

УДК: 504.05

DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-133-145

О.П. Калинка¹, А.Н. Карнатов²

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАРТ УЯЗВИМОСТИ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ БЕРЕГОВ К НЕФТЯНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ

АННОТАЦИЯ

В статье описывается процесс создания карт экологической уязвимости морских акваторий и чувствительности берегов к нефтяному загрязнению. Интегральная экологическая уязвимость исследуемого района моря рассчитывается как результат «суммирования» карт сезонного распределения наиболее значимых компонентов экосистемы с учётом потенциального воздействия нефти на биоту, её чувствительности к воздействию нефти и способности к восстановлению. Степень чувствительности берегов определяется в соответствии с системой индексов чувствительности среды ESI. Данная система характеризует интегральную восприимчивость побережья к нефтяному загрязнению, отражая связь между строением, структурой берега и физическими процессами, происходящими при попадании нефти на берег, а также учитывает трудности последующей его очистки. В работах с большими объёмами разнородных данных, аккумулированных в картах различного назначения, содержания и масштаба, возникает необходимость обрабатывать и интерпретировать такие данные, для чего применялся ГИС-ориентированный подход.

Разработанные карты уязвимости крайне необходимы при планировании операций по ликвидации разливов нефти (ЛРН) и других природоохранных мероприятий и могут способствовать принятию обоснованных и оперативных решений. Морские экосистемы северных широт особенно уязвимы к нефтяному загрязнению, поэтому аварийные разливы, в особенности крупномасштабные, будут иметь здесь катастрофические последствия. Поэтому особенно актуально наличие таких карт в Арктическом регионе, где ведётся добыча и активно развивается транспортировка нефти и нефтепродуктов по Северному Морскому Пути (СМП), создавая повышенные риски аварийных разливов. Представленные карты акваторий северо-западного сектора Арктики показывают наиболее уязвимые и чувствительные к нефти прибрежно-морские районы при возможных потенциальных разливах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГИС-технологии, карты уязвимости, ликвидация нефтяного загрязнения

¹ Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, ул. Владимирская, д. 17, 183010, Мурманск, Россия, e-mail: kalinka@mmbi.info

² Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, ул. Владимирская, д. 17, 183010, Мурманск, Россия e-mail: karnatov@mmbi.info

Olga P. Kalinka¹, Andrey N. Karnatov²

**GIS TECHNOLOGIES IN DEVELOPING THE MAPS
OF VULNERABILITIES OF SEA AQUATORIES
AND SENSITIVITY OF THE COASTS TO OIL POLLUTION**

ABSTRACT

The article describes the process of mapping of water area vulnerability and the sensitivity of the coast for oil pollution. The integral ecological vulnerability of the sea area under study is calculated as a result of “summing up” maps of seasonal distribution of the most important components of the ecosystem, taking into account the potential impact of oil on biota, its sensitivity to oil and its ability to recover. The degree of coastal sensitivity is determined in accordance with the system of environmental sensitivity indices ESI. This system characterizes the integral susceptibility of the coast to oil pollution, reflecting the connection between the composition, structure of the coast and the physical processes occurring when oil enters the shore, and also takes into account the difficulties of its subsequent purification. In the work with large volumes of heterogeneous data accumulated in maps of different purposes, content and scale, there is a need to process and interpret such data, which used a GIS-oriented approach.

The developed vulnerability maps are essential in planning oil spill response operations and other environmental activities and can facilitate informed and operational decisions. The marine ecosystems of the Northern latitudes are particularly vulnerable to oil pollution, so accidental spills, especially large-scale ones, will have catastrophic consequences here. It is therefore particularly important the existence of such maps in the Arctic region where active mining and is actively developing the transportation of oil and oil products through the Northern Sea Route, creating increased risks of accidental spills. The presented maps of the waters of the North-Western sector of the Arctic show the most vulnerable and oil-sensitive coastal and marine areas with possible potential spills.

KEYWORDS: GIS-technology, vulnerability maps, oil pollution, oil spill response

ВВЕДЕНИЕ

Геоинформационные системы (ГИС) в настоящее время становятся неотъемлемой частью исследований в различных сферах науки, позволяя объединять операции работы с базами атрибутивных данных, их обработку и статистический анализ, с преимуществами полноценной пространственной визуализации, которые предоставляет карта. Современное программное обеспечение делает возможным оперативно обрабатывать и интерпретировать большие объёмы разнородных данных, аккумулированных в картах различного назначения, содержания и масштаба. Поэтому именно ГИС-подход был выбран для решения практической задачи, связанной с картографированием уязвимости прибрежно-морских акваторий для воздействия нефти. Использование подобного рода карт даёт как возможность более эффективно и с минимизацией ущерба для окружающей среды планировать операции по ликвидации разливов нефти, так и проводить их «на местах», наглядно показывая, какие районы в первую очередь необходимо защищать. Особенно актуально наличие таких карт в Арктическом регионе, где ведётся добыча и активно развивается транспортировка нефти и нефтепродуктов по Северному Морскому Пути, создавая повышенные риски аварийных разливов. В свою очередь, морские экосистемы северных широт особенно уязвимы для

¹ Murmansk marine biological institute, Vladimirskaya str., 17, 183010, Murmansk, Russia,
e-mail: kalinka@mmbi.info

² Murmansk marine biological institute, Vladimirskaya str., 17, 183010, Murmansk, Russia,
e-mail: karnatov@mmbi.info

нефтяного загрязнения, поэтому аварийные разливы, в особенности крупномасштабные, будут иметь здесь катастрофические последствия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе рекомендаций международных организаций [PIESA..., 2012], проведённого анализа существующих российских [Погребов, 2010; Новиков, 2006; Блиновская, 2004;] и зарубежных подходов к оценке чувствительности и уязвимости прибрежно-морских зон для нефтяного загрязнения [SFT, 1996; Offringa, Lahr, 2007; BRISK..., 2009], а также собственного опыта авторов и их коллег [Шавыкин и др., 2008; 2017; Калинка и др., 2012; Шавыкин, Ильин, 2010] был разработан алгоритм и построены карты экологической уязвимости ряда акваторий арктических морей и чувствительности некоторых побережий.

