

# МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ БЕРЕГОВ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ К РАЗЛИВАМ НЕФТИ (НА ПРИМЕРЕ КАРСКОГО МОРЯ)

## METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE ENVIRONMENTAL SENSITIVITY OF ARCTIC SEASHORES TO OIL SPILLS (BY THE EXAMPLE OF THE KARA SEA)

### **ЕРМОЛОВ А.А.**

Научный сотрудник географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, к. г. н., г. Москва, alexandr.ermolov@gmail.com

### **ИЛЮШИН Д.Г.**

Директор по развитию ООО «Центр морских исследований» МГУ имени М.В. Ломоносова», к. б. н., г. Москва, IlyushinDenis@gmail.com

### **ИСАЧЕНКО А.И.**

Главный специалист отдела экологических технологий ООО «Арктический Научный Центр», к. б. н., г. Москва, arc@arcticresearch.ru

### **КИЗЯКОВ А.И.**

Старший научный сотрудник географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, к. г. н., г. Москва, akizyakov@mail.ru

### **ПАВЛОВ В.А.**

Генеральный директор ООО «Арктический Научный Центр», к. т. н., г. Москва, arc@arcticresearch.ru

**Ключевые слова:** морские берега; арктические моря; экологическая чувствительность; разливы нефти; международная система индексов экологической чувствительности; геоморфологическое районирование; морфодинамическая типизация; Карское море.

**Аннотация:** в работе рассматриваются методические подходы к оценке экологической чувствительности морских берегов к разливам нефти. Предпринята попытка адаптации международной системы индексов к берегам арктических морей на основе морфодинамической типизации и районирования берегов Карского моря.

### **ERMOLOV A.A.**

Researcher of the Geography Faculty of the Lomonosov Moscow State University, PhD (candidate of science in Geography), Moscow, alexandr.ermolov@gmail.com

### **ILYUSHIN D.G.**

Development director of the "Marine Research Center" LLC of the Lomonosov Moscow State University", PhD (candidate of science in Biology), Moscow, IlyushinDenis@gmail.com

### **ISACHENKO A.I.**

Main specialist of the Environmental Technologies Department of the "Arctic Research Center" LLC, PhD (candidate of science in Biology), Moscow, arc@arcticresearch.ru

### **KIZYAKOV A.I.**

Senior researcher of the Geography Faculty of the Lomonosov Moscow State University, PhD (candidate of science in Geography), Moscow, akizyakov@mail.ru

### **PAVLOV V.A.**

General director of the "Arctic Research Centre" LLC, PhD (candidate of science in Technics), Moscow, arc@arcticresearch.ru

**Key words:** seashores; arctic seas; environmental sensitivity; oil spills; international system of environmental sensitivity indexes; geomorphological zoning; morphodynamical typification; Kara Sea.

**Abstract:** the paper considers methodological approaches to assessing the environmental sensitivity of seashores to oil spills. The authors make an attempt to adapt the international system of indexes to the arctic seashores on the basis of morphodynamic typification and zonation of the Kara Sea shores.

## Введение

Российский арктический шельф весьма перспективен в нефтяном отношении. Данные геологоразведочных работ на лицензионных участках ПАО «НК Роснефть» и ПАО «Газпром» свидетельствуют о значительных запасах углеводородного сырья, определяющих стратегические планы развития нефтегазовой отрасли России. Освоение шельфовых месторождений неизбежно связано с развитием добычной и транспортной инфраструктуры (строительством морских ледостойких стационарных платформ, нефтепроводов, нефтеналивных терминалов различного типа и пр.), включая Северный морской путь. Это требует разработки мероприятий по охране окружающей среды, в том числе по защите побережий, предотвращению и устранению последствий потенциально возможных разливов нефти и нефтепродуктов.

Международный опыт ликвидации разливов нефти в море свидетельствует, что наиболее тяжелые экологические последствия таких аварий наблюдаются именно в прибрежной зоне. Берег, являясь естественной границей двух сред, служит преградой на пути распространения нефтяного разлива и способен при определенных условиях аккумулировать нефть и продукты ее преобразования [8, 16, 18]. С другой стороны, береговая зона является наиболее продуктивной в биологическом отношении, здесь сосредоточены основные массы прибрежной и морской флоры и фауны, ведется разнообразная хозяйственная деятельность. Это определяет приоритетность защиты прибрежных районов при планировании и проведении мероприятий по ликвидации разливов нефти (ЛРН) и необходимость определения как наиболее ценных в экологическом отношении, так и наиболее чувствительных к загрязнению участков. Для этих целей разрабатываются специальные карты экологической чувствительности берегов, отражающие комплексную экспертную оценку и являющиеся инструментом для оперативного принятия решений. Организация и планирование действий по ликвидации разливов нефти, включая разработку таких карт, законодательно закреплены в качестве обязательных при освоении недр шельфа.

В настоящей работе рассматриваются берега Карского моря, шельфовые районы которого оцениваются как одни из наиболее перспективных в нефтегазовом отношении. Помимо этого на побережье Карского моря имеется девять

особо охраняемых природных территорий — заказники «Ямальский», «Североземельский», «Вайгач», «Нижне-Обский», заповедники «Гыданский», «Большой Арктический», «Земля Франца Иосифа», природный парк «Юрибей» и национальный парк «Русская Арктика». Защита этих территорий является приоритетной при разработке природоохранных мероприятий.

В отличие от традиционного представления береговой зоны как области современного воздействия волновых процессов (включающей подводный береговой склон), для целей экологической оценки под берегом (или береговой линией) понимается верхняя часть береговой зоны от уреза моря при сизигийном отливе до линии максимального заплеска (включая пляжи, береговые уступы, марши и эстуарии). Другими словами, рассматривается зона возможного начального распространения нефтяного загрязнения при контакте с сушей.

Исходными данными для типизации берегов Карского моря послужили материалы специализированных авиаисследований, выполненных ООО «Арктический Научный Центр» в безледные периоды 2013 и 2014 гг. В рамках этих работ был получен значительный объем материалов фото- и видеосъемки берегов юго-западной части Карского моря (за исключением Обской, Тазовской и Гыданской губ) и островов Новой Земли (кроме их центральной части). Общая протяженность обследованной береговой линии превысила 11 тыс. км. Северо-восточное побережье моря, включая берега полуострова Таймыр и многочисленных островов, не были обследованы по причине их удаленности от аэропортов базирования экспедиции.

## Цели и задачи работы

Целями работы являлись оценка экологической чувствительности к разливам нефти и нефтепродуктов и картографирование исследованной части берегов Карского моря (в масштабе 1:200 000) на основе международной системы индексов экологической чувствительности (ESI — Environmental Sensitivity Index) и морфодинамической типизации береговой зоны. В статье представлены отдельные результаты этих исследований и рассмотрены методические подходы к оценке чувствительности берегов ледовитого приливного моря.

В большинстве публикаций по данной тематике сравнительно мало вни-

мания уделяется специфике функционирования береговых систем в Арктике. Поэтому одними из задач исследований являлись адаптация и уточнение существующих методик оценки экологической чувствительности берегов именно арктических морей, сложенных многолетнемерзлыми отложениями. Другим важным аспектом, апробируемым в работе, являлся геоморфологический подход к экологической оценке и районированию берегов, а именно использование морфодинамической типизации береговой зоны в качестве основы для разработки карт экологической чувствительности по системе индексов ESI.

