

На правах рукописи

УДК 256.18 (268.45)

Калинка Ольга Петровна

ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ АКВАТОРИИ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА
И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЕГО БЕРЕГОВ ПРИ РАЗЛИВАХ НЕФТИ

Специальность 25.00.28 – Океанология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Мурманск
2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Мурманском морском биологическом институте Кольского научного центра Российской академии наук, г. Мурманск

- Научный руководитель: **Шавыкин Анатолий Александрович**
кандидат технических наук
ММБИ КНЦ РАН
- Официальные оппоненты: **Беспалова Людмила Александровна**
доктор географических наук, главный научный сотрудник кафедры океанологии Южного федерального университета
- Захаренко Валентина Степановна**
кандидат географических наук, доцент кафедры механики сплошных сред и морского нефтегазового дела факультета арктических технологий ФГБОУ ВПО «МГТУ»
- Ведущая организация: Российский государственный гидрометеорологический университет

Защита состоится «18» мая 2016 г. в 14.30 на заседании диссертационного совета Д.002.140.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Мурманском морском биологическом институте Кольского научного центра Российской академии наук, по адресу 183010 г. Мурманск, ул. Владимирская, 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Мурманского морского биологического института Кольского научного центра РАН
Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д.002.140.01,
кандидат географических наук



И.С. Усыгина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Нефть и нефтепродукты относятся к одним из самых опасных в биологическом отношении загрязнителей. Их влиянию подвержены районы нефтедобычи, оживленного судоходства, акватории портов, особенно в высоких широтах, где выполнение любых операций с нефтью сложнее, чем в более южных. Активизация нефтегазовых работ и рост транспортировок на континентальном шельфе Арктики требует серьезного отношения к вопросам экологической безопасности морских и, главным образом, прибрежных акваторий [Матишов и др., 1999], в частности Кольского залива – стратегического объекта интенсивного природопользования [Матишов, 1990б; Кольский залив..., 1997, 2009]. В этой связи неотъемлемой частью планов по ликвидации разливов нефти (ЛРН) должны стать карты экологической уязвимости акватории и чувствительности берегов [Журавель, Вонк, 1996; Погребов, 2010; Шавыкин, Ильин, 2010; Методические подходы..., 2012]. Использование таких карт позволит определить наиболее «ранимые», а также устойчивые к загрязнению участки, что впоследствии облегчит процесс выбора приоритетов при проведении операций по ликвидации разливов нефти, способствуя минимизации ущерба окружающей среде. Однако в России пока нет единой методики и каких-либо нормативных документов, регламентирующих построение карт уязвимости от нефтяного загрязнения для планов ЛРН. Поэтому очевидна необходимость проведения исследований по оценке экологической уязвимости морских экосистем от воздействия нефти и разработке методики построения соответствующих карт. Актуально создание комплексного инструмента - уязвимости акватории и чувствительности берегов Кольского залива к воздействию нефти для включения в планы ЛРН.

Степень разработанности темы. Для оценки степени негативного воздействия нефти на береговую зону в международной практике широко применяется система индексов экологической чувствительности берегов (ESI), разработанная американскими учеными [Gundlach, Hayes, 1978]. В части морских акваторий определение уязвимости ведется по различным методикам, адаптированным к региональным условиям: в Великобритании (с 1990 г.), Норвегии (2000 г.), Германии (2005 г.), Нидерландах (2007 г.), Литве (2010 г.), Австралии (2011 г.), а также в рамках международных проектов OILECO (2007 г.), BRISK (2009 г.). С 1994 г. Международной морской организацией (ИМО) в сотрудничестве с Международной ассоциацией представителей нефтяной промышленности по охране окружающей среды (ИПЕКА), а с 2012 г. при участии и Международной ассоциации производителей нефти и газа (OGP) издана серия совместных докладов рекомендательного характера по составлению карт экологически уязвимых зон (акватории и берегов) при ликвидации разливов нефти.

В России решению вопросов чувствительности побережий дальневосточных морей с использованием индексов ESI посвящены исследования Я.Ю. Блиновской. Существует несколько подходов к оценке и

картографированию уязвимости морских акваторий от нефти. Наиболее известны разработки В.Б. Погребова, апробированные для акваторий ряда морей. Собственная методология оценки уязвимости на примере Баренцева и Белого морей представлена М.А. Новиковым. Общественной организацией WWF-Россия были предприняты попытки создания общепринятых методических подходов к построению таких карт. Но как показывает практика, оценка уязвимости акваторий от воздействия нефти крайне сложный и неоднозначный вопрос. Нет единого мнения, как уязвимость рассчитывать и представлять.

Цель исследования: провести районирование акватории Кольского залива по степени уязвимости, а также чувствительности его берегов от нефтяного загрязнения для планов ликвидации разливов нефти и природоохранных целей.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Разработать подход к оценке и картографированию уязвимости акватории Кольского залива, а также чувствительности его береговой линии к возможному негативному действию нефти с учетом анализа существующего опыта в России и за рубежом.

2. Подготовить карты сезонного распределения важных компонентов биоты (ВКБ) и расположения особо значимых объектов (ОЗО) Кольского залива, обобщив материалы исследований по современному состоянию его среды и биоты.

3. Дать обоснованную оценку уязвимости ВКБ и ОЗО Кольского залива, исходя из потенциального воздействия на них нефти, чувствительности и восстанавливаемости учитываемых биологических ресурсов, а также приоритетности защиты значимых объектов.

4. Выявить районы Кольского залива (на акватории и берегу) наиболее уязвимые от загрязнения нефтью и требующие приоритетной защиты.

Научная новизна исследования:

- Предложен и впервые реализован подход к оценке интегральной уязвимости акватории Кольского залива от нефтяного загрязнения, учитывающий наличие компонентов биоты (группы/подгруппы ВКБ) и объектов среды (типы ОЗО), различный характер возможного негативного воздействия на них нефти. Для биологической составляющей принимается во внимание обилие и вклад каждой из групп/подгрупп в итоговую интегральную уязвимость, а также сезонные соотношения обилия подгрупп внутри группы и их годовая изменчивость.

- Впервые построены разномасштабные сезонные карты интегральной уязвимости акватории Кольского залива от воздействия нефти, соответствующие международным рекомендациям и предназначены для использования в планах ЛРН, а также природоохранных целей.

- Впервые выполнено ранжирование типов берегов Кольского залива по степени их чувствительности к нефти на основе адаптированной системы индексов ESI.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Итоговые карты «относительной» уязвимости акватории и карты чувствительности берегов могут использоваться организациями, занятыми разработкой планов реагирования на разливы нефти, специалистами профессиональных аварийно-спасательных формирований и лиц, принимающих решение при проведении операций по ликвидации нефтеразливов. Карты «абсолютной» уязвимости могут быть полезны для комплексного управления, рационального природопользования и поставарийного мониторинга прибрежно-морских зон, а также федеральным органам исполнительной власти, осуществляющих государственное управление в области охраны и контроля окружающей среды. Исходные карты плотности распределения отдельных групп биоты дополняют описанные ранее представления и могут способствовать более точным расчетам ущербов окружающей среде. Сама технология оценки уязвимости от нефтяного загрязнения может применяться для других типов воздействий и различных акваторий с учетом региональной специфики.

Методология и методы исследования:

1. Определение чувствительности типов берегов проведено в соответствии с рекомендациями международных организаций [ИМО/ИРЕСА/ОГР, 2012]. Исходным материалом служили литературные данные, а также результаты фотосъемки береговой линии Кольского залива 2008 – 2012 гг. (около 2000 снимков), полученные в ряде натурных исследований: прибрежные экспедиции летом 2008 г. и осенью 2011 г.; береговые экспедиции зимой и весной 2012 г.

2. Расчет и построение карт интегральной уязвимости акватории Кольского залива производились по методике, предложенной специалистами ММБИ. Базовые ее положения разработаны при непосредственном участии диссертанта, на основе анализа существующих подходов в России и за рубежом, а также собственного опыта картографирования уязвимости Баренцева, Белого и Карского морей.

Современные ГИС-технологии (ArcGIS 10.0 компании ESRI) использовались для подготовки и графического представления карт интегральной уязвимости акватории и чувствительности берегов Кольского залива.

В качестве **положений, выносимых на защиту**, представлены:

- реализация нового подхода к оценке и картографированию интегральной уязвимости акватории Кольского залива от нефтяного загрязнения для планов ликвидации разливов нефти и природоохранных целей;

- коэффициенты уязвимости для компонентов биоты Кольского залива, обоснованные с учетом их чувствительности, восстанавливаемости и потенциального воздействия на них нефти среднего типа;

- сезонные карты интегральной уязвимости акватории Кольского залива от нефтяного загрязнения масштаба 1:150 000 (тактические), для отдельных его районов – масштаба 1:25 000 (объектные), позволяющие выявлять районы приоритетной защиты на разных уровнях планирования;

- картосхемы чувствительности берегов Кольского залива по системе индексов ESI, построенные на основе рекомендаций международных организаций и региональных особенностей.