В качестве инструмента для расчёта экологической уязвимости в среде ArcGIS на языке программирования Visual Basic for Applications был создан программный модуль, позволяющий производить «суммирование» карт распределения биотических компонентов с учетом их коэффициентов уязвимости. Основные этапы использования ГИС-технологий (ArcGIS) при построении карт уязвимости можно представить следующим образом:

1) На основе топографических и морских навигационных карт, лоций, аэрофотоснимков, спутниковых снимков, имеющейся ГИС-информации подготавливается необходимый цифровой материал соответствующего масштаба (детальный контур береговой линии, контуры изобат и другой). С использованием материалов оцифровки топографических и батиметрических данных готовится базовая топографическая картосхема исследуемого района. Все данные, представленные на таких картах, сохраняются в формате *.shp. Все представляемые далее картосхемы уязвимости строятся с использованием подготовленной топографической основы исследуемого района.

2) Готовится цифровое описание распределения биоты картографируемого района (оцифровка распределения исходных данных с занесением информации в атрибутивные поля) на основе результатов экспедиционных работ, фондовых данных или доступных опубликованных материалов, представленных специалистами соответствующего профиля. Данные на исходных картосхемах представляются экспертно в рангах и также сохраняются в формате *.shp.

3) Рассчитываются карты интегральной уязвимости акватории на основе карт распределения биотических компонентов и коэффициентов их уязвимости.

4) Итоговые карты интегральной уязвимости показывают в градуированных цветах, разбивая диапазоны полученных значений на поддиапазоны, используя классификацию методом равных интервалов, как наиболее оптимальный вариант отображения данных, где акцентируется внимание на величине значения атрибута относительно других значений. В зависимости от целей применения карт строятся карты «относительной» и «абсолютной» уязвимости.

Карты «относительной» уязвимости разрабатываются для планирования операций по ликвидации разливов нефти в случае аварийных ситуаций. Такие карты показывают уязвимость отдельных участков в каждый конкретный сезон, где для каждого сезона будет свой диапазон уязвимости.

Карты «абсолютной» уязвимости необходимы в первую очередь для природоохранных и научных целей. Они показывают, как меняется уязвимость отдельных районов или акватории в целом от сезона к сезону и позволяет сравнивать участки в разные сезоны, так как диапазон значений уязвимости для каждого сезона приводится к единой шкале уязвимости за год.

5) Строятся карты расположения особо значимых социально-экономических и экологических объектов и природоохранных территорий, которые накладываются на итоговые карты интегральной уязвимости.

б) Подготавливаются карты чувствительности береговой линии по индексу ESI. Чувствительность берегов определяется по фотоснимкам исследуемого района. Время на фотокамере и GPS-приёмнике синхронизируется, что позволяет получить координаты точек съёмки. Их фиксация при дальнейшей камеральной обработке даёт возможность проецировать снимки к положению на карте в ArcGIS и идентифицировать тип берега по индексу ESI.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Активная хозяйственная деятельность по освоению шельфа Арктики, в том числе разработка нефтегазовых месторождений, транспортировка нефти и нефтепродуктов из портов, расположенных на побережье морей Арктического региона требует серьёзного отношения к вопросам экологической безопасности в этом регионе. Одно из направлений в данном вопросе – это разработка планов ликвидации разливов нефти. Однако проблемы, связанные с ЛРН в морских условиях, многоплановы и обширны [Патин, 2001; 2008; Мансуров, 2013]. При подобных операциях важны карты экологической уязвимости прибрежных и морских акваторий для нефтяного загрязнения, которые наглядно показывают, какие районы требуют приоритетной защиты при аварийных ситуациях. Адекватно спланированные мероприятия по ЛРН на начальных стадиях могут если не предотвратить, то значительно снизить ущерб от негативного воздействия нефти. ММБИ уже долгое время занимается подобными работами, связанными с нефтегазовой отраслью, и за это время накопил собственный опыт в плане разработки и построения карт уязвимости для нефтяного загрязнения. В этом направлении огромную роль в построении таких карт играют ГИС-технологии.

За последние несколько лет ММБИ принимал участие в нескольких проектах, хоздоговорах и грантах, основными результатами которых должны были быть карты уязвимости морских акваторий и чувствительности берегов к воздействию нефти. Так, в 2006–2009 годах ММБИ для Баренцевоморского обособленного подразделения Всемирного фонда дикой природы (WWF-Россия) были выполнены исследования по оценке интегральной уязвимости Баренцева моря от нефтяного загрязнения [Шавыкин, Ильин, 2010].

Как результат этих работ, были представлены сезонные карты уязвимости Баренцева моря и для каждого из сезонов года определены акватории, которые необходимо защищать. В основном таковыми являются прибрежные акватории (чем выше ранг, тем более уязвим район; рис. 1).