## История исследований

Индекс чувствительности окружающей среды (ESI) впервые был предложен в 1978 году американскими учеными [22] для оценки чувствительности морских берегов к нефтяному загрязнению и их ранжирования при разработке мероприятий по ликвидации нефтяных разливов. За прошедшие годы их методика получила широкое признание. Классификации с ее использованием охватывают берега морей многих стран — США, Канады, Кувейта, Казахстана, Индонезии, Бразилии, Саудовской Аравии и др. На основе ESI были разработаны и альтернативные подходы к оценке чувствительности прибрежных зон. Стоит отметить опыт Нидерландов, Норвегии, Германии, Великобритании, Австралии и Новой Зеландии. Отдельными проектами охвачены береговые линии целых морей [25]. Многие материалы находятся в открытом доступе, что позволяет проследить широкую географию исследований и эволюцию подходов к составлению подобных карт.

Сегодня согласно требованиям Международной морской организации (ИМО — International Maritime Organization) карты экологической чувствительности берегов должны составляться для всех участков прибрежно-морской зоны, где имеется риск загрязнения нефтью. Их разработку предлагается осуществлять с использованием актуализированной методики оценки чувствительности, выработанной в результате сотрудничества ИМО с Международной ассоциацией представителей нефтяной промышленности по охране окружающей среды (ИПЕКА — International Petroleum Industry Environmental Conservation Association) и Международной ассоциацией производителей нефти и газа (ОГП — International

Association of Oil and Gas Producers) [24, 26]. Данная методика издается в виде докладов рекомендательного характера и уже получила признание на международном уровне.

В нашей стране вопросам оценки экологической чувствительности к нефтяному загрязнению в последние годы также уделялось значительное внимание.

Следует отметить работы Я.Ю. Блиновской (Институт защиты моря имени Г.И. Невельского) по экологической оценке побережий дальневосточных морей [1, 2], В.Б. Погребова и А.Ю. Пузаченко (ЗАО «Экопроект») по оценке экологической чувствительности биоресурсов прибрежной зоны Кольского полуострова [11, 12], М.А. Новикова (ПИНРО имени Н.М. Книповича) по эколого-рыбохозяйственной оценке потенциальной чувствительности акваторий Белого и Баренцева морей к разного рода антропогенным воздействиям [9, 10].

Большой вклад в развитие методики оценки чувствительности прибрежных и морских зон к нефтяному загрязнению на примере Кольского залива Баренцева моря и акваторий Баренцева и Белого морей внесли А.А. Шавыкин, П.С. Ващенко, О.П. Калинка и другие специалисты ММБИ КНЦ РАН [19, 20 и др.].

Активное участие в разработке методических подходов к созданию карт экологически чувствительных зон и районов приоритетной защиты акваторий и берегов Российской Федерации от разливов нефти и нефтепродуктов принял Всемирный фонд дикой природы (WWF — World Wildlife Fund) в России. Под эгидой этой организации выпущен ряд обобщающих изданий [3].

### Методические подходы

Несмотря на актуальность рассматриваемого вида исследований и наличие вполне определенных перспектив освоения нефтеносных площадей на шельфах арктических и дальневосточных морей, в России до сих пор нет принятой единой методики оценки чувствительности морских берегов. Анализ публикаций по этой теме показал, что среди специалистов в значительной степени преобладают «биологический» или даже «математический» подходы, а оценивается преимущественно чувствительность акваторий или прибрежно-морских зон. Во многом это связано со специализацией ученых, занимающихся разработкой таких карт, научными профилями организа-

ций и наличием соответствующих данных. При этом геолого-геоморфологические факторы, положенные в основу международной методики, рассматриваются весьма поверхностно или не рассматриваются вовсе. Это находит отражение в терминологии, используемой российскими авторами применительно к береговой зоне, и даже в переводах названий типов берегов из системы ESI, притом что геоморфология морских берегов — давно сформировавшееся научное направление, изучающее строение, условия формирования и современную динамику береговой зоны моря [6, 7, 17].

Чтобы подчеркнуть значение геоморфологии берега при оценке его экологической чувствительности, следует обратиться к оригинальной методике, основные принципы которой остаются неизменными на протяжении многих лет [21]. Приведем наиболее важные из них на наш взгляд:

- карты чувствительности предназначены для отображения необходимой экологической информации, на основе которой может быть принято решение относительно приоритетов при ликвидации разливов нефти и соответствующих способов очистки;
- чувствительность морских берегов к нефтяному загрязнению включает в себя три основных составляющих — геоморфологическую, биологическую и антропогенную (социально-экономическую);
- геоморфологические условия (тип береговой линии и пр.) предполагают ранжирование в порядке возрастания чувствительности, как правило, по шкале от 1 до 10; при этом учитывается биологическая составляющая, непосредственно связанная с особенностями рельефа (например, марши, болота, мангровые заросли и пр.);
- другие биологические и социально-экономические компоненты отображаются в виде внемасштабных условных знаков (точек, полигонов и пр.) без указания значений чувствительности; их чувствительность может изменяться в широких пределах в зависимости от сезона и других факторов.

В соответствии с этими основными принципами на картах чувствительности не указываются:

- комплексная чувствительность, например геоморфологическая + биологическая + социально-экономическая (это остается прерогати-

вой пользователя, имеющего возможность отдельно оценить чувствительность каждого компонента и определить наиболее подходящие меры реагирования в конкретном случае);

- различная чувствительность однотипных участков берега, несмотря на возможность ее увеличения при сочетании с другими компонентами, особенно биологическими и социально-экономическими.

Следует отметить, что был предпринят ряд попыток определить комплексную чувствительность. Их итогами стали чрезмерное усложнение карт и неудобство их использования при ликвидации аварийных разливов. Кроме того, эти случаи показали, что, несмотря на усложнение систем, конечный результат систематизации часто сводится к объединению выделенных групп и выделению всего нескольких основных категорий.

На сегодняшний день в международной системе ESI [24, 26] насчитывается 10 основных уровней/индексов — от 1 (низкая чувствительность) до 10 (высокая чувствительность). С учетом множества региональных различий, отдельные уровни включают несколько типов берегов, обозначаемых буквенными индексами. Всего выделено 25 типов берегов (табл. 1). Каждый из них имеет цветную кодировку согласно утвержденной цветовой шкале — от холодного цвета к теплomu в соответствии с увеличением индекса. Это обеспечивает простую и быструю идентификацию экологической чувствительности берега при картографировании и работе с геоинформационными системами (ГИС) при ликвидации аварийных разливов, позволяет выделять наиболее ранимые и более устойчивые к загрязнению участки. Последнее является ключевым моментом при планировании операций по ликвидации нефтяных загрязнений, поскольку определяет выбор приоритетов при очистке.

