистемы ЧМ от разливов нефти и связанных с этим явлений.

Вторая глава посвящена описанию материалов и методов исследований. В этой главе излагаются методы проведенных соискателем полевых, лабораторных и аналитических исследований.

Основу материала для оценки состояния донной экосистемы ЧМ составили сборы экспедиции 2006 г. (в рамках государственной геологической съёмки шельфа ЧМ, проводимой Всероссийским научно-исследовательским институтом геологии и минеральных ресурсов Мирового океана (ВНИИОкеангеология)) и сборы экспедиции 2009 г. совместного российско-американского экспедиционного проекта «РУСАЛКА». В ходе этих экспедиций 2006 и 2009 гг. получены 41 проба бентоса, 160 проб донных осадков. Автор являлся участником экспедиционных исследований 2006 г. Получение фактического материала в экспедиционных условиях

осуществлялось совместно с сотрудниками ВНИИОкеангеология Е.А. Гусевым, В.М. Анохиным, Пшеничным К.А. и др.

Камеральная обработка материалов проводилась с 2006 по 2012 гг. автором в лабораториях ОШЛ (определение общего и органического углерода методом каталитического сжигания), СПбГУ (определение содержания подвижных форм тяжелых металлов в осадках атомно-абсорбционным методом). Определение валового содержания микроэлементов и гранулометрического состава проб донных осадков проведено в аналитической лаборатории ВНИИОкеангеология сотрудниками института, различными физико-химическими методами: эмиссионным, рентгенофлуорисцентным, атомно-абсорбционным и гранулометрическим. Исследование проб макрозообентоса выполнено методом количественного биологического анализа совместно с Кийко О.А. по методикам Зоологического института РАН.

В диссертации также использованы материалы, полученные в экспедициях в ЧМ в 1988 и 1993 гг. в рамках Советско-Американского проекта БЕРПАК (Исследования экосистем..., 1992; Динамика экосистем..., 2000); в 2004, 2005, 2006 и 2009 гг. в рамках совместного российско-американского экспедиционного проекта «РУСАЛКА»; данные по 2001, 2002, 2003 гг. из архивной базы данных SBI (Shelf Basin Interaction). Информация о геологических, биологических, геоморфологических, гидрологических, антропогенных компонентах экосистемы ЧМ взята из атласов: Arctic Marine Synthesis: Atlas of the Chukchi and Beaufort Seas (AUDUBON Alaska, 2010), Northern Sea Route Dynamic Environmental Atlas (INSROP, 1998), Экологического атласа Арктики (WWF&VNIIOkeangeologia, 2000); Атлас биологического разнообразия морей и побережий российской Арктики (WWF, 2011); Интернет сайтов программ по изучению ЧМ: RUSALCA, COMIDA, РасMARS; Интернет сайтов программ по изучению Арктики: AMAP, CAFF, INSROP и др. Часть данных получена от руководителей лаборатории Университета Мэрилэнда, США – Ж. Гребмаер и Л. Купера, а также из различных публикаций.

Для исследования состояния донных осадков экосистемы ЧМ проводились расчет суммарного индекса загрязнения донных осадков по методикам Сайета и Янина (Геохимия окружающей среды..., 1990):

$$Z_c = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{i\phi}} \right) - (n - 1), \quad (1)$$

где C_i – фактическое содержание i -го загрязняющего вещества в донных осадках; $C_{i\phi}$ – фоновое содержание i -го загрязняющего вещества в донных осадках; n – количество веществ, содержание которых превышает фоновые значения.

В соответствие с ориентировочной шкалой оценки степени загрязнения водных объектов по концентрациям химических элементов в донных отложениях определялись уровень техногенного загрязнения и степень санитарно-токсикологической опасности оцениваемой акватории.

Донные сообщества выделялись согласно доминирующим по биомассе видам. В основу выделения границ сообществ легли геоморфологические и литологические данные. Для установления зависимости распределения бентосных сообществ от геохимического, гранулометрического состава донных осадков и геоморфологической позиции был проведен корреляционный анализ. Внутри выделенных биогеоценозов был оценен возможный биологический эффект вредного воздействия загрязняющих веществ на биоту донной экосистемы ЧМ с использованием критериев пороговых уровней концентраций по методике, разработанной Национальным управлением океанических и атмосферных исследований США (NOAA) (Long et al., 1995).

Оценки интегральной уязвимости ЧМ от потенциальных разливов нефти определялись по следующему алгоритму.

Во-первых, была определена уязвимость берегов на основе расчета индекса ESI_{cz} (индекс экологической чувствительности берегов к нефтяному загрязнению) по формуле (Блиновская Я.Ю., 2004):

$$ESI_{cz} = \oint_{\Phi} (\mathbf{S}, \mathbf{P}) d\mu, \quad (2)$$

где \mathbf{S} – вектор-функция литологической структуры берега, \mathbf{P} – вектор-функция процессов, происходящий при попадании нефти на берег, Φ – береговая поверхность, $d\mu$ – дифференциал площади поверхности. Далее, проводилось ранжирование индекса ESI_{cz} на основе подхода В.Б. Погребова (Методические подходы к созданию..., 2012), где слабоуязвимым берегам соответствовало значение данного индекса от 1 до 2, умеренно уязвимым - от 3 до 4; уязвимым – 5 и высоко-уязвимым ≥ 6 .