Оценка уязвимости акватории Баренцева моря (в основном российской экономической зоны) от возможных разливов нефти дана с учётом самых общих подходов, которые предусматривают описание распределения биоты в Баренцевом море по сезонам, оценку уязвимости отдельных компонентов экосистемы моря от нефти и на этой основе расчёт уязвимости акватории Баренцева моря.

В соответствии с аналогичным алгоритмом в 2010 году по проекту «Совершенствование системы реагирования на аварийные разливы нефти и нефтепродуктов в арктических условиях для защиты особо чувствительных к нефтепродуктам прибрежных районов (на примере Баренцева и Белого морей)» были рассчитаны карты уязвимости для акватории Белого моря [Ramboll Varents ..., 2010] (рис. 2).

В рамках проекта стратегической экологической оценки территорий при освоении Северо-Западного сектора Арктики (СЗСА) в рамках хоздоговора с ООО «Питер Газ» проводилось картографирование уязвимости акватории Баренцева и Карского морей для разливов нефти (рис. 3). Эти картосхемы были выполнены в масштабе 1:7 500 000 [Калинка и др., 2012], что позволяет их использовать только как стратегические карты для общего планирования ликвидации нефтеразливов, поскольку они непосредственно на месте не могут дать ликвидаторам развёрнутого представления об уязвимости конкретных участков акваторий в случае аварии.

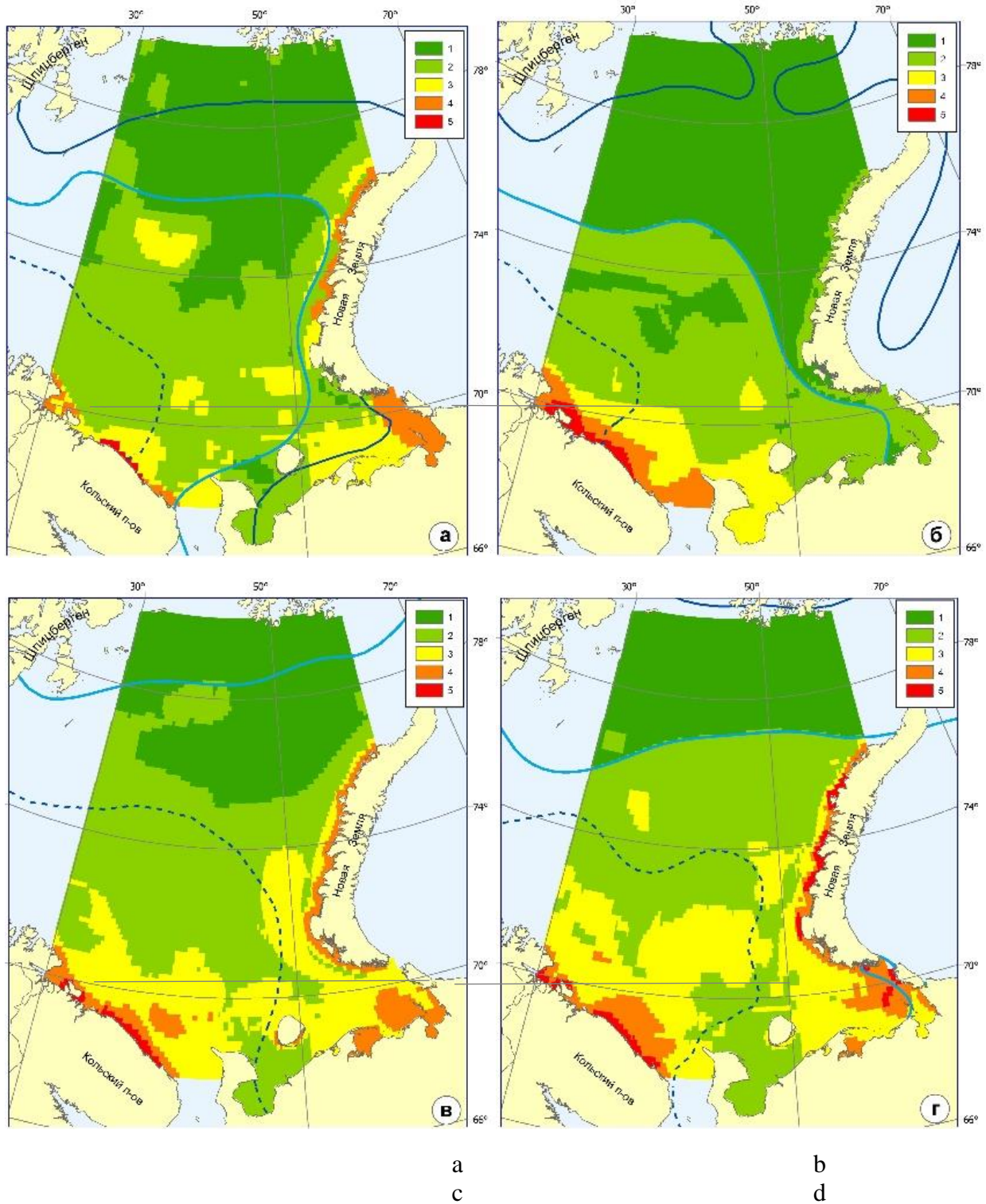


Рис. 1. Карты «относительной» интегральной уязвимости Баренцева моря по сезонам (а – зима; б – весна; в – лето; г – осень)

Fig. 1. Map of “relative” integral vulnerability to oil of the Barents Sea by seasons (a – winter; b – spring; c – summer; d – autumn)

2) Вводится процедура «нормировки» для последующего корректного сложения карт компонентов биоты между собой, то есть исходные данные переводятся в единые (относительные) единицы измерения. Значения полигонов пространственного распределения отдельных компонентов биоты нормируются на обилие соответствующей группы за год (то есть значения плотности каждого полигона делятся на среднегодовую численность или биомассу). Таким образом, получаются распределения нормированных значений плотности обилия биоты в картографируемом районе.

