

*Д.В. Кириевская*

## ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ БЕРЕГОВ ЧУКОТСКОГО МОРЯ ОТ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

*D.V. Kirievskaya*

## THE ASSESSMENT OF THE CHUKCHI SEA COASTAL ZONE VULNERABILITY FROM OIL CONTAMINATION

*Проводится оценка уязвимости побережья Чукотского моря к потенциальному нефтяному загрязнению. Определены наиболее уязвимые участки берегов Чукотского моря. Результаты проведенной оценки могут быть использованы при разработке природоохранных мероприятий.*

*Ключевые слова: Чукотское море, экосистема, уязвимость, береговая зона.*

*The Chukchi Sea coastal zone vulnerability is evaluated. The most vulnerable areas of the Chukchi Sea coastal zone have been defined. The results of the assessment can be used for development of environmental protection measures.*

*Key words: the Chukchi Sea, ecosystem, vulnerability, coastal zone.*

### Введение

Берега и прибрежное мелководье являются зоной наибольшего видового биоразнообразия, максимальной биопродуктивности, а нередко и местом крупнейших месторождений нефти и газа. Благодаря своим природным особенностям, прибрежная зона имеет мощный рекреационный ресурс. Кроме того, это зона интенсивного судоходства, портового и другого гидротехнического строительства. Прибрежные области во всем мире исторически являются одними из наиболее эксплуатируемых районов. Все это создает условия для возникновения здесь многочисленных промышленных комплексов [3].

В условиях активизации деятельности по освоению нефтегазовых ресурсов шельфа Арктики, в том числе шельфа Чукотского моря [6] (в сентябре 2012 г. было начато бурение разведочной скважины в акватории северного сектора Чукотского моря у берегов Аляски) и увеличении трафика Северного морского пути стало необходимым получение научно обоснованных представлений об уязвимости акватории Чукотского моря от разливов нефти.

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. При выбросе нефти на берег загрязнению может подвергнуться зона от уреза воды до линии максимального (сизигийного) прилива, прибойного заплеска или максимального ветрового нагона [8]. Для низменных побережий с сильно расчлененной гидрологической сетью влияние нагона может сказываться в нескольких километрах от берега. В том случае, если нефть войдет в соприкосновение с прибрежными водами и берегом, по-

следствия будут носить тяжелый и затяжной характер, а сценарии их развития будут намного разнообразнее, чем при разливах в открытом море.

В этой связи, актуально создание целостной картины ранжирования экосистем побережий Чукотского моря по степени их чувствительности к воздействию нефти. Это позволит в дальнейшем определить наиболее уязвимые к нефтяному загрязнению участки, для выбора приоритетов при разработке плана по ликвидации аварийных разливов нефти (ЛАРН) [14].

### **Различные подходы к определению уязвимости прибрежной зоны**

Проблемой разработки оперативных и эффективных мер для снижения масштабов ущерба, к которому могут привести нефтяные разливы, с 1993 г. занимались Международная морская организация (ИМО) и Международная ассоциация представителей нефтяной промышленности по охране окружающей среды (ИПЕСА), результатом этого сотрудничества стало появление серии руководств, одна из них: «Составление карт экологически уязвимых зон при ликвидации разливов нефти» [14] была использована в данной работе. В соответствии с этим руководством на картах должны быть отражены характерные типы берегов с указанием индексов экологической чувствительности (ESI). Рекомендуется использовать ранжированные от 1 до 10 индексы экологической чувствительности побережий к загрязнению нефтью, предложенные в 1978 г. Е. Гундлахом и М. Хейсом [13]. В основе ранжирования лежат базовые принципы, суть которых в том, что чувствительность к нефти возрастает по мере увеличения защищенности берега от воздействия волн, проникновения нефти в подстилающий слой почвы, времени естественного удержания нефти на берегу и биологической продуктивности береговых организмов [14].

Эти руководства стали, в дальнейшем, основой для многочисленных методик, создаваемых в различных странах. Так, для Норвежского и Баренцева морей была разработана «Методика классификации приоритетности природных ресурсов к нефтяному загрязнению в прибрежной зоне (МОБ)» [7]. Она построена по принципу унификации ограниченного и упрощенного ряда сгруппированных полуколичественных оценок. В соответствии с данной методикой природные ресурсы рассматриваются как биологические, географические, физические (химические) компоненты природной среды. Для оценки по методике используется информация только для определенных ресурсов: морских птиц и среды их обитания (биотопов), морских млекопитающих, рыб, бентосных сообществ, типов берегов, охраняемых природных территорий, рекреационных территорий, объектов природопользования. Для них в МОБ осуществляется классификация по четырем основным факторам: 1) естественность, 2) восстановление, 3) ценность, 4) чувствительность.