Степень достоверности и апробация результатов исследования.

Материалы работы докладывались на Международной конференции по освоению ресурсов нефти и газа российской Арктики и континентального шельфа СНГ (РАО-07, г. Санкт-Петербург, 2007 г.), «Нефть и газ арктического шельфа» (г. Мурманск, 2008 г.), на конференциях молодых ученых ММБИ КНЦ РАН (г. Мурманск, 2007 – 2013 гг.) и МГТУ (г. Мурманск, 2015 г.), на заседаниях Ученого совета ММБИ (г. Мурманск, 2014), на российско-норвежских семинарах в рамках проекта СЕТИА (г. Мурманске, г. Тромсе, 2011 – 2014 гг.), также представлялись на конкурсе научных работ молодых ученых и специалистов Мурманской области, где отмечены дипломом победителя. Диссертант принимал участие в ряде семинаров рабочей группы Всемирного фонда дикой природы (WWF-Россия) «Разработка методики построения карт уязвимости морских акваторий и берегов от разливов нефти» (г. Санкт-Петербург, 2010 – 2012 гг.), а также на Мурманском региональном семинаре МЧС (г. Мурманск, 2012 г.). Результаты исследования были представлены на Первом фестивале Русского Географического Общества (г. Москва, 2014 г.), на IV научно-практической конференции молодых ученых РАН (г. Санкт-Петербург, 2014 г.), школе молодых ученых по морской биологии МГТУ, ММБИ, ПИНРО (г. Мурманск, 2015 г.), на норвежском семинаре по разработке и использованию карт уязвимости прибрежных и морских областей (Сванховд, 2015 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 22 научные работы, из них 2 – в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 3 статьи в двух коллективных монографиях, 12 тезисов научных докладов на российских и международных конференциях, а также 1 патент, 4 электронные публикации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 3-х глав, заключения, 2-х приложений и списка литературы, включающего 193 наименования. Работа изложена на 164 страницах (из них 30 с. приложений) и включает в себя 112 рисунков (из них 82 рис. в приложениях), 19 таблиц.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность директору Мурманского морского биологического института КНЦ РАН, академику Г.Г. Матишову и профессору, д.б.н. П.Р. Макаревичу за предоставленную возможность и условия проводить исследования, послужившие основой для написания настоящей работы. Автор благодарит за всестороннюю поддержку и рекомендации научного руководителя к.т.н. А.А. Шавыкина, а также сотрудников лаб. инженерной экологии А.Н. Карнатов, П.С. Ващенко, за помощь в подготовке картографического материала. Особая благодарность коллегам по гранту РГО, предоставивших исходные данные по распределению биоты, к.б.н. С.В. Малавенде, к.б.н. А.А. Фролову, к.б.н. Л.В. Павловой, А.А. Горяевой. Диссертант выражает признательность за внимание к работе, конструктивную критику и ценные советы д.г.н. В.В. Денисову, к.г.н. Г.В. Ильину, д.б.н. Г.М. Воскобойникову, д.г.н. С.Л. Дженюку, к.г.н. Д.В. Моисееву, к.г.н. И.С. Усягиной, к.б.н. Т.И. Широколовой, С.В. Тимофеевой, Г.Н. Духно. Отдельное спасибо зам. председателю Южного научного центра РАН, профессору, д.г.н. С.В. Бердникову и к.г.н. Н.А. Яицкой.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цель и основные решаемые задачи диссертационного исследования, новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость.

Глава 1. Физико-географическая характеристика района исследования и риски нефтяного загрязнения

Приводится краткая характеристика среды и биоты Кольского залива, показаны потенциальные источники загрязнения залива нефтью, описаны факторы, определяющие поведение нефти при разливах, обоснована необходимость наличия карт уязвимости для борьбы с разливами нефти, в частности для планов ЛРН.

Поскольку понятие физико-географическая характеристика является обширным, в настоящей работе приведены те особенности среды и биоты, которые используются при дальнейших расчетах.

Геоморфологическое описание типов берегов и динамика вод залива – для определения чувствительности его береговой линии к нефтяному загрязнению. Первостепенное значение имеют структура и тип берегов, литология отложений и коренных пород как консервативный фактор, предопределяющий просачивание нефти вглубь берега, ее длительное удержание там, а, следовательно, и способы ликвидации последствий загрязнения. Гидродинамические особенности вод залива в прибрежье влияют на их естественное обновление и самоочищение берегов. В Кольском заливе при попадании нефти на берег серьезное распространение ее по горизонтали произойдет только в среднем колене и вдающихся далеко вглубь берега мелководных районах с широкими пляжами. Возможность естественного самоочищения приурочена к открытым и северным берегам залива.

Современное состояние сезонного обилия биологической составляющей экосистемы залива, являлось основой для расчетов уязвимости акватории залива. Особое внимание уделено изучению пространственного распределения и сезонной изменчивости показателей обилия (плотности/численности/биомассы) основных экологических групп биоты в заливе. На основе собранного материала построены исходные карты распределения макрофитобентоса, макрозообентоса, мезозообентоса (подвижного и неподвижного), а также морских и водоплавающих видов птиц. Промысловый лов рыбы в заливе не ведется, необходимые данные о распределении ихтиофауны (включая ихтиопланктон) для Кольского залива отсутствуют, поэтому в расчетах они не учитываются. Это относится и к морским млекопитающим, которые на акватории залива встречаются крайне редко, спорадически и одиночно.

Основные источники нефтяного загрязнения акватории залива выявлены с привлечением данных спутникового мониторинга ФБУ «Арктическая дирекция по техническому обеспечению надзора на море». Это более 20 объектов, расположенных на берегу или прибрежной зоне южного и

среднего колена залива. К ним относятся предприятия Министерства обороны, рейдовые и портовые нефтеперегрузочные комплексы, терминалы. Осуществляя хозяйственную деятельность, связанную с транспортировкой, перевалкой, хранением нефти и нефтепродуктов, эти объекты повышают возможные риски аварийных разливов муниципального, регионального и федерального значений. Приводятся карты загрязнений, где отчетливо выделяются две основные зоны: в районе г. Североморск и на выходе из Кольского залива в северном колене. Поэтому для данных районов повышенного потенциального риска нефтеразливов в первую очередь необходимы объектные (крупномасштабные) карты уязвимости.

Факторы, определяющие поведение нефти при разливах и их анализ, позволяют дать представление об экологических эффектах, масштабах и последствиях нефтяного загрязнения для среды и биоты [Научно-методические..., 1997]. Литературные данные [Патин, 1997, 2001, 2008 и др.] свидетельствуют, что сразу после разлива нефти в море начинаются процессы переноса ее на поверхности и в толще воды (растекание, дрейф, седиментация, затопление); а также процессы выветривания (испарение, растворение, диспергирование, эмульгирование и т. д.). Все они приводят к частичному самоочищению моря и морских берегов от нефти. Исключение составляет эмульгирование, в процессе которого нефть становится более стойкой и объем ее увеличивается. Интенсивность каждого из процессов зависит от изначальных физико-химических свойств самой нефти, преобладающих климатических и гидродинамических условий. Важное значение имеют объемы поступающих в море нефти и нефтепродуктов, тот факт, остается ли нефть в море или выносится на берег. Если нефтяное пятно не достигает побережья, то биологические эффекты сведутся к локальным, быстро восстанавливаемым нарушениям на поверхности моря и в пелагиали. При попадании нефти на берег, последствия могут быть весьма существенными. Для узкого, изогнутого Кольского залива, с учетом его преобладающих направлений ветра и течений, нефтяное загрязнение вероятнее всего достигнет берега за достаточно короткий срок [Бердников и др., 2004; Бердников и др., 2009].