Во-вторых, была оценена уязвимость собственно акватории ЧМ по методике Мурманского морского биологического института (ММБИ) КНЦ РАН (Шавыкин и др., 2010), в соответствии с которой, расчет интегральной уязвимости V_k выполнялся на основе уязвимости биоценозов и их распространения в той или иной части акватории. Значение каждого биоценоза учитывалось через весовой коэффициент уязвимости основных экологических групп. Этот коэффициент рассчитывался на основе показателя летальной концентрации (ЛК) нефтяных углеводородов,

который был получен в результате проведенных в ММБИ КНЦ РАН экспериментов по токсикологическому воздействию нефти на гидробионтов:

$$V_k = \sum_{k=1}^m W_k Y_k, \quad (3)$$

где W_k – весовой коэффициент уязвимости различных групп гидробионтов от воздействия нефти; Y_k – ранг распространения вида (важного компонента экосистемы); k – число изучаемых групп. Расчет коэффициентов уязвимости, выполненный на основе ЛК для следующих экологических групп: фитопланктон, зоопланктон, зообентос, рыбы, птицы, морские млекопитающие, приведен в (Шавыкин А.А. и др., 2010). При оценке учитывали тип самой нефти, её свойства и поведение в открытой акватории (растекание, испарение, растворение, диспергирование, седиментация, затопление, окисление, агрегирование) (Методические подходы к созданию..., 2012). На основе «экспертных оценок», выполненных группой экспертов, были выбраны значения весовых коэффициентов уязвимости в случае загрязнения акватории пленочной и диспергированной нефтью (Погребов В.Б. и др., 2010, Шилин, 2011).

В качестве инструмента для создания исходных карт, расчета интегральной уязвимости и построение итоговых карт использовалась программа ArcGIS 9.3.1.

Для оценки воздействия аварийного разлива нефти на окружающую среду в районе Северного склона Аляски был выполнен расчет баланса пленочной, диспергированной и испарившейся нефти в нефтяном пятне при его трансформации в море (на основании данных о скорости и направлении ветра, течений, высоты волн, температуре и солености воды и т.д., а также параметров, характеризующих непосредственно саму нефть (тип, объем, и т.д.)) по программе ADIOS-2, разработанной (NOAA) (Lehr et al., 2002).

Для оценки изменения ледяного покрова и его потенциального влияния на увеличение периода работы нефтегазодобывающих компаний на шельфе ЧМ, а также транспортных операций, использовались среднемесячные данные по протяженности льда (сплоченность льда > 15 %) за сентябрь в период с 1988 по 2012 гг., которые были любезно предоставлены Шалиной Е.В. По данным протяженности льда был рассчитан линейный тренд изменения ледяного покрова. Данный расчет выполнялся с помощью пакета Microsoft Excel с применением метода наименьших квадратов.

Третья глава посвящена *фоновой оценке современного состояния (т.е. до начала активной антропогенной деятельности) донной экосистемы ЧМ* как основного компонента, играющего значительную роль в интегральной уязвимости рассматриваемой экосистемы. В основу

оценки фонового состояния морской экосистемы положен анализ ведущих компонентов геоэкологической среды: рельефа дна, современных донных отложений, а также биоты.

Абиотические компоненты донной экосистемы ЧМ. Донные осадки (отложения) относятся к консервативной системе и способны накапливать и хранить информацию о состоянии и изменении геохимических, динамических, климатических, неотектонических условий среды, процессов массопереноса, в том числе вызванных техногенным воздействием (Опекунов, 2006). Проведенный анализ гранулометрического состава донных осадков указывает на уменьшение крупности частиц, слагающих осадки с увеличением глубин бассейна, что свидетельствует о нормальном ходе механической дифференциации. Полученные в ходе исследований морфодинамические и литохимические параметры использовались для выявления участков, наиболее благоприятных для накопления поллютантов, выделенных на основе критериев, приведенных в (Арктические моря..., 2004). На основе результатов геохимического анализа рассчитан суммарный индекс загрязнения донных осадков Z_c (рис. 1).