По мнению разработчиков данной системы, индексы экологической чувствительности достаточно многогранны и учитывают ранжирование берегов не только морей, но и озер, рек, эстуарных водоемов и охватывают ландшафты от тундровых до экваториальных. Несмотря на универсальность, предлагаемый перечень типов берегов и их чувствительности по отношению к разливам нефти требует адаптации и детализации (при необходимости) применительно к каждому конкретному

## Международная система индексов экологической чувствительности берегов (ESI)

Цветовой код	ESI	Название типа берега	
		оригинальное [26]	в переводе на русский язык
	1A	Exposed rocky shore	Открытый скалистый берег
	1B	Exposed solid man-made structures	Открытый берег с прочными техногенными сооружениями
	1C	Exposed rocky cliffs with boulder talus base	Открытые скалистые обрывы с валунно-глыбовой отмосткой
	2A	Exposed wave-cut platforms in bedrock, mud or clay	Открытые волноприбойные платформы (бенчи), выработанные в коренных породах, глинистых и илистых отложениях
	2B	Exposed scarps and steep slopes in clay	Открытые уступы и крутые склоны в глинистых отложениях
	3A	Fine- to medium-grained sand beaches	Пляжи, сложенные мелко- и среднезернистым песком
	3B	Scarps and steep slopes in sand	Уступы и крутые склоны в песчаных отложениях
	4	Coarse grained sand beaches	Пляжи, сложенные крупнозернистым песком
	5	Mixed sand and gravel beaches	Пляжи, сложенные смешанными песчано-гравийными отложениями
	6A	Gravel beaches (granules and pebbles)	Галечные пляжи (гравий и галька)
	6B	Riprap structures and gravel beaches (cobbles and boulders)	Искусственные каменные наброски и галечные пляжи (глыбы и валуны)
	7	Exposed tidal flats (large sandy areas often covered at high tide)	Открытые приливные отмели (большие песчаные площади, часто затопляемые при высоких приливах)
	8A	Sheltered scarps in bedrock, mud or clay and sheltered rocky shores	Защищенные уступы в коренных породах, глинистых и илистых отложениях и защищенные скалистые берега
	8B	Sheltered solid man-made structures (permeable)	Защищенные прочные техногенные сооружения (проницаемые)
	8C	Sheltered riprap	Защищенные искусственные каменные наброски
	8D	Sheltered rocky rubble shores	Защищенные скалистые крупнообломочные берега
	8E	Peat shorelines	Торфяные берега
	9A	Sheltered tidal flats	Защищенные приливные отмели
	9B	Vegetated low banks	Покрытые растительностью банки
	9C	Hypersaline tidal flats	Гипергалинные приливные отмели
	10A	Salt and brackish water marshes	Соленые и опресненные марши
	10B	Freshwater marshes	Пресноводные марши
	10C	Swamps	Болота
	10D	Mangroves	Мангровые заросли
	10C	Inundated low-lying tundras	Пойменные (затапливаемые) низинные тундры

региону, особенно арктическому. Это обусловлено спецификой природных условий, разнообразием морфологических и динамических обстановок, неодинаковой изученностью отдельных береговых районов, различными масштабами картографирования и другими факторами. При этом типизация морских берегов по какому-либо одному признаку не способна отразить все особенности их современного развития и экологической чувствительности. Поэтому в основу ранжирования согласно методике [26] были положены три основных фактора. Их сопоставление с критериями геоморфологического районирования представлено в табл. 2.

Как отмечалось выше, авторы оригинальной идеи использования системы ESI [22] не рекомендуют применять комплексную оценку — объединять биологическую, социально-экономическую и геоморфологическую составляющие в одном индексе чувствительности. При принятии решений важно иметь представление об относительной

чувствительности каждого из компонентов экосистемы, чтобы определить соответствующие меры реагирования для конкретных времени и места. Учитывая это, в данной статье мы сознательно не рассматриваем биологическую составляющую, безусловно важнейшую с точки зрения охраны природы, и социально-экономические аспекты, имеющие крайне ограниченное распространение на берегах Карского моря. Оценка этих факторов должна выполняться профильными специалистами и учитываться отдельно от геолого-геоморфологических условий. Для этих целей рекомендуется разрабатывать тематические карты или использовать предложенную американскими специалистами систему точечных (внемасштабных) условных знаков, охватывающих важные экосистемные компоненты. На берегах морей к таким ценным и уязвимым компонентам относятся редкие биоценозы, места гнездования птиц, стоянки мигрирующих животных, места нагула и нереста рыб и пр. [3].

В настоящей работе рассматриваются только базовые критерии районирования берегов по их чувствительности к загрязнению нефтью и нефтепродуктами, а именно геолого-геоморфологические и гидродинамические условия функционирования береговых систем. Мы считываем, что это позволит не только установить связь чувствительности берегов Карского моря к разливам нефти с их литологией, морфологией и динамикой, но и связать экологическую типизацию и традиционное для морских геоморфологических исследований районирование.

Практическая значимость такого подхода заключается еще и в том, что геоморфологический анализ способен отчасти скомпенсировать недостаток информации о берегах труднодоступных районов арктических морей. Опыт реализации подобных проектов показал, что принятая в качестве базового метода исследования и сбора данных специализированная аэрофото- и видеосъемка береговой линии с использованием легкой авиации не способна пол-

**Основные критерии типизации морских берегов по экологическому (в соответствии с системой ESI) и геоморфологическому принципам**

Критерии для экологической типизации по ESI (перевод с англ.)	Критерии для геоморфологической типизации
Особенности береговой линии (гранулометрический состав отложений, профиль береговой зоны), определяющие возможность проникновения и/или захоронения нефти и нефтепродуктов на берегу и их перемещения	Геолого-геоморфологическое строение береговой зоны (профиль берега, литологическое строение и др.) и геокриологические условия (для арктических морей)
Воздействие волнения и приливной энергии, определяющее время естественной устойчивости (сохранности) нефти на берегу	Гидродинамические условия и факторы морфолитодинамики (волнение, приливы, морские льды и пр.)
Общая биологическая продуктивность и чувствительность берега, социально-экономические аспекты	Характер береговых процессов (абразия, аккумуляция)

ностью удовлетворить требования к полноте и детальности исходной информации. В частности, одним из недостатков такого подхода является весьма приблизительная оценка гранулометрического состава наносов, слагающих берег. Другим обстоятельством, осложняющим прогнозную оценку взаимодействия нефти с берегом, выступает низкая информативность фотоматериалов в отношении динамики наносов в береговой зоне, скорости отступления береговых уступов, мощности пляжевых отложений, геокриологических условий, глубины сезонного оттаивания, развития специфических береговых процессов, рельефа подводного склона и пр. Без комплексной геолого-геоморфологической оценки первичного материала и проведения полевых «заверочных» исследований на ключевых участках невозможно оценить все факторы устойчивости берега к загрязнению или его способности к самоочищению. Так, широко распространенный на берегах арктических морей процесс термоабразии практически никак не учитывается международной системой индексов. А ведь широко известно, что благодаря разрушению многолетнемерзлых пород, слагающих берег, скорость отступления береговых уступов может достигать первых метров — десятков метров в течение одного штормового сезона. Соответственно будет меняться и профиль береговой зоны, смещаться линия заплеска, будут интенсивно перерабатываться и замещаться пляжевые отложения, а вместе с ними и возможное загрязнение — нефть и нефтепродукты.

Основанный на представлениях о геоморфологии береговой зоны, предлагаемый морфодинамический подход не противоречит принципам международной системы индексов чувствительности, а является ее более широким аналогом, который может и должен быть положен в основу экологической типизации морских берегов. По нашему мнению, оценка экологической чувствитель-

ности берега, выполненная с учетом геоморфологических факторов, является более полной и достоверной, чем упрощенная типизация по отдельным критериям ранжирования в соответствии с методикой ИМО/ИРЕСА/OGP [26].

Результаты геоморфологического районирования наиболее часто представляют в виде морфодинамической классификации берегов, хорошо зарекомендовавшей себя при литодинамических исследованиях и мониторинге. Тип берега при этом является обобщенной морфолитодинамической характеристикой береговой зоны, отражающей совокупность общих морфологических и динамических характеристик конкретного отрезка берега, учитывающей проявления и деятельность не только волновых процессов, но и других факторов — гидродинамических, геологических, геокриологических, флювиальных, которые определяют характер берега не в меньшей степени, чем волнение, или же оттесняют его влияние на второй план. Кроме того, данная характеристика отражает современное состояние береговой системы и во многом указывает на тенденции дальнейшего развития — аккумуляцию или размыв. Это позволяет учитывать особенности перемещения и аккумуляции наносов, необходимые для понимания характера распространения нефтепродуктов в береговой зоне, определения зон возможного накопления нефти и времени ее удержания на берегу.