Глава 2. Подходы к оценке чувствительности/уязвимости морских акваторий и берегов от нефтяного загрязнения

Рассматриваются теоретические вопросы, связанные с обзором различных подходов к построению карт чувствительности/уязвимости морей в России и за рубежом, с целью выявления основополагающих аспектов и проблем. Подробный анализ существующих разработок показал, что часть из них основана на картографировании чувствительности берегов по системе индексов ESI [Gundlach, Hayes, 1978] и учитывает рекомендации международных организаций [ИМО/ИРЕСА/OGP, 2012]. Метод ESI достаточно прост и широко используется, ESI-карты сделаны для побережья США, Канады, Казахстана, Индонезии, Турции, Бразилии и др. [Environmental Sensitivity..., 2014]. Также метод ESI применяется в различных модификациях

в Австралии [DNV, 2001], Германии [Schiller et al., 2005], Литве [Depellegrin et al., 2010] и др. В Институте защиты моря (Россия, г. Владивосток), ориентируясь на индексы ESI, предложены принципы создания информационной системы «Карты чувствительности прибрежно-морских зон к загрязнению нефтью» [Блиновская, 2004, 2010]. Другая часть разработок представляет собой оригинальные подходы к расчету и построению карт чувствительности/уязвимости морских акваторий, применяемые в: Великобритании [MacDonald et al., 1999], Нидерландах [Offringa, Låhr, 2007], Норвегии [SFT, 2000] и др. Представители стран Балтийского моря разработали общую методологию расчета экологической чувствительности от разливов нефти для всего моря в рамках проекта BRISK [BRISK, 2009]. В России существует несколько подходов для оценки уязвимости морских акваторий. Это в основном работы компании ЗАО «Экопроект» [Погребов, Пузаченко, 2003; Погребов, 2010]. Ими предложена методика интегральной оценки уязвимости к различным видам антропогенного воздействия в ходе экологического сопровождения проектов, в том числе разработке нефтегазовых месторождений. С позиций эколого-рыбохозяйственной ценности методические подходы к решению задач по уязвимости Баренцева и Белого морей представлены в ПИНПРО [Новиков, 2006, 2013].

На основании аналитического обзора методик выявлено, что для картографирования чувствительности берегов Кольского залива можно использовать систему индексов ESI, как единственный в какой-то мере стандартизованный подход, рекомендуемый международными организациями ИМО/ПРЕСА/ОГР [2012]. В части расчета уязвимости акваторий нет четкого алгоритма, в рекомендациях ИМО/ПРЕСА/ОГР, присутствуют лишь общие положения, которым существующие в различных странах методики, соответствуют не в полной мере. Таким образом, на сегодняшний день не имеется единого мнения как уязвимость морских акваторий рассчитывать и представлять. Также отсутствует согласованность в трактовке основных понятий (чувствительность, уязвимость и др.), какой из них использовать в качестве интегрального показателя.

Глава 3. Карты чувствительности/уязвимости Кольского залива от нефтяного загрязнения

Приводятся итоги диссертационного исследования, выделены методические положения и алгоритм для оценки и картографирования уязвимости акватории Кольского залива от действия нефти. Построена картосхема чувствительности его берегов по системе индексов ESI.

Принимая во внимание ряд важных аспектов методики Нидерландов [Offringa, Låhr, 2007], плюсы и недостатки других существующих подходов, а также учитывая российский опыт (ЗАО «Экопроект», ПИНПРО), собственные наработки [Калинка и др., 2007; Шавыкин и др., 2008; Калинка, Духно, 2010; Калинка, 2011; Калинка и др., 2013а, 2015; Калинка и др., 2014; Shavykin et al., 2015] и рекомендации международных организаций (ИМО/ПРЕСА/ОГР) специалистами ММБИ с непосредственным участием

диссертанта разработан способ оценки и картографирования уязвимости акваторий. Предложенный подход по отдельным моментам принципиально отличается от известных ранее в России и за рубежом, что подтверждено патентом [Шавыкин и др., 2015].

Сформулировано понятие уязвимости, так как в научной литературе нет единого мнения в отношении того, какой термин использовать в качестве интегрального показателя состояния морских экосистем (чувствительность, уязвимость или др.) нет и определенной трактовки такого понятия. Под *уязвимостью морских акваторий* от нефтяного загрязнения (Y) мы понимаем свойство природной среды, характеризующее результаты возможного негативного воздействия, выражаемое снижением исходного обилия (B) или утраты важных видов, групп биоты, отчуждением природных акваторий, местообитаний, значимых объектов (C), в зависимости от их индивидуальной подверженности к действию нефти (V), вследствие чего происходит частичное или полное нарушение структуры и функционирования экосистемы моря.

Предлагаемая для Кольского залива методика включает следующие основные этапы:

1. Определение перечня уязвимых ресурсов (ВКБ и ОЗО).
2. Подготовка разномасштабных карт исходного распределения ВКБ и положения ОЗО.
3. Выделение временных границ сезонов (с учетом относительного постоянства обилия ВКБ и присутствия ОЗО в картографируемом районе).
4. Расчет коэффициентов уязвимости ВКБ и приоритетной защиты ОЗО.
5. Построение для ВКБ и ОЗО сезонных карт уязвимости, их нормирование.
6. Построение разномасштабных карт интегральной уязвимости по сезонам.
7. Создание картосхем чувствительности береговой зоны по ESI.

Подробно описан и реализован предлагаемый алгоритм оценки и картографирования уязвимости акватории Кольского залива от действия нефти.

Уязвимость акватории залива сводится к тому, что карты строятся «относительной» и «абсолютной» интегральной уязвимости по сезонам, чего ранее никем не делалось в рамках одной методики. Карты «относительной» уязвимости показывают уязвимость различных участков акватории в конкретный сезон. Карты «абсолютной» уязвимости позволяют сравнивать конкретные участки по их уязвимости от сезона к сезону. Оба набора карт построены в двух масштабах: 1:150 000 – для всего залива (*тактические карты*); 1:25 000 – для отдельных его районов (*объектные карты*). Наличие разномасштабных карт, по рекомендациям международных организаций, необходимо для разного уровня планирования ЛРН.

При оценке интегральной уязвимости акватории частично опирались на подход ЗАО «Экопроект», модифицировав формулу расчета в соответствии с принятым нами определением. Метод предполагает учет важных

компонентов биоты (ВКБ), особо значимых объектов (ОЗО) и их различную подверженность к нефтяному загрязнению, выраженную коэффициентами: $Y = \sum (B^g \times V_b^g + C^e \times V_c^e)$, где: Y – интегральная уязвимость акватории; B – обилие важных компонентов (g -й группы/подгруппы) биоты (ВКБ); C – наличие e -го особо значимого объекта (ОЗО); V_b и V_c – коэффициенты уязвимости g -го ВКБ и приоритетности защиты e -го ОЗО.

Важные компоненты биоты (ВКБ), обитающие в Кольском заливе, разделены на основные экологические группы (фито-, зообентос, морские птицы), как это сделано во многих методиках и указано в международных рекомендациях. Дополнительно в группах нами выделены подгруппы организмов, что необходимо для учета различного характера воздействия на них нефти. Группа зообентоса разделена на *макро-* (донные беспозвоночные животные с длиной тела 1.5 – 30.0 мм); *мегазообентос* (донные организмы более 30 мм) *мобильный* (способный передвигаться и мигрировать на большие расстояния) и *немобильный* (прикрепленный, малоподвижный) бентос. Группа морских птиц включает подгруппу *птиц, питающихся у морской поверхности* (виды, большую часть времени проводящие в полете, питающиеся у поверхности воды); *ныряющих* (виды, большую часть времени проводящие на воде, кормящиеся в толще воды); *околоводных* (виды, обитающие вдоль береговой линии, кормящиеся в зоне заплеска). Для группы фитобентоса, на основании характера рассматриваемого воздействия, выделения дополнительных подгрупп не проводилось.

По литературным данным и экспертным оценкам определены временные границы сезонов для перечисленных групп/подгрупп биоты, исходя из их биологических особенностей развития, обилия и характера поведения в Кольском заливе. Динамика биомассы *фитобентоса*, *макрозообентоса* и *немобильного мегазообентоса* в течение года изменяется незначительно, поэтому было условно принято, что деления на сезоны не требуется. Для *мобильного мегазообентоса* можно выделить два основных периода: осенне-зимний (сентябрь – январь) и весенне-летний (февраль – август). Но с середины февраля по март для крабов это период повышенной уязвимости, поэтому эти два месяца выделяются как отдельный сезон – ранневесенний. Распределение *орнитофауны* характеризуется большой сезонной изменчивостью, в общем можно выделить зимний период (ноябрь – март), весенний (апрель – июнь), летний (июль – август) и осенний (сентябрь – октябрь) периоды.

В работе с учетом принятых временных границ для каждой группы/подгруппы биоты приведено описание их пространственного распределения (по биомассе/численности) и построены соответствующие карты в единицах измерения принятых для каждой из групп. Это было реализовано путем картографирования ареалов их обитания в виде полигонов с численными значениями обилия (B^g , где g – индекс группы/подгруппы). В итоге получены исходные карты сезонного распределения ВКБ.

Аналогичная процедура проведена для *особо значимых объектов (ОЗО)*. С использованием литературных данных выделены присутствующие в Кольском заливе типы особо значимых объектов: *порты и портовые сооружения* (круглый год); *устья нерестовых рек семги* (апрель – октябрь); *районы размножения крабов и развития их личинок* (февраль – июнь).