3) Коэффициенты уязвимости для учитываемых групп биоты рассчитываются в рамках метрической шкалы, то есть параметры, определяющие уязвимость, выражаются в абсолютных единицах.

4) Для особо значимых объектов и природоохранных территорий также строятся нормированные карты их пространственного расположения.

5) С учётом коэффициентов уязвимости и карт распределения биотических и абиотических компонентов с помощью программного модуля, позволяющего производить «суммирование», рассчитываются итоговые карты интегральной уязвимости.

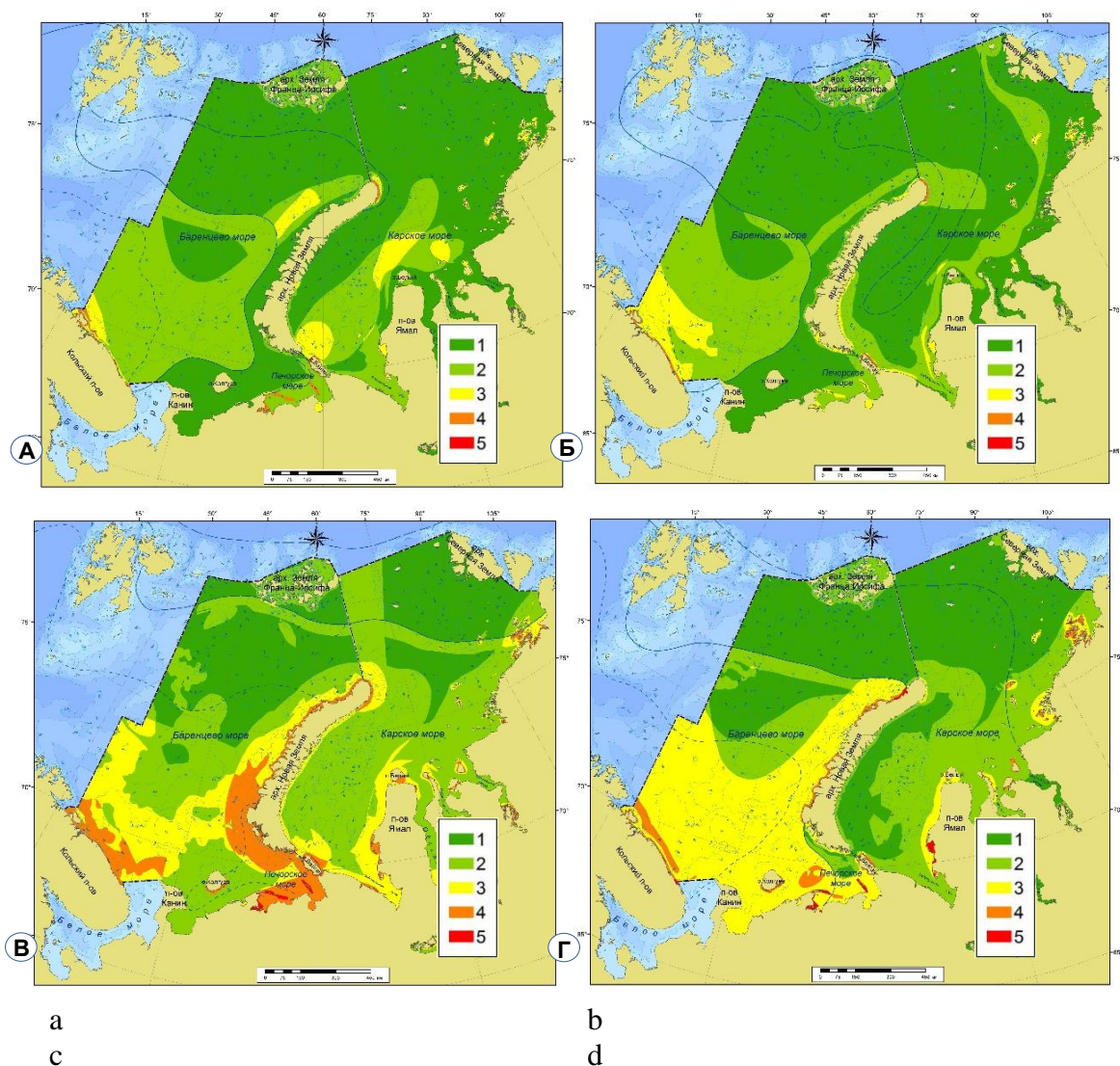


Рис. 3. Карты «относительной» интегральной уязвимости Северо-Западного сектора Арктики по сезонам (а – зима; б – весна; в – лето; г – осень)

Fig. 3. Map of “relative” integral vulnerability to oil of the North-Western sector of the Arctic by seasons (a – winter; b – spring; c – summer; d – autumn)