На основании этого вычисляется индекс приоритетности или индекс методики классификации – числовой результат (по шкале от 0 до 36), который и

трансформируется в одну из шести категорий приоритетности от А до Е, с учетом нулевой приоритетности. Руководство содержит так же основные принципы нанесения ресурсов на карту чувствительности по степени их приоритетности для участков береговой черты [7].

В США распространены подходы к определению уязвимости обитателей прибрежной зоны, разработанные Национальной администрацией по атмосфере и океану (NOAA) для каждого штата в отдельности, например для Аляски см. в [16]. Главным элементом таких подходов служит создание протоколов, в основу которых положен анализ командой специалистов цифровых и видео изображений прибрежных зон в реальном времени, с последующим обязательным представлением полученной аналитической информации в виде ГИС и баз данных.

Принципы создания карт чувствительности прибрежно-морских зон к загрязнению нефтью были также представлены и в России – Институтом защиты моря. Метод основывается на анализе карт, включающих следующие компоненты: маска карты, климатические и гидрологические условия, геоморфология побережья, биологическое разнообразие и продуктивность участков побережья, объекты природопользования [1]. Таким образом, карты чувствительности побережья к нефтяному загрязнению представляют собой геоинформационную систему, позволяющую оперативно определять приоритеты при ликвидации разливов, моделировать и прогнозировать процесс, связанный с разливами нефти, а также оценивать предварительный ущерб, нанесенный в результате выбросов нефти на побережье. Первые карты чувствительности были составлены для побережья о-ва Сахалин в связи с разработкой проекта «Сахалин-1».

В последнее время отделением фонда «Дикой природы» в России были разработаны «Методические подходы к созданию карт экологически уязвимых зон и районов приоритетной защиты акваторий и берегов Российской Федерации от разливов нефти и нефтепродуктов», где используется индекс экологической чувствительности берегов к нефтяному загрязнению ESI [Environmental Sensitivity Index (ESI)] [8].

### **Материалы и методы исследований**

Широкий спектр подходов к определению уязвимости прибрежной зоны, представленный выше, показывает, что для оценки уязвимости береговой зоны Чукотского моря необходимо изучить геоморфологию берегов, гранулометрические типы донных осадков, гидродинамические процессы в береговой зоне, а также её обитателей.

Материалы по геоморфологии берегов, их литотипам и гидродинамическим процессам Чукотского моря были взяты из следующих источников: [1, 2, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 15, 16]. Кроме того, большое количество данных приведено на интернет-сайтах проектов: CAFF, PAME, AMAP, Alaska ShoreZone Coastal Inventory And Mapping Project, AMAP, Geographic Response Strategies for Alaska

(GRS). Методологической базой исследования служили, в основном, концепции предложенные «Фондом дикой природы» [8], ИМО/ИРЕСА [14] и Е. Овенсом [12].

Для прогнозирования поведения нефти на берегу необходимо знание особенностей берегов по комплексу факторов. В их число входят:

- литодинамические особенности берега (поступление, перенос и аккумуляция осадочного материала);
- экспозиция берега по отношению к воздействию равнодействующей гидродинамического режима;
- профиль берега и его морфометрическая характеристика;
- степень изрезанности береговой линии, т.е. наличие естественных геоморфологических «ловушек» для нефти;
- свойства горных пород, залегающих массивом и слагающих береговую зону;
- литологические характеристики береговых отложений;
- наличие подводной растительности и степень проективного покрытия ею дна [9].

Определение степени уязвимости берегов к нефтяному загрязнению, было проведено, согласно методике [14] с использованием индекса экологической чувствительности берегов к нефтяному загрязнению  $ESI_{cz}$ . Его применение основано на следующих основных показателях:

- чувствительность берега к нефти (она возрастает с увеличением защищенности берега от воздействия волн);
- глубина проникновения нефти в донные отложения;
- время естественного удержания нефти на берегу;
- биологическая продуктивность береговых организмов.