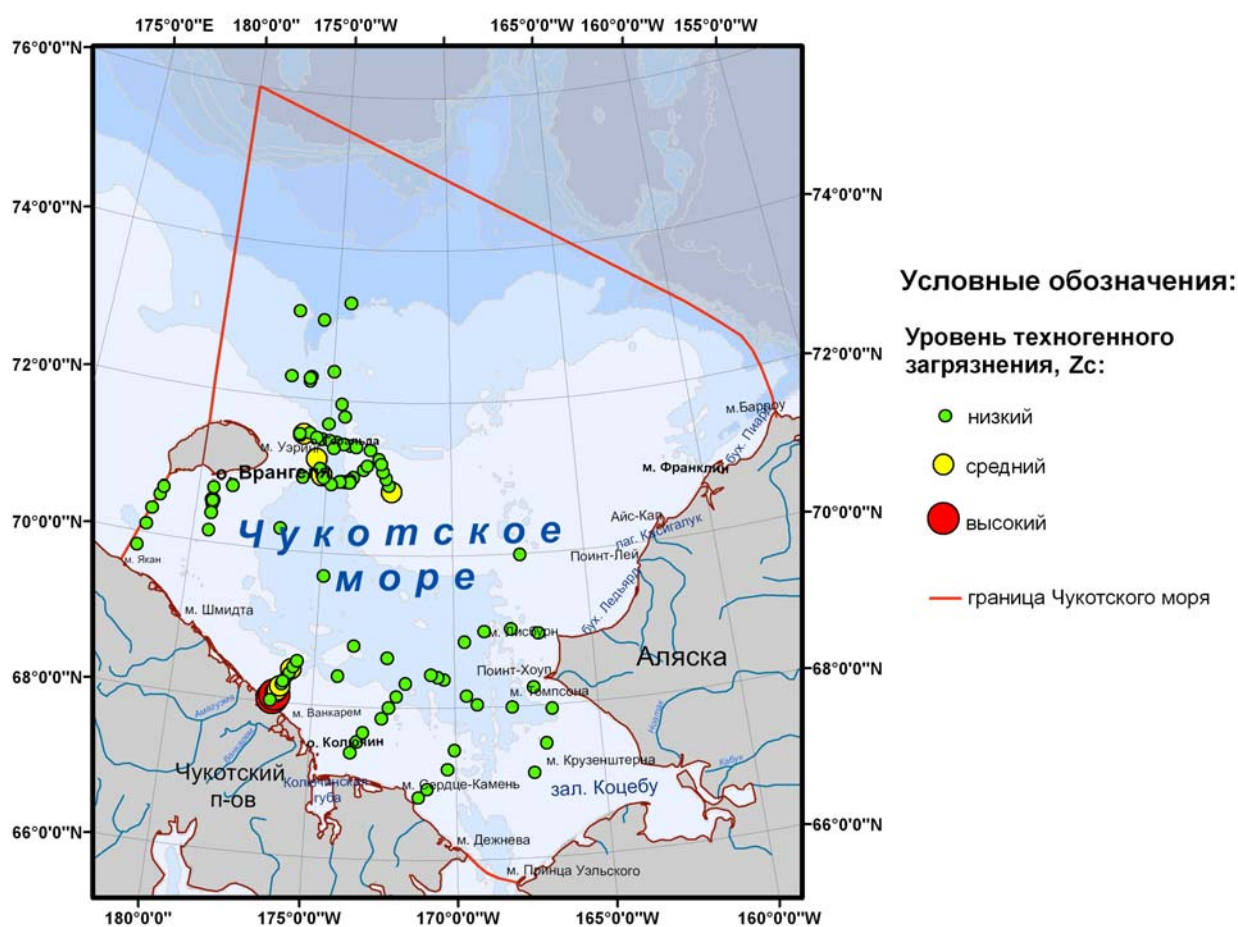


Рис. 1. Распределение индекса загрязнения донных осадков по акватории ЧМ (западная, центральная часть)

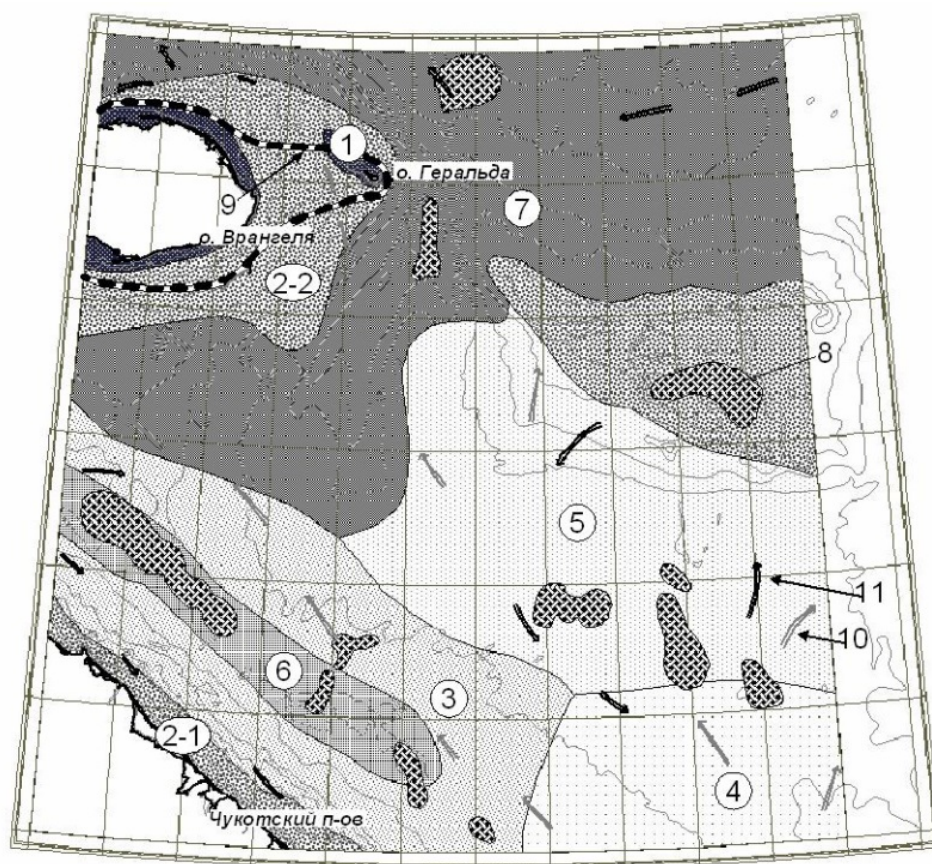
Проведенный расчёт этого индекса показал, что на всей изученной акватории ЧМ уровень техногенного загрязнения низкий ($Z_c < 10$). Исключение составил лишь участок побережья Чукотского п-ова вблизи поселка Ванкарем ($Z_c = 31.89$), где загрязнение, скорее всего, носит техногенный характер. Очистные сооружения в данном населенном пункте отсутствуют. Также были выделены небольшие участки, расположенные в районе желоба Геральда, где суммарный индекс загрязнения донных осадков средний (Z_c от 12 до 15), но здесь решающую роль играет не техногенный фактор, а повышенный природный фон Mn и Cd. Наличие железомарганцевых конкреций обуславливает высокий коэффициент концентрации Mn. Биота, представленная кораллами, мшанками, двустворчатыми моллюсками и офиурами, способствует высокому содержанию здесь Sr. Что касается высокого значения Cd, то это характерно для донных осадков всего ЧМ.