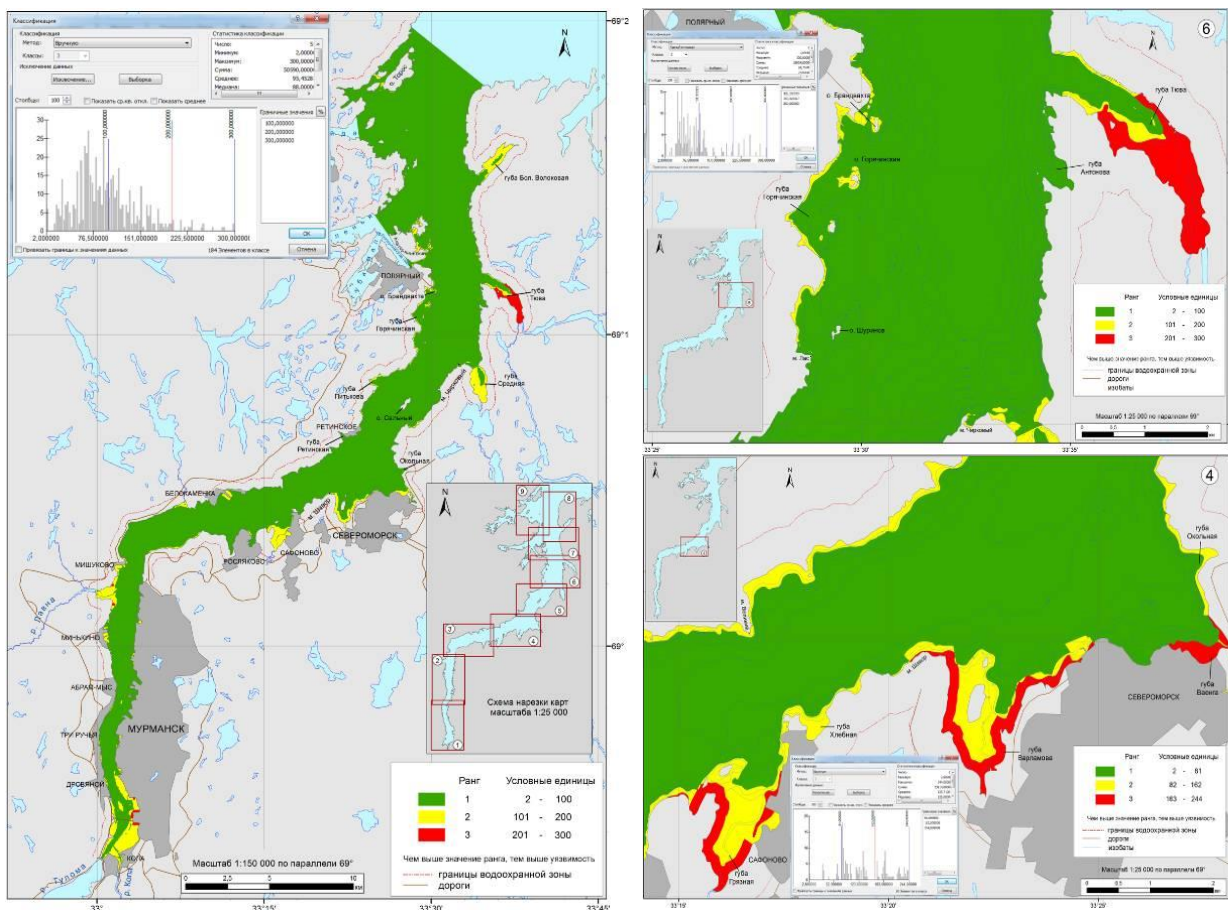


Рис. 4. Примеры карт «относительной» интегральной уязвимости для нефтяного загрязнения Кольского залива по сезонам
 Fig. 4. Examples of maps of “relative” integral vulnerability to oil pollution of the Kola Bay by seasons

В результате для Кольского залива были построены сезонные карты уязвимости для нефтяного загрязнения в двух масштабах (рис. 4). Карты масштаба 1:150 000 служат для общего планирования операций по ЛРН и их последствий. Карты более крупного масштаба (1:25 000) необходимы непосредственно ликвидаторам на местах для борьбы с нефтезагрязнением.

Карты чувствительности берегов (рис. 5) также выполнены разномасштабными в соответствии с системой индексов ESI [Gundlach, Hayes, 1978], рекомендуемой международными организациями [PIECSA..., 2012]. Данная система характеризует интегральную восприимчивость побережья к нефтяному загрязнению по шкале от 1 до 10, отражая связь между строением, структурой берега и физическими процессами, происходящими при попадании нефти на берег, а также учитывает трудности последующей его очистки. Чем выше индекс, тем более чувствителен участок берега.

Всего для Кольского залива построено 40 карт уязвимости (разного масштаба и по сезонам). Используя возможности ГИС-технологий по публикации материалов в виде Web-ресурсов на геопорталах, полученные карты размещены в рамках Web-проекта на сайте «Геоинформационный портал Мурманской области» (URL: <http://portal.kgilk.ru/mmbi>).

Карты чувствительности берегов крайне актуальны для всего побережья Кольского полуострова в связи с возрастающими транспортными потоками и ролью нефтегазового комплекса в экономике Мурманской области и Арктического региона в целом. В связи с этим было выполнено районирование береговой зоны восточного Мурмана от Кольского

залива до губы Зеленецкой, включая губы Зеленецкую, Ярнышную, Териберскую и Долгую. По отработанной технологии в соответствии с принятой системой индексов ESI построена картосхема чувствительности берегов к воздействию нефти (рис. 6).

