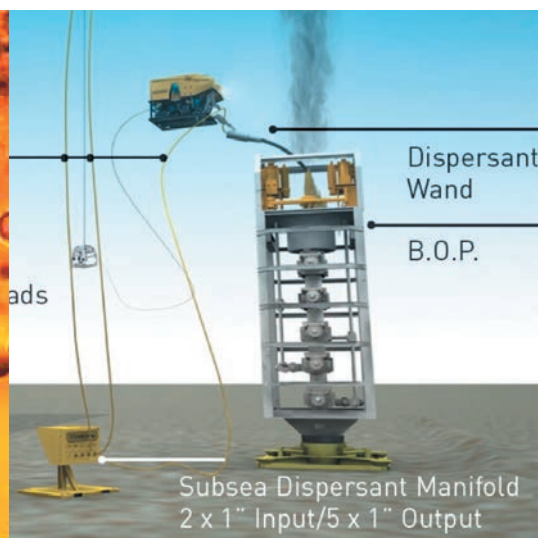
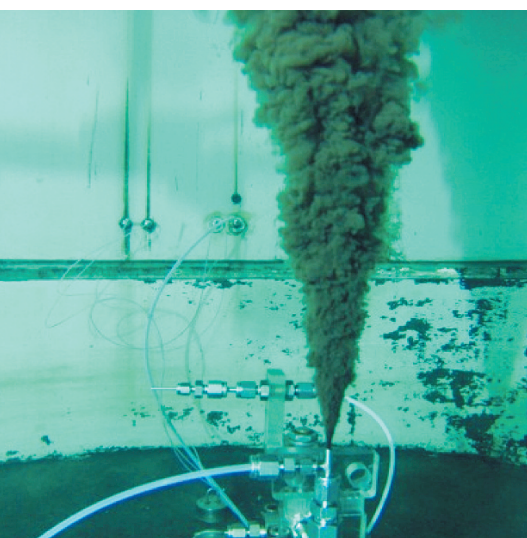


Диспергенты: применение под водой

Практические рекомендации для персонала, отвечающего
за управление и ликвидацию чрезвычайных ситуаций



IPIECA

Международная ассоциация представителей нефтегазовой отрасли по охране окружающей среды и социальным вопросам

14th Floor, City Tower, 40 Basinghall Street, London EC2V 5DE, United Kingdom (Великобритания)
Тел.: +44 (0)20 7633 2388 Факс: +44 (0)20 7633 2389
Эл. почта: info@ipieca.org Веб-сайт: www.ipieca.org



Международная ассоциация производителей нефти и газа

Юридический адрес

14th Floor, City Tower, 40 Basinghall Street, London EC2V 5DE, United Kingdom (Великобритания)
Тел.: +44 (0)20 3763 9700 Факс: +44 (0)20 3763 9701
Эл. почта: reception@iogp.org Веб-сайт: www.iogp.org

Офис в Брюсселе

Boulevard du Souverain 165, 4th Floor, B-1160 Brussels, Belgium (Бельгия)
Тел.: +32 (0) 2 566 9150 Факс: +32 (0) 2 566 9159
Эл. почта: reception@iogp.org

Офис в Хьюстоне

10777 Westheimer Road, Suite 1100, Houston, Texas 77042, United States (Соединенные Штаты Америки)
Тел.: +1 (713) 470 0315 Эл. почта: reception@iogp.org

Отчет IOGP № 533

Дата публикации: 2015

© IPIECA-IOGP 2015. Все права защищены.

Воспроизведение, сохранение в системах поиска или передача любой части данной публикации, в любой форме или с использованием любого рода средств связи, в том числе, электронных, механических, копировальных, записывающих или других, без предварительного письменного разрешения IPIECA запрещается.

Заявление об ограничении ответственности

Несмотря на все усилия, предпринятые для обеспечения точности информации, содержащейся в данной публикации, ни IPIECA, ни IOGP, ни их прошлые, настоящие или будущие члены не гарантируют ее точность и не несут ответственности за любое предполагаемое или не предполагаемое использование данной публикации, вне зависимости от возможных случаев небрежности. Следовательно, получатель может использовать эту публикацию на свой собственный риск на основании того, что такое использование предполагает согласие с условиями данного отказа от ответственности. Информация, приведенная в этой публикации, не является профессиональной консультацией, и ни IPIECA, ни IOGP, ни их члены не несут никакой ответственности за последствия правильного или неправильного использования данной документации. Этот документ может служить руководством, дополняющим местное законодательство. Тем не менее, никакая часть этого документа не может заменить, изменить или отменить вышеупомянутые требования или каким-либо другим образом отступить от них. При любых конфликтах или противоречиях между положениями настоящего документа и местным законодательством преимущественную силу имеет действующее законодательство.

Диспергенты: применение под водой

Практические рекомендации для персонала, отвечающего
за управление и ликвидацию чрезвычайных ситуаций

Предисловие

Данная публикация является частью серии практических рекомендаций IPIECA-IOGP, в которой обобщаются текущие представления о действующих подходах к обеспечению готовности к разливам и их ликвидации. Серия практических рекомендаций содействует объединению и согласованию имеющихся в отрасли практических подходов и процессов, информированию заинтересованных сторон и является средством повышения осведомленности и знаний.

Серия практических рекомендаций представляет собой обновленный вариант известной «Серии отчетов по разливам нефти» IPIECA, издаваемой в 1990–2008 годах. В ней рассматриваются вопросы, которые широко применяются как в поисково-разведочных работах, так и на производстве, а также при отгрузке и транспортировании.

Изменения внесены в рамках совместного отраслевого проекта по вопросам ликвидации разливов нефти IOGP-IPIECA (JIP). Проект JIP был разработан в 2011 году в связи с появлением возможности изучения вопросов обеспечения готовности к разливам нефти и их ликвидации по итогам ликвидации инцидента в Мексиканском заливе в апреле 2010 года.

Примечание о практических рекомендациях

«Практическая рекомендация» в этом контексте является изложением признанных международным сообществом руководящих принципов, подходов и процедур, которые позволят нефтегазовой промышленности обеспечить надлежащий уровень здоровья персонала, безопасности и экологической эффективности.

Практические рекомендации в конкретной области изменяются по мере появления новых достижений в технологиях, практическом опыте и научном понимании, а также по мере изменений в политической и социальной среде.

Содержание

Предисловие	2	Анализ суммарной экологической выгоды	29
Краткое содержание	4	Шаг 1: Оценка данных	30
Роль диспергентов в ликвидации разливов нефти	6	Шаг 2: Прогнозирование последствий	30
Поведение нефти, разлитой под водой	7	Шаг 3: Поиск компромисса между преимуществами и недостатками	31
Прочие подводные выбросы	10	Шаг 4: Выбор наилучших вариантов	34
Возможные последствия подводного разлива нефти	11	Нормативно-правовое регулирование использования диспергентов	35
Возможные последствия в толще воды	11	Законодательство по утверждению диспергентов для применения под водой	35
Возможные последствия на поверхности моря	12	Правила получения разрешения на применение диспергентов под водой	35
Ликвидация подводного разлива нефти	14	Пример: инцидент Макондо	36
Меры реагирования при подводном разливе	14	Подводный выброс нефти и газа на скважине Макондо	36
Диспергенты и их действие	16	Применение диспергентов на скважине Макондо	38
Состав современных диспергентов	16	Требования к мониторингу толщи воды	43
Механизм действия диспергентов под водой	17	Оценка ущерба природным ресурсам	48
Преимущества и потенциальные риски использования диспергентов под водой	19	Оперативные аспекты — обзор	49
Возможности и ограничения	21	Необходимое оборудование	49
Возможности использования диспергентов под водой	21	Запасы диспергентов	50
Ограничения при использовании диспергентов под водой	22	Развертывание оборудования для закачивания диспергентов под водой	50
Токсичность и биологическое разложение нефти	23	Скорость обработки диспергентом под водой	51
Химические соединения в сырой нефти	23	Задачи подводного мониторинга и отбора проб	52
Потенциально токсичные химические соединения в нефти	23	Выводы	55
Испытания диспергентов и диспергированной нефти на токсичность	23	Приложение: Пример АСЭВ для четырех сценариев планирования подводного выброса	57
Воздействие нефти, диспергированной нефти и водорастворимых соединений нефти	26	Литература	65
Последствия использования диспергентов од водой	26	От авторов	70
Воздействие на морские организмы при проглатывании диспергированных капель нефти	27		
Биологическое разложение нефти	27		

Краткое содержание

Цель обработки нефти диспергентами, как на поверхности моря, так и под водой, одна: свести к минимуму общий экологический и социально-экономический ущерб путем ограничения перемещения разлитой нефти к прибрежным или береговым местам обитания, а также на берег. Обработка диспергентами плавающей нефти позволяет разорвать нефтяное пятно на множество небольших диспергированных капель, которые быстро растворяются и впоследствии биологически разлагаются в верхнем слое толщи воды. Использование диспергентов под водой позволяет не допустить выход нефти на поверхность моря за счет диспергирования нефти в том же слое воды, где произошел разлив. Это дает значительный положительный эффект для сохранения здоровья и безопасности за счет меньшего воздействия летучих органических соединений (ЛОС) на персонал, работающий вблизи места разлива. Добавление диспергентов в разлитую под водой нефть или газ позволяет значительно увеличить объем нефти, распадающейся на небольшие капли, которые подвергаются диспергированию, растворению и биологическому разложению в толще воды, в отличие от более крупных капель, которые всплывают на поверхность моря. Поверхностно-активные вещества, входящие в состав диспергентов, значительно уменьшают поверхностное натяжение между водой и нефтью под воздействием турбулентности, обусловленной подводным разливом нефти и газа. В результате большая часть разлитой нефти преобразуется в небольшие нефтяные капли.