Индекс экологической чувствительности берегов к нефтяному загрязнению был рассчитан по формуле [1]:

$$ESI_{cz} = \int_{\Phi} (\mathbf{S}, \mathbf{P}) d\mu, \quad (1)$$

где  $ESI_{cz}$  – индекс экологической чувствительности береговой зоны;  $\mathbf{S}$  – вектор-функция литологической структуры берега;  $\mathbf{P}$  – вектор-функция процессов, происходящий при попадании нефти на берег;  $\Phi$  – береговая поверхность;  $d\mu$  – дифференциал площади поверхности.

Также при оценке необходимо учитывать тип самой нефти, а точнее её взаимодействие с грунтом и атмосферой и т. д. (табл. 1).

При оценке степени уязвимости берегов был использован подход «Фонда дикой природы» [8] с ранжированием индекса  $ESI_{cz}$  по четырем градациям (табл. 2).

Таблица 1

Свойства (поведение) различных типов нефти в береговой зоне [8]

	Легкая ( $\rho$ ниже 0,878 г/см <sup>3</sup> )	Утяжеленная ( $\rho$ имеет диапазон от 0,878 до 0,884 г/см <sup>3</sup> )	Тяжелая ( $\rho$ выше 0,884 г/см <sup>3</sup> )
Растекание	Быстро перемещается, вытягиваясь узкой полосой	Перемещается вдоль береговой черты, повторяя ее очертания и размываясь по заплескам	Медленно перемещается вдоль береговой черты сплошным слоем
Испарение	До 100 %	До 40 %	Не более 10 %
Просачивание в грунт	Очень быстрое, зависит от объема загрязнения. Чем больше зернистость грунта, тем глубже проникновение	Зависит от зернистости грунта, возможно увеличение объема загрязнения за счет перемешивания с грунтом	Незначительное, распределяется плотным слоем по поверхности
Седиментация	Отсутствует за счет быстрого испарения	Легко взаимодействует с частицами, особенно с тонкодисперсными, в результате происходит увеличение объема загрязнения	Легко взаимодействует с частицами, особенно с тонкодисперсными, в результате происходит увеличение объема загрязнения
Окисление	Практически отсутствует за счет быстрого испарения	Самый медленный процесс, не превышает 0,1 % в сутки, зависит от интенсивности солнечной радиации	Самый медленный процесс, не превышает 0,1 % в сутки, зависит от интенсивности солнечной радиации

Таблица 2

Ранжирование берегов по степени их уязвимости к нефтяному загрязнению

Степень уязвимости берегов	Индекс $ESI_{cz}$
Слабо уязвимые	1-2
Умеренно уязвимые	3-4
Уязвимые	5
Высоко уязвимые	$\geq 6$

**Результаты**

*Морфология, литология и гидродинамика берегов*

Береговая линия Чукотского моря включает в себя части берегов Чукотского полуострова, острова Врангеля и Аляски (рис. 1). На развитие береговой линии Чукотского моря влияет морской лед (с октября по июнь), вечная мерзлота и гидродинамика, оказывающая в настоящее время наибольшее воздействие. Береговая линия Чукотского моря характеризуется распространением лагун, песчано-галечных кос и баров. Для Чукотского моря выделены следующие морфогенетические типы берегов:

I. Берега, формирующиеся преимущественно под действием неволновых процессов:

– *термоабразионные* берега в мерзлых четвертичных толщах распространены на Чукотском п-ве между Колюченской губой и мысом Нэттэм и в заливе Коцебу (Аляска);

– абразионно-денудационные берега, которые распространены на востоке о. Врангеля и Чукотском п-ве (в районах мысов Онман, Ванкарем, Джернэтлен, Сердце-Камень, Инкигур, Дежнева).

II. Берега, формирующиеся преимущественно волновыми процессами:

– выровненные аккумулятивные (лагунные) берега – самый распространенный тип берегов: распространен на Аляскинском побережье, за исключением залива Коцебу, и на севере о. Врангеля, также, этот тип занимает до пятидесяти процентов от протяженности всей береговой линии Чукотского п-ва: между мысом Дежнева и Колючинской губой (за исключением мысов Ванкарем и Онман, и побережья между мысом Инкигур и лагуной Уэлен);

– абразионно-аккумулятивные берега имеют место на юге о. Врангеля.

