

АНАЛИЗ СУММАРНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ВЫГОДЫ — ИНСТРУМЕНТ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ

Г. Н. Семанов

АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота»
(Санкт-Петербург, Российская Федерация)

А. Н. Гутник

Нефтегазовая компания «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд.»
(Южно-Сахалинск, Российская Федерация)

С. Н. Зацепа, А. А. Ивченко

ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова» (Москва, Российская Федерация)

В. В. Солбаков

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН (Москва, Российская Федерация)

В. В. Становой

ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт»
(Санкт-Петербург, Российская Федерация)

А. С. Шиваев

Нефтегазовая компания «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд.»
(Южно-Сахалинск, Российская Федерация)

Описаны элементы процедуры принятия решения о применении технологий ликвидации аварийных разливов нефти в море. Приведены сведения о химических препаратах, используемых для химического диспергирования нефти и нефтепродуктов. Математическое моделирование применялось для оценки эффективности реализации различных стратегий борьбы с разливом. Инкрементальный подход к выбору сценариев распространения нефти, на основании которых принимается решение о достаточности сил и средств для реагирования при аварийных сбросах нефти и нефтепродуктов в морскую среду, был использован для обеспечения репрезентативности и консервативности оценок параметров разливов, в том числе с применением технических средств противодействия.

Ключевые слова: *риск-анализ разливов нефти, нефтяное загрязнение, технологии ликвидации, диспергенты нефти, анализ суммарной экологической выгоды (АСЭВ), оценка воздействия на окружающую среду, математическое моделирование, инкрементальный подход, залив Анива, особо охраняемые природные территории (ООПТ).*

Статья поступила в редакцию 20 июля 2016 г.

Введение

Масштабные проекты нефтегазового комплекса, усердно реализующиеся в последние годы на континентальном шельфе и особенно в арктическом регионе, заставляют обратить внимание на обеспечение экологической безопасности окружающей среды и населения. Как показывает практика, несмотря на предпринимаемые меры по обеспечению безаварийности работ, исключить риск аварии судна, платформы или подводного трубопровода с последующим разливом нефти невозможно. Обеспечение

готовности к реагированию на возможные разливы должно являться приоритетом в комплексе мероприятий по минимизации экологических рисков. Задача чрезвычайно усложняется на арктических морях, где в настоящее время разворачиваются работы по поиску и добыче нефти. На берегах и в прибрежных зонах арктических морей находится большое количество особо охраняемых природных территорий (ООПТ), загрязнение которых нефтью может быть для них катастрофическим. Для этих

районов характерны суровые природные условия, короткий, не более трех—шести месяцев, период открытой воды и полярная ночь. В случае разлива нефти ООПТ являются приоритетами в кампании по защите природной среды, и негативные последствия разлива для них должны быть минимизированы при проведении операций по ликвидации разлива [7]. Это может быть сделано только в том случае, если будут использоваться передовые технологии реагирования и применяться экологически обоснованные решения [5].

Как известно, предпочтительной технологией реагирования на разлив нефти в море обычно считается сбор нефти механическими нефтесборными устройствами (скиммерами). Реализация этой технологии требует наличия в районе проведения работ развитой береговой инфраструктуры и привлечения значительного количества оборудования, судов обеспечения и обслуживающего персонала. Но, как правило, месторождения нефти находятся в богатых биоресурсами районах с практически отсутствующей инфраструктурой. Работы по сбору нефти связаны с применением тяжелого физического труда в сложных условиях окружающей среды, а эффективность их низка.

Ограниченность средств реагирования, в первую очередь судов, значительная удаленность мест вероятных разливов нефти от морских портов, сложные гидрометеорологические условия не позволяют обеспечить сбор разлитой нефти с помощью механических средств даже в период открытой воды. Практика показывает, что при благоприятных условиях с помощью механических средств удается собрать не более 30% разлитой нефти [14; 6]. Механический сбор нефти малоэффективен в ледовых условиях. Исходя из этого, необходимо рассматривать возможность применения иных, альтернативных технологий реагирования и разрабатывать алгоритм их применения. К альтернативным технологиям в настоящее время следует отнести применение диспергентов и сжигание нефти на месте ее разлива в море. В отличие от механического сбора нефти применение диспергентов и сжигание нефти связано с дополнительным антропогенным воздействием на окружающую среду. В этой ситуации должен действовать принцип Гиппократа «не навреди», и по этой причине подобные технологии борьбы с разливом нефти должны сопровождаться анализом экологических последствий.

В настоящей статье представлен опыт выбора экологически обоснованных технологий реагирования на потенциально возможные разливы нефти на объектах проекта «Сахалин-2», рассмотрена процедура принятия решения о целесообразности использования диспергентов. Высокая уязвимость биоресурсов и гидрометеорологический режим Охотского моря, самого холодного из дальневосточных морей, мало отличающийся от обстановки в арктических морях, обязывает субъекты морской деятельности

на шельфе тщательно анализировать варианты действий при чрезвычайных ситуациях, связанных с разливом нефти в морскую среду.

Некоторые сведения о поведении нефти в море

Чтобы понять, на базе какой информации может быть принято научно обоснованное решение о применении диспергентов при ликвидации разливов нефти (ЛРН), необходимо кратко рассмотреть их свойства и поведение разлитой нефти в море [12]. Процессы распространения и физико-химической трансформации нефти в море включают перенос за счет совокупного действия ветра и течений, растекание и рассеяние турбулентной диффузией, а также изменение характеристик разлитой нефти за счет испарения, диспергирования и эмульгирования (16).

При попадании на морскую поверхность нефть быстро растекается и формирует тонкий слой или нефтяную пленку, которая затем дрейфует под влиянием ветра и течений. Пятно нефти с течением времени под действием ветра делится на две основные внешне различимые части: относительно толстый слой нефти (примерно 10% площади пленки), в котором содержится до 90% разлитой нефти, и очень тонкую пленку (с толщиной, не превышающей 0,001 мм), тянущуюся за толстым слоем и имеющую большую площадь. Тонкая пленка образуется вследствие естественного диспергирования разлитой нефти в верхнем слое моря. Скорость перемещения диспергированных капель нефти в толще моря меньше скорости перемещения пленки на поверхности воды, и всплывающие капли нефти вновь поднимаются на поверхность уже на некотором расстоянии от основной пленки.

Испарение легких фракций является одной из причин быстрого уменьшения объема разлитой нефти и вызывает увеличение ее вязкости и плотности. Испарение — основной фактор, определяющий время так называемого окна возможности, когда применение альтернативных технологий наиболее эффективно. Оно определяется свойствами нефти и природными факторами. В среднем окне возможности, например для нефти марки «Сокол», добываемой на шельфе Охотского моря, составляет 72 ч в период открытой воды, а в ледовых условиях оно может достигать 5—10 сут.