Опыт, полученный в процессе ликвидации разлива на скважине Макондо, связанной с платформой Deepwater Horizon («Глубоководный горизонт») в Мексиканском заливе в 2010 году, показал, что закачивание диспергента под водой может быть эффективным методом реагирования при подводных нефтяных и газовых выбросах. Если бы не применили диспергенты под водой, берега достигло бы значительно больше нефти. Трудности, с которыми столкнулись при проведении операции по ликвидации разлива на глубине 5100 футов (1550 метров) с применением недостаточно изученного метода, были поистине колоссальными. Для создания жизнеспособного метода ЗДПВ во время крупнейшей из когда-либо проводившихся операций потребовались невероятная изобретательность и опыт.

Ликвидация разлива нефти под водой методом ЗДПВ имеет целый ряд преимуществ по сравнению с ликвидацией разлива нефти выплывшей на поверхность моря. Например, ЗДПВ:

- позволяет обрабатывать нефть в месте ее выброса;
- требует применения меньшего количества диспергентов по сравнению с поверхностной обработкой;
- сокращает риски для здоровья и безопасности ликвидаторов, связанные с воздействием ЛОС и самой нефти;
- операция может проводиться постоянно, в дневное и ночное время, при практически любых погодных условиях, в отличие от методов, применяемых на поверхности моря.

Растворение разлитой нефти в толще воды обладает определенными возможностями и ограничениями, наряду с преимуществами и рисками, которые, как и при выборе метода реагирования, подлежат оценке в рамках анализа суммарной экологической выгоды (АСЭВ). Применение диспергента приведет к разделению выброшенной нефти на небольшие капли, которые рассеиваются в толще воды. Метод ЗДПВ обладает следующими преимуществами:

- Диспергирование разлитой нефти в толще воды исключает или сокращает объем нефти, выходящей на поверхность моря, откуда она может попасть на берег, нанося урон чувствительным к нефти прибрежным местам обитания, дикой природе и социально-экономическим ресурсам.
- Диспергирование нефти в толще воды в виде небольших капель обеспечивает быстрое заселение микроорганизмов, разлагающих нефтяные продукты, что является естественным процессом для океанической среды. Эти микроорганизмы обеспечат быстрое разложение существенных объемов нефти в течение нескольких дней или недель. Диспергент также подвергается биологическому разложению.

Кроме прочего, с методом ЗДПВ связан целый ряд рисков. Увеличение объема и концентрации диспергированной нефти в воде может временно привести к увеличению риска для морских организмов, в связи с воздействием диспергированной нефти. Тем не менее, высокий уровень содержания диспергированной нефти в толще воды возникает при большой скорости выброса нефти и газа, даже если диспергенты не использовались под водой. Все вовлеченные стороны должны понимать преимущества и недостатки ЗДПВ и, в идеальном случае, все вопросы должны быть заблаговременно решены во время планирования действий при аварийном разливе нефти.

Организация работ по применению метода ЗДПВ требует привлечения соответствующего специального оборудования, обученного персонала и должной поддержки. Для проведения операции потребуется несколько телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА), специальные морские суда для снабжения и организации поставки запасов диспергентов.

Использование диспергентов под водой требует наладки подводного мониторинга для оценки эффективности и перемещения подводных шлейфов под действием преобладающих подводных течений. Для решения проблем, связанных с возможным токсическим воздействием диспергированной нефти на морские организмы, может потребоваться организация дополнительного мониторинга воды и отбора проб с последующим химическим анализом с целью контроля концентраций и объемов нефти, которые не должны превышать прогнозные показатели, установленные по результатам АСЭВ. Именно это было реализовано в рамках инцидента Макондо. Несмотря на то, что многие исследования все еще продолжаются, имеющиеся данные показывают, что опасения по поводу высокой токсичности для морских организмов, истощения кислорода в воде из-за биологического разложения и присутствия диспергентов в толще воды являются необоснованными, а метод подводного применения диспергентов доказал свою высокую эффективность при ликвидации разливов.

Роль диспергентов в ликвидации разливов нефти

Применение диспергентов на поверхности воды является одним из нескольких возможных методов ликвидации последствий нефтяных разливов на море. Использование диспергентов может быть полезным способом снижения опасности на месте разлива и общего ущерба от инцидента за счет удаления нефти с поверхности моря путем ее перемещения в толщу воды, исключая ее попадание в чувствительную прибрежную среду обитания и на береговую линию. Диспергирование нефти ускоряет естественные процессы биологического разложения. Использование диспергентов не ведет к оседанию нефти на дно моря.

Как и все методы, входящие в набор средств для ликвидации разливов нефти, использование диспергентов имеет некоторые ограничения, но в то же время оно особенно полезно при ликвидации крупных разливов нефти в море. Это методическое руководство IPIECA-IOGP содержит сведения по использованию диспергентов при подводных выбросах нефти. Сопутствующее руководство под названием «Диспергенты: применение на поверхности воды» (IPIECA-IOGP, 2015) описывает способы удаления плавающей нефти при помощи диспергентов.

Во время выброса нефти и газа из скважины Макондо во время происшествия в 2010 году впервые для обработки нефти непосредственно в месте масштабного выброса был применен метод закачивания диспергента под водой (ЗДПВ). Это был новаторский способ применения диспергентов, который и описывается в этом методическом руководстве.

Задача ЗДПВ такая же, как и при других способах применения диспергентов: исключить или сократить объемы нефти, перемещающейся к мелководным прибрежным водам или на берег, где она может нанести серьезный урон среде обитания с представленными там видами, а также нарушить социально-экономическую деятельность. Успешное использование диспергентов предполагает перемещение в толщу воды большего количества нефти, чем это произошло бы естественным путем, т. е.:

- нанесение диспергентов на плавающую нефть позволяет рассеять ее с поверхности моря в верхний слой толщи воды, где она быстрее растворяется и разлагается под действием живых организмов;
- ЗДПВ позволяет увеличить объем рассеиваемой, растворяющейся и разлагающейся нефти в толще воды, и сократить объем всплывающей и достигающей берега нефти.

Применение диспергентов под водой представляет собой метод ликвидации подводных разливов. Поэтому предварительно важно изучить возможные варианты поведения нефти, разлитой под водой.

Поведение нефти, разлитой под водой

Существует несколько вариантов разлива нефти под водой, среди которых:

- подводные выбросы, например, во время инцидента Макондо в 2010 году и инцидента Ixtoc 1 в 1979 году (Фаррингтон, 1980);
- донные трещины, например трещина на месторождении Frade Field в бразильском бассейне Кампос в 2012 году (Шеврон, 2012) и другие природные трещины, образующиеся в мировом океане;
- утечки или разрывы подводных линий (труб, соединяющих подводные скважины с морской установкой);
- утечки и разрывы подводных магистральных трубопроводов для экспорта нефти;
- утечки из топливных и грузовых отсеков затонувших судов.

Поведение разлитой нефти определяют следующие факторы:

- характеристики разлива, т.е. давление и скорость потока нефти и газа, объемное отношение газа к нефти, а также масштабы и геометрия разлива.
- погодные условия, при которых произошел разлив, т.е. глубина (определяющая гидростатическое давление), температура, течение и океанические условия в месте разлива;
- свойства разлитой нефти; в большинстве случаев нефть, разлитая под водой, имеет высокую температуру, но быстро остывает при контакте с холодной морской водой на большой глубине. Плотность, вязкость и температура застывания нефти, а также изменение этих свойств со временем, будут влиять на поведение разлитой нефти.

Основной характеристикой, влияющей на последующее поведение разлитой нефти, является размер или распределение размеров образующихся нефтяных капель:

- При выбросе нефти под высоким давлением и с высокой скоростью, особенно при наличии газовой фазы, в воде образуются небольшие капли нефти и газовые пузырьки. Последующее поведение нефти и газа будет зависеть от глубины воды.
- При медленном выбросе нефти под небольшим давлением и без газа нефть в воде будет иметь форму крупных шариков.

Скорость, с которой капли нефти будут подниматься в неподвижной морской воде (при солёности 32 промилле, т. е. при плотности 1,024 г/мл), зависит от плотности нефти и размера капель.

Ниже: естественная утечка под небольшим давлением на калифорнийском побережье



USGS

Таблица 1 Диаметр нефтяных капель и время их подъема в статической морской воде

Диаметр нефтяных капель (плотность нефти = 0,85)	Время подъема на 1 м	Время подъема на 1500 м
4 мм (4000 мкм)	от 3 до 5 с	от 1 до 2 часов
3 мм (3000 мкм)	от 5 до 10 с	от 2 до 4 часов
2 мм (2000 мкм)	около 15 с	около 6 ч
1 мм (1000 мкм)	около 20 с	около 8 ч
0,4 мм (400 мкм)	85 с	35 часов
0,2 мм (200 мкм)	5 мин	5 сут
0,1 мм (100 мкм)	19 мин	Наступление биологического разложения до того, как нефть поднимется на эту высоту
0,05 мм (50 мкм)	1,3 часов	Наступление биологического разложения до того, как нефть поднимется на эту высоту
0,02 мм (20 мкм)	8 часов	Наступление биологического разложения до того, как нефть поднимется на эту высоту
0,01 мм (10 мкм)	31 часов	Наступление биологического разложения до того, как нефть поднимется на эту высоту

Примечание: во время быстрого подъема в воде форма капель нефти диаметром более 0,4 мм отклоняется от сферической, что может сказаться на точности временных оценок.