Литологические типы берегов отображены на рис. 1.

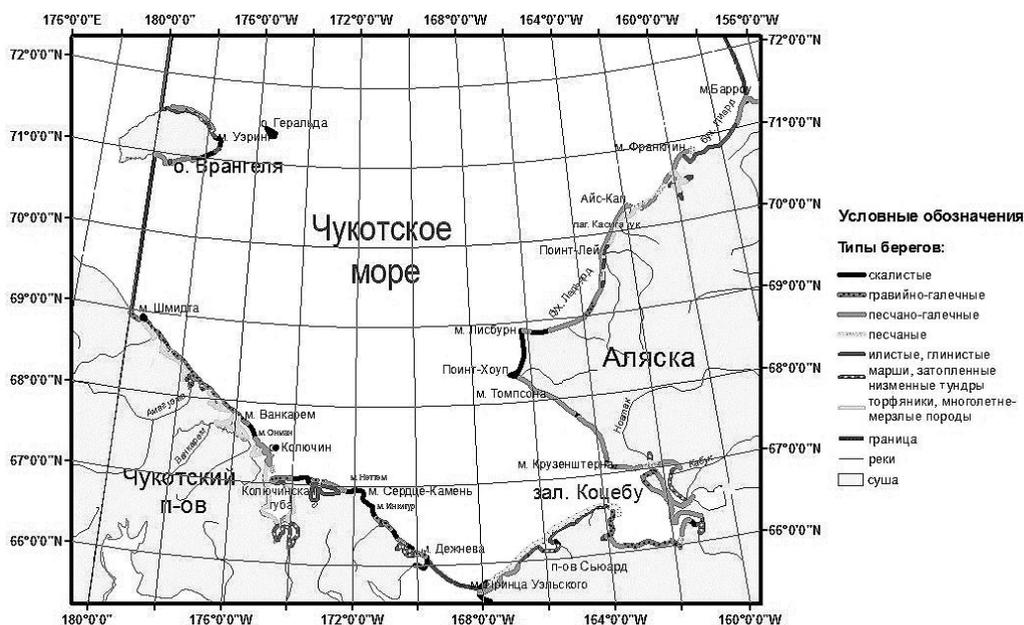


Рис. 1. Литологические типы берегов Чукотского моря

### **Уязвимость берегов**

В соответствии со шкалой  $ESI_{CZ}$  на побережье Чукотского моря выделены следующие типы и подтипы берегов по степени их чувствительности к разливам нефти (в порядке ее возрастания):

- 1А – Открытый абразионный берег, сложенный крепкими (плотными) породами.
- 1В – (Открытый) техногенный берег с инженерными сооружениями.
- 2А – Открытая, размываемая волноприбойная платформа, выработанная в коренных породах или плотных глинистых отложениях.
- 2В – Открытый уступ и крутой склон в глинистых отложениях.

3А – Аккумулятивный отмельный берег с пляжем, сложенным мелко-средне-зернистым песком.

3В – Уступ с крутым склоном в песчаных отложениях.

3С – Абразионный уступ в торфяниках или выходах вечной мерзлоты, покрытых тундровой растительностью.

4 – Аккумулятивный берег с пляжем, сложенным крупнозернистым песком.

5 – Аккумулятивный берег с пляжем, сложенным смешанным песчано-гравийным материалом.

6А – Аккумулятивный берег с пляжем, сложенным гравийно-галечным материалом.

6В – Берег с искусственной каменной наброской и берег с валунно-галечной отмосткой.

7 – Открытая приливо-отливная отмель (осушка), сложенная литифицированными отложениями.

8А – Изолированный (защищенный) абразионный берег с уступом размыва, выработанным в плотных породах.

8В – Изолированный техногенный берег с инженерными сооружениями.

8С – Изолированный берег с каменной наброской и с валунно-галечной отмосткой.

8Е – Торфяные берега.

9А – Защищенная от волнения приливо-отливная отмель.

9В – Отмели заросшие растительностью.

10А – Приливо-отливные отмели (марши) в пределах соленых и солоноватых акваторий.

10D – Берега с прибрежной древесно-кустарниковой растительностью.

10Е – Затопленные низменные тундры.