Дисперсия нефти происходит за счет дробления волнами нефтяной пленки на капли и их переноса в толщу моря. Крупные капли размером более 0,1 мм при прекращении воздействия волн всплывают на поверхность воды, слипаются, захватывают капли воды и образуют обратную вязкую эмульсию воды в нефти. Эмульгирование увеличивает объем пленки нефти в несколько раз по сравнению с первоначальным. При этом также происходит значительное увеличение вязкости нефти. Эмульсия со временем превращается в так называемый шоколадный мусс, который в природе может существовать годами.

Мелкие же капли рассеиваются под действием турбулентного перемешивания в толще моря или, при отсутствии течений, концентрируются в виде дисперсии на границе раздела «вода — нефтяная пленка», переходя в толщу моря при образовании ветровых волн. Диспергированная в море нефть из-за многократного увеличения площади контакта с кислородом воды и нефтеокисляющими бактериями, которые присутствуют в воде, становится легкодоступной для химического и биохимического разложения и деградирует в течение нескольких дней. Диспергенты нефти многократно ускоряют этот процесс и предотвращают образование обратных эмульсий.

Применения диспергентов при ликвидации разлива нефти

Диспергенты нефти — это специально разработанные для борьбы с разливами нефти химические препараты, в состав которых входят используемые в пищевой промышленности или парфюмерии нетоксичные поверхностно-активные вещества [9]. Они многократно ускоряют естественный процесс разрыва нефтяной пленки на множество мелких капель, которые затем переходят в водную толщу. В начальный момент после обработки нефти диспергентами концентрация нефти в приповерхностном слое моря может достигать 100 мг/л, затем она быстро падает за счет турбулентного перемешивания и достигает фоновых значений через несколько дней, а до концентрации 15 мг/л, допускаемой Международной конвенцией МАРПОЛ при сбросе нефтесодержащих вод в море, — через несколько часов.

К настоящему времени накоплен значительный опыт применения диспергентов для ликвидации разливов нефти в море и изучены последствия их использования. Самое масштабное применение диспергентов было осуществлено в 2010 г. при ликвидации разлива нефти в Мексиканском заливе, когда было использовано 7000 т диспергентов и уничтожено 62 000 т нефти [8]. Диспергенты разрешены к применению во многих развитых странах, а в Норвегии они признаны эффективным средством по защите и спасению рыбных промыслов. В России условия их применения определяются СТО 318.4.02-2005 «Правила применения диспергентов для ликвидации разливов нефти», которые имеют положительное заключение Государственной экологической экспертизы, согласованы Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации, главным государственным санитарным врачом России, Федеральным агентством по рыболовству и Федеральным агентством морского и речного транспорта [15]. Преимущества и недостатки применения диспергентов суммированы в табл. 1.

Российское законодательство рекомендует рассматривать целесообразность применения диспергентов при разливах, больших нескольких сотен тонн. Для небольших разливов (до 500 т) диспергенты могут быть использованы, если метеоусловия на

месте разлива не позволяют применять механические средства сбора и нефть угрожает ООПТ.

Количество диспергента, необходимое для обработки нефтяного пятна, зависит от ряда факторов. Исследования показали, что для диспергирования нефти марки «Сокол» достаточно нанести диспергент в количестве, не превышающем 1 часть диспергента на 20 частей нефти [13]. При благоприятных условиях (скорость ветра 10 м/с и более, свежеразлитая нефть) это соотношение может быть увеличено до 1:25 и даже до 1:100.

Диспергент рекомендуется наносить на пленки нефти толщиной порядка 0,5 мм. Не рекомендуется обрабатывать диспергентами тонкие радужные/серебристые пленки нефти толщиной менее 0,001 мм, так как эти пленки обычно не представляют значительной опасности и быстро разрушаются под действием ветра и волнения. Если пятно нефти находится в открытом море на достаточном удалении от районов приоритетной защиты (расчетное время достижения — более 24 ч), количество диспергента может быть снижено в полтора-два раза. При таком соотношении обработанная диспергентом нефтяная пленка рассеется до подхода к защищаемому району, объекту.

Анализ суммарной экологической выгоды

Критерием выбора экономически и экологически целесообразных технологий ЛРН является их способность предотвратить подход нефти к береговой зоне и выброс ее на берег. Принятие решения об использовании надлежащей технологии должно основываться на результатах АСЭВ. Под термином АСЭВ (Net Environmental Benefit Analyse — NEBA в англоязычной литературе), понимается процедура принятия решения на основе сравнения возможных положительных и отрицательных последствий применения различных технологий ЛРН для окружающей среды. В результате анализа подготавливаются рекомендации о предпочтительности использования тех или иных технологий или запрете применения каких-либо из них.

Процедура АСЭВ рекомендована Комитетом по защите морской среды Международной морской организации [9] и СТО 318.4.02-2005 «Правила применения диспергентов для ликвидации разливов нефти». Необходимость АСЭВ, особенно при применении диспергентов, вызвана тем, что диспергирование является специфическим методом реагирования, так как при этом нефть не удаляется немедленно из окружающей среды, а переводится в состояние, более безопасное для некоторых ее компонентов и более доступное для ее природного разложения. Правила рекомендуют для существенного сокращения времени на принятие решений в случае реального разлива проводить АСЭВ на стадии планирования деятельности. Проведение АСЭВ на такой стадии позволяет более полно обосновать целесообразность или нецелесообразность