Почти все виды сырой нефти обладают меньшей плотностью, чем морская вода, поэтому такая нефть всегда стремится всплыть, но крупные нефтяные капли всплывают намного быстрее, чем мелкие капли (см. таблицу 1 на странице 7). Как видно из таблицы, небольшие нефтяные капли при подводном выбросе разлагаются под действием живых организмов до того, как достигнут поверхности моря. Биоразложение также приведет к замедлению скорости подъема капель из-за уменьшения их размеров. В приведенных оценках этот фактор не учтен.

Подводный выброс

Имеются теоретические исследования того, что может происходить с нефтью при подводных выбросах на большой глубине, однако в реальных условиях был проведен лишь один масштабный эксперимент, целью которого было подтвердить или опровергнуть теоретические соображения. Эксперимент назывался DeepSpill и был проведен в Норвежском море в 2000 году на глубине 844 м (2770 футов), приблизительно в 125 км от побережья центральной Норвегии (Johansen *и др.*, 2001 и Johansen *и др.*, 2003). Было произведено четыре контролируемых выброса нефти и газа, общий объем нефти составил 120 м³ (755 баррелей), природного газа – 10 000 стандартных м³. Задачей этого эксперимента было исключительно изучение необработанной нефти, поэтому диспергенты не использовались. В ходе испытаний были проведены обширные наблюдения характеристик ветра, течений, плотности воды, поверхностной и подповерхностной концентрации нефти, а также взяты химические и биологические пробы из толщи воды. Нефть начала достигать поверхности примерно через час после начала выброса, и в нескольких сотнях метров от места выброса. Нефть продолжала выходить на поверхность в течение нескольких часов, пока выброс не прекратился. Газовые гидраты не образовывались. Пузырьки газа не достигали поверхности моря, что указывает на то, что газ был растворен в воде. Эхолоты на борту исследовательских судов помогали отслеживать шлейф нефти и газа по мере его восхождения в толще воды.

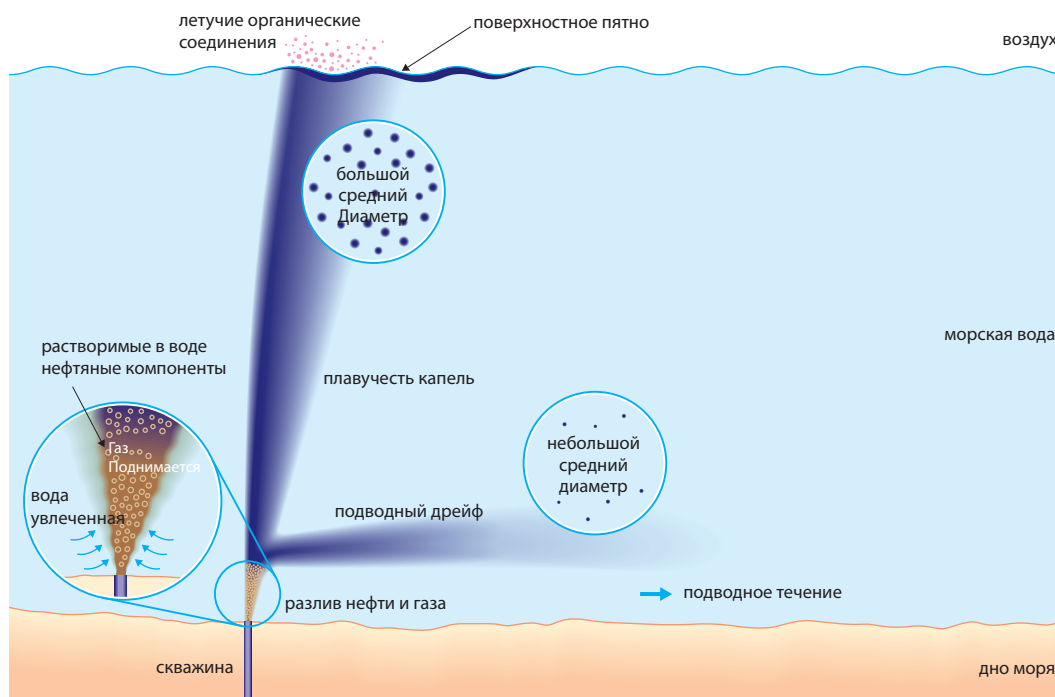
Выводы по эксперименту DeepSpill, двум последующим лабораторным испытаниям и трем работам по сравнению моделей изложены в отчете «Обзор эксперимента по моделированию глубоководного разлива, проведенного при поддержке DeepSpill JIP и Комитетом подрядчиков по бурению скважин в море», выпущенном в 2005 году (Adams and Socolofsky, 2005). Основные выводы отчета:

- Капли нефти и метана, выпускаемые с высокой скоростью под водой на большой глубине, распадаются под действием высокой турбулентности, создаваемой в условиях разлива, на небольшие капли нефти и газовые пузырьки. Эту нефть зачастую называют «механически» диспергированной нефтью, чтобы отличать ее от нефти, диспергированной при помощи диспергентов.
- Шлейф из небольших нефтяных капель, газовых пузырьков и увлеченной воды сначала быстро поднимается в форме плавучего столба, в котором основным источником плавучести является газ. Ближе к месту выброса этот шлейф ведет себя как однофазный.
- По мере подъема нефтяных капель и газовых пузырьков с большой глубины (более 500 метров), метан растворяется в море (из-за свойств растворимости при высоком давлении); это уменьшает плавучесть шлейфа и замедляет его подъем.
- Под действием стратификации в толще воды и течений капли нефти и газа (не растворенного) отделяются от шлейфа увлеченной воды.
- Более крупные капли нефти продолжают медленно подниматься на поверхность моря за счет собственной плавучести, которая зависит от размера капель, тогда как более мелкие капли начинают перемещаться в горизонтальной плоскости и остаются взвешенными в воде, растворяясь и подвергаясь биологическому разложению.

Эти процессы схематично представлены на рисунке 1 на странице 9.

Не вся нефть, выходящая из места разлива на глубине, достигнет поверхности моря. Турбулентность, вызванная высокими скоростями потока струй нефти и газа, преобразует часть нефтяных капель, размер которых будет достаточно малым для растворения в воде под действием преобладающих

Рисунок 1 Схематичное представление подводного разлива (не в масштабе)



течений в толще стратифицированной воды. Объем нефти, который будет растворен под действием турбулентных сил при разливе, зависит от конкретных обстоятельств разлива.

В случае подводного выброса нефти и газа на глубине менее 500 метров (см. рисунок 2) газ не обязательно будет растворяться в воде. При выбросах нефти и газа в более мелкой воде на глубине менее 500 метров пузырьки газа быстро поднимаются на поверхность моря, откуда попадают в воздух (с риском воспламенения/взрыва), а нефть начинает радиально распространяться по поверхности моря.

Рисунок 2 Схематичное представление выброса нефти и газа на мелководье, когда большая часть выходящего газа достигает поверхности (не в масштабе)

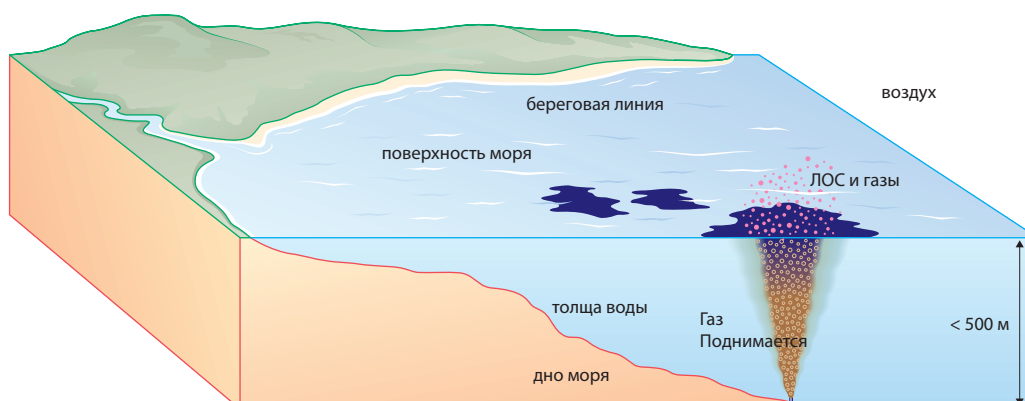


Рисунок 1 демонстрирует процессы, протекавшие во время экспериментов DeepSpill и при разливе Макондо в 2010 году (не в масштабе). Шлейф крупных нефтяных капель, которые поднимаются к поверхности моря, и шлейф небольших капель диспергированной нефти, которые перемещаются в горизонтальной плоскости и остаются в толще воды, выделены на схеме цветом для лучшего восприятия. Шлейфы диспергированной нефти в толще воды не показаны, так как для определения растворенной нефти в воде требуется высокочувствительное измерительное оборудование.

Выброс Ixtoc I в Мексике, 1979 год, на глубине менее 100 метров



На плавающую на поверхности нефть начнут действовать процессы выветривания, включая перемещение под действием ветров и поверхностных течений, испарение, фрагментацию и, возможно, эмульгирование.

Прочие подводные выбросы

При оценке возможных результатов необходимо учитывать обстоятельства конкретного подводного выброса нефти. Для прогнозирования вероятного поведения нефти существует несколько компьютерных моделей.