Для всех типов учитываемых ОЗО построены карты их пространственного расположения в виде полигонов C^e , где e – индекс типа ОЗО. Всем полигонам C^e присвоены значения 1, остальной акватории – 0.

Характер возможного негативного воздействия нефти на выделенные объекты выражается коэффициентами уязвимости для групп/подгрупп ВКБ и коэффициентами приоритетности защиты для типов ОЗО.

Уязвимость компонентов биоты (V_b^g) вычислялась по формуле [Offringa, Låhr, 2007]: $V_b^g = (S^g \times E^g) / R^g$, где S^g – чувствительность; E^g – потенциальное воздействие; R^g – восстанавливаемость g -ой группы/подгруппы биоты. Значения параметров уязвимости (E , S , R) для биоты Кольского залива оценены по собственному принципу. Так как, по мнению авторов методики Нидерландов, их алгоритм расчета оказался достаточно сложным в практическом применении.

В большинстве случаев коэффициенты уязвимости от воздействия нефти задаются единым параметром в относительных единицах (баллах) от 1 до 5, (либо в %). В качестве обоснования приводятся лишь критерии, с учетом которых оценивается уязвимость, а конкретные значения основаны, главным образом, на субъективном мнении экспертов, поэтому неоднозначны. Это связано с многообразием видов, населяющих морские экосистемы, индивидуальными и популяционными особенностями этих видов, а также различиями условий нефтяных разливов, их масштабов и продолжительности. Поэтому очень трудно дать корректные количественные значения (даже в каких-либо относительных единицах на метрической шкале) параметрам уязвимости. В тоже время, явления, протекающие в биологических системах, не всегда можно формализовать, используя такой подход [Матишов, 1990]. Исходя из этого, в настоящей работе предложено присвоение рангов для учитываемых групп/подгрупп биоты по каждому из параметров, определяющих уязвимость (E , S , R).

В соответствии с общими представлениями о поведении нефти после ее разлива тяжелая нефть быстро тонет, легкая испаряется, широкий спектр действия оказывает нефть среднего типа. Поэтому оценка уязвимости проводилась для средней по плотности нефти ($850 - 950 \text{ кг/м}^3$), для нее характерна хорошая плавучесть, слабое испарение и растворение. Погружение на дно возможно при определенных условиях. Поведение нефти, обусловленное ее свойствами, влияет на вероятность и характер загрязнения нефтью значимых групп/подгрупп биоты. Рассмотрено воздействие при максимальной продолжительности существования пятна и наибольшей зоне загрязнения. Учитывая накопленные знания о биологии организмов и их

поведенческих особенностях, предлагается следующая общая схема ранжирования параметров, определяющих уязвимость для фито-, зообентоса, морских птиц и их подгрупп от воздействия нефти среднего типа.

Потенциальное воздействие (E) – это потенциально возможное соприкосновение (контакт) биоты с нефтью при ее разливе. Предполагается, что нефтяное загрязнение может распространяться на глубину до 10 – 20 м и в слое 0 – 20 м воздействовать на биоту. Поэтому наибольшему негативному влиянию подвержены организмы, непосредственно связанные с поверхностным слоем и обитающие в прибрежной зоне или мелководьях, а также неподвижные формы и виды, у которых отсутствует поведенческая реакция избегания нефтяного загрязнения. Таким образом, учитываемые группы/подгруппы биоты ранжированы по возрастанию риска соприкосновения с нефтью и ее потенциального воздействия (табл. 1).

Таблица 1

Значения чувствительности, восстанавливаемости, потенциального воздействия для нефти среднего типа и итоговые коэффициенты уязвимости для g-ой группы организмов

Группа/подгруппа биоты*	E^g	S^g	R^g	$V_b^g = (S^g \times E^g) / R^g$
Макрофитобентос (0 – 20 м)	6	1	6	1.0
Макрозообентос (0 – 20 м)	4	4	5	3.2
Мегазообентос, немобильный (0 – 20 м)	5	3	4	3.8
Мегазообентос, мобильный (0 – 20 м)	2	2	3	1.3
Птицы, питающиеся у морской поверхности	3	5	1	15.0
Птицы ныряющие	7	5	2	17.5
Птицы околководные	1	5	1	5.0

* Для краснокнижных видов вводится дополнительный коэффициент 2.

Чувствительность (S) – это свойство организмов реагировать на воздействие нефти в зависимости от ее концентрации. Оценивая значения летальных концентраций (LC_{50}) нефти для основных групп/подгрупп биоты можно определить различия их чувствительности к действию нефти. Однако такие данные по морской токсикологии разнородны и с трудом поддаются унификации. Это показывает определенную проблематичность выбора конкретных значений концентраций и степени поражения биоты при нефтяных разливах. Поэтому целесообразно оперировать диапазонами значений LC_{50} для групп организмов, принимая во внимание и конкретные значения LC_{50} для отдельных организмов. Проанализировав сводные данные LC_{50} , представленные в литературе, учитываемые группы/подгруппы биоты ранжированы по возрастанию их чувствительности к нефти (табл. 1).

Восстанавливаемость (R) – это способность экосистемы возвращать свою структуру и функции до исходного состояния после снятия негативного

воздействия. Временные рамки для восстановления в районе аварийного разлива зависят в большой степени от репродуктивных стратегий отдельных групп организмов и их популяционных особенностей. При прочих равных условиях многочисленные виды с высоким репродуктивным потенциалом (*r*-стратеги) способны быстрее восстанавливать первоначальную численность. Долгоживущие (*K*-стратеги) и малочисленные виды обладают низкой скоростью восстановления. Исходя из этого, учитываемые группы/подгруппы биоты ранжированы по возрастанию их скорости восстановления (табл. 1).

Присвоенные ранги для параметров *E*, *S*, *R* используются далее для расчета коэффициентов уязвимости групп/подгрупп биоты (табл. 1). Результаты вычислений показали, что наиболее уязвимы птицы.

Учитываемые *типы особо значимых объектов (ОЗО)* ранжированы в порядке увеличения их эколого-хозяйственной ценности, чем выше его значимость для функционирования экосистемы и больше важность для человека, тем выше ранг. Присвоенные ранги (табл. 2) использовались в качестве коэффициентов приоритетности защиты ОЗО (V_c^e). Минимальная приоритетность присвоена инженерно-техническим конструкциям (портовые сооружения). Районы, связанные с различными биологическими ресурсами, имеют повышенную приоритетность, причем при ранжировании учитывается тип биоты, с которым связан тот или иной тип ОЗО. Известно, что биологические организмы на ранних стадиях развития наиболее уязвимы, поэтому районам размножения крабов и развития их личинок присвоена максимальная значимость (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты приоритетности защиты ОЗО

Тип ОЗО	Приоритетность (V_c^e)
Порты и портовые сооружения	1
Устья нерестовых рек семги	2
Районы размножения крабов и развития их личинок	3

Подготовленные карты исходного распределения групп/подгрупп ВКБ и расположения ОЗО, а также рассчитанные для них коэффициенты уязвимости и приоритетности защиты служили основой для дальнейшей разработки карт интегральной уязвимости. **Расчет интегральной уязвимости** предполагает сложение исходных карт, которые даны в различных единицах измерения и временных границах сезонов. Поэтому, во-первых, были выбраны единые для Кольского залива периоды года (условно называемые «сезоны») так, чтобы в пределах выбранных временных границ плотность распределения групп/подгрупп биоты оставалась в основном постоянной: З – зима; Р – ранняя весна; В – весна, Л – лето; О – осень (табл. 3). Они имеют различную продолжительность в зависимости от характера распределения отдельных групп/подгрупп биоты в течение года и присутствия типов ОЗО.

Деление года на временные периоды (сезоны) для Кольского залива

Учитываемые компоненты	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Сезонность групп/подгрупп ВКБ</i>												
Фитобентос	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Макрозообентос	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Мезозообентос (не моб.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Мезозообентос (моб.)	ОЗ	ВЛ	ВЛ	ВЛ	ВЛ	ВЛ	ВЛ	ВЛ	ОЗ	ОЗ	ОЗ	ОЗ
Птицы	З	З	З	В	В	В	Л	Л	О	О	З	З
<i>Сезонность типов ОЗО</i>												
Портовые сооружения	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Устья нерестовых рек семги	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Районы размножения крабов и развития их личинок	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Выделенные периоды</i>	Зима	Ранняя весна	Весна			Лето		Осень		Зима		

Примечание: «+» объект присутствует, сезонная динамика выражена слабо;
 О, З, В, Л – отражение сезонности присутствующих объектов;
 «-» объекта нет.