Таблица 1. Преимущества и недостатки применения диспергентов

| Преимущества перед другими методами ликвидации разливов нефти | Недостатки использования | Возможность нивелирования недостатков |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Снижают налипание нефти на перья птиц и покровы морских млекопитающих, тем самым предохраняя их от загрязнения и гибели в нефтяном пятне | При эмульгировании нефти в воде в ограниченном районе моря наносится вред морским организмам, обитающим в месте нанесения диспергентов (планктону, рыбе, водорослям) | Отказ от применения на мелководье и в замкнутых водоемах с низкой скоростью обмена воды. Проведение анализа суммарной экологической выгоды (АСЭВ) |
| Снижают вредное воздействие нефти на береговую линию, береговые сооружения, птиц и морского зверя, так как нефть прилипает к твердым поверхностям в небольшом количестве | Обработанное диспергентом нефтяное пятно трудно собрать механическими средствами | Обрабатывать диспергентами только те части пятна нефти, которые представляют наибольшую угрозу ООПТ, и в тех случаях, когда механический сбор не планируется |
| Ускоряют естественные процессы биологического разложения разлитой нефти | Диспергенты эффективны не для всех типов нефти | На стадии планирования определяют окно возможности диспергента. Возможна также оценка диспергируемости в реальной ситуации |
| Предотвращают образование «шоколадного мусса» — устойчивых агломератов нефти | В морскую среду вносится от 1% до 10% поверхностно-активных веществ с известными предельно допустимыми концентрациями | Недостаток неустраним. Диспергенты имеют низкую токсичность |
| Могут использоваться при неблагоприятных для других методов реагирования условиях (волнение более 1,5 м, сильные течения, скорость ветра до 15 м/с) | Имеются ограничения по применению диспергентов в зависимости от места и времени, прошедшего с момента разлива (окно возможности) | Проведение АСЭВ и разработка сценариев на стадии подготовки планов ЛРН |
| Позволяют быстро обработать нефтяное пятно большой площади на больших акваториях | — | — |
| Резко снижают скорость перемещения нефтяного пятна в море | — | — |

применения диспергентов и выбрать оптимальную стратегию реагирования. АСЭВ проводится только для тех диспергентов, по которым установлены основные критерии гигиенического нормирования для морских рыбохозяйственных водоемов: ориентировочные безопасные уровни воздействия и предельно допустимые концентрации.

Предварительный АСЭВ для объектов проекта «Сахалин-2» проводился на базе возможных сценариев разливов нефти. При этом принимались во внимание следующие факторы:

1. Характеристика морских объектов, на которых возможны разливы нефти. Вероятные сценарии разливов и объемы разлитой нефти, физико-химические свойства нефти «Сокол».

2. Компоненты экосистемы, находящиеся в регионе, и приоритетность их защиты при вероятных

сценариях аварийных ситуаций с точки зрения сохранения природных ресурсов. Их сезонные изменения.

3. Воздействие плавающей и диспергированной нефти на выбранные компоненты экосистемы и на состояние окружающей среды в целом.

4. Перечень экономически и социально значимых объектов, требующих защиты.

5. Преимущества и недостатки различных методов реагирования на разливы нефти.

6. Результаты риск-анализа распространения аварийных разливов нефти.

Информация по пунктам 2—4 была представлена в виде тематических и интегральных площадных карт экологической чувствительности морских и прибрежных экосистем к пленочной и диспергированной нефти, разработанных специализированной организацией — ЗАО «Экопроект».

Математическое моделирование поведения и изменений, происходящих с разлитой на морской акватории нефти, и эффективности использования средств реагирования являлось одним из основных инструментов АСЭВ. В процессе моделирования учитывалось влияние:

- ветровых режимов и течений в местах разлива;
- объема и свойств разлитой нефти, а также изменений свойств во времени и пространстве (испарение, растекание, диспергирование, дрейф);
- эффективности сбора нефти механическими средствами и обработки диспергентами по сравнению с базовым сценарием «Мониторинг».

Моделирование сценариев распространения нефти

Методика отбора сценариев распространения нефти для последующего анализа эффективности различных стратегий по противодействию разливу представляет вариант инкрементального подхода к планированию и состоит из нескольких последовательных шагов [4].

На первом шаге в рамках анализа риска воздействия разливов нефти на отдельные области морских акваторий и побережий [1—3] проводится расчет всевозможных сценариев распространения нефти по реконструированным гидрометеорологическим условиям за предшествующий репрезентативный период продолжительностью, как правило, от 5 до 15 лет. Ансамбль траекторий перемещения разливов вместе с результатами расчетов выветривания нефти дает основания для определения зоны потенциального воздействия нефтяного загрязнения на окружающую среду. Анализ риска распространения разливов нефти показал, что существует вероятность загрязнения практически любого участка береговой зоны залива Анива.

На втором шаге из полученного ансамбля сценариев формируется выборка вариантов распространения нефти, достигающих берега (или выбранной его части, например ООПТ) при условии, что средняя толщина слоя нефти при контакте с берегом не меньше порогового значения. Отобранные сценарии ранжируются по совокупности критериев. В качестве одного из критериев ранжирования сценариев распространения нефти может быть выбрано количество нефти, вынесенное на берег, дифференцированное по времени (сутки) после начала разлива. Самые «быстрые» сценарии распространения нефти, достигающие берега, реализуются, как правило, с невысокой вероятностью, но требуют высокой оперативности реагирования. Экологические последствия таких сценариев, происходящих при высоких скоростях ветра, могут быть не столь масштабными, как сценариев при умеренных и слабых ветрах, когда естественное рассеяние нефтяного разлива при движении по направлению к береговой зоне незначительно.

Дальнейшую разбивку на подгруппы в отобранном подмножестве сценариев из генеральной совокупности следует проводить по критерию разнообразия метеорологических условий. В ансамбле сценариев распространения нефти, приводящих к негативным последствиям для окружающей среды, можно выделить две подгруппы. К первой из них относится подмножество сценариев, при которых в силу неблагоприятных погодных условий реагирование невозможно. Во второй подгруппе проводится ранжирование поражающих сценариев и выбираются сценарии, приводящие к максимально негативным последствиям в поддиапазонах с различными ветровыми условиями. Приняв, что механические средства локализации и ликвидации разливов нефти на море (боны и скиммеры) практически неэффективны при скоростях ветра более 10 м/с, целесообразно критические сценарии распространения нефти рассмотреть в трех диапазонах: слабый ветер — $W_{10} < 4$ м/с, умеренный ветер — $W_{10} = 5—7$ м/с и умеренно-сильный ветер — $W_{10} = 8—10$ м/с.

Для моделирования были выбраны сценарии технических аварий, сопровождающихся сбросом нефти в море, подготовка к реагированию на которые обеспечивает успешное завершение кампании ЛРН и для всего спектра менее масштабных аварий, сведения о которых представлены в табл. 2.

Для каждой из точек потенциального сброса нефти было рассчитано 50–170 сценариев в период открытой воды по гидрометеорологическим условиям, реконструированным за 10 лет с 2000 по 2009 гг. Расчеты проводились на период 5 сут после начала разлива либо до достижения пятном береговой полосы, или границы с Японией, или толщины пленки нефти 0,01 мм.

Информация по каждому конкретному сценарию распространения нефти была представлена в виде таблиц зависимостей от времени основных характеристик нефтяного разлива: координат, площади, количества испарившейся нефти, диспергированной под действием природных факторов и после применения диспергентов нефти, собранной судами-нефтесборщиками.