Вероятность образования скоплений загрязняющих веществ в донных осадках не одинакова. На большей площади она низка. Условия для образования крупных скоплений отмечено в районе Южно-Чукотской котловины, прилегающей к верховьям желоба Геральда. С учетом того, что превышения среднего содержания микроэлементов в донных осадках ЧМ с кларком NASC (North American Shale Composite) (Gromet, L.P., 1986) локальны (за исключением Sr и Cd) и обусловлены естественными факторами, а вся российская часть моря относится к малоосвоенным районам. Эколого-геологическая обстановка исследуемой акватории может оцениваться как благоприятная.

Биотические компоненты донной экосистемы ЧМ. Бентос (донные организмы), как живой компонент экосистемы, более изменчив во времени, чем донные отложения, но по сравнению с другими группами организмов наиболее стабилен во времени, характеризует локальную ситуацию в пространстве и способен представить изменения экосистемы в ретроспективе (Pogrebov, 1994). На изученной акватории выделено 7 крупных донных сообществ (рис. 2).

Для выделенных биоценозов был рассчитан возможный токсикологический эффект от уровня содержащихся в донных биотопах тяжелых металлов. Содержание Zn, Cu, Pb, Ni, Cd и Hg, в изученных донных осадках биогеоценозов оказалось ниже критериев возможного биологического воздействия. Следовательно, вредное влияние исследованных веществ в данных концентрациях на бентосные сообщества маловероятно.

В результате обобщения вышеизложенных материалов (геоморфологии, гидродинамики, геохимии гранулометрии донных отложений, количественного и качественного состава бентоса) построена геоэкологическая карта-схема ЧМ (рис. 2).



Условные обозначения: Бентосные биogeocoенозы с 1 – 7: 1 – сообщество видов – обрастателей с доминированием асцидий, мшанок и губок подводного берегового склона в зоне современного волнового воздействия; 2 – сообщество офиур *O. sarsi*, *O. sericeum* и двусторчатых моллюсков *Y. hyperborea*, *M. calcarea* на абразионных террасах, склонах и вершинах подводных возвышенностей; 3 – сообщество двусторчатых моллюсков *Y. hyperborea*, *M. calcarea* и *Astarte sp.* плоских аккумулятивных равнин; 4 – сообщество двусторчатых моллюсков *E. tenuis* и *M. calcarea* плоских аккумулятивных равнин; 5 – сообщество двусторчатых моллюсков рода *Nuculana* и офиур *O. sarsi* плоских аккумулятивных равнин; 6 – сообщество двусторчатых моллюсков рода *Nuculana* и многощетинковых червей *M. sarsi* илистых равнин дниц замкнутых впадин; 7 – сообщество грунтоедов, с доминированием червей *Golfingia sp.*, *Echiurus sp.*, *Maldanidae var.* и морских звезд *C. crispatus* абразионно-аккумулятивных и аккумулятивных склонов; 8 – геоморфологические ловушки; 9 – граница государственного природного заповедника «Остров Врангеля»; течения 10 – 11: 10 – теплое течение, 11 – холодное течение.

Рис. 2. Геоэкологическая карта-схема донных биogeocoенозов ЧМ

В четвертой главе представлена оценка уязвимости берегов ЧМ от нефтяного загрязнения. Показано, что при возникновении нефтяных разливов в результате разведки, эксплуатации, консервации месторождения, а также при транспортировке нефти, наиболее уязвимыми к воздействию загрязнения нефтью и нефтепродуктами являются берега и прибрежные экосистемы.

На развитие береговой линии ЧМ влияют морской лед, вечная мерзлота и гидродинамика, оказывающая в настоящее время наибольшее воздействие. Береговая линия ЧМ характеризуется распространением лагун, песчано-галечных кос и баров. При этом у берегов, формирующихся под воздействием волновых процессов, процесс самоочищения от нефти будет происходить гораздо

быстрее, а значит и уязвимость их будет ниже. ЧМ характеризуются преобладанием гравийно-галечных и песчано-галечных берегов.

В соответствии со шкалой ESI_{CZ} на побережье ЧМ выделены 10 типов и 18 подтипов берегов по степени их чувствительности к разливам нефти. Далее берега ЧМ были ранжированы по степени уязвимости от воздействия потенциальных нефтяных разливов, возникающих в результате аварийной ситуации при бурении нефти на шельфе у северо-восточного побережья ЧМ (северное побережье Аляски) и крушения судов, особенно нефтеналивных танкеров или геологоразведочных работ по поиску и оценке новых нефтегазовых месторождений (рис. 3).