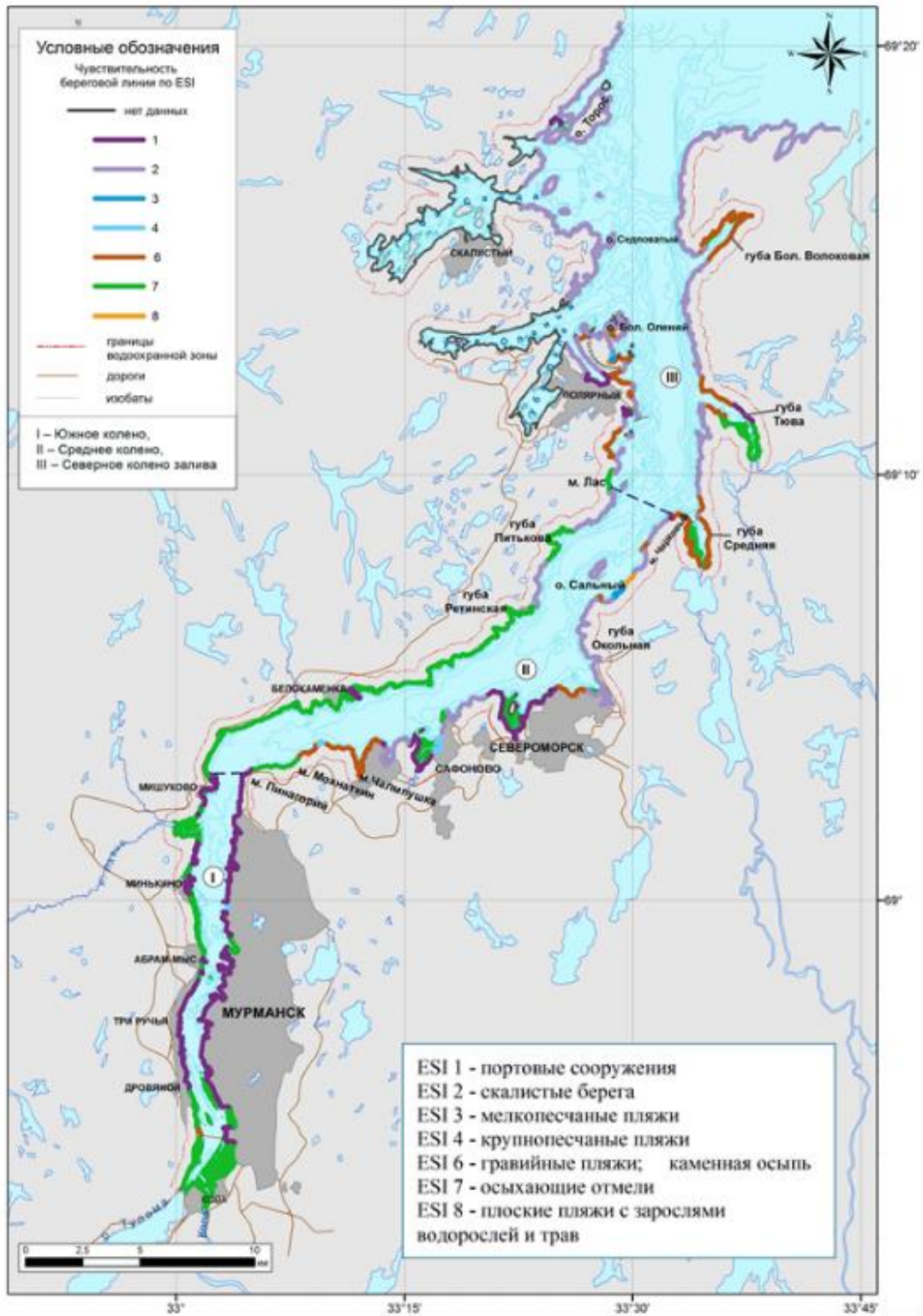


Рис. 5. Пример карты чувствительности берегов Кольского залива
 Fig. 5. An example of the sensitivity map of the coast of the Kola Bay



Рис. 6. Чувствительность побережья восточного Мурмана к нефтяному загрязнению
 Fig. 6. Sensitivity of the East Murmansk coast to oil pollution

ВЫВОДЫ

Таким образом, при помощи ГИС-технологий с целью оценки уязвимости Арктических морей от нефтяного загрязнения были построены карты уязвимости акватории Баренцева (включая Кольский залив), Белого и Карского морей. Также выполнено картографирование чувствительности береговой линии части восточного Мурмана от Кольского залива до губы Зеленецкой, включая сам залив и губы Зеленецкую, Ярнышную, Териберскую и Долгую.

Представленные карты наглядно показывают, какие районы требуют приоритетной защиты, а какие могут быть выделены как «жертвенные» участки при планировании операций по ЛРН. Следует ориентироваться на то, чтобы отвести нефть, например, с помощью боновых заграждений, от районов с повышенной чувствительностью и уязвимостью в районы наименее уязвимые для последующего сбора или утилизации.

Наличие таких карт особенно актуально в условиях Арктики для планов ЛРН, поставочного мониторинга прибрежных районов и других природоохранных мероприятий и способствует принятию обоснованных и оперативных решений при потенциально возможном нефтезагрязнении.