При моделировании были рассмотрены результаты применения средств ликвидации разливов нефти, предусмотренные планом предотвращения и ликвидации разливов нефти компании.

Обоснование выбора сценариев для АСЭВ

В качестве основных критериев эффективности действий по борьбе с разлитой нефтью рассматривалось время достижения разлитой нефтью берега и количество выброшенной на берег нефти.

По исходным условиям начало разлива было привязано к нулю часов текущих суток, что можно рассматривать как наихудший случай, так как исключает из рассмотрения влияние фактора времени суток на

Таблица 2. Основные сценарии сбросов нефти

| Сценарий | Координаты сброса | Объем, масса сброса | Комментарий |
|----------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| ТА1 | N 46°37'39", E 142°55'38" | 1500 т | Разлив с выносного причального устройства (ВПУ) |
| ТА2 | N 46°37'39", E 142°55'38" | 2051 м ³ | Разлив при повреждении трубопровода к ВПУ |
| ТА3 | N 46° 10'00", E 142° 53'00" | 25 000 м ³ | Разлив при аварии одного грузового танка двухкорпусного танкера на акватории залива Анива |

время начала реагирования, т. е. начало работ по реагированию было возможно лишь через 5 ч после начала разлива, с наступлением светлого времени суток. Моделирование проводилось в предположении оптимального использования сил и средств реагирования с поправкой на уменьшение эффективности их применения в силу гидрометеорологических условий.

Для детального моделирования разливов в точке 1 (варианты технической аварии ТА1 и ТА2) и для анализа эффективности стратегий реагирования на заливе Анива были выбраны сценарии распространения разлива нефти, охватывающие возможный для реагирования диапазон гидрометеорологических условий, а также возможные направления распространения нефтяного разлива, приводящие к поражению участков береговой линии, которые

могут подвергнуться загрязнению. Продолжительность расчета ограничивалась временем достижения берега, а также временем рассеяния пятна на поверхности моря. Были выбраны сценарии, когда за время реагирования наблюдаются как слабые, так и умеренные или значительные ветры, но допускающие применение технических средств. Для демонстрации возможностей защиты ООПТ рассмотрены наихудшие сценарии, приводящие к загрязнению побережья бухты Лососей и лагуны Буссе или иных особо охраняемых территорий. При этом минимальное время достижения ООПТ в заливе Анива составляет 12 ч для мыса Грина и лагуны Буссе и 24 ч для бухты Лососей.

На рис. 1 показаны траектории распространения разливов нефти (синие пунктирные линии),



Рис. 1. Варианты распространения разливов нефти, приводящие к поражению ООПТ. Режим «Мониторинг»

Таблица 3. Характеристики сценариев распространения нефти

| Сценарий (дата) | Время расчета, ч | Время достижения берега, ч | Масса на поверхности моря при достижении берега, т | Максимальная скорость ветра, м/с | Средняя скорость ветра, м/с |
|-----------------------|------------------|----------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| M2885_01 (30.04.2000) | 96 | 20 | 1138 | 5,1 | 2,8 |
| M6442_10 (26.09.2009) | 72 | 45 | 925 | 8,7 | 6,1 |
| M7648_10 (15.11.2009) | 120 | 90 | 129,5 | 13,8 | 8,74 |
| M6356_09 (21.09.2008) | 48 | 22 | 670 | 13,8 | 10,8 |
| M3736_07 (05.06.2006) | 72 | 58 | 1154 | 6,3 | 5,0 |
| M6320_04 (21.09.2003) | 120 | 62 | 1120 | 8,6 | 5,5 |

Примечание. В качестве примера даем расшифровку мнемоники названия сценария M2885_01: М — метеорологический, 2885 — количество часов от начала года до начала сброса нефти, _01 — сценарий из пятого по порядку года реконструкции гидрометеорологических условий (2000 г.).

приводящие к поражению ООПТ, и последовательные положения и конфигурации пятна нефти на поверхности с интервалом в 4 ч (коричневые области рядом с траекторией). Некоторые характеристики выбранных сценариев представлены в табл. 3. Цифрами (рядом с траекториями распространения разливов) обозначены номера сценариев, для которых рассматривались различные варианты реагирования:

- мониторинг — осуществление слежения за пятном нефти (без применения средств);
- сбор механическими средствами (боны и скиммеры);
- совместное применение механических средств сбора и нанесение диспергентов с борта судна;
- совместное применение механических средств, нанесения диспергентов с судов, привлечение вертолета с внешней подвеской для нанесения диспергентов.

Примеры сценариев

Ниже приведены два из перечисленных в табл. 3 сценариев распространения нефти с описанием результатов моделирования в режиме «Мониторинг», применения механических средств сбора, применения механических средств сбора вместе с диспергентами.

Сценарии разливов нефти составлялись для наиболее характерных метеоусловий различных сезонов года и с учетом использования средств реагирования, имеющихся в распоряжении компании. В ходе анализа были выявлены сценарии, при которых применение диспергентов позволяло предотвратить или значительно сократить загрязнение берега, в первую очередь ООПТ. Разрабатывали и анализировали сценарии специалисты, хорошо знакомые со спецификой региона и технологиями

реагирования на разливы нефти. Подготовленные сценарии с проектами заключений и рекомендациями о целесообразности или нецелесообразности применения диспергентов были рассмотрены, как того требуют «Правила применения диспергентов» СТО 318.4.02-2005, группой АСЭВ. В нее входили представители территориальных подразделений природоохранных ведомств федеральных органов исполнительной власти, уполномоченных в области охраны окружающей среды, а также экологи, биологи и специалисты в сфере реагирования на разливы нефти. По итогам работы группы был подготовлен протокол, который является основным документом, подтверждающим экологическую целесообразность или нецелесообразность использования диспергентов. В реальной ситуации достаточно сравнить условия, рассмотренные в сценариях, и при их совпадении не потребуются каких-либо иных обоснований принятия решения об использовании диспергентов. Таким образом, время на принятие решения сокращается до нескольких часов, и, соответственно, резко повышается эффективность обработки нефтяного загрязнения.