Классификация прибрежной зоны Чукотского моря по шкале уязвимости, показывает, что наиболее уязвимыми являются следующие участки берегов Чукотского моря (рис. 2):

1. *Чукотский п-ов*: большая часть береговой линии от м. Шмидта до м. Сердце-Камень, за исключением Колючинской губы, лагун и мысов выровнена на всем протяжении береговыми барями-пересыпями, сложена галькой и гравием, сформированных за счет донных наносов. Существует угроза гибели прикрепленных к осадку обростателей (животных и растений).

2. *Аляска*: северо-западное побережье п-ова Сьюард, южный, юго-восточный берега залива Коцебу, лагуна Касиглук (северо-западное побережье Чукотского моря) с протяженными барьерными островами: берега здесь защищены от воздействия волн и течений, вследствие низкой гидродинамической активности здесь будет накапливаться нефть с тыловой стороны барьерных островов. Также вдоль за барьерными островами и вдоль внешних берегов, защищенных от воздействия волн, располагаются марши. Нефть здесь будет быстро образовывать пленку на растительности. Большое нефтяное пятно будет постоянно оказывать воздействие в ходе многократно повторяющихся приливных циклов, и охватывать своим влиянием всю область от уреза до линии максимального прилива. Тяжелая нефть в основном не попадает в осадок, легкая – может проник-

нуть на глубину нескольких сантиметров, в норы и трещины – до 1 м. Также здесь обычно присутствует очень высокое скопление прикрепленных морских водорослей и организмов, чувствительных к воздействию нефти.

3. *О. Врангеля*: Северный берег – низменный, окаймлен крупным песчано-галечным баром, на большей части протяжения островным. К югу от бара расположена узкая лагуна, представленная маршами, приливно-отливными отмелями, затопленными низменными тундрами, соединяющаяся с морем несколькими проливами. На берегах песчано-галечных барах нефть будет просачиваться в песок, глубина проникновения может достигать 50 см. При отсутствии очистки в защищенных «карманах» на пляже могут образоваться битумные осадки. В местах приливных осушек нефть накапливается на линии максимального прилива, образует пленку на растительности маршей, а на торфяниках нефть, вероятнее всего будет оставаться на поверхности, образуя пленку. Скорость удаления средней и тяжелой нефти будет медленной. Угроза биологическому сообществу существенна.

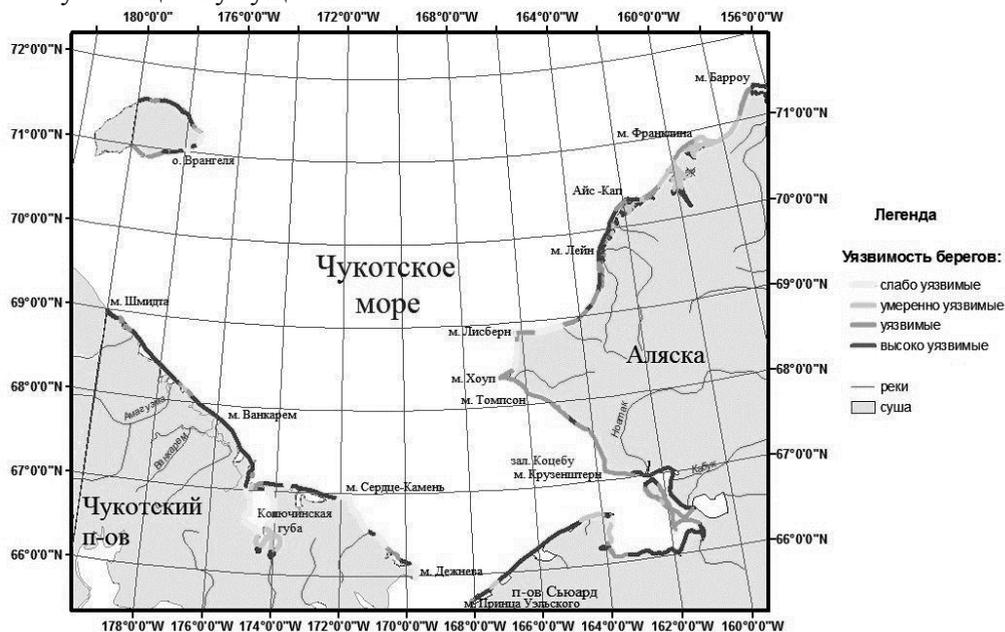


Рис. 2. Уязвимость берегов Чукотского моря

**Выводы**

В настоящем исследовании, берега Чукотского моря были ранжированы по степени уязвимости к воздействию потенциальных нефтяных разливов, возникающих в результате аварийной ситуации при бурении нефти на шельфе у северо-восточного побережья Чукотского моря (северное побережье Аляски) и крушения судов, особенно нефтеналивных танкеров или геологоразведочных работ по поиску и оценке новых нефтегазовых месторождений.