Во-вторых, произведено нормирование значений исходного распределения биоты для приведения их в относительные единицы измерения с возможностью дальнейшего сложения и *расчета карт уязвимости ВКБ*. На первом этапе значения полигонов исходной численности/биомассы группы фитобентоса, подгрупп зообентоса и птиц на картах их распределения нормируют на среднегодовое значение обилия соответствующей группы B^g в картографируемом районе. Получая в итоге долю обилия группы/подгруппы биоты в каждой точке, приходящуюся на единицу площади в пределах полигонов этого района за конкретный сезон относительно года $B^{g(y)}$, т.е. карты нормированного распределения групп биоты в относительных единицах. Для птиц и зообентоса таким образом учитывается вклад их подгрупп в общую уязвимость соответствующей группы биоты. В отдельную подгруппу отнесены краснокнижные виды птиц. На следующем этапе, для расчета общей уязвимости ВКБ (Y_b), карты со значениями нормированного распределения всех групп/подгрупп биоты посезонно «суммируются», предварительно умноженные на присвоенные им коэффициенты уязвимости V_b^g по формуле: $Y_b = \sum_{g=1}^n B^{g(y)} \times V_b^g$.

Итогом являются карты с новыми границами полигонов и суммарными значениями уязвимости всей биоты.

По аналогии была рассчитана *уязвимость* (Y_c) для участков акватории Кольского залива в районах нахождения *особо значимых объектов (ОЗО)* по формуле: $Y_c = \sum_{e=1}^n C^e \times V_c^e$, где C^e – значения полигонов пространственного расположения ОЗО не нормированные, так как изначально они были заданы в относительных единицах измерения (1 – присутствие объекта или 0 – его отсутствие); V_c^e – коэффициенты приоритетности защиты для e -го типа ОЗО.

На заключительном этапе итоговые карты уязвимости ВКБ и ОЗО переводят в диапазон $\min Y^s \div 100$ усл. ед. (для карт «относительной» уязвимости) и $\min Y^y \div 100$ усл. ед. (для карт «абсолютной» уязвимости), где Y^s и Y^y – значение максимальной уязвимости за конкретный сезон и год соответственно. Такая процедура проведена для возможности суммирования подготовленных карт уязвимости среды (ОЗО) и биоты (ВКБ) и вычисления интегральной уязвимости акватории Кольского залива Y_{Σ} :

$$- Y_{\Sigma}^s = k_b \times Y_b^s + k_c \times Y_c^s \text{ (для карт «относительной» уязвимости),}$$

$$- Y_{\Sigma}^y = k_b \times Y_b^y + k_c \times Y_c^y \text{ (для карт «абсолютной» уязвимости),}$$

где Y_b^s и Y_c^s – значения уязвимости ВКБ и ОЗО в диапазоне от минимального до максимального за конкретный сезон «s»; Y_b^y и Y_c^y – значения уязвимости ВКБ и ОЗО в диапазоне от минимального до максимального за год «y»; k_b, k_c – дополнительные коэффициенты для ВКБ и ОЗО соответственно, их рекомендуется выбирать в каждом конкретном случае исходя из роли компонентов экосистемы для ее нормального функционирования и поддержания экономического развития региона. Так как биологические ресурсы имеют более высокую важность, чем коммерческие потери, при расчетах карт уязвимости Кольского залива были использованы следующие дополнительные коэффициенты для ВКБ и ОЗО в двух последних формулах: $k_b = 0.3, k_c = 0.1$.

На итоговых картах диапазон полученных значений уязвимости Y_{Σ} для каждого сезона делится на три ранга методом равных интервалов. Именно равные интервалы необходимы для корректной оценки и сравнения уязвимости разных участков акватории. Ранг 3 присваивают интервалу с максимальной интегральной уязвимостью, ранг 1 – с минимальной уязвимостью. Полигоны с разными значениями рангов выделены цветом светофорной палитры (ранг 1 – зеленый, 2 – желтый, 3 – красный). Примеры построенных карт представлены на рисунках 1а-в и 2а,б для «относительной» и «абсолютной» уязвимости акватории Кольского залива от нефти в масштабе 1:150 000 по сезонам, относящиеся к категории тактических.

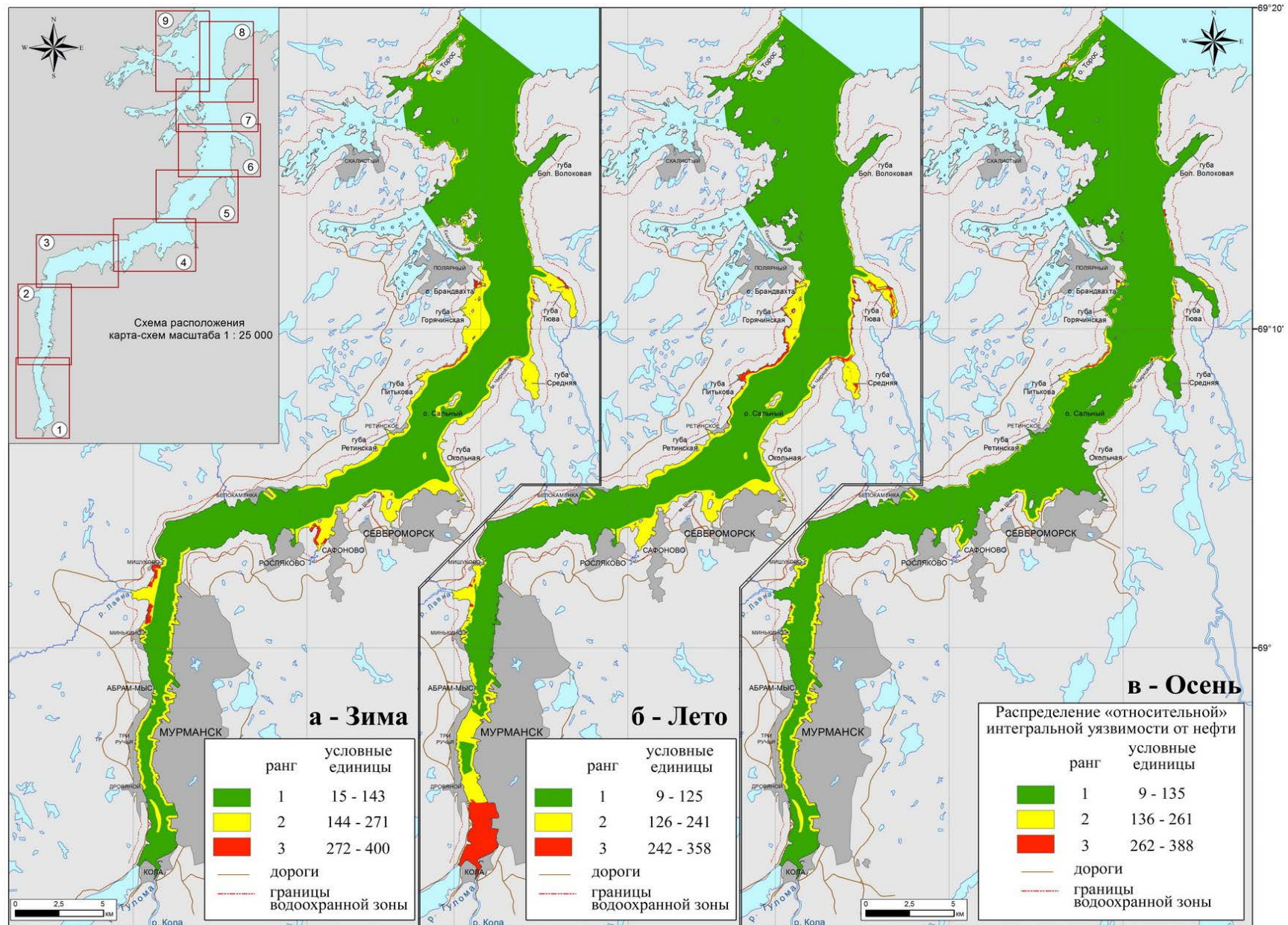


Рисунок 1. Карты «относительной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти для зимы (а), лета (б), осени (в). Масштаб 1:150 000