Геоморфологическое районирование позволяет расширить область применения карт чувствительности и использовать их в качестве базовых для дальнейших исследований. В отдельных случаях возможна интерпретация индексов экологической чувствительности для участков, по которым отсутствуют данные специализированных аэрофото- и видеосъемок береговой линии, но есть представление о морфологии и динамике берегов (имеются соответствующие карты, схемы, литературные и фондовые данные).

Важно подчеркнуть, что в ходе присвоения индексов экологической чувствительности рекомендуется [3] применять так называемый принцип предосторожности: при недостатке объективной информации для оценки в процессе районирования и картографирования решение следует принимать «в пользу объекта». Другими словами, при оценке чувствительности или восстановительной способности берега соответствующий индекс должен приниматься более высоким, чтобы в случае разлива нефти и нефтепродуктов негативные последствия оказались меньше ожидаемых.

Еще один немаловажный аспект работы с картами чувствительности сформулирован как принцип корректного масштабирования [3]. Этот принцип ограничивает возможность использования фрагментов карт мелкого масштаба с последующим их укрупнением. Это обусловлено степенью генерализации береговых сегментов в выбранном масштабе и характером самих исходных данных, в качестве которых, как уже отмечалось, международная методика предполагает использование специализированных аэрофото- и видеосъемок берегов с применением легкой авиации и профессионального оборудования, смонтированного на борту воздушного судна. Для каждого масштаба рекомендуется строить отдельные карты соответствующей детальности, используя доступные данные полевых исследований, геолого-геоморфологических съемок и пр.

**Берега Карского моря**

Важнейшими факторами, определяющими восприимчивость береговой зоны к загрязнению, являются геологическое строение берегов и состав отложений приурезовой (пляжевой) зоны. На берегах Карского моря традиционно выделяют две основные группы берегов — сложенных прочными коренными породами и осадочными четвертичными отложениями (табл. 3). При

**Морфодинамические типы берегов Карского моря (при районировании и картографировании в масштабе 1:200 000)**

Группа	Тип	Число участков	Протяженность, км
Берега, сложенные прочными коренными породами	абразионные и абразионно-денудационные, выработанные в скальных породах	1 690	8 326,9
	термоденудационные, образованные выводными ледниками	38	576,4
Берега, сложенные рыхлыми четвертичными осадочными отложениями (включая многолетнемерзлые)	абразионные с термоабразионным или абразионно-термоденудационным береговым уступом	425	2 364,8
	абразионные с отмершим или отмирающим береговым уступом, окаймленным аккумулятивной террасой	158	541,5
	термоденудационные (в заливах, проливах и губах)	1 227	4 600,6
	аккумулятивные выровненные с примкнувшей аккумулятивной террасой и приливной осушкой (включая приустьевые аккумулятивные формы — косы, бары)	1 301	4 019,9
	аккумулятивные отмельные, лагунно-бухтовые и дельтовые (включая лайды и вагты)	1 491	5 709,6
Всего		-	26 139,7

этом прибрежные отложения практически повсеместно находятся в многолетнемерзлом состоянии.

*Абразионные и абразионно-денудационные берега, выработанные в скальных породах*, имеют высокую прочность береговых уступов, что не способствует выравниванию контура береговой линии под воздействием волнения. Скорость отступления таких берегов не превышает первых сантиметров в год. Поэтому они приурочены к районам с расчлененным контуром береговой линии — для них характерны фиордовые, шхерные и иные обусловленные тектоникой черты исходного расчленения, когда абразионные участки на мысах и открытых для волнения отрезках чередуются с областями аккумуляции в вершинах бухт и заливов.

Морфологический облик абразионных и абразионно-денудационных берегов весьма разнообразен и во многом определяется морфоструктурными особенностями побережья, литологией пород и другими факторами. Как и денудационные, эти берега могут быть представлены обрывистыми уступами высотой до 50 м и более или низкими полого наклоненными выходами коренных пород, переходящими непосредственно в поверхность выровненного или глыбового бенча. Нередко абразионные формы сочетаются с небольшими галечно-валунными и песчано-гравийными прислоненными пляжами. Среди современных факторов рельефообразования таких берегов наряду с абразией следует выделить морозное выветривание, которое в сочетании со склоновыми процессами производит основную работу по разруше-

нию береговых уступов. Формирование характерных абразионных форм рельефа (волноприбойных ниш, бенчей и пр.) отмечается на участках, подверженных наиболее интенсивному воздействию волнения и сложенных менее прочными породами.

Значительные по протяженности отрезки скальных берегов отмечаются на побережьях полуострова Таймыр, островов Вайгач, Новая Земля, Северная Земля и других островов северо-восточной части Карского моря.

Характерной особенностью архипелагов Новая Земля и Северная Земля являются *термоденудационные берега, образованные выводными ледниками*. Они приурочены к участкам выхода покровных ледников на берег и являются весьма специфичными береговыми образованиями. Их формирование и развитие протекают в значительной степени под влиянием неволновых факторов, а морфология образованных телами ледников уступов достаточно многообразна. Описание подобных участков берега затруднено в связи с немногочисленными данными их непосредственного полевого обследования. Можно лишь отметить, что независимо от мощности ледового тела в его подошве под отепляющим воздействием воды формируются глубокие ниши и гроты, а разрушение таких берегов нередко сопровождается образованием айсбергов различного масштаба. По классификации ESI скальным берегам, как и ледяным, соответствуют индексы 1А–1С. Это наименее уязвимые с эколого-геоморфологической точки зрения участки.

Широкое распространение на побережьях юго-западной части Карского

моря имеют *абразионные берега с термоабразионным или термоденудационным уступом, выработанным в рыхлых многолетнемерзлых отложениях*. Наиболее высокие уступы (до 20–40 м) формируются при разрушении более древних и высоких террасовых уровней (рис. 2). При этом на откосах развивается комплекс термоденудационных процессов — термоабразия, криогенные оползни, солифлюкция, термокарст и пр. В результате значительные массы пород перемещаются к подножиям склонов, где сначала образуются подсклоновые шлейфы, а в периоды штормов этот материал удаляется волнами и течениями. В береговых уступах нередко вскрываются мощные пластовые льды, формируются крупные термоцирки. За счет вытаивания ледяных залежей и обрушения перекрывающих их отложений процесс термоденудационного разрушения берегов затрагивает значительные площади и проникает на десятки метров вглубь суши. Средняя скорость отступления термоабразионных берегов определяется целым рядом факторов и изменяется в широких пределах — от 0,5 до 2–4 м/год и более [4, 5]. Вместе с уступом размыву подвергается и подводный склон, что изменяет морфологию берега в целом. Разрушение берегов продолжается и при небольших уклонах подводного склона, что объясняется невыработанностью профиля динамического равновесия [7].

При экологической оценке берегов этого типа применяются ESI 2А и 3В, указывающие на невысокую чувствительность. Это обусловлено составом пляжевых отложений и гидродинамическими условиями, не способствующими

щими глубокому проникновению и аккумуляции нефтепродуктов. Исключением составляют берега, сложенные торфом, к которым применяется индекс 8Е. Такие сегменты требуют повышенного внимания при экологической оценке, так как их загрязнение нефтепродуктами способно приводить к серьезному ущербу прибрежным экосистемам.