Заключение

Анализ суммарной экологической выгоды применения диспергентов, основывающийся на использовании информационных технологий, которые включают в себя результаты математического моделирования сценариев распространения нефтяных разливов в море и реагирования на них, а также оценку последствий воздействия на объекты окружающей среды плавающей и диспергированной нефти в зависимости от их важности и сезонной уязвимости, представляет основу для рационального планирования мероприятий по минимизации негативных

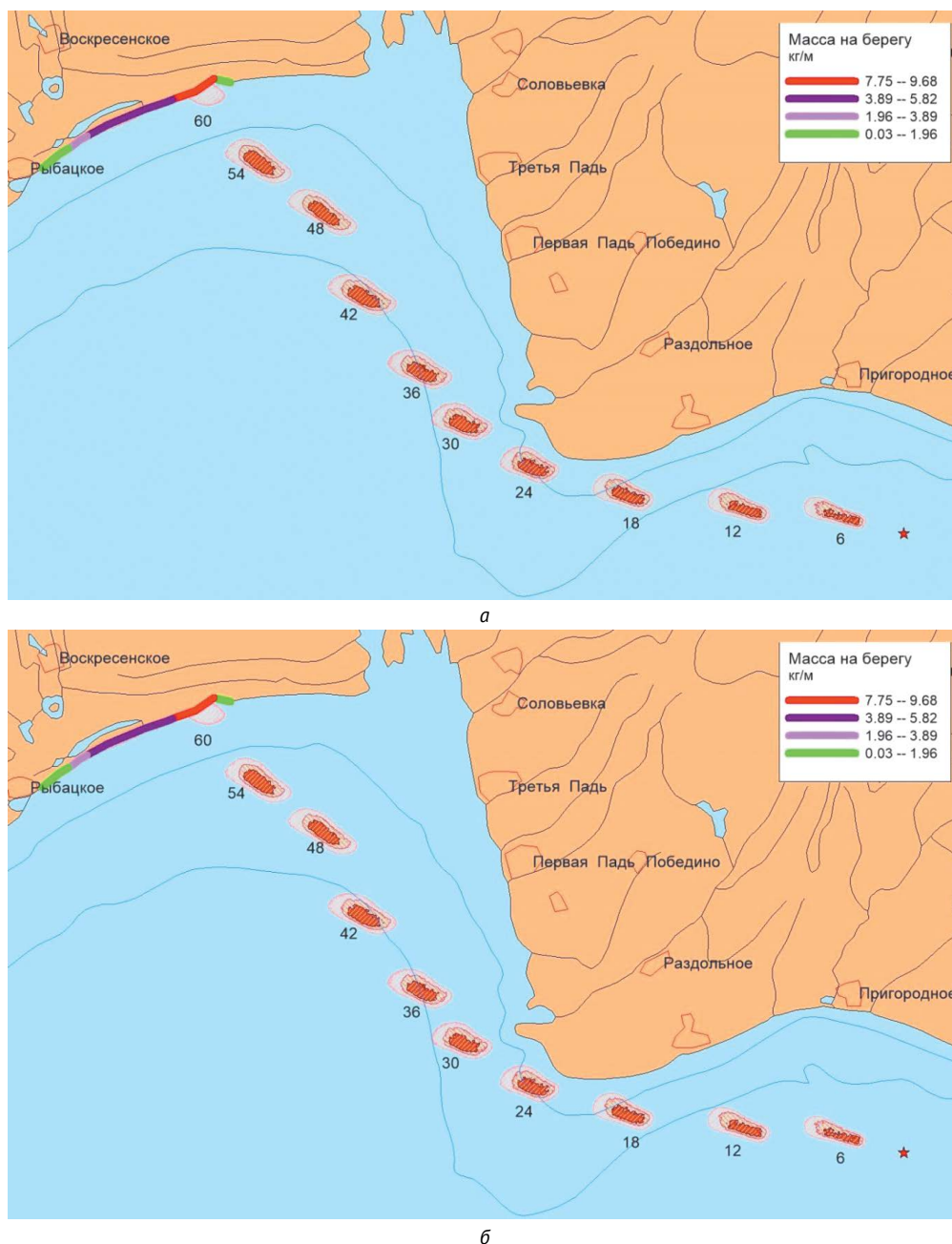


Рис. 2. Последовательные через 6 ч положения пятна нефти и загрязнение береговой черты на 72 ч после разлива в сценарии М3736_07: а – мониторинг, б – сбор механическими средствами.

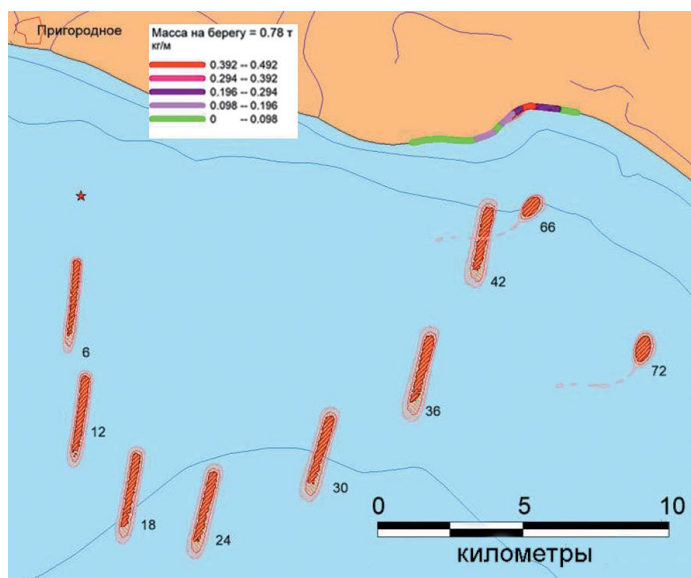
Источник: разлив нефти марки «Витязь» при разрыве трубопровода к ВПУ.

Объем разлитой нефти: 2051 м³, продолжительность сброса – 3 ч.

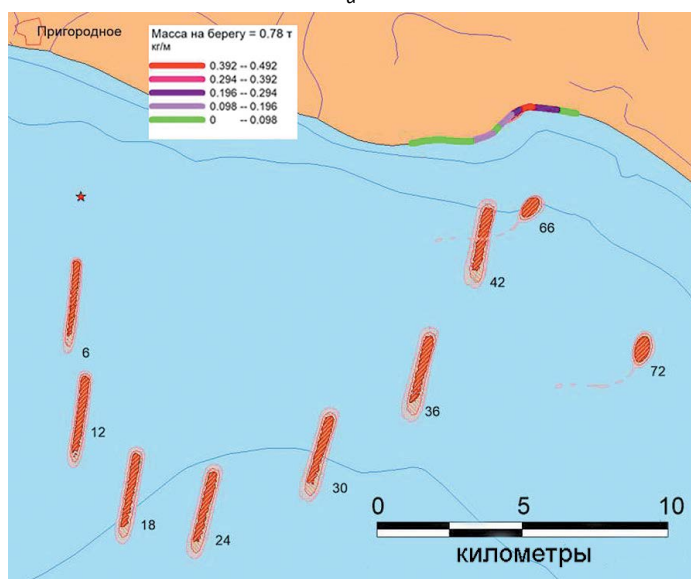
Дата/время начала разлива, продолжительность сценария: 05.06.2006 0:00, продолжительность – 72 ч, местоположение точки разлива – N 46°37'39", E 142°55'38".