- Незначительная течь на подводном нефтегазовом трубопроводе может привести к образованию мелких струй небольших нефтяных капель, попадающих в воду, однако общий объем нефти при этом будет небольшим. Разрыв такого трубопровода первоначально приведет к быстрому выбросу нефти и газа, однако он прекратится после изоляции линии и стравливания давления.
- Разрыв магистрального трубопровода для экспорта нефти, после того как из него будет удален газ на морском основании, приведет к изначальное большому выбросу нефти, однако по мере заполнения разорванного трубопровода водой скорость разлива нефти уменьшится. Нефть с большей вероятностью будет подниматься в виде крупных шариков.
- Характер разлива нефти с затонувших судов будет зависеть от обстоятельств, однако, скорее всего, он будет медленным, и это будет топливо или перевозимая нефть в виде крупных шариков.

Маловероятно, что для перечисленных выше сценариев метод ЗДПВ будет целесообразным и допустимым.

Возможные последствия подводного разлива нефти

Как говорилось в предыдущем разделе, нефть, разлитая при подводном выбросе, может попасть в толщу воды в виде капель различного размера. Относительно крупные нефтяные капли будут подниматься сравнительно быстро, а небольшие капли – гораздо медленнее, некоторые из них не достигнут поверхности воды из-за процессов диспергирования, растворения и последующего разложения в толще воды.

Возможные последствия в толще воды

В толще воды существует потенциальный риск воздействия на морские организмы диспергированных капель нефти и других веществ, которые могут растворяться и выделяться из нефтяных капель. Возможность нанесения вреда этим организмам зависит от множества факторов, включая химический состав нефти, концентрацию капель и растворенных соединений, которые могут влиять на эти организмы, продолжительность воздействия и чувствительность видов. Взрослые рыбы могут распознавать нефтяные соединения в воде и уходить из мест с высокой концентрацией нефти вблизи разлива, в то время как планктон дрейфует по течению и не может избежать воздействия нефтяных соединений.



Shutterstock.com



Wellcome Images

Взрослые рыбы (слева) в состоянии ощутить наличие нефтяных соединений в воде и, скорее всего, покинут загрязненную зону; планктон же (рядом слева) дрейфует по течению и не может избежать воздействия нефти.

Возможные последствия на поверхности моря

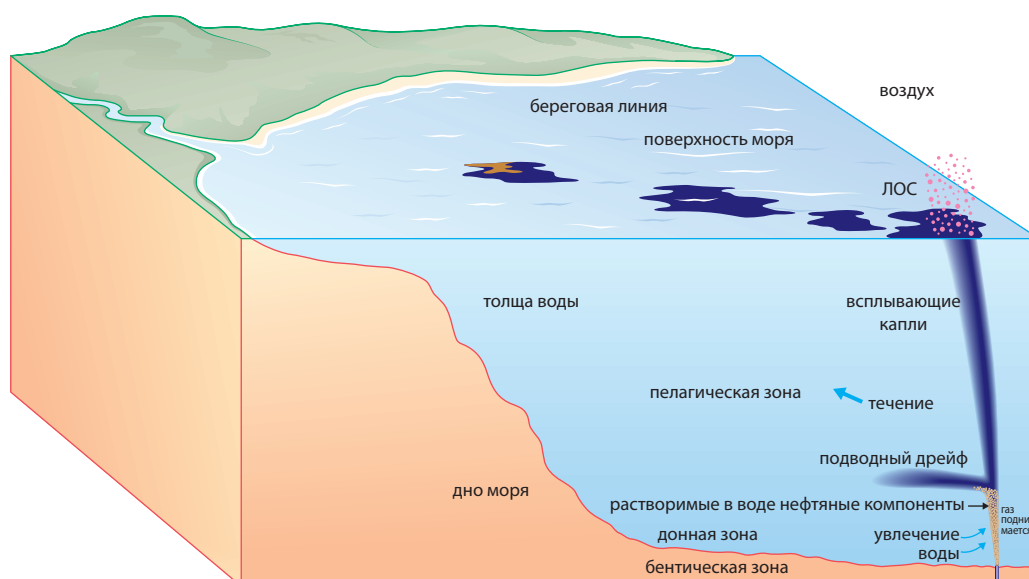
Разлитая нефть, поднимающаяся к поверхности моря, будет распространяться и образовывать нефтяные пятна в непосредственной близости от места выброса. Некоторые части более летучих компонентов нефти (бензол, толуол, этилбензол и ксилолы (БТЭК), часто называемые летучими органическими соединениями, или ЛОС), могут растворяться в толще воды; объем растворяемых веществ будет зависеть от глубины выброса нефти, а также других факторов (например, применения метода ЗДПВ). ЛОС, достигающие поверхности моря, испаряются из нефти и попадают в воздух. Представляет ли это угрозу для здоровья и безопасности ликвидаторов подлежит оценке в рамках плана ликвидации аварийных разливов нефти.

Плавающая нефть будет дрейфовать под действием преобладающих ветров и течений. Нефть, дрейфующая на поверхности моря, может представлять опасность для дикой природы, например, для морских птиц, которые садятся на поверхность или ныряют в воду через нефть, а также черепах и морских млекопитающих, которые всплывают на загрязненную поверхность для дыхания. Вероятность нанесения вреда организмам зависит от множества факторов, включая химический состав и концентрацию нефти, продолжительность, метод воздействия и чувствительность видов. Возможные последствия могут включать раздражение, гипотермию и сублетальный или смертельный токсический эффект.

Наиболее чувствительными к нефти являются те экологические ресурсы, которые находятся в прибрежных водах или на береговой линии. Эти прибрежные районы также служат средой для питания многих видов рыб и беспозвоночных, а также местом гнездования птиц. Нефть, дрейфующая к берегу, может вступить в контакт с этими экологическими ресурсами и повлиять на социально-экономическую деятельность на берегу, имеющих важное значение для местных сообществ.

Нефть, разлитая в море, может оказывать отрицательное воздействие на различные экологические и социально-экономические ресурсы, в зависимости от объекта окружающей природной среды. Виды воздействия сведены на рисунке 3 (ниже) и в таблице 2 (страница 13). Более подробная информация приводится в методических руководствах IPIECA-IOGP по вопросам морской и береговой экологии (IPIECA-IOGP, 2015a, 2016).

Рисунок 3 Схематичное представление объектов окружающей природной среды относительно подводных разливов на большой глубине



Примечание. Шлейфы диспергированной нефти в толще воды не показаны, так как для обнаружения растворенной нефти в воде требуется высокочувствительное измерительное оборудование. Места возможного эмульгирования плавающей нефти показаны изменением цвета на коричневый/оранжевый.

Таблица 2 Возможное воздействие нефти на объекты окружающей природной среды

Объект окружающей природной среды		Потенциальное воздействие нефти
Бентическая зона морского дна		Подводные выбросы нефти либо всплывают на поверхность, либо образуют подводные шлейфы, которые растворяются и разлагаются естественным образом по мере перемещения от места выброса. Большая часть нефти в форме небольших капель, плавающих в воде, будет разложена естественным образом через несколько дней или недель. Соединения нефти, которые устойчивы к биологическому разложению, как например те, что входят в состав битума или асфальта, в значительной степени биологически инертны и обладают низкой токсичностью. Доля сырой нефти в этих соединениях, как правило, невелика, и концентрация этого остатка в воде будет очень мала (несколько частей на миллиард), как и остатков биологически разложенных диспергированных нефтяных капель. Некоторые из этих соединений могут в конечном счете осесть на морское дно, но это произойдет на большой площади и при низких концентрациях, что не создаст рисков для морской жизни.
Толща воды	Вблизи донной зоны	
	Пелагическая зона на большой глубине	
	Прибрежная зона	
Поверхность моря		
Прибрежные отложения		
Береговая линия		
Социально-экономическая сфера		

Ликвидация подводного разлива нефти

Развертывание любого метода из набора средств ликвидации разлива нефти должно быть направлено на минимизацию ущерба, который мог бы быть причинен разлитой нефтью, если бы не последовало никакой реакции. Основная экологическая угроза от плавающей нефти наступает при попадании нефти в прибрежную зону или на берег. Окружающая среда береговой зоны обычно отличается биологическим изобилием, поэтому такие места более чувствительны к нефти, чем места обитания водной среды. Защита берега от дрейфующей нефти обычно является ключевым фактором минимизации экологического воздействия нефтяного разлива.

Ликвидация подводного разлива нефти может осуществляться:

- **в источнике:** процедуры контроля источника разлива ставят перед собой задачу остановить разлив или предотвратить прибытие нефти к поверхности моря путем подводной локализации (с последующим перемещением в резервуары для хранения) или ускорения диспергирования нефти;
- **на поверхности моря:** после подъема нефти на поверхность моря после подводного выброса основной задачей ликвидационной операции становится предотвращение движения нефти к берегу.

Преимуществом подводных операций является возможность принятия мер в известном конкретном месте. Если нефть попадает на поверхность, она начинает перемещаться, и в некоторых случаях пятна могут распространяться на большую площадь морской поверхности под действием преобладающего ветра и течений.

Меры реагирования при подводном разливе

Управление источника разлива

При подводных разливах основной целью ликвидационной операции всегда является остановка выброса нефти. В случае утечки или разрыва магистрального трубопровода или трубопроводов для экспорта нефти могут быть предусмотрены системы инженерного контроля, предназначенные для быстрого перекрытия или изоляции поврежденных участков. Более сложной задачей является остановка потока при подводном выбросе в случае поломки предохранителя выбросов. Эффективным способом может оказаться бурение вспомогательных скважин для перехвата и перенаправления потоков нефти из точки, расположенной значительно ниже донного устья скважины, но эта операция может растянуться на недели. В последние годы распространение получают быстро разворачиваемые аварийные заглушки для герметизации нефтяной скважины в маловероятном случае сбоя всех защитных устройств, включая предохранители выбросов. Компании Marine Well Containment Company (MWCC), Subsea Well Intervention Service (SWIS) и другие представители отрасли в настоящее время предлагают предохранительные заглушки, которые могут быстро разворачиваться в любых местах, где ведется разведка, разработка или добыча нефти.