Затухание абразионных процессов при расширении осушки приводит к формированию *абразионных берегов с отмершим или отмирающим береговым уступом, окаймленным аккумулятивной террасой*. У подножия отмирающего клифа формируются песчаные и песчано-галечно-валунные пляжи, которые в сочетании с осушкой шириной до нескольких сотен метров блокируют воздействие волнения непосредственно на береговой уступ. Большая часть таких уступов перекрывается склоновыми отложениями и скрепляется растительным покровом, и только внизу этот плащ несет следы эпизодического подрезания прибоем. Если абразия совсем прекращается и на уступе отсутствуют какие-либо следы современного размыва, он считается отмершим. Наряду с выработкой абразионного профиля равновесия смещение зоны интенсивного воздействия волнения в ряде случаев происходит вследствие относительных вертикальных движений суши. Воздымание берегов особенно ярко проявляется на скалистых участках, где древние береговые уступы отделяются от моря прикнущшими аккумулятивными формами. В классификации ESI в зависимости от состава пляжевых отложений для таких берегов применяют индексы 3А, 5 и 6А.

В заливах, проливах и губах выделяются *абразионно-денудационные и термоденудационные берега*. В отличие от открытых побережий воздействие волнения ограничено. Как следствие, эти берега будут характеризоваться лучшей сохранностью нефти и нефтепродуктов в случае загрязнения. Характерными признаками таких берегов являются отсутствие широких пляжей (при весьма значительных по ширине осушках), невыработанность профиля подводного берегового склона, отсутствие ярких признаков абразии на береговых уступах и плохая сортировка наносов на подводном склоне (сочетание различных по крупности отложений). Нередко эти берега чередуются с участками аккумуляции в приустьевых областях и вершинах бухт и заливов, а



**Рис. 1. Абразионно-денудационные берега островов пролива Карские Ворота (у северо-западной оконечности острова Вайгач), выработанные в коренных породах**

также с протяженными участками берегов с отмершими или отмирающими клифами. При этом переходы между отдельными участками плавные, нечеткие — и при картографировании в мелком масштабе неизбежна генерализация близких по своему облику и динамике отрезков берега. В классификации ESI для этих берегов используются индексы 8А–8Е.

*Аккумулятивные выровненные берега с прикнущей аккумулятивной террасой и приливной осушкой* приурочены к источникам наносов — приустьевым областям крупных и средних рек и дистальным оконечностям литодинамических систем с устойчивым вдольбереговым транспортом наносов с абразионных участков. В отличие от рассмотренных ниже отмельных бухтовых и дельтовых типов, выровненные берега выделяются на открытых возвышенностях к воздействию волнения побережьях. Аккумулятивные участки характеризуются выровненным контуром береговой линии и состоят из пляжа полного профиля шириной до 30–50 м и более и песчаной осушки шириной в среднем до 100 м. При оценке экологической чувствительности для таких берегов применяют индексы 3А, 5, 6А аналогично оценкам открытых абразионных берегов с отмершим или отмирающим береговым уступом, окаймленным аккумулятивной террасой. Это обусловлено близкими по составу наносов аккумулятивными формами, формирующими берег, и схожими гидродинамическими условиями развития.

*Аккумулятивные отмельные, лагунно-бухтовые и дельтовые берега (включая*

*лайды)* выделяются на участках с ограниченным влиянием волнения, а их развитие происходит преимущественно под воздействием неволновых факторов — приливо-отливных явлений, флювиальных процессов и пр. Осушки на этих отмельных берегах не только представляют собой пологонаклонные образования из тонкозернистого материала, пассивно затопляемые приливами и осушаемые при отливах, но и являются результатами седиментационных процессов на их поверхности [15]. Такие берега наиболее уязвимы — по классификации ESI им соответствуют индексы 9А–10А. Это обусловлено возможностью длительного удержания нефтепродуктов в заиленных гидродинамических условиях, проницаемостью отложений и высоким биоразнообразием таких участков.

Предложенная морфодинамическая типизация может быть признана универсальной для исследуемого района, поскольку использование весьма емких наименований типов берегов допускает многочисленные вариации содержания каждого из них, столь необходимые при районировании и картографировании таких сложных объектов в выбранном масштабе. Важно подчеркнуть, что при изменении масштаба картографирования классификация берегов может быть расширена.

Следует также заметить, что переходы между отдельными типами берега часто неуловимы и различия обнаруживаются лишь при сопоставлении участков, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. Резкие границы между сопряженными берегами



**Рис. 2. Абразионный берег с термоцирками и термоабразионным уступом высотой до 30 м, выработанным в многолетнемерзлых верхнелейстоценовых отложениях III террасы на западном берегу полуострова Ямал (в районе метеостанции «Марре-Сале»)**



**Рис. 3. Абразионный берег с отмирающим береговым уступом, окаймленный аккумулятивной террасой (западное побережье полуострова Ямал)**

разного типа, как правило, совпадают с тектоническими разломами, ориентированными под углом к береговой линии и разделяющими блоки фундамента с различной интенсивностью неотектонических движений. Зачастую зона контакта бывает подчеркнута элементами гидросети и/или разновысотным расположением кровли коренных пород. Устья рек, равно как и выдающиеся в море мысы, нередко разделяют области с различными литодинамическими условиями, а соответственно, и с различными типами берега.

Распространение отдельных типов берегов в исследуемом районе весьма неравномерно, что подчеркивает замет-

ные различия морфоструктурного, геологического и геоморфологического строения побережий, характера расчленения береговой линии.

На архипелаге Новая Земля, острове Вайгач, в северо-восточной части Югорского полуострова севернее устья реки Кара и на побережье полуострова Таймыр преобладают абразионные и абразионно-денудационные берега, выработанные в прочных коренных породах.

На побережье Югорского полуострова южнее поселка Амдерма, на западном и северном побережьях полуострова Ямал преобладают открытые берега с термоабразионным или абра-

зионно-термоденудационным береговым уступом, чередующиеся с протяженными участками выровненных и отмелых аккумулятивных берегов с примкнувшими аккумулятивными формами и лагунно-бухтовых берегов (о. Торасавей, о. Левдиев, о-ва Шароповы Кошки и др.), обширные пространства занимают морские лайды, которые широко распространены в кутовой части Байдарацкой губы и в других мелководных заливах.

На побережьях полуостровов Тазовский и Гыдан, на северо-западном берегу Енисейского залива и к западу от Пясинской губы на открытых участках преобладают термоабразионные берега, в губах и заливах — защищенные абразионно-денудационные и термоденудационные берега, а также обширные пространства неволновой аккумуляции.

Особенностью берегов Новой Земли и Северной Земли является распространение в береговой зоне выводных ледников, образующих ледяные термоденудационные уступы.

Множество островов Карского моря сложено коренными скальными породами, для них характерны берега абразионного и абразионно-денудационного типов. Намывные острова, сложенные рыхлыми четвертичными отложениями, подвергаются абразионным и термоабразионным процессам, аккумулятивные участки имеют подчиненное значение.

Анализ показал, что в районе исследований по протяженности преобладают абразионные берега (абразионно-денудационные, термоабразионные и термоденудационные) (см. табл. 3). Аккумулятивные участки в совокупности занимают менее 40% длины береговой линии Карского моря.