Ветровой режим. В этом сценарии в первые сутки действуют ветры восточных румбов, приводя к дрейфу нефтяного пятна на запад. На вторые и третьи сутки преимущественное направление ветра – ЮОВ и В. Скорость ветра за весь срок моделирования находится в пределах 3–7 м/с, некоторое ослабление до 3 м/с наблюдается в середине вторых суток и в конце вторых суток, в середине первых и третьих суток имеются максимумы, не превосходящие значение 7 м/с.

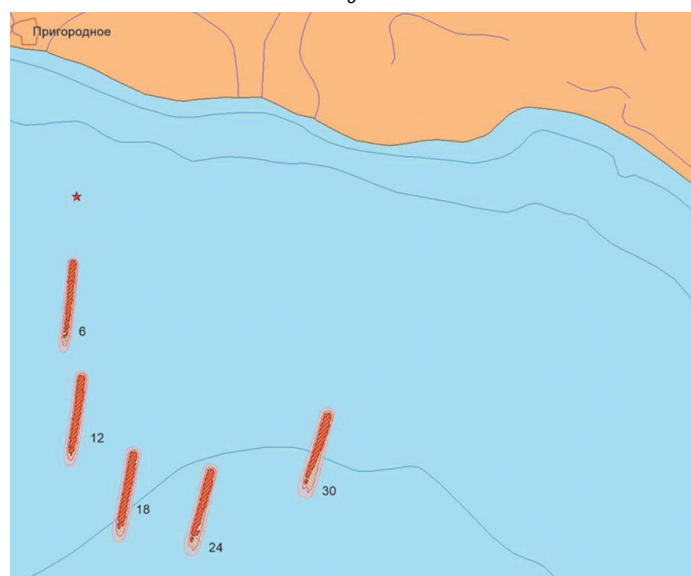
Характеристики распространения разлива. В условиях мониторинга. При непринятии мер борьбы с разливом нефть подходит к берегу через 60 ч после начала истечения и к концу третьих суток на берегу оказывается около 36 т нефти. Протяженность загрязнения береговой зоны составляет около 8 км. В условиях применения механических средств. Метеорологические условия с умеренными ветрами порядка 3–7 м/с достаточно благоприятны для реагирования. Применение только механических средств сбора нефти в этом сценарии приводит к тому, что пятно рассеивается к 36 ч от начала разлива, и воздействие на берег не прогнозируется. В условиях применения механических средств сбора нефти и диспергентов. Применение диспергентов совместно с механическими средствами также позволяет исключить воздействие на побережье. Нефть на поверхности моря рассеивается на шесть часов раньше по сравнению с вариантом применения только механических средств. Таким образом, при этом сценарии разлива применение диспергентов целесообразно.



а



б



в

Рис. 3. Последовательные через 6 ч положения пятна нефти и загрязнение береговой черты на 120 ч после разлива в сценарии М6442_10.

а – мониторинг; б – сбор механическими средствами; в – сбор механическими средствами и применение диспергентов

Источники: разлив нефти марки «Витязь» при разрыве трубопровода к ВПУ.

Объем разлитой нефти: 2051 м³, продолжительность сброса – 3 ч.

Дата/время начала разлива, продолжительность сценария: 26.09.2009 0:00, продолжительность – 72 ч, местоположение точки разлива – N 46°37'39", E 142°55'38".

Ветровой режим. В этом сценарии в первые сутки действуют ветры северных и западных румбов, приводя к дрейфу нефтяного пятна к юго-востоку, от берега. На вторые сутки ветер меняется на ЮЗ, Ю и ЮЮВ, прибывая пятно к берегу. Таким образом, к концу вторых суток нефтяное пятно достигает берега восточнее порта Пригородное. Во второй половине третьих суток ветер меняет направление на СВ, приводя к перемещению разлива в открытое море.

Характеристики распространения разлива.

В условиях мониторинга. При непринятии мер борьбы с разливом нефть подходит к берегу через 45 ч после начала истечения, и к концу третьих суток на берегу оказывается около 80 т нефти. Протяженность загрязнения береговой зоны составляет около 6 км.

В условиях применения механических средств. Метеорологические условия с умеренными ветрами порядка 6–7 м/с достаточно благоприятны для реагирования. Применение только механических средств сбора нефти в этом сценарии приводит к уменьшению воздействия на побережье порядка 2 т.

В условиях применения механических средств сбора нефти и диспергентов. Применение диспергентов позволяет исключить воздействие на побережье. К середине вторых суток удается всю нефть с поверхности моря перевести из пленочного во внутримассовое загрязнение. Следовательно, при данном сценарии разлива применение диспергентов обеспечит наибольшее снижение вредных последствий разлива нефти

последствий аварийных ситуаций с учетом региональных особенностей морской деятельности, специфики гидрометеорологических условий и наличия/отсутствия важных природоохранных и уязвимых объектов. Это особенно важно при масштабном освоении арктического шельфа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 14-07-00513, № 14-07-00434 и № 15-07-04871.

Литература

1. Зацепя С. Н., Ивченко А. А., Журавель В. И. и др. Анализ риска распространения аварийных разливов нефти на примере Обской губы Карского моря // Арктика: экология и экономика. — 2014. — № 3