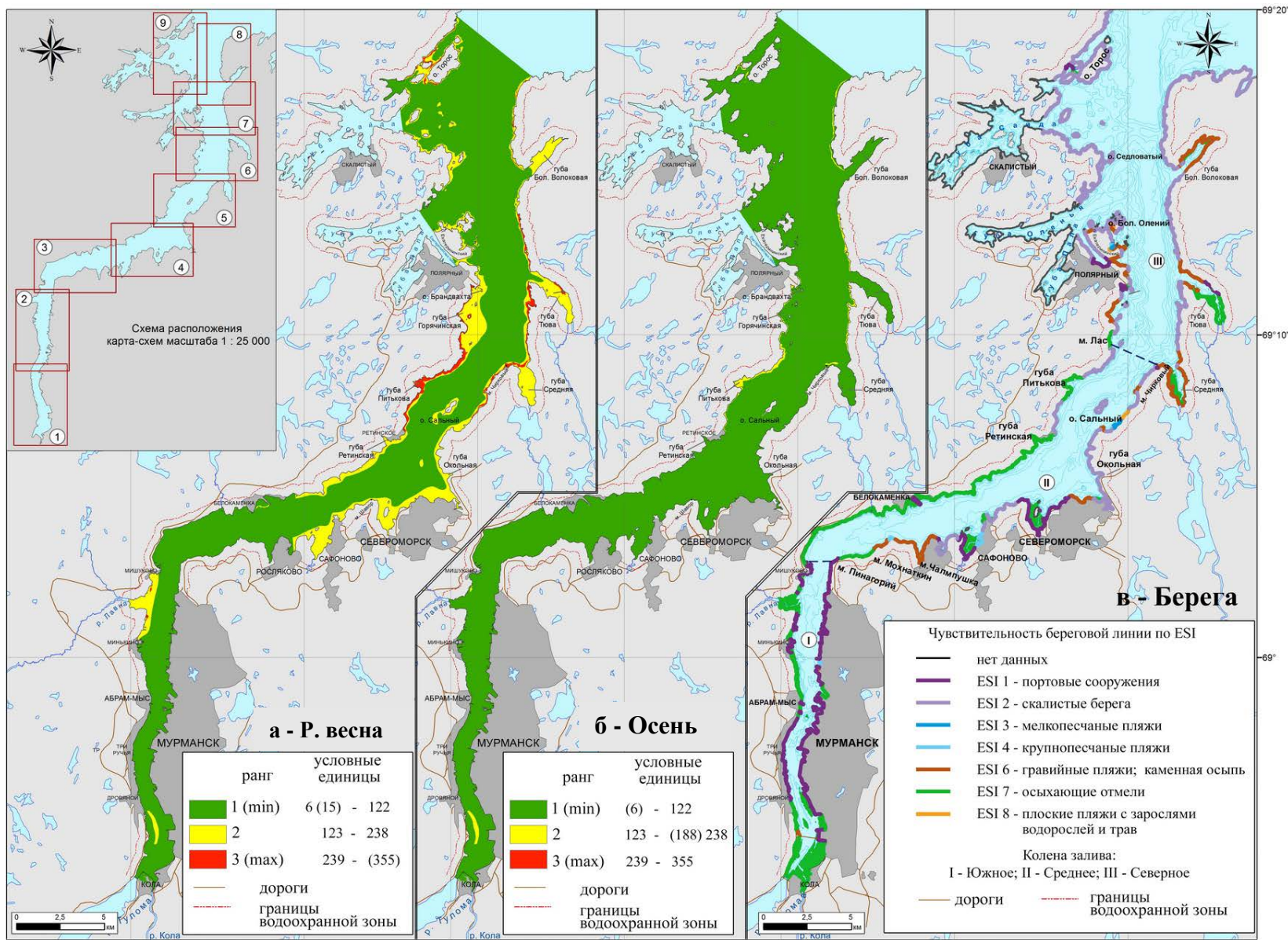


Рисунок 2. Карты «абсолютной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти для ранней весны (а), осени (б), условные единицы, указанные в скобках, соответствуют присутствующим значениям уязвимости в конкретный сезон. Картосхема чувствительности берегов (в). Масштаб 1:150 000

Построение объектных карт интегральной уязвимости. Для того, чтобы показать уязвимость Кольского залива в масштабе объектных карт (1:25 000), залив разбит на девять отдельных районов (рис. 1а, 2а). Объектные карты «относительной» и «абсолютной» уязвимости построены для района: № 3 (где до ноября 2015 г. базировался один из стратегических объектов – танкер «Белокаменка», источник максимального риска аварийного разлива); № 4 (по результатам спутникового мониторинга он является самым загрязненным участком); № 6 (по анализу карт уязвимости в масштабе 1:150 000 оказался наиболее уязвимым). По каждому из участков выполнено картографирование исходного распределения групп биоты (кроме птиц) в масштабе 1:25 000. Далее производилось нормирование обилия ВКБ в пределах конкретного участка, а не на всю акваторию залива в целом. Учитывались присутствующие в заданном районе типы ОЗО. В остальном процедура расчета и построения объектных карт интегральной уязвимости повторяет таковую для карт масштаба 1:150 000 (тактических). Примеры объектных карт «относительной» уязвимости (рис. 3а) и «абсолютной» уязвимости (рис. 3б) приведены для района № 6.

Картосхемы экологической чувствительности берегов Кольского залива построены по адаптированной системе индексов ESI согласно рекомендациям, изложенным в ряде руководств [ИМО/ИПЕСА/ОГР, 2012; NOAA, 2002]. На итоговой картосхеме масштаба 1:150 000 (рис. 2в) участки побережья, отнесенные к определенному индексу, обозначены соответствующей цветом. Чем выше индекс ESI, тем более раним данный участок берега и тем больше он нуждается в первоочередной защите. К индексу повышенной чувствительности ($ESI = 7$) относятся мелководья в кутовой части залива и устье р. Лавна, западное побережье в районе поселков Абрам-Мыс и Минькино из-за наличия осыхающих отмелей (рис. 2в), где велика степень проникновения нефти вглубь берега и длительность ее естественного сохранения на берегу, что ведет к риску вторичного загрязнения. Далее на север этот тип берега окаймляет практически все западное побережье среднего колена залива и встречается в ряде губ на восточном берегу северного и среднего колен Кольского залива. Максимальной чувствительностью в Кольском заливе обладают плоские пляжи с зарослями водорослей (индекс $ESI = 8$), но они встречаются здесь только на непротяженном участке берега, вблизи о. Сальный. Таким образом, наиболее чувствительными являются кутовая часть, берега западного побережья Кольского залива в южном и особенно среднем колене, где преобладают широкие и протяженные литоральные зоны, а также мелководья крупных губ Тюва и Средняя, глубоко вдающихся вглубь берега, закрытых от сильного волнения, поэтому они требуют приоритетной защиты в случае нефтяного загрязнения. Около 40% протяженности береговой линии Кольского залива характеризуется повышенной чувствительностью.