#### **Эколого-геоморфологическая чувствительность берегов Карского моря к разливам нефти**

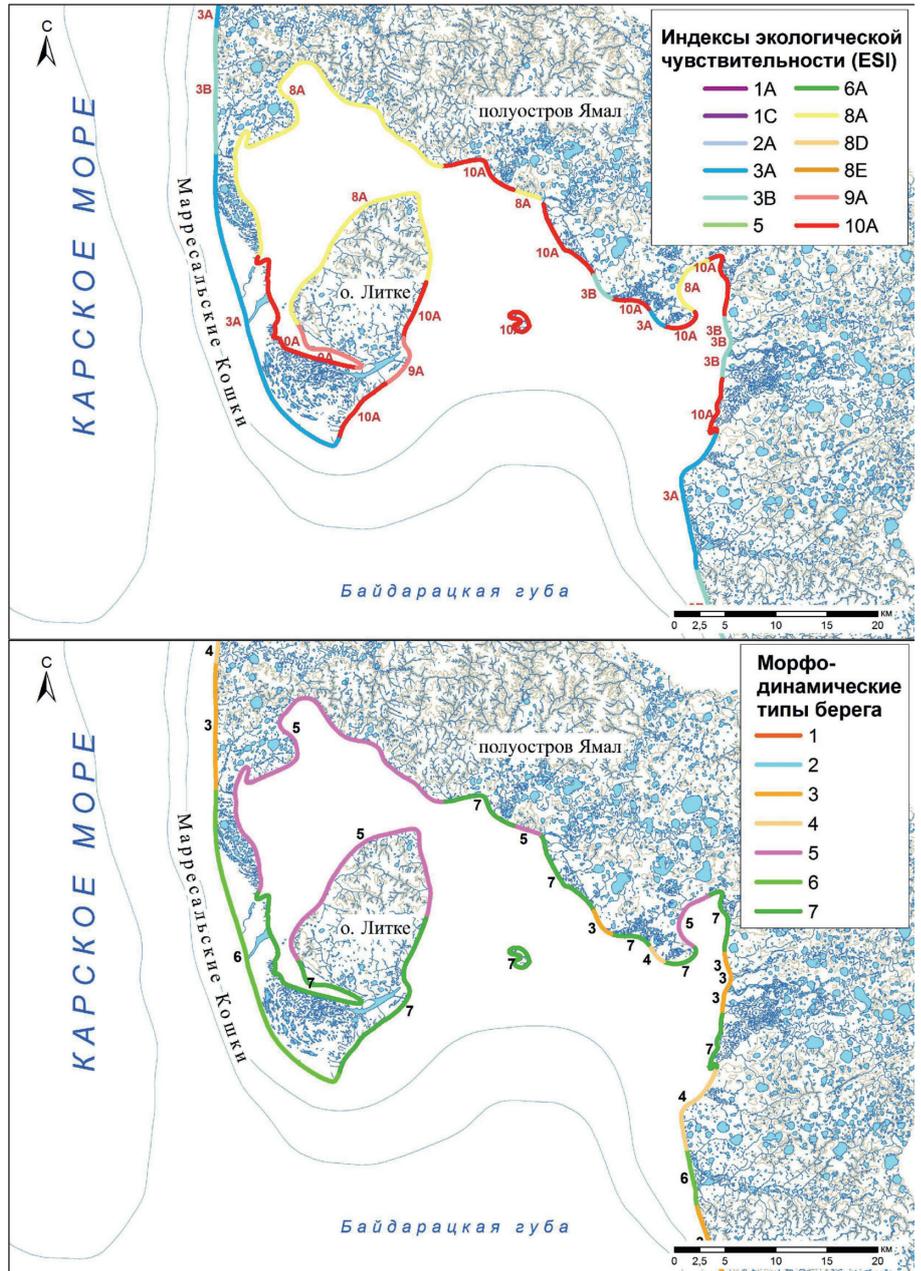
Представленный эколого-геоморфологический подход был применен нами при создании серии карт экологической чувствительности берегов Карского моря к разливам нефти и нефтепродуктов. Типы аварийных ситуаций, модели распространения (дрейфа, растекания и пр.), возможные способы ликвидации разливов и варианты физико-химического и механического взаимодействия нефтепродуктов с осадками на арктических побережьях были приняты в соответствии с руководством [16] и монографией [18]. В качестве основного источника информации о бе-

регах использовались обширные фото- и видеоматериалы специализированных съемок береговой линии, выполненных ООО «Арктический Научный Центр» в 2013 и 2014 гг. В сочетании с космическими снимками, материалами многолетних полевых исследований на берегах Югорского полуострова и полуострова Ямал, а также литературными [13–15, 23 и др.] и фондовыми данными они позволили достаточно полно охарактеризовать берега Карского моря по морфодинамическому и экологическому принципам в масштабе 1:200 000 (рис. 4). Ввиду сложности самого объекта и выбранного масштаба картографирования не удалось исключить некоторых обобщений, но все они были выполнены в соответствии с рекомендованными принципами предосторожности в пользу объекта.

Экологическая чувствительность к разливам нефти и нефтепродуктов определялась на основе экспертной оценки основных критериев ранжирования согласно международной методике и включала анализ геоморфологических, гидродинамических, геологических и геокриологических условий каждого сегмента берега, а также анализ литодинамических особенностей развития участка. Учитывались особенности взаимодействия нефти с различными субстратами, установленные экспериментальным путем [16, 18], возможность естественного захоронения нефти и перемещения грунта, предполагаемые способы устранения загрязнения. При этом не принимались в расчет природоохранный статус того или иного берега, биологическая составляющая и удаленность от основных объектов инфраструктуры.

В качестве основы для типизации на первом этапе использовалось морфодинамическое районирование, которое в соответствии с подходами международной системы ESI дополнительно учитывало открытость побережья для воздействия волнения и литологию пород, слагающих береговую зону. Более детальный анализ проводился в рамках отдельных литодинамических систем или отрезков берега, обладающих схожими показателями морфологии и литологии. С учетом сочетания рассмотренных выше факторов каждому участку присваивался индекс чувствительности к нефтяному загрязнению в соответствии с системой ESI.

Всего в пределах обследованной части Карского моря было выделено 12 типов берегов с различными индексами экологической чувствительности.



**Рис. 4. Фрагменты карты-схемы районирования берегов юго-западной части Карского моря по экологическому и морфодинамическому принципам масштаба 1:200 000. Условные обозначения приняты в соответствии с табл. 4**

С целью адаптации оригинальных названий международной системы индексов к региональным условиям при разработке легенды экологических типов берегов (в соответствии с методикой ESI) в наименования вносились небольшие изменения, которые можно считать минимальными. Этого удалось добиться за счет «увеличения емкости» отдельных понятий и генерализации типов берегов, близких по характеру предполагаемого взаимодействия с нефтью и нефтепродуктами. Именно с этих позиций была принята предложенная зарубежными коллегами градация крупности пляжевых отложений в наименованиях берегов, соответствующая индексам ESI. В будущем это позволит

провести единую типизацию берегов всех морей Северного Ледовитого океана, отвечающую международным стандартам.

Выделенные морфодинамические и экологические типы берегов Карского моря приведены в сводной табл. 4, иллюстрирующей комплексность подхода к районированию и разнообразие природных условий. Сопоставительный анализ показал, что одни и те же экологические типы берегов могут быть выделены на различных в динамическом отношении участках. Например, пляжи, сложенные различными по крупности песчаными и гравийно-галечными отложениями, встречаются как на аккумулятивных, так и