Так, например, лагуна Касиглук, имеющая высокую уязвимость берегов, находится в непосредственной близости от нефтяных скважин компании «Шелл» («Shell») (запуск постоянной работы которых пока не был успешен) и при этом, входит в список ключевых орнитологической территорий и 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 большой трафик судов через Берингов пролив. В этих условиях весьма вероятно аварийная ситуация, приводящая к загрязнению этой зоны.

Также возобновление Северного морского пути, трассы которого проходят через пролив Лонга, вблизи высоко уязвимых от нефтяного загрязнения берегов Чукотского п-ова, может создать, в ближайшем будущем, еще одну «горячую точку» на берегах Чукотского моря.

Таким образом, полученные в данном исследовании выводы об уязвимости берегов Чукотского моря будут полезны как для оценки состояния экосистемы Чукотского региона, так и для принятия мер по противодействию чрезвычайным ситуациям в этом регионе.

### Литература

1. Блиновская Я.Ю. Принципы создания информационной системы «Карты чувствительности прибрежно-морских зон к загрязнению нефтью» // Вестник ДВО РАН, 2004, № 4, с. 64-73.
2. Водно-болотные угодья России. Т. 4. Водно-болотные угодья Северо-Востока России / Сост. А.В. Андреев. – М.: Wetlands International, 2001. – 296 с.
3. Геоэкология шельфа и берегов морей России / Под ред. Н. А. Айбулатова. – М.: Ноосфера, 2001. – 427 с.
4. Кальянов В.П. Геоморфология и геология острова Врангеля // Уч. зап. МГУ, сер. География, 1946, вып. 119, кн. 2, с. 100-112.
5. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. Берега. – М.: Мысль, 1991. – 479 с.
6. Кириевская Д.В., Кийко О.А., Шилин М.Б. Оценка современного состояния донной экосистемы юго-восточной части Чукотского моря // Уч. зап. РГГМУ, 2012, № 23, с. 117-125.
7. Методика классификации приоритетности природных ресурсов к нефтяному загрязнению в прибрежной зоне / Гос. упр-е по контролю загрязнения окруж. среды (SFT). Осло, 2004. – 27 с.
8. Методические подходы к созданию карт экологически уязвимых зон и районов приоритетной защиты акваторий и берегов Российской Федерации от разливов нефти и нефтепродуктов / Погребов В.Б. и др. – Мурманск: WWF, 2012. – 60 с.
9. Спиридонов В.А., Гаврило М.В., Краснова Е.Д., Николаева Н.Г. Атлас биологического разнообразия морей и побережий российской Арктики. – М.: WWF России, 2011. – 64 с.
10. The Alaskan Arctic coast: a background study of available knowledge. Anchorage, AK, 1974, p. 551.
11. Alaska Costal Landforms. Encyclopedia of the World's Costal Landforms / Editor E.C.F. Bird. Springer, 2011. – 1498 p.
12. Field Guide for Oil Spill Response in Arctic Waters. Chapter 8. Costal Characteristics of the Arctic Regions / Owens E.H. Environment Canada, Yellowknife, NT Canada, 1998. – 348 p.
13. Gundlach E.R., Hayes M.O. The AMOCO CADIZ Oil Spill // NOAA/EPA Special Report. 1978, p. 85-196.
14. IMO/IPIECA Report Series. Vol. 1. Sensitivity Mapping for Oil Spill Response. London, 1996. – 25 p.
15. Northern Sea Route Dynamic Environmental Atlas / Editors: Brude O.W. et al. Norsk Polarinstitut Meddelelse, 1998. – 58 p.
16. Shore Zone Coastal Habitat Mapping. Protocol for the Gulf of Alaska / Harney J.N., Morris M., Harper J.R. Juneau, AK, 2008. – 153 p.