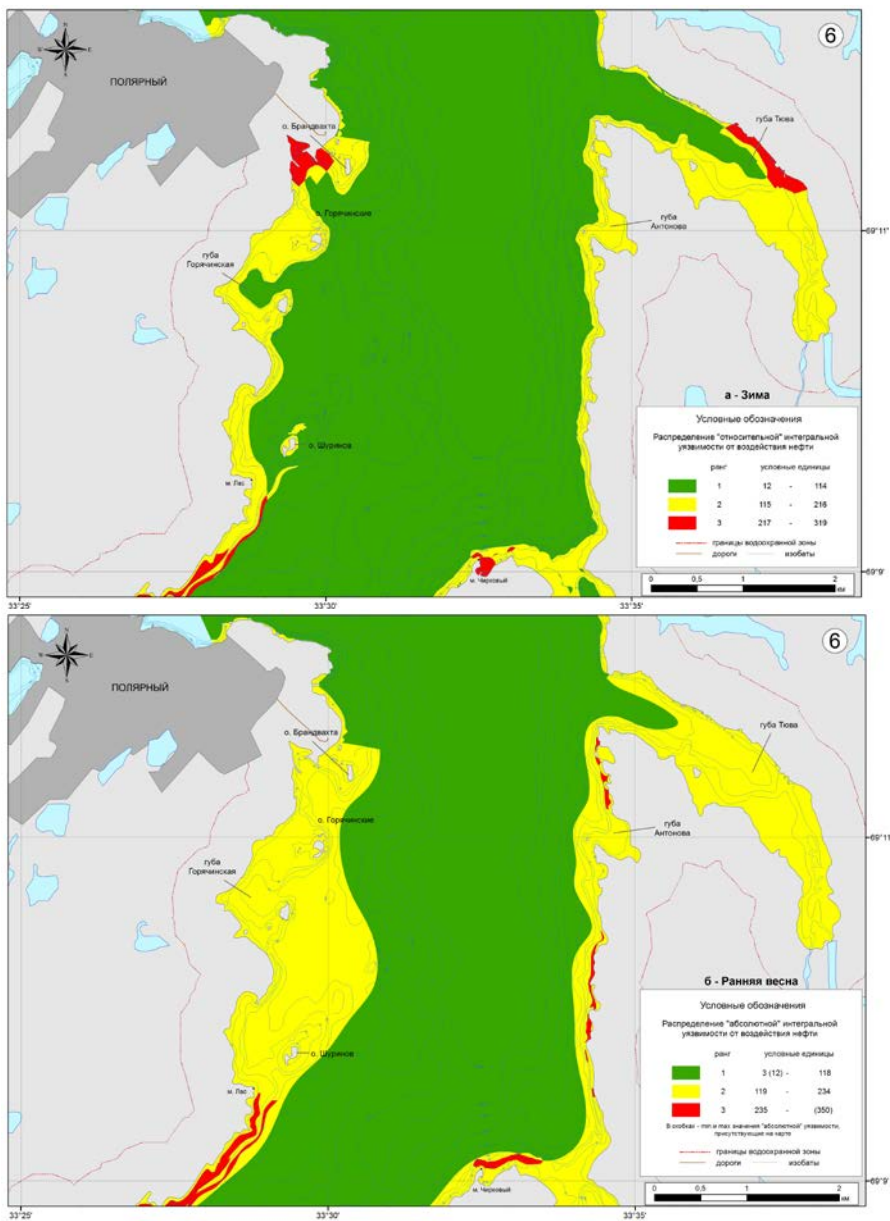


Рисунок 3. Карты уязвимости Кольского залива от воздействия нефти: «относительные» для зимы (а), «абсолютные» для ранней весны (б). Масштаб 1 : 25 000.

Анализ карт интегральной уязвимости. Результатом проведенного исследования явились *итоговые карты «относительной» и «абсолютной» уязвимости Кольского залива от нефти в масштабе 1:150 000* для выделенных пяти сезонов. Примеры карт «относительной» уязвимости для зимы, лета и осени представлены на рис. 1а, б, в; «абсолютной» уязвимости для ранней весны и осени – на рис. 2а, б. Наиболее уязвимые участки имеют ранг 3, и именно эти участки требуют приоритетной защиты при ликвидации разлива нефти (ЛРН). Участки с рангом 1 наименее уязвимы и при необходимости ими можно «жертвовать» в операциях по ЛРН.

Карты «относительной» уязвимости данного масштаба, предназначены для общего планирования операций по ЛРН. Они показывают уязвимость отдельных участков в каждый конкретный сезон, так как присутствующие на них значения уязвимости (от минимального до максимального) приводятся к 3х-ранговой шкале. Поэтому все три ранга уязвимости всегда будут отображаться в каждом из сезонов, но со своими значениями минимумов и максимумов, которые для Кольского залива отличаются незначительно. Во все сезоны на акватории характерно преобладание низкой уязвимости с рангом 1. В заливе выделяется несколько районов с максимальной уязвимостью (ранг 3). Это западное и восточное побережье района 6 (район, ограниченный картой масштаба 1:25 000) во все сезоны с минимальным распространением осенью (рис. 1а, б, в). Такие же уязвимые участки с рангом 3 локализуются на западном побережье губы Грязная (район п. Сафоново) и присутствуют вблизи устья р. Лавна с наибольшей площадью в зимний период (рис. 1а), в кутовой части залива весной и особенно летом (рис. 1б). Это объясняется максимальной плотностью распределения биоты и скоплением особо уязвимых ресурсов на указанных участках в конкретный сезон.

Карты «абсолютной» уязвимости предназначены в основном для природоохранных целей. Они показывают как меняется ситуация с уязвимостью отдельных районов от сезона к сезону. Выявлено, что наиболее уязвим залив ранней весной (рис. 2а), наименее уязвим осенью (рис. 2б), значения их уязвимости отличаются почти вдвое. Все сезонные значения уязвимости для «абсолютных» карт приводятся к единой 3х-ранговой шкале за год – от минимальной величины (в осенний период) до максимальной (ранней весной). Поэтому осенью уязвимость всей акватории представлена только рангами пониженной уязвимости 1 – 2 и практически вся акватория «зеленая», так как участки с рангом 2 занимают очень незначительную площадь. В остальные периоды года присутствуют все три ранга уязвимости, но повсеместно преобладает ранг 1 (рис. 2а, б). Представленные карты могут дать важную информацию, где и в какой сезон необходимо ограничить какую-либо деятельность (районы с рангом 3) или в первую очередь требуется проводить поставарийные и мониторинговые наблюдения (районы с рангами 2 – 3).

В соответствии с рекомендациями международных организаций для отдельных особо важных районов построены карты уязвимости более

крупного масштаба – объектные. Такие карты показывают более детальную картину в каждом конкретном районе и позволяют непосредственно на месте скоординировать действия ликвидаторов по устранению нефтяного загрязнения с минимальным ущербом для окружающей среды. С этой целью Кольский залив был разбит на девять районов в масштабе 1:25 000 (рис. 1а, 2а). В результате подготовлены *итоговые объектные карты «относительной» и «абсолютной» уязвимости* выделенных районов в масштабе 1:25 000. Для района № 6 представлены примеры карт «относительной» уязвимости в зимний период (рис. 3а) и «абсолютной» уязвимости ранней весной (рис. 3б).

На объектных картах картина изменения уязвимости в пределах каждого конкретного района отличается от таковой на тактических картах (рис. 1а, 3а). Это объясняется их различной процедурой нормирования. На объектных картах «относительной» уязвимости для каждого сезона детализируются максимально уязвимые участки. Так на тактической карте масштаба 1:150 000 участки с рангом 3 занимают почти всю прибрежную полосу восточного берега залива и часть западного в районе № 6 (рис. 1а, б). На объектной же карте района № 6 зимой – это небольшой участок в губе Тюва, губа напротив о. Брандвахта и небольшие участки в южной части этого района, южнее мыса Лас (рис. 3а). Таким образом, при планировании операций по ЛРН следует ориентироваться на то, чтобы отвести нефть от района № 6 с учетом его максимальной уязвимости на тактических картах в рамках всего залива (рис. 1а). В случае невозможности реализовать это используются объектные карты «относительной» уязвимости (масштаб 1:25 000) конкретного района № 6. Они позволяют выделить «жертвенные» участки (рис. 3а), куда можно было бы первоначально с помощью боновых заграждений направить нефтяные пятна для последующего сбора на литорали, если собрать всю нефть на акватории сразу не представится возможным.

Для объектных карт «абсолютной» уязвимости района № 6 в рамках конкретного периода года участки высокой уязвимости также локализируются, (рис. 2а и 3б), но общая тенденция сезонной изменчивости уязвимости в течение года сохраняется. Наиболее уязвимым является ранневесенний период, минимальной уязвимостью характеризуется данный район Кольского залива осенью.

С учетом разных уровней планирования при ЛРН следует строить три набора карт – стратегические, тактические и объектные для [ИМО/ПРИЕСА/ОГР, 2012]. Поскольку Кольский залив укладывается в масштаб тактических карт, то для него строить стратегические карты нет необходимости. Однако основной алгоритм предложенного подхода был отработан для построения таких карт на более крупных морских акваториях – Баренцева [Калинка и др., 2007], Белого морей [Калинка и др., 2013] и всего северо-западного сектора Арктики [Калинка и др., 2012].

ВЫВОДЫ

1. Разработан алгоритм оценки интегральной уязвимости акваторий от нефтяного загрязнения, предполагающий суммарный учет показателей биоты и среды на основе сезонных карт плотности распределения важных компонентов биоты и расположения особо значимых объектов. Для биологической составляющей принимается во внимание вклад каждого из учитываемых компонентов в итоговую уязвимость, а также их сезонная и годовая изменчивость. Этим достигается большая точность расчетов. Построены разномасштабные карты «относительной» и «абсолютной» интегральной уязвимости акватории Кольского залива для применения их в планах ликвидации разливов нефти и природоохранных целей. Для берегов залива проведено ранжирование степени их чувствительности к нефти по адаптированной системе индексов ESI.

2. Дана оценка уязвимости важных компонентов биоты и определена приоритетность защиты особо значимых объектов в Кольском заливе от воздействия средней по плотности нефти. Наиболее уязвимыми для биоты являются птицы, т.к. минимальные концентрации нефти становятся для них летальными, а восстановление популяций птиц до исходного состояния, при прочих равных условиях, занимает длительный срок в связи с их низким репродуктивным потенциалом. Тот факт, что риск соприкосновения с нефтью у подгруппы ныряющих птиц очень велик и обусловлен их поведенческими особенностями, это делает их максимально уязвимыми при нефтеразливах. Для особо значимых объектов наибольшая приоритетность защиты присвоена районам размножения крабов и развития их личинок, т.к. организмы на ранних стадиях развития характеризуются высокой степенью уязвимости.