- (15). — С. 30—45. — URL: [http://arctica-ac.ru/docs/3\(15\)/030_045_АРКТИКА_3\(15\)_09_2014.pdf](http://arctica-ac.ru/docs/3(15)/030_045_АРКТИКА_3(15)_09_2014.pdf).
2. Зацепя С. Н., Дианский Н. А., Журавель В. И. и др. Моделирование разливов нефти в море для планирования мероприятий по обеспечению экологической безопасности при реализации нефтегазовых проектов. — Ч. 1: Методология // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2015. — 4 (106). — С. 27—39.
 3. Зацепя С. Н., Дианский Н. А., Журавель В. И. и др. Моделирование разливов нефти в море для планирования мероприятий по обеспечению экологической безопасности при реализации нефтегазовых проектов. — Ч. 2: Особенности реализации прикладных задач // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2016. — 1 (107). — С. 5—18.
 4. Зацепя С. Н., Ивченко А. А., Журавель В. И. и др. Инкрементальный подход к выбору критических сценариев распространения разливов нефти для планирования мероприятий по минимизации экологических рисков // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2016. — В печати.
 5. Ликвидация разливов нефти на арктическом шельфе. Передовой международный опыт / Под ред. Д. Шольц. — URL: <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/rus/downloads/pdf/wpc/new-oil/osr-book-rus.pdf>.
 6. Правила применения диспергентов для ликвидации разливов нефти СТО 318.4.02-2005. — СПб.: М-во транспорта РФ, 2005.
 7. Arctic Offshore Oil & Gas Guidelines 2002. Protection of the Arctic Marine Environment (PAME). — URL: <http://www.pame.is>.
 8. Deepwater Horizon incident specific preparedness review (ISPR): Final Report / DWHAO, Att.2-2629. — [S. l.]: US Coast Guard, Mar. 18, 2011.
 9. Guidelines for the use of dispersants for combating oil pollution at sea / IMO. — London, 2015.
 10. Choosing spill response options to minimize damage: Net Environmental Benefit Analysis // IPIECA Report Series. — 2000. — Vol. 10.
 11. Dispersants and their role in oil spill response // IPIECA Report Series. — 2001. — Vol. 5.
 12. Technical Information Paper — The use of dispersants to treat oil spills / ITOPE. — London, 2012.
 13. Konkel W. Dispersibility of Sokol Crude Oil. Unpublished analysis for Sakhalin-1 operations / ExxonMobil Biomedical Sciences. — Clinton, NJ, 2007. — 4 p.
 14. Fingas M. F., Kyle D. A., Laroche N. et al. The effectiveness of oil spill-treating agents // The Use of Chemicals in Oil Spill Response, ASTM STP1252 / P. Lane, ed.; American Society of Testing and Materials. — Philadelphia, PA, 1995. — P. 286—298.
 15. Semanov G. N. Regulations and Policy of Dispersants Application in Russia // International Conference INTERSPILL, London 2006. — P. 237—243. — URL: http://www.interspill.org/previous-events/2006/pdf/exploration_regulations_doc.pdf.
 16. Reed M., Johansen O., Brandvik P. J. et al. Oil spill modeling towards the close of the 20th century: overview of the state-of-the-art // Spill Science Technology Bull. — 1999. — № 5. — P. 3—16.

Информация об авторах

Гутник Александр Николаевич, кандидат технических наук, начальник отдела защиты от чрезвычайных ситуаций, компания «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд.» (693020, Россия, Южно-Сахалинск, ул. Дзержинского, д. 35), e-mail: Alexander.Gutnik@sakhalinenergy.ru.

Зацепя Сергей Николаевич, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова (119034, Россия, Москва, Кропоткинский пер., д. 6), e-mail: zatsepa@gmail.com.

Ивченко Александр Александрович, старший научный сотрудник, Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова (119034, Россия, Москва, Кропоткинский пер., д. 6), e-mail: alivch@orc.ru.

Семанов Геннадий Николаевич, кандидат химических наук, заведующий лабораторией, АО «Центральный научно-исследовательский институт морского флота» (191015, Россия, Санкт-Петербург, Кавалергардская ул., д. 6, лит. А), e-mail: semanov@sniiimf.ru.

Солбаков Вячеслав Викторович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН (119333, Россия, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2), e-mail: myqwerty@mail.ru.

Становой Владимир Владимирович, старший научный сотрудник, Государственный научный центр Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (199397, Россия, Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38), e-mail: vstanovoy@yandex.ru.

Шиваев Антон Сергеевич, специалист отдела защиты от чрезвычайных ситуаций, компания «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд.» (693020, Россия, Южно-Сахалинск, ул. Дзержинского, д. 35), e-mail: Anton.Shivaev@sakhalinenergy.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Семанов Г. Н., Гутник А. Н., Зацепя С. Н. и др. Анализ суммарной экологической выгоды — инструмент принятия решения при ликвидации разливов нефти // Арктика: экология и экономика. — 2017. — №1 (25). — С. 47—58.

NET ENVIRONMENTAL BENEFIT ANALYSIS — A TOOL OF DECISION-MAKING AT OIL SPILL RESPONSE

Semanov G. N.

Central Marine Research Institute (St. Petersburg, Russian Federation)

Gutnik A. N.

Sakhalin Energy Investment Company Ltd. (Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation)

Zatsepa S. N., Ivchenko A. A.

FSBI "N.N. Zubov's State Oceanographic Institute" (Moscow, Russian Federation)

Solbakov V. V.

Federal research center "Information and Control", RAS (Moscow, Russian Federation)

Stanovoy V. V.

State Scientific Centre Federal State Budgetary Institution "Arctic and Antarctic Research Institute" (St. Petersburg, Russian Federation)

Shivaev A. S.

Sakhalin Energy Investment Company Ltd. (Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation)

Abstract

Development of oilfields started in Arctic requires adequate response preparedness to potential oil spills. Mechanical recovery due to specific conditions of Arctic has a lot of limitation in application and cannot prevent pollution of Special protected areas (SPA). It is necessary to consider application of dispersants and in situ burning (ISB). Oil spill dispersants are mixtures of nontoxic surface active agents in organic solvent, specifically formulated to enhance the natural dispersion of oil into the sea water column thus enhancing the biodegradation processes. Dispersed oil is practically non adhesive to feather of birds and hair of mammals. The treatment of oil with dispersants requires a cautious strategy in making decisions. It can be achieved by usage of special tool – Net Environmental Benefit Analysis (NEBA) procedures. The decision of dispersants application should be based on the following comparison: "What would be the impact of the pollution when treated with dispersant and when non treated with dispersant?" The NEBA should consider the behaviour of the treated non-treated oil, assess consequently the different resources which will be concerned either by the treated oil or by the surface film oil, assess the sensitivity of the different resources at concern towards the dispersed oil and toward the floating oil film. These analyses assist decision makers when considering whether or not the use of dispersants is appropriate to minimize the environmental/economic damage. This article describes the experience of NEBA application to substantiate decisions how to respond to potential oil spills at the sites on Aniva bay of Sakhalin-2 project at different oil spills scenarios. It was used incremental approach to choose them. Based on sensitivity maps, information about level of impact dispersed and floating oil on bioresources and results of mathematical modelling efficacy of different response methods application: monitoring (no actions to recover spilt oil), mechanical recovery and mechanical recovery together with dispersants application it was shown that SPA can be protected from pollution in most scenarios only in case of dispersants application. Amount of oil stranded on shore in case of application of response method was used as criteria of efficacy of method application level of damage.