Рис. 3. Уязвимость берегов ЧМ от воздействия нефти

Так, например, лагуна Касигалук, имеющая высокую уязвимость берегов, находится в непосредственной близости от нефтяных скважин компании «Shell» (запуск постоянной работы которых пока не увенчался успехом) и при этом входит в список ключевых орнитологической территорий, является важнейшим местообитанием белух (*Delphinapterus leucas*), пятнистых тюленей (*Phoca largha*), белых (*Ursus maritimus*) и бурых медведей (*Ursus arctos*) в летнее время. Кроме того, в настоящее время, вдоль северо-западного побережья п-ова Сьюард, которое тоже имеет высокую уязвимость, проходит большое количество судов через Берингов пролив. В этих условиях весьма вероятна аварийная ситуация, приводящая к загрязнению этой зоны. Также возобновление функционирования СМП, трассы которого проходят через пролив Лонга, вблизи высоко уязвимых от нефтяного загрязнения берегов Чукотского п-ова, может создать в ближайшем будущем еще одну зону риска на берегах ЧМ.

В пятой главе представлена оценка уязвимости акватории ЧМ от нефтяного загрязнения. Для оценки интегральной уязвимости собственно акватории ЧМ от нефтяного загрязнения в целом рассмотрена структура биоценозов путем выделения разнообразия систематических и экологических групп гидробионтов и обилия видов. Распространение основных биотических компонентов экосистемы ЧМ имеет следующую закономерность: максимальная биомасса и численность зоо- и фитопланктона, бентоса, рыб, морских млекопитающих и птиц приурочена главным образом к прибрежным и прикромочным районам.

Полученные карты ранжированной численности (биомассы) компонентов биоты были умножены на коэффициенты уязвимости каждого компонента от действия нефти и просуммированы в среде ArcGIS 9.0. Полученные в результате суммирования интегральные карты для пяти диапазонов «относительной» уязвимости экосистемы ЧМ от загрязнения нефтью показаны на рис. 4.

Установлено, что наибольшей уязвимостью от нефтяного загрязнения в холодных климатических условиях характеризуются птицы, наименьшей – морские млекопитающие, имеющие высокую степень защиты от внешней среды и высокоорганизованную нервную систему, позволяющую избегать загрязненных участков.

В результате проведенной оценки «относительной» уязвимости акватории ЧМ от воздействия нефти можно констатировать, что уязвимыми от воздействия нефти являются районы Чукотского склона, Южно-Чукотской равнины, поднятия Врангеля, Северного склона Аляски, юго-западные части банок Геральда и Хана и трог Хана.