Для завершения работы по составлению полной картины чувствительности побережья вдоль Кольского полуострова и далее по всей трассе СМП, необходимо проведение последующих экспедиционных исследований и натурная фотосъемка берегов. Используя возможности ГИС-технологий, в перспективе следует развивать направление по созданию баз данных для сбора, хранения и обработки больших объемов разнородных материалов, необходимых для оценки уязвимости и чувствительности. Крайне важно иметь соответствующие разномасштабные карты в районах, непосредственно связанных с нефтегазовой отраслью, транспортировкой нефти и нефтепродуктов, где велики риски аварийных ситуаций.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» по проектам «Исследования побережья и береговой зоны северной части Кольского залива и разработка карт уязвимости всего залива от нефти»

(договор № 26/2013-НЗ от 02.04.2013) и «Разработка Web-проекта “Интерактивные карты уязвимости Кольского залива от нефти”» (договор № 59/2015-Р от 29.05.2015).

Использованы также результаты научных исследований, выполненных по теме государственного задания ММБИ КНЦ РАН «Оценка уязвимости и экологический мониторинг арктических экосистем при освоении шельфа» (№ госрегистрации 01 2013 66838).

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by the all-Russian public organization “Russian geographical society” under the projects “Studies of the coast and coastal zone of the Northern part of the Kola Bay and development of vulnerability maps of the entire Gulf from oil” (agreement No 26/2013-NZ on 02.04.2013) and “Development of Web-project “Interactive vulnerability map of the Kola Gulf oil”” (agreement No 59/2015-R on 29.05.2015).

We also used the results of research carried out on the topic of the state task of the KSC RAS MBI “Vulnerability assessment and environmental monitoring of Arctic ecosystems during the shelf exploration” (state registration No 01 2013 66838).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Блиновская Я.Ю.* Принципы создания информационной системы «Карты чувствительности прибрежно-морских зон к загрязнению нефтью». Вестник ДВО РАН, 2004. № 4. С. 63–73.
2. *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 учёных ММБИ, посвящённой 150-летию со дня рождения Н.М. Книповича (г. Мурманск, май 2012). Мурманск: Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, 2012. С. 72–79.
3. *Мансуров М.Н.* Концепции обустройства месторождений Арктического шельфа. ROGTEC – Российские нефтегазовые технологии. 28 августа 2013 г. Электронный ресурс: <http://www.rogtecmagazine.com/ru-blog/концепции-обустройства-месторождени> (дата обращения 02.04.2014).
4. *Новиков М.А.* Методология интегрированной оценки экологической уязвимости и рыбохозяйственной ценности морских акваторий (на примере Баренцева и Белого морей). Мурманск: Изд-во ПИПРО (Полярный филиал ВНИИ рыбного хозяйства и океанографии), 2006. 250 с.
5. *Патин С.А.* Нефть и экология континентального шельфа. М.: Изд-во ВНИРО, 2001. 248 с.
6. *Патин С.А.* Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. М.: Изд-во ВНИРО, 2008. 507 с.
7. *Погребов В.Б.* Интегральная оценка экологической чувствительности биоресурсов береговой зоны к антропогенным воздействиям. Основные концепции современного берегопользования. СПб.: Изд-во РГГМУ (Российского государственного гидрометеорологического университета), 2010. Т. 2. С. 43–85.
8. *Шавыкин А.А., Ильин Г.В.* Оценка интегральной уязвимости Баренцева моря от нефтяного загрязнения. Мурманск: ММБИ (Мурманский морской биологический институт) КНЦ РАН, 2010. 110 с.
9. *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, 2008. № 3. С. 13–23.
10. *Шавыкин А. А., Матишов Г. Г., Карнатов А. Н.* Методика построения карт уязвимости прибрежно-морских зон от нефти. Доклад РАН, 2017. Т. 475. № 4. С. 461–464.
11. BRISK (Project on sub-regional risk of spill of oil and hazardous substances in the Baltic Sea). Method note. Document № P-070618-1-01. Admiral Danish Fleet HQ, National Operations,

Maritime Environment, 2009. Ver. 0.2. 42 p. Web resource: http://meeting.helcom.fi/c/document_library/get_file?p_l_id=83433&folderId=504938&name=DLFE-38440.pdf (accessed 15.09.2014).

12. Gundlach E.R., Hayes M.O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. Marine Technology Society Journal, 1978. V. 12. № 4. P. 18–27.

13. IPIECA, IMO, OGP (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, International Maritime Organization, International Association of Oil & Gas Producers). Sensitivity mapping for oil spill response. London, 2012. 39 p.

14. Offringa H.R., Lahr J. An integrated approach to map ecologically vulnerable areas in marine waters in the Netherlands (V-maps). RIKZ working document. Ministry of Transport, Rijkswaterstaat, National Institute for Marine and Coastal Management. Report № A09. Netherlands, The Hague: RIKZ, 2007. 93 p.

15. Ramboll Barents. Пилотный проект: Совершенствование системы реагирования на аварийные разливы нефти и нефтепродуктов в арктических условиях для защиты особо чувствительных к нефтепродуктам прибрежных районов (на примере Баренцева и Белого морей) технический отчёт. Том I. Мурманск, 2010. 120 с. Электронный ресурс: http://archive.iwlearn.net/npa-arctic.ru/Documents/demos/new/rprts/oil_spills_rpt.pdf (дата обращения 06.02.2013).

16. SFT. Beredskap mot akutt forurensing. Modell for prioritering av miljøressurser ved akutte oljeutslipp langs kysten. Report № 1765/2000. Trondheim, Norway, 1996.