Локализация и сбор нефти под водой

Сбор части или всей нефти после подводного разлива может быть осуществлен с помощью разворачивания различных устройств, предназначенных для этих целей. После инцидента на скважине Макондо и других инцидентов в рамках Проекта ликвидации аварий на подводных скважинах (SWRP), а также компаниями MWCC и Helix Well Containment Group были разработаны различные наборы инструментария, оборудование для локализации нефти и ряд рекомендаций по ликвидации подводных разливов. В настоящее время SWIS и другие поставщики услуг в международных масштабах предлагают оборудование и услуги по подводной локализации и сбору нефти. В основе концепции локализации лежат существующие буровые установки и имеющееся на рынке оборудование для контроля скважин, которые позволяют перехватить жидкость из скважины, где произошел инцидент, и направить ее на поверхность для последующей переработки и утилизации. Если блокировка скважины невозможна,

то может быть применен набор инструментария для локализации скважины, который позволяет направить поток углеводородов из аварийной заглушки скважины на грузовой танкер.

Закачивание диспергентов под водой

Закачивание диспергентов под водой (ЗДПВ) может предотвратить или сократить объемы нефти, достигающей поверхности моря и впоследствии дрейфующей к берегу. Более подробная информация приводится в последующих разделах.

Удаление плавающей нефти

Для ликвидации подводных разливов нефти, выходящей на поверхность моря, и поверхностных разливов применяются одинаковые и хорошо известные методы реагирования, которые включают:

- **Локализация и удаление** разлитой нефти с поверхности моря с помощью плавучих заграждений (бонов) и сбора с помощью устройств для удаления нефти (скиммеров); удаляемую нефть сохраняют в резервуарах или других плавучих средствах временного хранения для последующей переработки или утилизации.
- **Контролируемое сжигание нефти на месте разлива:** нефть окружают огнеупорными бонами и поджигают. Контролируемое сжигание на месте разлива удаляет нефть путем ее преобразования в поднимающиеся в воздух продукты сгорания (в первую очередь, диоксид углерода и пары воды с небольшим количеством сажи и других газов), которые быстро рассеиваются в атмосфере.
- **Применение диспергентов:** перемещает плавающую нефть в верхнюю толщу воды в виде мелких капель, которые быстро разбавляются до небольших концентраций в воде. Большая часть нефти в этих каплях впоследствии подвергается биологическому разложению углеводородо-разлагающими организмами. В конечном счете, большая часть нефти должна быть биологическим путем превращена в диоксид углерода и воду.

Каждый из этих способов обладает преимуществами и ограничениями, которые увеличивают или снижают их применимость в каждом конкретном случае (см. таблицу 3).

Таблица 3 Ключевые оперативные свойства основных методов ликвидации подводных разливов нефти (обратите внимание, что работы на поверхности моря обычно ограничены дневным временем)

Фактор	Локализация и сбор	Контролируемое сжигание нефти на месте разлива	Использование диспергентов
Скорость, с которой можно выйти на разлитую нефть	Низкая	Низкая	Высокая
Скорость удаления разлитой нефти	Низкая	Высокая во время горения	Высокая
Ограничения, обусловленные преобладающими условиями	Максимальная скорость ветра – до 20 узлов, высота волны – 2,5 метров	Максимальная скорость ветра – до 10 узлов, высота волны – менее 1 м	Максимальная скорость ветра – до 35 узлов, высота волны – 5 метров
Тип и свойства нефти	Необходимо, чтобы скиммер соответствовал изменению вязкости	Нефть, потерявшую легкие фракции, и эмульгированную нефть трудно зажечь	Для нефти с высокой вязкостью могут возникнуть проблемы с диспергированием, также возможно ограничение температуры застывания нефти

Диспергенты и их действие

Состав современных диспергентов

Диспергенты представляют собой смеси поверхностно-активных веществ в растворителях.

Поверхностно-активные вещества

Поверхностно-активные вещества используются в различных бытовых и промышленных целях. Молекулы поверхностно-активного вещества имеют две связанных между собой части: гидрофильную (притягиваемую к воде) часть, соединенную с олеофильной (притягиваемой к нефти) частью. Поверхностно-активные вещества могут быть разделены на различные группы, например, анионогенные (с отрицательно заряженной гидрофильной частью), неионогенные (с незаряженной гидрофильной частью), катионогенные (с положительно заряженной гидрофильной частью) или амфотерные (объединяющие катионогенные и анионогенные в одной молекуле). Выпускаются и доступны для приобретения тысячи поверхностно-активных веществ. Они являются активными ингредиентами во многих товарах бытовой химии, например, в мыле, шампунях, пищевых добавках, косметике, моющих и дезинфицирующих средствах. Специально для нефтяных диспергентов поверхностно-активные вещества не производятся.

В большинстве случаев поверхностно-активные вещества предназначены для снижения поверхностного натяжения на границе раздела фаз (IFT) между двумя жидкостями. Поверхностно-активные вещества, используемые в обычных средствах для очистки, снижают поверхностное натяжение воды (также называемое IFT «воздух-вода»), поэтому вода может более эффективно смачивать волокна и очищаемые поверхности. Они отцепляют и обволакивают грязь, а это гарантирует, что грязь не будет снова оседать на поверхности.

Поверхностно-активные вещества, используемые в диспергентах, уменьшают IFT «нефть-вода», ориентируясь на границу раздела «нефть-вода». Олеофильная часть молекулы поверхностно-активного вещества находится в нефти, а гидрофильная часть – в воде. Поверхностно-активное вещество образует «мост» между нефтью и водой. Теперь границу раздела между нефтью и водой занимают поверхностно-активные вещества, а это снижает IFT «нефть-вода» примерно в 30 раз, если используется современный диспергент с хорошей рецептурой. Снижение IFT «нефть-вода» позволяет волнам и иным источникам энергии разрывать нефтяное пятно на множество мелких капель, рассеивающихся в воде. Кроме того, капли обволакиваются поверхностно-активными веществами, что не позволяет им прилипнуть друг к другу для образования более крупных капель, которые, скорее всего, вновь всплывали бы на поверхность.

Растворители

Растворители, используемые в современных диспергентах – это гликолевые эфиры, углеводороды и вода (Fiocco *и др.*, 1995). Растворитель необходим для получения жидкого, легкораспыляемого диспергента. Многие поверхностно-активные вещества являются жидкостями с высокой вязкостью и/или твердыми веществами, поэтому их необходимо смешать с растворителем для получения диспергента с относительно низкой вязкостью. Растворитель также помогает диспергентам поддерживать плавучесть, а поверхностно-активному веществу – проникнуть в разлитую нефть.

Точная рецептура большинства диспергентов является конфиденциальной информацией. Однако подробные сведения о рецептуре могут передаваться в конфиденциальном порядке в национальные регулирующие органы в рамках процесса регистрации или утверждения диспергента. Большинство диспергентов состоит из смеси двух или трех неионогенных поверхностно-активных веществ (Brochu *и др.*, 1986), а иногда включают анионогенное поверхностно-активное вещество (Brandvik и Daling, 1998). Все современные поверхностно-активные вещества, используемые в диспергентах, также широко применяются в бытовых продуктах.

Список ингредиентов запасенных в большом количестве диспергентов COREXIT® был опубликован их производителем и приведен в таблице 4.

Таблица 4 Список ингредиентов запасенных в большом количестве диспергентов COREXIT®, опубликованный производителем

Номер химического вещества реферативной службы	Наименование	Родовое наименование	Примеры повседневного использования
1338-43-8	Сорбитан, моно-(9Z)-9-октадеценоат	Span	Крем для кожи, шампунь для тела, эмульгатор в соке
9005-65-6	Сорбитан, моно-(9Z)-9-октадеценоат поли(окси-1,2-этандинил) производные	Tween	Детские ванны, жидкость для полоскания рта, лосьон для лица, эмульгатор в пищевых продуктах
9005-70-3	Сорбитан три-(9Z)-9-октадеценоат, поли(окси-1,2-этандинил) производные	Tween	Лосьон для тела/лица, лосьоны для загара
577-11-7	Натриевая соль 2-сульфо-, 1,4-бис (2-этилгексил) эфира янтарной кислоты (1: 1) [содержит 2-пропандиол]	DOSS	Смачивающий агент в косметических продуктах, желатин, напитки
29911-28-2	Пропанол, 1-(2-бутоксид-1-метилэтоксид)	Гликолевый эфир, растворитель	Бытовая химия
64742-47-8	Дистиллят (нефть), гидроочищенный легкий	Углеводородный растворитель	Освежитель воздуха, чистящее средство
111-76-2	Этанол, 2-бутоксид [не входит в состав COREXIT® 9500]	Гликолевый эфир, растворитель	Чистящие средства

Некоторые из наиболее широко используемых неионогенных поверхностно-активных веществ имеют гидрофильную часть на основе сорбитана (полученного из сорбита, сахара) и олеофильную часть на основе жирной кислоты (растительного масла) (Al-Sabagh и др., 2007). Эти неионогенные поверхностно-активные вещества имеют общее торговое наименование «Span». Другие используемые неионогенные поверхностно-активные вещества представляют собой этоксилированные эфиры сорбитана и известны под общим наименованием «Tween». Span и Tween применяются в фармацевтической, косметической, пищевой и агрохимической промышленности. Анионогенным поверхностно-активным веществом, используемым во многих современных диспергентах, является натрий диизооктил сульфосукцинат (иногда называемый DOSS). Это поверхностно-активное вещество также используется во многих бытовых продуктах, например, в разного рода средствах для очистки. Отличительной чертой этого вещества является его водоудерживающая способность, в связи с чем оно используется при лечении некоторых заболеваний людей.