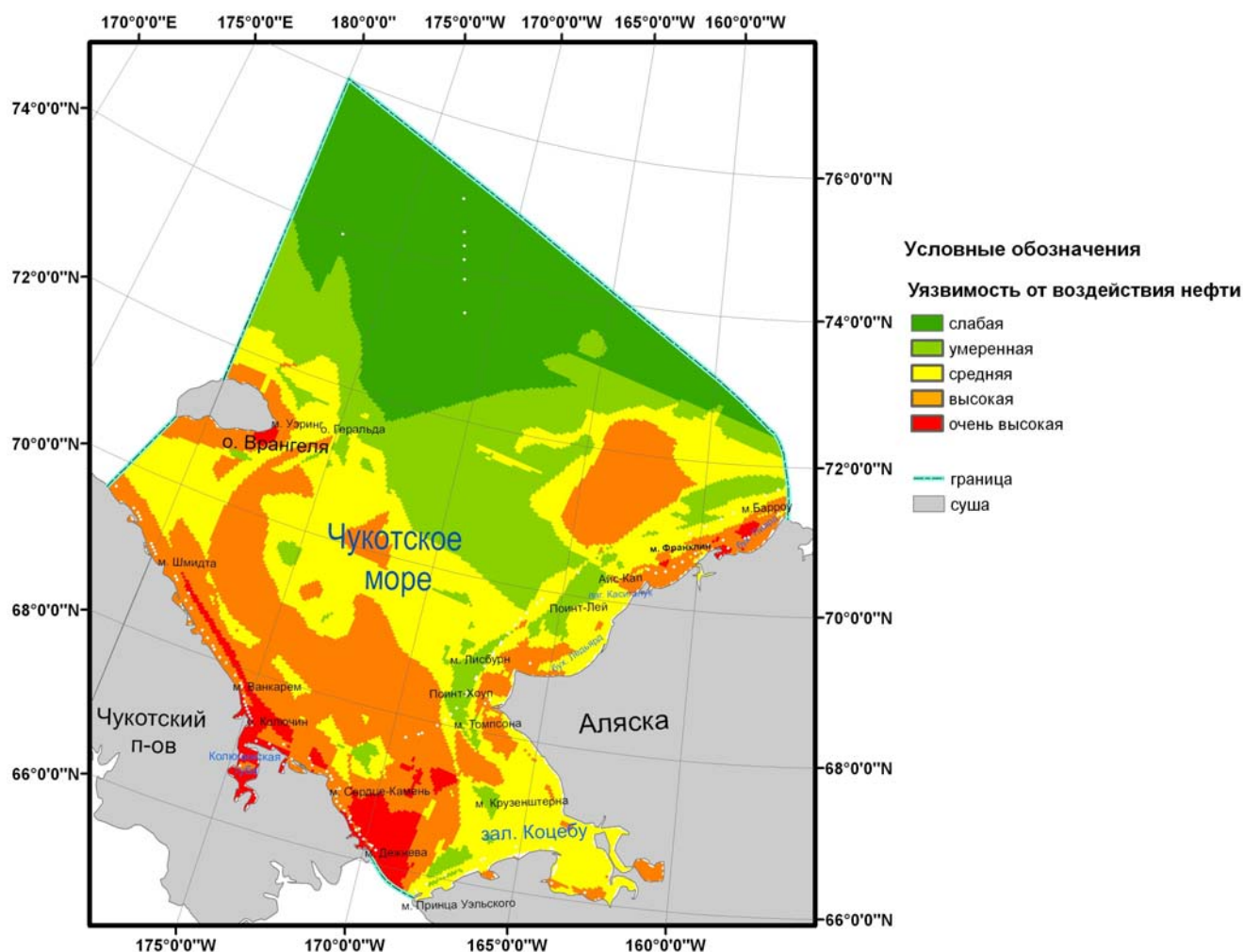


Рис. 4. «Относительная» уязвимость берегов и акватории ЧМ от воздействия нефти

Очень высокой уязвимостью характеризуется довольно большой участок, тянущийся от Берингова пролива до центра южной части Южно-Чукотской равнины, протяженный участок ЧМ, включающий Колючинскую губу и тянущийся до м. Шмидта, юго-восток о. Врангеля, бух. Пиард (Северного склона Аляски). Большинство из выделенных уязвимых районов расположены в прибрежных областях, где присутствует антропогенная деятельность (например, начавшаяся разработка нефтегазового месторождения в районе Северного склона Аляски) или потенциально возможна в будущем.

Так как потенциальное воздействие нефти на морскую экосистему определяется свойствами действующей нефти и возможной подверженности вида воздействию конкретному типу нефти и нефтепродуктов, была рассчитана уязвимость экосистемы ЧМ от пленочной и диспергированной нефти (рис. 5).

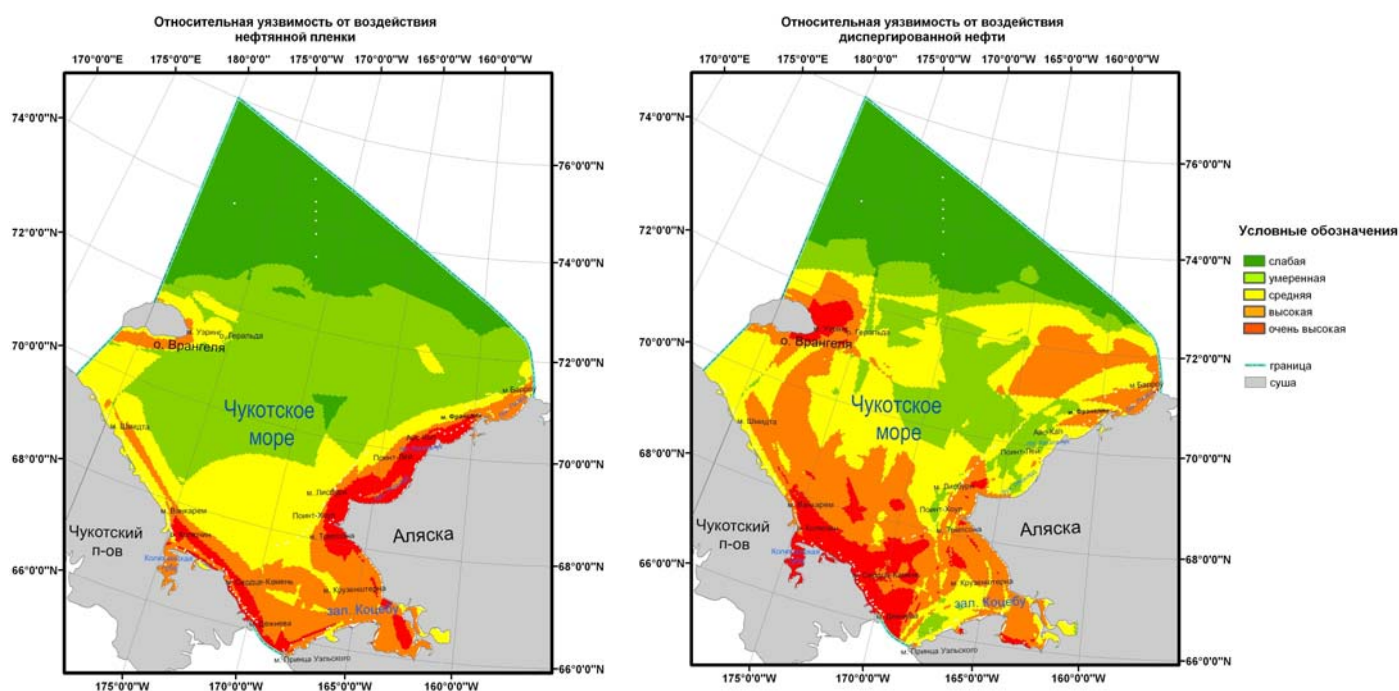


Рис. 5. «Относительная» уязвимость акватории ЧМ от воздействия пленочной и диспергированной нефти

Анализ «относительной» уязвимости акватории ЧМ от воздействия различных типов нефти показывает, что пленочная и диспергированная нефть наиболее опасны для прибрежных экосистем. Наиболее уязвимыми от воздействия пленочной нефти являются птицы, которые концентрируются в прибрежных экосистемах. Распределение диспергированной и пленочной нефти подтверждает общий вывод об уязвимости акватории ЧМ от воздействия нефти. В целом, чем ближе акватория расположена к берегу, тем уязвимее она от воздействия нефти.