17. Shavykin A.A., Vashchenko P.S., Kalinka O.P., Karnatov A.N. Mapping water area vulnerability for oil spill contingency, response and other natural protection purposes: MMBI's methodology. Assessing Vulnerability of Flora and Fauna in Polar areas. Symposium proceedings. Kortrapport/Brief Report Series № 032. Tromsø: Norwegian Polar Institute, Fram Centre, 2015. P. 68–75.

REFERENCES

1. Blinovskaya Ya.Yu. Principles of creation the information system “Sensitivity maps of the coastal areas to oil pollution”. Bulletin of the Far Eastern Branch of RASciences, 2004. No 4. P. 63–73 (in Russian).

2. BRISK (Project on sub-regional risk of spill of oil and hazardous substances in the Baltic Sea). Method note. Document No P-070618-1-01. Admiral Danish Fleet HQ, National Operations, Maritime Environment. 2009. Ver. 0.2. 42 p. Web resource: http://meeting.helcom.fi/c/document_library/get_file?p_l_id=83433&folderId=504938&name=DLFE-38440.pdf (accessed 15.09.2014).

3. Gundlach E.R., Hayes M.O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. Marine Technology Society Journal, 1978. V. 12. No 4. P. 18–27.

4. IPIECA, IMO, OGP (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, International Maritime Organization, International Association of Oil & Gas Producers). Sensitivity mapping for oil spill response. London, 2012. 39 p.

5. Kalinka O. P., Vaschenko P. S., Karnatov A. N. Vulnerability assessment for the environment of the North-Western sector of Arctic from potential impacts. Proceedings of the XXX anniversary conference of young scientists, MMBI, dedicated to 150-anniversary from the birthday N.M. Knipovich (Murmansk, may 2012). Murmansk: Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, 2012. P. 72–79 (in Russian).

6. Mansurov M.N. Concepts of Arctic shelf field development – ROGTEC-Russian oil and gas technologies. Web resource: <http://www.rogtecmagazine.com/ru-blog/concepcii-obustrojstvamestorozhdenij> (accessed 02.04.2014) (in Russian).

7. Novikov M.A. Methodology for integrated assessment of ecological vulnerability and fishery value of marine areas (on the example of the Barents and White seas). Murmansk: PINRO

- Publishing house (Polar Branch All-Russian Scientific-Research Institute of Fisheries and Oceanography), 2006. 250 p. (in Russian).
8. *Offringa H.R., Lahr J.* An integrated approach to map ecologically vulnerable areas in marine waters in the Netherlands (V-maps). RIKZ working document. Ministry of Transport, Rijkswaterstaat, National Institute for Marine and Coastal Management. Report No A09. Netherlands, The Hague: RIKZ, 2007. 93 p.
 9. *Patin S.A.* Oil and ecology of continental shelf. Moscow: VNIRO Publishing house (All-Russian Scientific-Research Institute of Fisheries and Oceanography), 2001. 248 p. (in Russian).
 10. *Patin S.A.* Oil spills and their impact on the marine environment and bioresources. Moscow: VNIRO Publishing house (All-Russian Scientific-Research Institute of Fisheries and Oceanography), 2008. 507 p. (in Russian).
 11. *Pogrebov V.B.* Integral estimation of environmental sensitivity of the biological resources of the coastal zone to anthropogenic effects. Basic concepts of modern coast management. SPb.: Publishing house of RSHU (Russian state Hydrometeorological University), 2010. V. 2. P. 43–85 (in Russian).
 12. Ramboll Barents. Pilot project: Improvement of the system of response to oil and oil products spills in the Arctic to protect the coastal areas that are particularly sensitive to oil products (for example, the Barents and White seas) technical report. V. I. Murmansk, 2010. 120 p. Web resource: http://archive.iwlearn.net/npa-arctic.ru/Documents/demos/new/rprts/oil_spills_rpt.pdf (accessed 06.02.2013) (in Russian).
 13. SFT. Beredskap mot akutt forurensing. Modell for prioritering av miljøressurser ved akutte oljeutslipp langs kysten. Report No 1765/2000. Trondheim, Norway, 1996 (in Norwegian).
 14. *Shavykin A.A., Ilyin G.V.* Assessment of the integrated vulnerability of the Barents Sea to oil pollution. Murmansk: MMBI (Murmansk Marine Biological Institute) of the Kola Scientific Center RAS, 2010. 110 p. (in Russian).
 15. *Shavykin O.P., Kalinka O.P., Dukhno G.N., Saprykin V.V., Zyryanov S.V.* Assessment of the integrated vulnerability of the Barents Sea to oil pollution. Environmental Protection in the oil and gas complex, 2008. No 3. P. 13–23 (in Russian).
 16. *Shavykin A.A., Matishov G.G., Kornatov A.N.* The procedure of mapping the vulnerability of coastal areas from oil. Report, Russian Academy of Sciences, 2017. V. 475. No 4. P. 461–464.
 17. *Shavykin A.A., Vashchenko P.S., Kalinka O.P., Karnatov A.N.* Mapping water area vulnerability for oil spill contingency, response and other natural protection purposes: MMBI's methodology. Assessing Vulnerability of Flora and Fauna in Polar areas. Symposium proceedings. Kortrapport/Brief Report Series No 032. Norwegian Polar Institute, Fram Centre, Tromsø, 2015. P. 68–75.
-