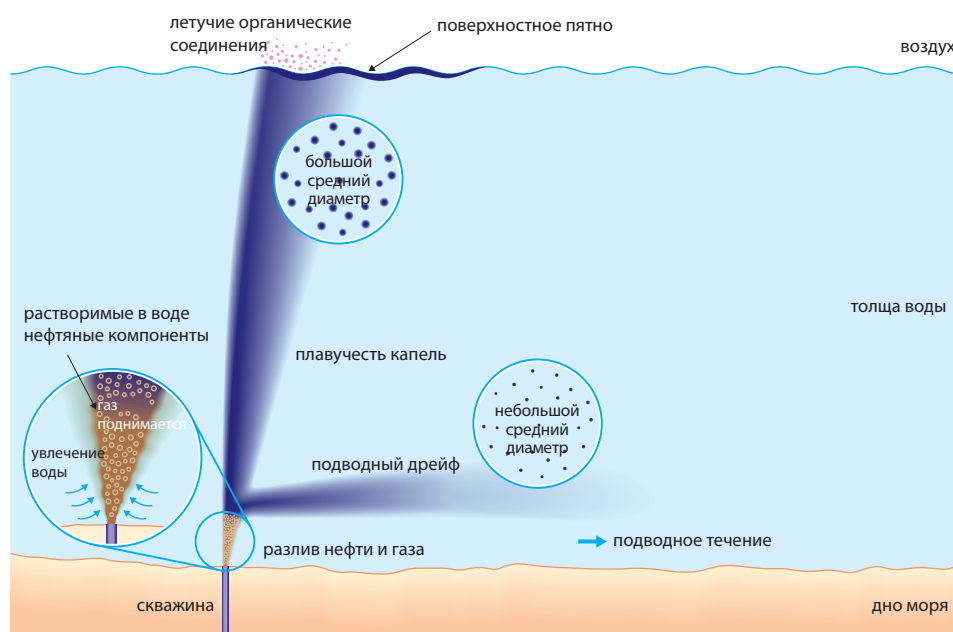
Механизм действия диспергентов под водой

При добавлении к нефти диспергенты позволяют значительно уменьшить значение IFT между нефтью и водой. Поверхностно-активные вещества в диспергентах «создают мост» между различными внутренними свойствами нефти и воды. Это позволяет преобладающей энергии смешивания увеличить относительно количество мелких капель нефти при добавлении диспергентов по сравнению с ситуацией, когда диспергенты не используются. При обработке диспергентами плавающей нефти преобладающей энергией смешивания является энергия волн (IPIECA-IOGP, 2015).

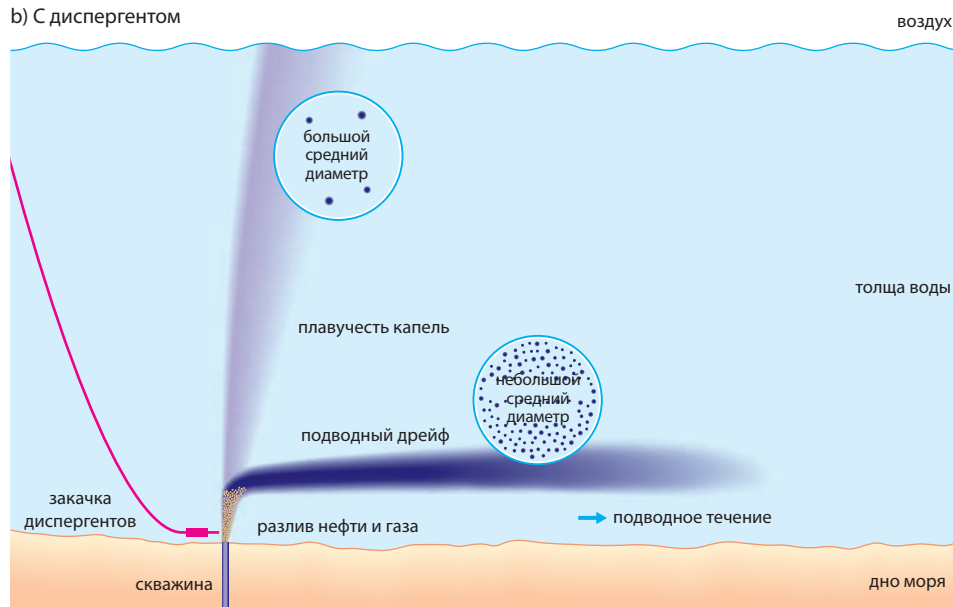
При обработке диспергентами подводного разлива преобладающей энергией смешивания является энергия турбулентности, образующейся в точке выброса нефти и газа. Если нефть выбрасывается под высоким давлением и с высокой скоростью, особенно при наличии газовой фазы, в воде образуется шлейф капель нефти и газовых пузырьков. Даже без использования диспергентов часть разлитой нефти будет иметь форму нефтяных капель, размер которых слишком мал для всплытия на поверхность моря, а в некоторых случаях эта часть будет достаточно весомой.

Рисунок 4 Схематичное представление подводного разлива с добавлением и без добавления диспергентов (не в масштабе)

а) Без диспергента



б) С диспергентом



Примечание. Шлейфы диспергированной нефти в толще воды не показаны, так как для обнаружения растворенной нефти в воде требуется высокочувствительное измерительное оборудование.

При добавлении диспергентов в случае подводного разлива IFT значительно снижается, и под действием турбулентности, связанной с условиями выброса, большая часть нефти превращается в капли, размер которых достаточно мал для рассеяния в воде под действием преобладающих океанографических условий.

Преимущества и потенциальные риски использования диспергентов под водой

Задача метода ЗДПВ при подводном выбросе такая же, как и при других случаях применения диспергентов: исключить или сократить объемы нефти, перемещающейся к мелководным прибрежным водам или на берег, где она может нанести серьезный урон береговой среде обитания с относительно высоким биологическим разнообразием и изобилием видов, а также нарушить социально-экономическую деятельность. Метод ЗДПВ дает значительный положительный эффект для сохранения здоровья и безопасности за счет меньшего воздействия ЛОС на персонал, работающий вблизи места разлива.

Преимущества использования диспергентов

Преимущества использования диспергентов включают:

- Сокращение вероятного урона и нарушения нормальных условий для уязвимых диких животных, прибрежной среды обитания и социально-экономических объектов, которые могут возникнуть, если диспергент не используется, т.е. когда нефть либо остается на поверхности, либо достигает прибрежных вод и береговой линии.
- Увеличение доступности нефти для биоразложения и тем самым ускорение ее естественного разрушения и ассимиляции в окружающую среду.
- Возможность уменьшения концентрации потенциально вредных паров в непосредственной близости от разлива нефти и обеспечение повышенной безопасности для ликвидаторов аварии, осуществляющих свою деятельность на судах в близлежащем районе, а также сведение к минимуму воздействия нефти на ликвидаторов аварии и местное население в более широком контексте. Присутствующие в диспергированной нефти ЛОС растворяются в море, а не испаряются в воздух.
- Применение ЗДПВ позволяет сократить объемы диспергента по сравнению с применением на поверхности воды и позволяет вести работы круглосуточно.
- Сокращает объем нефти, достигающей берега, что может сократить масштабы и продолжительность операций очистки на береговой линии.
- Позволяет избежать образования большого объема отходов, часто связанных с проведением операций по очистке береговой линии; такие отходы могут создавать серьезные экологические проблемы в процессе их обработки, хранения и утилизации.

В целом, эффективная система применения диспергентов под водой способна обработать большую часть нефти, разливаемой из одной точки, до того как она достигнет поверхности и образует плавающее пятно большой площади. Нефть, диспергируемая на глубине в виде небольших капель, не поднимается в верхний слой воды, для которого обычно характерна более богатая морская жизнь.

После развертывания метод ЗДПВ может обеспечить круглосуточную обработку нефти с высокой скоростью, поступающей из точечного источника разлива, практически вне зависимости от погодных условий. Тем не менее, если метод закачивания диспергента под водой применяется с судна, плавающего на поверхности, в экстремальных погодных условиях (например, в случае урагана или тайфуна) это судно должно будет прекратить операцию и вернуться в порт. В таких условиях могут применяться беспилотные или дистанционно управляемые системы ЗДПВ.

Потенциальные риски использования диспергентов под водой

Успешное использование диспергентов (как на поверхности, так и под водой) предполагает перемещение в толщу воды большего количества нефти, чем это произошло бы естественным путем. Потенциальный риск использования диспергентов заключается в увеличении воздействия капель диспергированной нефти и водорастворимых нефтяных соединений, выделяемых из этих капель, на морские организмы, обитающие на глубине.

В ходе многих подводных выбросов нефти и газа значительная часть разлитой нефти может иметь форму шлейфа из мелких капель нефти, плавающих в воде. Это связано с турбулентностью, возникающей из-за высокой скорости поступления в воду нефти и газа. Добавление диспергентов к нефти увеличивает часть нефти, рассеивающуюся в виде очень мелких нефтяных капель, однако это увеличение относительно уже достаточно высокого значения, а не нуля.