**Сводные результаты типизации берегов Карского моря (при районировании и картографировании в масштабе 1:200 000)**

Морфодинамический тип берегов	Экологический тип берегов	
	Наименование в переводе с англ.	ESI
Открытые абразионные и абразионно-денудационные, выработанные в скальных породах	Открытые скалистые	1A
	Открытые с прочными техногенными сооружениями*	1B
	Открытые скалистые обрывистые с валунно-глыбовой отмосткой	1C
Термоденудационные, образованные выводными ледниками	Открытые ледовые	1A
Открытые абразионные с термоабразионным или абразионно-термоденудационным береговым уступом, выработанные в рыхлых (многолетнемерзлых) отложениях	Открытые волноприбойные платформы (бенчи), выработанные в коренных породах, глинистых и илистых отложениях	2A
	Уступы и крутые склоны в песчаных отложениях	3B
	Торфяные**	8E
Открытые абразионные с отмершим или отмирающим береговым уступом, выработанные в рыхлых (многолетнемерзлых) отложениях и окаймленные аккумулятивной террасой	Пляжи, сложенные мелко- и среднезернистым песком	3A
	Пляжи, сложенные смешанными песчано-гравийными отложениями	5
	Галечные пляжи (гравийные и галечные)	6A
Защищенные абразионно-денудационные*** и термоденудационные (в заливах, проливах и губах), выработанные в рыхлых (многолетнемерзлых) отложениях	Защищенные уступы в коренных породах, глинистых и илистых отложениях и защищенные скалистые берега	8A
	Защищенные скалистые крупнообломочные***	8D
	Торфяные**	8E
Аккумулятивные выровненные с примкнувшей аккумулятивной террасой и приливной осушкой (включая приустьевые аккумулятивные формы)	Пляжи, сложенные мелко- и среднезернистым песком	3A
	Пляжи, сложенные смешанными песчано-гравийными отложениями	5
	Галечные пляжи (гравийные и галечные)	6A
Аккумулятивные отмели, лагунно-бухтовые и дельтовые	Защищенные приливные отмели (осушки)	9A
	Соленые и опресненные марши (лайды)	10A

\* Техногенные берега имеют ограниченное распространение и незначительную протяженность в районе исследований и в данном масштабе картирования не учитывались.  
 \*\* Относятся преимущественно к термоденудационному типу берега.  
 \*\*\* Преимущественно в области распространения прочных коренных пород.

на абразионных участках с отмершим или отмирающим береговым уступом. Это свидетельствует об одинаковом уровне их экологической чувствительности. С другой стороны, динамическому типу могут соответствовать берега с различными индексами экологической чувствительности, что в значительной степени определяется литологией отложений. Тем не менее соответствие отдельных динамических и экологических типов берегов позволяет использовать сводную классификацию в целях интерпретации экологической чувствительности малоизученных побережий. При отсутствии достаточной информации или наличии вариантов возможного выбора берегу на основе принципа предосторожности должен присваиваться наибольший из соответствующих ESI. Это позволит избежать недооценки его чувствительности или восстановительной способности его экосистемы в случае загрязнения.

Протяженность берегов с различной экологической чувствительностью на исследованных побережьях Карского

моря различна (табл. 5, рис. 5). Наиболее чувствительные к нефтяному загрязнению защищенные аккумулятивные отмели, лагунно-бухтовые и дельтовые берега с обширными приливными осушками и лайдами (9A, 10A) занимают более 2 300 км — около 22% общей длины исследованной береговой линии. Они выделяются в южной и юго-западной частях Карского моря. Примерно столько же занимают и наименее чувствительные абразионные и абразионно-денудационные скалистые берега (1A, 1C), характерные для северо-восточного побережья Югорского полуострова, побережий полуострова Таймыр, островов Вайгач, Новая Земля и менее крупных островов, — около 2 200 км (20%). Абразионные и аккумулятивные берега, а также берега с отмершими или отмирающими клифами, сложенные рыхлыми отложениями различного состава, в совокупности образуют большую часть береговой линии Карского моря (свыше 6 000 км) и характеризуются умеренной восприимчивостью к нефтяным разливам.

**Актуальность создания карт экологической чувствительности арктических берегов**

Арктические берега, сложенные мерзлыми дисперсными породами, отличаются от берегов незамерзающих морей рядом особенностей. Расположенные в высоких широтах, они развиваются в короткий динамически активный (безледный) период года, который в 5–10 раз короче, чем для морей умеренных широт. В зимние месяцы льды и мерзлый субстрат береговой зоны блокируют развитие большинства рельефообразующих процессов, снижается проницаемость отложений для нефтепродуктов. Соответственно, от сезона к сезону характер взаимодействия субстрата с нефтью меняется.

Берега, покрытые припайным льдом в течение 6–9 месяцев в году, практически нечувствительны к нефтяным разливам на акватории и малочувствительны к разливам непосредственно на береговых участках, где припай соприкасается (смерзается) с дном, оставаясь неподвижным в течение всего ледостава. Оттаивание отложений верхней части под-

водного склона и пляжа (а соответственно, и способность к накоплению нефтепродуктов на берегах арктических морей) происходит только в короткий безледный период года. Тогда же возможно и распространение нефти в береговой зоне, ее непосредственный контакт с берегом. Это время в регионе Карского моря наступает в июне — июле и продолжается вплоть до середины октября — ноября (в зависимости от местных условий). В летний период происходит интенсивный теплообмен многолетнемерзлых пород с атмосферой и гидросферой — оттаивает деятельный слой и активизируются экзогенные геологические процессы. Именно в это время морские берега становятся чувствительными с экологической точки зрения к вероятным разливам нефтепродуктов, тогда же наиболее активно развиваются и морфодинамические береговые процессы.

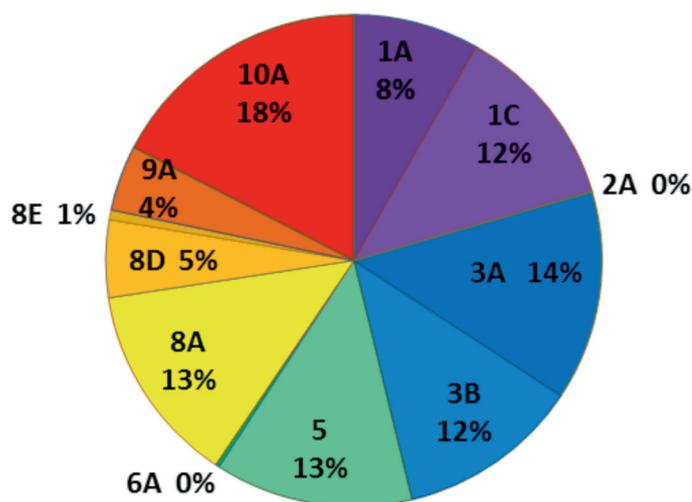
Таким образом, представленные результаты экологической типизации арктических берегов будут актуальны исключительно для короткого безледного периода года с максимальными глубинами сезонного оттаивания прибрежных отложений. Это следует учитывать при разработке планов ликвидации разливов нефти, вероятность возникновения которых не ограничивается теплым периодом года.

### Заключение

Геоморфологическое районирование берегов Карского моря и оценка их экологической чувствительности к разливам нефти в соответствии с системой ESI наряду с решением поставленных задач продемонстрировали возможность применения комплексного подхода при разработке карт чувствительности берегов. Необходимы учет специфических природных (геокриологических, литодинамических, ледовых и пр.) условий развития береговой зоны и адаптация международной системы индексов к берегам арктических морей. Но в целом использованный в данной работе эколого-геоморфологический подход не противоречит принципам оригинальной методики [26] и позволяет учитывать как гранулометрический состав береговых отложений и влияние волнения, так и особенности динамики вещества в береговой зоне, направленность береговых процессов, морфологию берега и пр. Это повышает достоверность экспертных оценок чувствительности и прогноза восстановительной способности берега, но не заменяет проведение рекомендованных полевых «заверочных» исследований на ключевых участках. Для арктических

**Протяженность берегов Карского моря с различными индексами экологической чувствительности (ESI)**

ESI	Число участков	Общая протяженность	
		км	%
1A	551	897,30	3,43
1C	609	1 330,83	5,09
2A	2	2,63	0,01
3A	254	1 501,46	5,74
3B	276	1 304,41	4,98
5	760	1 403,83	5,37
6A	23	30,16	0,12
8A	394	1 432,67	5,48
8D	198	555,13	2,12
8E	28	70,16	0,27
9A	195	470,54	1,80
10A	454	1 891,95	7,23
Нет данных	1 358	15 273,69	58,36
Всего		26 164,79	-



**Рис. 5. Процентное соотношение протяженности берегов с различными индексами экологической чувствительности (ESI) в пределах изученной части побережья Карского моря**

берегов последнее обстоятельство имеет особое значение, поскольку позволяет точнее определять участки, требующие первоочередной защиты от загрязнения.