Расчет баланса нефтепродуктов при крупном разливе нефти (150000 баррелей) типа ALASCA NORTH SLOPE, OIL & GAS в летний период, когда ЧМ свободно ото льда, проводился при следующих усредненных океанологических параметрах: СВ преобладающем направлении ветра, скоростью 5 м/с, легком волнении, с высотой волн до 0.6 м, средней температуре воды 0 °С, солёности – 31 ‰, СВ направлении прибрежные течения скоростью 0.3 м/с. Помимо оценки трансформации нефтяного пятна в обычных условиях (при усредненных океанологических параметрах экосистемы ЧМ) была рассмотрена трансформация нефтяного пятна в штормовых условиях. Согласно выполненным расчетам, при нормальных условиях (усредненных океанологических параметрах) количество испарившихся нефтепродуктов при разливе нефти составляет – 20.5% от массы разлива; количество диспергированных нефтепродуктов составляет – 0.5%; количество пленочной нефти составляет – 79.0 %, при увеличении волнения в условиях

шторма, когда волны достигают высоты 5 м количество диспергированной нефти увеличивается до 14 %, испарившейся нефти уменьшается до 17% и пленочной до 65%.

Также большую роль при оценке потенциальной уязвимости акватории ЧМ от нефтяных разливов будет играть и динамика площади морского льда. Сокращение площади морских льдов будет способствовать увеличению периода работы нефтегазодобывающих компаний на шельфе ЧМ и транспортных операций, что, фактически, увеличивает риск загрязнения от разливов нефти. Расчеты изменения ледяного покрова показали, что за период с 1988 по 2012 гг. площадь морских льдов в сентябре в ЧМ сократилась в 13.6 раз. Анализ данных, выполненный на конец 2012 г., продемонстрировал увеличение скорости сокращения протяженности льда ЧМ в сентябре до 41.1 % за декаду. Таким образом, современные методики оценки уязвимости акватории нуждаются во включении такого важного параметра, как динамика морского льда. В свете проведенных исследований, видно, что динамика морского льда – ключевой параметр существования экосистемы ЧМ и важнейший фактор, влияющий на дальнейшее поведение нефтяного пятна, после разлива.

В заключение диссертации соискатель представил следующие **выводы**:

1. По анализу распределения химических элементов в донных отложениях, геоморфологическим и литогеохимическим характеристикам, расчёту суммарного индекса загрязнения донных осадков, оценкам вероятности образования устойчивых концентраций загрязняющих веществ, состоянию бентоса, а также по результатам сопоставления с итогами предыдущих исследований и с данными по другим арктическим морям – эколого-геологическая обстановка ЧМ оценивается как благоприятная. Донные биогеоценозы не нарушены практически на всей акватории и слабо нарушены в береговой зоне, в районе населенных пунктов. Состояние донной экосистемы ЧМ до начала активных хозяйственных работ остается близким к среднемноголетней норме, хотя и с некоторой тенденцией к ухудшению в преддверии интенсивной эксплуатации экосистемы ЧМ. В результате предполагаемого воздействия нефтегазового комплекса, потенциальные изменения в ряде физических и геологических параметров (увеличение числа геоморфологических ловушек, концентрации подвижных форм тяжелых металлов в донных осадках, повышение придонной температуры) донной экосистемы ЧМ могут привести к существенному изменению состояния рассматриваемой экосистемы. Роль потенциальной антропогенной нагрузки в общей картине изменений будет весьма существенна, поэтому необходимо проводить оценку уязвимости экосистемы ЧМ от потенциальной антропогенной деятельности.