В обществе имеется мнение, что использование ЗДПВ может повлиять на доверие к рынку рыболовства.

Процесс оценки применения диспергентов под водой далее рассматривается в контексте анализа суммарной экологической выгоды (АСЭВ) на страницах 29-34.

Возможности и ограничения

Возможности и ограничения обработки диспергентами плавающей нефти подробно описаны в методическом руководстве IPIECA-IOGP по применению диспергентов на поверхности воды (IPIECA-IOGP, 2015).

Возможности использования диспергентов под водой

При должном развертывании методы подводной ликвидации аварийных разливов позволяют обработать всю нефть, выбрасываемую в точечном источнике. Это является отличительным фактором по отношению к сбору плавающей нефти, при котором ограничительным фактором часто является фрагментация и распространение нефти на большой площади. Скорость, с которой метод реагирования позволяет приступить к обработке нефти, обычно называется скоростью встречи. Скорость встречи для методов поверхностного сбора, особенно подразумевающих локализацию нефти, обычно достаточно мала. Однако у методов подводного реагирования скорость встречи может быть значительно выше. Всю разливающуюся нефть можно «встретить» на достаточно небольшом участке, хотя этот небольшой участок может находиться на достаточно большой глубине.

Потенциальные возможности применения диспергентов под водой следует сравнивать с другими методами ликвидации аварийных разливов под водой, включая герметизацию источника, локализацию и сбор нефти. Общим ограничивающим фактором всех этих методов является скорость, с которой возможно развертывание необходимого оборудования и персонала на месте разлива, а также возможность проведения операции на глубине разлива.

Логистические задачи, связанные с перевозкой крупногабаритного и тяжелого оборудования для герметизации источника и локализации нефти под водой (аварийная заглушка может весить до 300 тонн) с места его хранения к месту эксплуатации, могут быть архисложными.

Таблица 5 Сравнение характеристик и ограничений методов подводной герметизации, локализации и закачивания диспергентов

Фактор	Подводная герметизация источника	Подводная локализация нефти	Закачивание диспергентов под водой
Скорость, с которой можно «встретить» разлитую нефть	Очень высокая		
Скорость обработки нефти	Блокировка выхода жидкости из скважины	Сбор жидкости из скважины	Очень высокая
Факторы развертывания	Может потребоваться предварительное удаление мусора	Может применяться в исключительных сценариях, когда герметизации недостаточно или она невозможна	Может применяться до того, как будут развернуты системы герметизации и локализации нефти
Ограничения	Существующие системы могут применяться на глубине до 3 000 метров и при давлении до 15 000 фунтов/кв. дюйм	Существующие системы могут применяться на глубине до 3 000 метров	Существующие системы могут применяться на глубине до 3 000 метров

Ограничения при использовании диспергентов под водой

Эффективность обработки диспергентами плавающей нефти зависит от преобладающего состояния моря и свойств нефти, особенно от ее вязкости, а также от того, как увеличивается вязкость по мере выветривания разлитой нефти.

Применение диспергентов под водой не зависит от преобладающей энергии смешивания, обусловленной движением волн на поверхности моря, и от изменения свойств нефти по мере выветривания.

При подводном выбросе наблюдается непрерывная подача сырой нефти и газа из резервуара. Диспергент должен добавляться в нефть в момент ее попадания в воду. Несмотря на то, что свойства нефти будут быстро меняться из-за растворения в воде некоторых водорастворимых компонентов нефти и резкого падения температуры при попадании нефти в море, маловероятно, что это может привести к снижению эффективности диспергентов для большинства видов нефти. Сырая нефть, разлитая из подводной скважины, зачастую имеет высокую температуру, но быстро остывает при контакте с холодной морской водой на большой глубине. Если температура застывания сырой нефти достаточно мала из-за высокого содержания воска, то в этом случае существует вероятность попадания в воду твердых фракций, которые принимают форму шлейфа из капель затвердевшего воска.

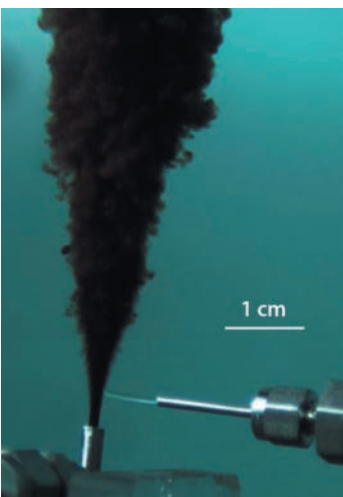
Возможным ограничением применения диспергентов под водой может быть эффективность их применения в месте выброса. Диспергент должен добавляться в нефть и газ в момент их попадания в воду. Исследования (Brandvik и др., 2014а и 2013, а также Johansen и др., 2013) показали, что время, в течение которого поверхностно-активные вещества, входящие в состав диспергентов, может влиять на образование капель после разлива нефти, очень ограничено:

- Если закачивание диспергента в нефтегазовую смесь осуществляется до выброса (например, подача диспергента в разорванную напорную трубу), то место закачивания диспергента должно находиться на расстоянии не более шести диаметров отверстия от места выброса.
- Если диспергент закачивается в турбулентный поток, образуемый выбросом нефти и газа, то место подачи должно быть расположено немного выше места выброса нефти и газа, на расстоянии не более 10 диаметров от места выброса.

Разработаны системы ЗДПВ, учитывающие эти требования и обеспечивающие эффективное применение описываемого метода. Закачивание диспергента в нефть перед ее выбросом непосредственно в месте выброса может быть лучшим вариантом, чем распыление вещества на струю нефти вблизи точки выброса. Точка подачи диспергента должна находиться в пределах прямой струи, т.е. до того места, где поток разделяется на отдельные капли. Расстояние до точки выброса зависит от конкретных условий разлива.

Если подача диспергента непосредственно в поток нефти и газа до их выброса не представляется возможной, то следующим вариантом должен стать поиск такой точки подачи вещества, которая будет расположена как можно ближе к точке выброса. В испытательных условиях диспергенты показывали свою эффективность в тех случаях, когда удавалось обеспечить их закачивание непосредственно в струю нефти, до того как она начинала разделяться на отдельные капли. Основное требование к закачиванию диспергента снаружи от точки выброса заключается в обеспечении распределения диспергента вокруг струи, а не его подача лишь с одной стороны. Самым эффективным способом выполнения этого требования являются форсуночные кольца.

Ниже: фотография из испытательного резервуара, на которой показана подача диспергента в разлитую нефть; диспергент виден как белая линия, всасывающаяся в восходящий шлейф нефти.



SINTEF

Токсичность и биологическое разложение нефти

Химические соединения в сырой нефти

Сырая нефть состоит из большого числа отдельных химических соединений. Почти все из них являются углеводородами, состоящими только из водорода и углерода. Углеводороды можно классифицировать по молекулярной массе или длине углеродной цепи; большинство углеводородов в сырой нефти содержит 5–35 атомов углерода. Углеводороды также можно классифицировать в соответствии с химическим типом, например, алканы (парафины), циклоалканы (нафтены) и ароматические соединения (содержащие одно или несколько бензольных колец). Относительные пропорции этих химических соединений различаются в зависимости от типа сырой нефти; кроме того, ими определяется ряд физических свойств сырой нефти. Большая часть углеводородов в большинстве типов сырой нефти является алканами и циклоалканами, при этом они могут быть летучими и нелетучими жидкостями или твердыми веществами (воском), в зависимости от их размера (числа атомов углерода) и преобладающей температуры.

Потенциально токсичные химические соединения в нефти

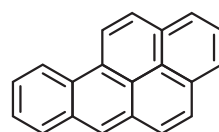
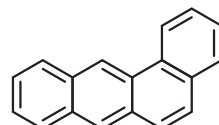
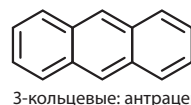
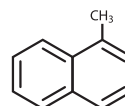
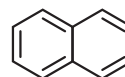
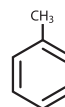
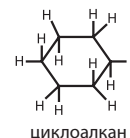
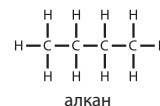
Большинство алканов и циклоалканов имеют ограниченный потенциал токсического воздействия на морские организмы из-за их низкой растворимости в воде. Ароматические углеводороды частично растворимы в воде и, как правило, считаются более токсичными компонентами сырой и топливной нефти для водных организмов (Anderson *и др.*, 1974; Di Toro *и др.*, 2007).

Вставка 1 Ароматические химические соединения в нефти

- **Однокольцевые ароматические соединения:** это бензол, толуол, этилбензол и ксилолы, часто называемые БТЭК соединениями. Сырая нефть содержит примерно 0,5–5 % БТЭК. Бензин может содержать до 40 % БТЭК. БТЭК соединения умеренно растворимы в воде, но в их состав также входит множество ЛОС. При выходе на поверхность они быстро испаряются в воздух из плавающей нефти.
- **Двухкольцевые ароматические соединения:** нафталин и алкил-замещенные производные. Различные виды сырой нефти содержат 0–0,4 % нафталина и 0–1 % или более замещенных нафталинов. Эти соединения менее растворимы в воде, чем БТЭК, и обладают умеренной летучестью.
- **3-, 4- и 5-кольцевые полициклические ароматические углеводороды (ПАУ):** сырая нефть содержит от 0 до нескольких сотен миллионных долей (мд) 3-кольцевых ароматических соединений, и гораздо меньше, обычно 1–10 мд, отдельных 4-кольцевых и 5-кольцевых соединений. Эти ПАУ не летучие, а 3- и 4-кольцевые соединения слабо растворимы в воде.