Классификацию берегов Карского моря на основе выполненной геоморфологической типизации можно считать универсальной для исследованного района. С небольшими изменениями такая экологическая типизация может применяться и при оценке чувствительности к нефтяному загрязнению берегов других арктических морей. Подчеркнем, что она актуальна для сравнительно короткого безледного периода года с максимальными глубинами сезонного оттаивания прибрежных отложений (июль — октябрь), когда возможен непосредственный контакт

нефтяного разлива с берегом, его распространение и накопление в береговой зоне (блокированной припайными льдами в остальное время года).

В заключение следует заметить, что районирование и картографирование берегов в соответствии с индексом экологической чувствительности и разработка планов ликвидации нефтяных разливов являются лишь первыми шагами к обеспечению экологической безопасности арктических побережий. Не меньшее значение имеют и скорость оповещения, своевременное реагирование на разливы и применение наиболее эффективных технологий их ликвидации в условиях Крайнего Севера, где проведение любых мероприятий связано с рядом серьезных ограничений. ☞

## Список литературы

1. Блиновская Я.Ю. Информационное обеспечение экологической безопасности при разработке нефтяных месторождений на шельфе. Владивосток: Изд-во Морского государственного университета, 2006. 232 с.
2. Блиновская Я.Ю. Методы комплексной оценки экологической чувствительности прибрежно-морских зон к нефтяному загрязнению (на примере юга Дальнего Востока): автореф. дис. ... док. тех. наук. М., 2010. 44 с.
3. Блиновская Я.Ю., Гаврило М.В., Дмитриев Н.В., Погребов В.Б., Пузаченко А.Ю., Усенков С.М., Книжников А.Ю., Пухова М.А., Шилин М.Б., Семанов Г.Н. Методические подходы к созданию карт экологически уязвимых зон и районов приоритетной защиты акваторий и берегов Российской Федерации от разливов нефти и нефтепродуктов. Владивосток — Москва — Мурманск — Санкт-Петербург: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2012. 60 с.
4. Васильев А.А., Стрелецкая И.Д., Черкашев Г.А., Ванштейн Б.Г. Динамика берегов Карского моря // Криосфера Земли. 2006. Т. 10. № 2. С. 56–67.
5. Васильев А.А., Широков Р.С., Облогов Г.Е., Стрелецкая И.Д. Динамика морских берегов Западного Ямала // Криосфера Земли. 2011. Т. 15. № 4. С. 72–75.
6. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
7. Леонтьев О.К., Никифоров Л.Г., Сафьянов Г.А. Геоморфология морских берегов. М.: Изд-во МГУ, 1975. 336 с.
8. Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир, 2013. 432 с.
9. Новиков М.А. Интегрированная оценка эколого-рыбохозяйственной уязвимости морских акваторий: от теории к практике. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2013. 124 с.
10. Новиков М.А. Методология интегрированной оценки экологической уязвимости и рыбохозяйственной ценности морских акваторий (на примере Баренцева и Белого морей). Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2006. 250 с.
11. Погребов В.Б. Интегральная оценка экологической чувствительности биоресурсов береговой зоны к антропогенным воздействиям // Основные концепции современного берегопользования: монография. СПб.: Изд-во РГГМУ. 2010. Т. 2. С. 43–85.
12. Погребов В.Б., Пузаченко А.Ю. Интегральная чувствительность морских экосистем к нефтяному загрязнению // Материалы 5-го Научного семинара «Чтения памяти К.М. Дерюгина». СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. С. 5–22.
13. Попов Б.А., Совершаев В.А., Новиков В.Н., Бирюков В.Ю., Камалов А.М., Федорова Е.В. Береговая зона морей Печорско-Карского региона // Исследование устойчивости геосистем Севера / под ред. В.И. Соломатина. М.: Изд-во Московского университета, 1988. С. 176–190.
14. Романенко Ф.А. Строение и динамика рельефа островов Карского моря // Динамика арктических побережий России. М.: Изд-во МГУ, 1998. С. 131–153.
15. Романенко Ф.А., Баранская А.В., Ермолов А.А., Кокин О.В. Низкие берега западно-арктических морей: происхождение, возраст и современная динамика // Вопросы географии. Том 140. М.: Изд-во Русского географического общества, 2015. С. 275–306.
16. Руководство по ликвидации разливов нефти на морях, озерах и реках. СПб.: Изд-во ЗАО ЦНИИМФ, 2002. 344 с.
17. Сафьянов Г.А. Геоморфология морских берегов. М.: Изд-во МГУ, 1996. 400 с.
18. Сочнев О.Я., Сочнева И.О. Экологическая безопасность систем вывоза нефти с месторождений арктического шельфа. М.: Изд-во ЦНИИТЭнефтехим, 2003. 272 с.
19. Шавыкин А.А. Методика построения карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти. Пример карт для Кольского залива // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 5. С. 113–123.
20. Шавыкин А.А., Ильин Г.В. Оценка интегральной уязвимости Баренцева моря от нефтяного загрязнения. Мурманск: Изд-во ММБИ КНЦ РАН, 2010. 110 с.
21. Environmental Sensitivity Index (ESI) experience // The Oil-Spill-Info.com website. E-Tech International Inc., 2014. URL: [http://www.oil-spill-info.com/sum\\_esi.html](http://www.oil-spill-info.com/sum_esi.html).
22. Gundlach E.R., Hayes M.O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts // Marine Technology Society Journal. 1978. № 12. P. 18–27.
23. Lantuit H., Overduin P.P., Couture N., Are F., Atkinson D., Brown J., Cherkashov G., Drozdov D., Forbes D., Graves-Gaylord A., Grigoriev M., Hubberten H.-W., Jordan J., Jorgenson T., Odegard R., Ogorodov S., Pollard W.H., Rachold V., Sedenko S., Solomon S., Steenhuisen F., Streletskaia I., Vasiliev A. The arctic coastal dynamics database: a new classification scheme and statistics on arctic permafrost coastlines // Estuaries and Coasts. 2011. V. 16. P. 1–18.
24. Petersen J., Michel J., Zengel S., White M., Lord Ch., Plank C. Environmental Sensitivity Index guidelines. Version 3.0. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 11. Seattle, Washington, 2002. 192 p. URL: [http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ESI\\_Guidelines.pdf](http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ESI_Guidelines.pdf).
25. Risks of oil and chemical pollution in the Baltic Sea: results and recommendations from the HELCOM's BRISK and BRISK-RU projects. Kaliningrad: Information office of the Nordic Council of Ministers in Kaliningrad, 2013. 29 p. URL: [http://helcom.fi/Lists/Publications/BRISK-BRISK-RU\\_SummaryPublication\\_spill\\_of\\_oil.pdf#search=BRISK](http://helcom.fi/Lists/Publications/BRISK-BRISK-RU_SummaryPublication_spill_of_oil.pdf#search=BRISK).
26. Sensitivity mapping for oil spill response. London: IMO — IPIECA — OGP, 2012. 39 p. URL: <http://www.ogp.org.uk/pubs/477.pdf>.