2. Основным потенциальным источником поступления загрязняющих веществ является деятельность по разработке нефтегазового месторождения в районе Северного склона Аляски и морские перевозки, поэтому наиболее актуальным для дальнейшего исследования является вопрос, связанный с оценкой уязвимости экосистемы ЧМ от разливов нефти и связанных с этим явлений. Оценка берегов ЧМ по шкале уязвимости показала, что наиболее уязвимыми от разливов нефти являются гравийно-галечное побережье Чукотского полуострова от м. Якан до м. Сердце-камень, характеризующееся преобладанием аккумулятивных берегов и лагун; северо-западное побережье п-ова Сьюард; южный и юго-восточный берега залива Коцебу; лагуна Касиглук (северо-восточное побережье ЧМ) с протяженными песчано- и гравийно-галечными барьерными островами и расположенными за ними маршами; низменное северное побережье о. Врангеля, окаймленное крупным песчано-галечным баром.
3. Оценка интегральной уязвимости экосистемы ЧМ в «летний» период выявила, что Чукотский склон (от Берингова пролива до м. Шмидта), юг Южно-Чукотской равнины, восточная часть поднятия Врангеля и Северный склон Аляски наиболее уязвимы к потенциальному воздействию нефтяного загрязнения. На этих участках сосредоточены экологически важные места обитания наиболее уязвимых компонентов биоты ЧМ. Так, для птиц, имеющих максимальный коэффициент уязвимости, это места гнездования, области кормления и нагула, районы линьки, стоянок, миграционные коридоры; для млекопитающих это области размножения, кормления/нагула, отдыха, миграционные коридоры; для рыб - нерестилища, «рыбопитомники», миграционные коридоры. Согласно расчетам баланса нефтепродуктов при разливе нефти при оценке уязвимости ЧМ от разлива нефти необходимо делать акцент, в первую очередь, на воздействие пленочной нефти, так как ее содержание составляет от 65 до 79 % в общем нефтяном балансе при разливе. При этом наиболее уязвимы от нефтяной пленки птицы, белые медведи и ластоногие, а наименее уязвим – фитопланктон. Участки с очень высокой уязвимостью ЧМ от пленочной нефти во многом повторяют очертания ключевых орнитологических акваторий. Прибрежные акватории юго-восточной и северо-восточной части ЧМ характеризуются высокой и очень высокой уязвимостью к пленочной нефти. Результаты оценки изменения ледяного покрова дают основу предположить, что в недалеком будущем произойдет увеличение возможного периода работы нефтегазодобывающих компаний на шельфе ЧМ и транспортных операций, а также интенсифицируется дальнейшая разработка шельфа, что повлечет за собой увеличение опасности загрязнения экосистемы ЧМ и её уязвимости от потенциальной антропогенной деятельности.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Кириевская Д.В.** Оценка уязвимости берегов Чукотского моря от нефтяного загрязнения // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2013. № 27. С. 139-147.
2. **Кириевская Д.В.**, Кийко О.А., Шилин М.Б. Оценка современного состояния донной экосистемы юго-восточной части Чукотского моря // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2012. № 23. С. 117-125.
3. Иванова В.В., **Кириевская Д.В.**, Болотов А.Е. Геохимическая характеристика донных отложений в зоне покмарков в восточной части Финского залива // *Балтийский регион*. 2011. № 1. С. 78-89.

В других изданиях (статьи и материалы конференций):

1. Шилин М.Б., **Кириевская Д.В.** Оценка современного состояния донной экосистемы Чукотского моря // Материалы Итоговой сессии ученого совета РГГМУ. — СПб., РГГМУ, 2012. С. 82-86.
2. **Кириевская Д.В.** Оценка состояния морских экосистем как инструмент создания программ эффективного природопользования акватории // Материалы II Международной конференции молодых ученых и специалистов «Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана». — СПб., ВНИИОкеангеология, 2010. С. 21-22.
3. **Кириевская Д.В.**, Анохин В.М. Геоэкологическая обстановка дна Чукотского моря по данным исследований ВНИИОкеангеология 2006 г. // *Геология морей и океанов: Материалы XVII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. Т. III. — М.: 2007. С. 225-227.
4. Гусев Е.А., Егоров Ю.П., Криницкий П.И., Рекант П.В., Анохин В.М., **Кириевская Д.В.**, Рудой А.С. Геологическая съемка шельфа Чукотского моря масштаба 1:1 000 000, листы R-1, R-2. // *Экспедиционные исследования ВНИИОкеангеология в 2006 году. Ежегодный обзор*. — СПб., ВНИИОкеангеология, 2007. С. 5-15.
5. **Kirievskaya D.V.** The vulnerability assessment of the Chukchi sea bottom ecosystem: anthropogenic impact case // *Book of abstracts Joint ART-APECS Science Workshop*. 2012. [Электронный ресурс]: <http://www.iarc.uaf.edu/sites/default/files/images/art/workshops/2012/october/Book-of-Abstracts.pdf>
6. **Kirievskaya D.V.**, Kiyko O.A. Bottom ecosystem components as indicators of Eurasian northern seas conditions // *International Polar Year Science Conference 2012, Electronic Abstracts*. [Электронный ресурс]: <http://132.246.11.198/2012-ipy/pdf-all/ipy2012arAbstract01029.pdf>
7. **Kirievskaya D.V.**, Kiyko O. A. Bottom Ecosystem Components as Indicators of Eurasian Northern Seas Conditions (by example of the Chukchi Sea, the Barents Sea and the Baltic Sea) // *Book of abstracts: Arctic Frontiers Conference – 2011*, p. 158. [Электронный ресурс]: http://www.arcticfrontiers.com/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=179&Itemid=328&lang=en
8. **Kirievskaya D.V.** Ecological estimation of bottom ecosystems of northern seas as a tool of their integrated management plan (by the example of the Chukchi Sea) // *Berichte zur Polar- und Meeresforschung, Special Issue*. 2010. № 623. P. 35.
9. **Kirievskaya D.V.**, Kiyko O. A. Benthos of the Chukchi Sea as Indicator of Polar Ecosystem // *Book of abstracts: Arctic Frontiers Conference, 2010, Tromso, Norway*. P. 232. [Электронный ресурс]: http://www.arcticfrontiers.com/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=138&Itemid=328&lang=en

Подписано в печать 17.05.13	Формат 60x84 ¹ / ₁₆	Цифровая	Печ. л. 1.0
Тираж 100	Заказ 09/05	печать	

Отпечатано в типографии «Фалкон Принт»
(197101, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Пушкарская, д. 54, офис 2)