3. Подготовленные карты «относительной» уязвимости Кольского залива показывают районирование уязвимости его акватории от загрязнения нефтью в каждый конкретный сезон. Максимально уязвима кутовая часть залива весной и летом (апрель - август), западное и восточное побережье на севере среднего колена во все сезоны. Карты «абсолютной» уязвимости позволяют сравнивать уязвимость акватории залива в разные сезоны. Выявлено, что наиболее уязвимым является ранневесенний сезон (февраль - март), наименее уязвим Кольский залив осенью (сентябрь - октябрь). На всех картах прослеживается тенденция приуроченности уязвимых районов Кольского залива к прибрежной полосе, где сосредоточено максимальное биоразнообразие и повышенные значения обилия биоты, а также скопление значимых или особо уязвимых ресурсов.

Для берегов Кольского залива наиболее чувствительными по ESI являются осыхающие отмели, где велика степень проникновения и длительность естественного сохранения нефти, что ведет к риску вторичного загрязнения. Это протяженные литорали в кутовой части залива, на западном

берегу южного и среднего колен, а также побережья крупных губ Тюва и Средняя, защищенных от сильного волнения.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Публикации в журналах списка ВАК

1. Шавыкин А.А., Калинка О.П., Духно Г.Н., Сапрыгин В.В., Зырянов С.В. Оценка интегральной уязвимости акватории Баренцева моря к нефтяному загрязнению // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, № 3, 2008 г., М. : ОАО «ВНИИОЭНГ». С. 13-22.

2. Ващенко П.С., Калинка О.П. Применение ГИС технологий для оценки чувствительности побережья Кольского залива к разливам нефти // Вестник МГТУ, том 16, №3, 2013 г. С. 542-549.

Материалы в монографиях и сборниках статей

3. Бердников С.В., Ильин Г.В., Шавыкин А.А., Калинка О.П., Ващенко П.С. Оценка последствий нефтяного загрязнения Кольского залива на основе математического моделирования и картографического анализа // Морские нефтегазовые разработки и рациональное природопользование на шельфе. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. С. 245-262.

4. Калинка О.П., Карнатов А.Н., Ващенко П.С. Оценка интегральной уязвимости Баренцева моря / Шавыкин А.А., Ильин Г.В. Оценка интегральной уязвимости Баренцева моря от нефтяного загрязнения. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2010. – С. 67-79.

5. Калинка О.П., Духно Г.Н. Рекомендации по созданию карт чувствительности (уязвимости) Баренцева моря для планов ЛРН / Шавыкин А.А., Ильин Г.В. Оценка интегральной уязвимости Баренцева моря от нефтяного загрязнения. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2010. – С. 80-83.

Материалы конференций

6. Калинка О.П., Духно Г.Н., Сапрыгин В.В. Оценка уязвимости Баренцева моря к нефтяному загрязнению. // XXV юбилейная конференция молодых ученых Мурманского морского биологического института (г. Мурманск, май 2007 г.) – Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2007. С. 63 - 71.

7. Калинка О.П., Шавыкин А.А., Ващенко П.С. Оценка чувствительности берегов Кольского залива к нефтяному загрязнению. // Материалы международной конференции Нефть и газ арктического шельфа-2008 г. Мурманск, 12-14 ноября 2008 г. Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2008. С. 168 – 173.

8. Калинка О.П., Иванов С.А. Сравнительный анализ методов судовой съемки и данных дистанционного зондирования берегов Кольского залива. // Материалы XXVII конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института (г. Мурманск, май 2009г.) – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2009. С. 75-82

9. Калинка О.П. Предложения к единой методике картирования уязвимости морских акваторий и побережий для планов ЛРН // Материалы XXIX конференции молодых ученых ММБИ, посвященной 140-летию со дня рождения Г.А. Ключе (г. Мурманск, май 2011 г.) – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2011. С. 95-101.

10. Ващенко П.С., Калинка О.П. Разработка базы данных для интерактивной карты чувствительности берегов Кольского залива к разливам нефти // Материалы XXIX конференции молодых ученых ММБИ, посвященной 140-летию со дня рождения Г.А. Ключе (г. Мурманск, май 2011 г.) – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2011. С. 25-29.

11. Калинка О.П., Ващенко П.С., Карнатов А.Н. Оценка уязвимости окружающей среды Северо-Западного Сектора Арктики от прогнозируемых воздействий // Материалы XXX юбилейной конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института, посвященной 150-летию со дня рождения Н.М. Книповича «Проблемы океанографии, биологии и освоения биоресурсов морей российской Арктики» (г. Мурманск, май 2012). – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2012. – С. 72-79

12. Калинка О.П., Карнатов А.Н., Ващенко П.С. Карты уязвимости акватории и прибрежной зоны Кольского залива для планов ликвидации разливов нефти // Материалы XXXI конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института, посвященной 135-летию со дня рождения Дерюгина (г. Мурманск, май 2013) – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2013а. – С. 102-108.

13. Калинка О.П., Карнатов А.Н., Ващенко П.С. Оценка экологической уязвимости к нефтяному загрязнению на примере Белого моря // Сб. материалов XII Международной конференции с элементами школы для молодых ученых и аспирантов «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря». Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2013б. С. 139 – 143.

14. Калинка О.П., Шавыкин А.А., Ващенко П.С. Разномасштабные сезонные карты уязвимости акватории Кольского залива от нефти // Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток (ROOGD-2014): тезисы докладов V Международной конференции 29–30 октября 2014 г. – М. : Газпром ВНИИГАЗ, 2014. – С. 95.

15. *Shavykin A.A., Vashchenko P.S., Kalinka O.P., Karnatov A.N.* ММБИ's methodology of coastline sensitivity and water area vulnerability mapping for oil contingency, response and other natural protection purposes // Symposium proceedings. Assessing Vulnerability of Flora and Fauna in Polar areas. Brief Report Series no. 032 [D. Vongraven (ed.)], Tromsø, Norway. 2015. – P. 68 - 75.

16. Калинка О.П., Карнатов А.Н., Ващенко П.С. Разработка карт экологической уязвимости прибрежных и морских зон арктических морей от нефти на примере Кольского залива // Тез. Докл. междунар. науч. конф.

(г. Мурманск, 1-3 апреля 2015 г.); ММБИ КНЦ РАН. – Апатиты : КНЦ РАН, 2015. С. 95 – 97.

17. Калинка О.П., Карнатов А.Н., Ващенко П.С., Шавыкин А.А. Расчет и построение карт уязвимости Кольского залива от нефтяного загрязнения // *Материалы международной научно-практической конференции «Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств»*, г. Мурманск, 7 апреля 2015 г. Часть 1. Издательство МГТУ, 2015. С. 117-120.

Патент

18. Шавыкин А.А. Калинка О.П. Ващенко П.С. Карнатов А.Н. (Россия). Способ оценки уязвимости прибрежно-морских зон от нефти, нефтепродуктов и других химических веществ, и построения соответствующих карт уязвимости // Патент на изобретение № 2563549. Российская Федерация, G01V 99/00 (2009/01). – Заявка 2014113844/28, 08.04.2014.опубл. 2-.09.2015. Бюл. № 26. 4 л.

Электронные публикации

19. Шавыкин А.А, Ващенко П.С., Калинка О.П., Карнатов А.Н. Методика построения карт интегральной уязвимости прибрежных и морских зон от нефти.– URL: <http://www.osr-arctic.ru/ru/karty/metodika-postroeniya-kart-integralnoy-uyazvimosti-pribrezhnyh-i-morskih-zon-ot-nefti> (Дата обращения 08.06.2015 г.).

20. Шавыкин А.А, Ващенко П.С., Калинка О.П., Карнатов А.Н. Обобщённая схема алгоритма методики разработки карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти при её разливе. – URL: <http://www.osr-arctic.ru/ru/karty/obobshchyonnaya-shema-algoritma-metodiki-razrabotki-kart-uyazvimosti-pribrezhnyh-i-morskih-zon> (Дата обращения 08.06.2015 г.).

21. Шавыкин А.А, Ващенко П.С., Калинка О.П., Карнатов А.Н. «Относительная» интегральная уязвимость акватории Кольского залива от нефти – URL: <http://www.osr-arctic.ru/ru/karty/otnositelnaya-integralnaya-uyazvimost-akvatorii-kolskogo-zaliva-ot-nefti> (Дата обращения 08.06.2015 г.).

22. Шавыкин А.А, Ващенко П.С., Калинка О.П., Карнатов А.Н. «Абсолютная» интегральная уязвимость акватории Кольского залива от нефти – URL: <http://www.osr-arctic.ru/ru/karty/absolyutnaya-integralnaya-uyazvimost-akvatorii-kolskogo-zaliva-ot-nefti> (Дата обращения 08.06.2015 г.).