Keywords: *Oil spill risk assessment, oil pollution, oil spill response, oil dispersants, NEBA, EIA, mathematical modelling, incremental approach, Aniva Bay, SPA - special protected areas.*

The research was supported by the RFBR grants № 14-07-00513, № 14-07-00434 u № 15-07-04871

References

1. Zatsepa S. N., Ivchenko A. A., Zhuravel V. I. et al. Analiz riska rasprostraneniya avariynykh razlivov nefiti na primere Obskoy guby Karskogo morya. [Risk Analysis of Oil Spill Spread: Case of the Ob Bay of the Kara Sea]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2014, no 3 (15), pp 30—45. (In Russian).
2. Zatsepa S. N., Dianskiy N. A., Zhuravel V. I. et al. Modelirovaniye razlivov nefiti v more dlya planirovaniya meropriyatiy po obespecheniyu ekologicheskoy bezopasnosti pri realizatsii neftegazovykh proyektov. Ch. 1, Metodologiya. [Oil Spill Modeling for Environment Protection during Offshore Oil and Gas Developments. Part 1, Methodology]. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2015, 4(106), pp 27—39. (In Russian).
3. Zatsepa S. N., Dianskiy N. A., Zhuravel V. I. et al. Modelirovaniye razlivov nefiti v more dlya planirovaniya meropriyatiy po obespecheniyu ekologicheskoy bezopasnosti pri realizatsii neftegazovykh proyektov. Ch. 2,

- Osobennosti realizatsii prikladnykh zadach [Oil Spill Modeling for Environment Protection during Offshore Oil and Gas Developments. Part 2, Application Particulars]. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2016, 1 (107), pp 5—18. (In Russian).
4. *Zatsepa S. N., Ivchenko A. A., Zhuravel V. I. et al.* Inkrementalnyi podkhod k vyboru kriticheskikh stsensariyev rasprostraneniya razlivov nefti dlya planirovaniya meropriyatiy po minimizatsii ekologicheskikh riskov. [Incremental Approach for choosing of Oil Spill Scenarios for Planning of Measures for Environmental Risk Minimization]. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2016, V pechat. (In Russian).
5. Likvidatsiya razlivov nefti na arkticheskom shelfe. *Peredovoy mezhdunarodnyy opyt [Oil Spill Response on Arctic Shelf. Advanced International Experience]*. Pod red. D. Sholts. URL: <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/rus/downloads/pdf/wpc/new-oil/osr-book-rus.pdf>. (In Russian).
6. Pravila primeneniya dispergentov dlya likvidatsii razlivov nefti STO 318.4.02-2005. [The Rules for Dispersant Application for Oil Spill Response. STO 318.4.02-2005]. SPb., M-vo transporta RF, 2005. (In Russian).
7. Arctic Offshore Oil & Gas Guidelines 2002. Protection of the Arctic Marine Environment (PAME). URL: <http://www.pame.is>.
8. Deepwater Horizon incident specific preparedness review (ISPR): Final Report / DWHAO, Att.2-2629. [S. I.]: US Coast Guard, Mar. 18, 2011.
9. Guidelines for the use of dispersants for combating oil pollution at sea / IMO. London, 2015.
10. Choosing spill response options to minimize damage: Net Environmental Benefit Analysis // IPIECA Report Series. 2000, Vol. 10.
11. Dispersants and their role in oil spill response // IPIECA Report Series. 2001, Vol. 5.
12. Technical Information Paper — The use of dispersants to treat oil spills / ITOPI. London, 2012.
13. *Konkel W.* Dispersibility of Sokol Crude Oil. Unpublished analysis for Sakhalin-1 operations / ExxonMobil Biomedical Sciences. Clinton, NJ, 2007. 4 p.
14. *Fingas M. F., Kyle D. A., Laroche N. et al.* The effectiveness of oil spill-treating agents. The Use of Chemicals in Oil Spill Response, ASTM STP1252 / P. Lane, ed.; American Society of Testing and Materials. Philadelphia, PA, 1995. P. 286—298.
15. *Semanov G. N.* Regulations and Policy of Dispersants Application in Russia // International Conference INTERSPILL, London 2006. P. 237—243. URL: http://www.interspill.org/previous-events/2006/pdf/exploration_regulations_doc.pdf.
16. *Reed M., Johansen O., Brandvik P. J. et al.* Oil spill modeling towards the close of the 20th century: overview of the state-of-the-art. *Spill Science Technology Bull.*, 1999, № 5. P. 3—16.

Information about the authors

Gutnik Alexander Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Head of Emergency Management Department, Sakhalin Energy Investment Company Ltd. (35, Dzerzhinsky St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693020, Russia), e-mail: Alexander.Gutnik@sakhalinenergy.ru.

Zatsepa Sergei Nikolaevich, PhD, Head of laboratory, Federal Service on Hydrometeorology and Monitoring of Environment (ROSHYDROMET), FSBI “N.N. Zubov’s State Oceanographic Institute” (6, Kropotkinsky per., Moscow, 119034, Russia), e-mail: zatsepa@gmail.com.

Ivchenko Alexander Alexandrovich, Senior Scientist, Federal Service on Hydrometeorology and Monitoring of Environment (ROSHYDROMET), FSBI “N.N. Zubov’s State Oceanographic Institute” (6, Kropotkinsky per., Moscow, 119034, Russia), e-mail: alivch@orc.ru.

Semanov Gennady Nikolaevich, PhD, Head of laboratory “Environmental safety of maritime transport”, Central Marine Research Institute (6, lit. A, Kavalergardskaya St., St.-Petersburg, 191015, Russia), e-mail: semanov@cniimf.ru.

Solbakov Vyacheslav Viktorovich, PhD, Senior Researcher, Federal research center “Information and Control”, Russian Academy of Sciences (44, corps 2, Vavilova St., Moscow, 119333, Russia), e-mail: myqwerty@mail.ru.

Stanovoy Vladimir Vladimirovich, Senior Scientist, Federal Service on Hydrometeorology and Monitoring of Environment (ROSHYDROMET), State Scientific Centre FSBI “Arctic and Antarctic Research Institute” (38, Bering St., St.-Petersburg 199397, Russia), e-mail: vstanovoy@yandex.ru.

Shivaev Anton, Emergency Management Specialist, Sakhalin Energy Investment Company Ltd. (35, Dzerzhinsky St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693020, Russia), e-mail: Anton.Shivaev@sakhalinenergy.ru.

Bibliographic description

Semanov G. N., Gutnik A. N., Zatsepa S. N. et al. Net environmental benefit analysis a tool of decision-making at oil spill response. *The Arctic: ecology and economy*, 2017, no 1 (25), pp 47—58. (In Russian).