Испытания диспергентов и диспергированной нефти на токсичность

Испытания диспергентов и смесей диспергентов с нефтью (для образования диспергированной нефти) на токсичность проводятся для различных целей и с применением разнообразных методов. Первоначальная цель проведения испытаний на токсичность диспергентов заключалась в том, чтобы гарантировать, что история с использованием токсичных промышленных моющих средств, например, тех, которые использовались в большом количестве при разливе нефти с танкера *Torrey Canyon* в Великобритании в 1967 году (Smith, 1968), больше не повторится. В настоящее время в большинстве стран для утверждения диспергентов их токсичность должна быть меньше установленного допустимого уровня.



Выше: примеры
ароматических
соединений

Для определения токсичности диспергентов использовали 96-часовое или 48-часовое испытание на токсичность LC_{50} (летальная концентрация для 50% испытываемой популяции) с различными испытываемыми особями. Цель 48-часового или 96-часового испытания на токсичность LC_{50} заключается в том, чтобы определить концентрацию диспергента в воде, при которой погибает половина существ, подвергающихся воздействию в течение заданного времени. Таким образом, это испытание может быть использовано для установления сравнительной токсичности различных диспергентов. Режим воздействия (концентрация диспергента в воде и продолжительность воздействия) при испытании LC_{50} не имитирует воздействие диспергента, которое будет испытывать морской организм при обработке этим диспергентом разлитой нефти в море.

В США испытания на токсичность, проведение которых требует EPA (Агентство по охране окружающей среды США), для диспергентов, которые включаются в перечень продукции NCP (Национального плана мероприятий по обеспечению готовности к ликвидации загрязнения нефтью и опасными веществами), включает проведение испытаний для двух биологических видов, стандартных для EPA США: атерин (*Menidia beryllina*) и мизид (*Americamysis bahia*). Режим экспозиции по методике испытаний на токсичность LC_{50} не имитирует нанесение диспергентов на разлитую нефть в море, так как концентрации, используемые при испытаниях, значительно выше, а продолжительность воздействия гораздо больше, чем это имело бы место в море. Тем не менее, испытания на токсичность LC_{50} устанавливают способ оценки относительной величины токсических эффектов, которые могут быть вызваны диспергентами или диспергированной нефтью в условиях экспозиции, предусмотренной испытаниями.

Во время инцидента Макондо испытания на токсичность прошли восемь диспергентов из перечня продуктов, включенных в NCP (Hemmer и др., 2010).

Измеренные уровни токсичности при испытаниях LC_{50} оценивались по пятибалльной шкале от «чрезвычайно токсичен» до «практически не токсичен», используемой US EPA (Агентством по охране окружающей среды США) для интерпретации результатов испытаний LC_{50} (US EPA, 2012). Эта сравнительная таблица токсичности применяется на международном уровне (GESAMP, 2014).

Таблица 6 Результаты испытаний восьми диспергентов из перечня NCP, проведенные Агентством по охране окружающей среды США

Категории экотоксичности EPA (мд = миллионная доля)	Мизиды, 48-часовое испытание LC_{50}	Атерина, 96-часовое испытание LC_{50}
чрезвычайно токсичен: <0,1 мд		
Высокотоксичен: 0,1–1 мд		
Умеренно-токсичен: >1–10 мд		Dispersit SPC 1000
Малотоксичен: >10–100 мд	Dispersit SPC 1000 Nokomis 3-AA COREXIT® 9500A Nokomis 3-F4 ZI-400	Nokomis 3-F4 Nokomis 3-AA ZI-400 Saf-Ron Gold Sea Brat #4
Практически нетоксичен: >100 мд	Saf-Ron Gold JD-2000	COREXIT® 9500A JD-2000

US EPA, 2012

Основным диспергентом, используемым во время инцидента Макондо, был COREXIT® 9500A, который относится к малотоксичным для мизид и практически нетоксичным для атерин при испытаниях LC₅₀.

Та же методика испытаний на токсичность, которая используется для включения в перечень диспергентов NCP, была использована EPA (US EPA, 2010) для определения относительной величины токсических эффектов, которые могут быть вызваны следующими причинами:

- механически диспергированной нефтью Louisiana Sweet Crude (LSC);
- диспергентом, использовавшимся при ликвидации последствий взрыва на месторождении Макондо – COREXIT® EC9500A;
- сырой нефтью LSC, диспергированной при смешивании диспергента COREXIT® EC9500A с нефтью LSC в пропорции 1:10.

Результаты, приведенные в таблице 7, показывают, что чистый диспергент вызывает менее токсичные эффекты, чем чистая сырая нефть. Чистый диспергент считается «практически нетоксичным» для рыб, и «малотоксичным» для креветок, а механически диспергированная сырая нефть в обоих случаях оценивается как «умеренно токсичная». Сырая нефть, диспергированная с помощью диспергента, оценивается так же, как и механически диспергированная сырая нефть – «умеренно токсичная» для обоих биологических видов. В этом случае измеренные токсические эффекты вызывает нефть, а не диспергент. Следовательно, токсичность диспергентов не может быть оценена при проведении испытаний на токсичность в отношении диспергированной нефти.

Таблица 7 Сводные результаты испытаний US EPA на токсичность в воде для разлитой нефти, диспергента и диспергированной нефти по результатам ликвидации последствий аварии на месторождении Макондо

Категории экотоксичности EPA (мд = миллионная доля)	Нефть Louisiana Sweet Crude (LSC)		Диспергент (COREXIT® EC9500A)		Диспергированная нефть (LSC + COREXIT® EC9500A)	
	Мизида (Americamysis bahia)	Атерина (Menidia beryllina)	Мизида (Americamysis bahia)	Атерина (Menidia beryllina)	Мизида (Americamysis bahia)	Атерина (Menidia beryllina)
Чрезвычайно токсичен: <0,1 мд						
Высокотоксичен: 0,1–1 мд						
Умеренно-токсичен: >1–10 мд	2,7 мд	3,5 мд			5,4 мд	7,6 мд
Малотоксичен: >10–100 мд			42 мд			
Практически нетоксичен: >100 мд				130 мд		

US EPA, 2010

Во время испытаний на токсичность LC₅₀ использовалась смесь диспергента и нефти в отношении 1:10. В реальных условиях содержание диспергента будет меньше, и стандартными являются значения в диапазоне от 1:100 до 1:50.

В реальных условиях использования диспергентов применительно к плавающей нефти или при закачивании диспергентов под водой, продолжительность воздействия диспергированной нефти на морские организмы, а также концентрация диспергированной нефти, будут зависеть от ряда факторов, среди которых условия окружающей среды и обстоятельства разлива.

Воздействие нефти, диспергированной нефти и водорастворимых соединений нефти

Фундаментальным элементом токсикологии является то, что степень воздействия на организм, вызванная химическим соединением, зависит от параметров воздействия этого химического соединения на организм. Степень воздействия зависит от пути воздействия, концентрации химического вещества, воздействию которого подвергается организм, и продолжительности воздействия.

При возникновении подводного разлива нефти некоторые морские организмы могут подвергаться воздействию повышенных концентраций диспергированных капель нефти и водорастворимых соединений нефти. При подводном выбросе нефти и газа под высоким давлением с высокой долей вероятности вся нефть попадет в воду в виде отдельных нефтяных капель. Значительная доля разлитой нефти под действием турбулентности, вызванной выбросом нефти и газа, может превратиться в очень мелкие нефтяные капли. В этих условиях многие ароматические соединения с низкой молекулярной массой (БТЭК, 2- и 3-кольцевые ПАУ) будут быстро перемещены из нефти в воду, где подвергнутся быстрым процессам разбавления и биоразложения.

Эти соединения могут нанести вред морским организмам, находящимся в непосредственной близости от места выброса и подвергшимся воздействию этих соединений и высоких концентраций нефти, диспергированной в воде. Более крупные капли нефти, газовые пузырьки и водорастворимые нефтяные соединения будут подниматься вверх, создавая опасность для пелагических организмов (обитающих в толще воды), но не бентических организмов (обитающих в иле или на дне) и организмов, обитающих у морского дна.

Концентрация нефтяных капель и водорастворимых соединений нефти будет стремительно падать по мере поступления воды во всплывающий шлейф и разбавления по мере его подъема сквозь толщу воды. Тем не менее, пока выброс не остановлен, концентрация нефтяных капель и водорастворимых соединений нефти вблизи места выброса будет оставаться высокой.

Последствия использования диспергентов под водой

Эффективность применения диспергентов под водой проявляется в уменьшении размеров нефтяных капель, попадающих в воду в виде шлейфа. Это повышает скорость перемещения водорастворимых соединений из нефти в воду, так как с уменьшением размера капель увеличивается площадь водонефтяной поверхности. Это ведет к увеличению концентрации диспергированной нефти (нефтяные капли очень маленького размера) и водорастворимых соединений в воде вблизи источника разлива. Несмотря на то, что эти концентрации растут при применении метода ЗДПВ, они могут также быть достаточно высокими в месте разлива и без применения диспергентов. Таким образом, вероятность токсического воздействия на морские организмы, обитающие вблизи места выброса нефти и газа, при закачивании диспергентов под водой увеличивается, однако это увеличение наблюдается относительно и так высокого базового уровня. Нефть, диспергируемая при ЗДПВ, обычно становится нейтрально плавучей, образуя подводные шлейфы диспергированной нефти с низкой концентрацией. Эти шлейфы будут перемещаться, разбавляться водой и разлагаться под действием бактерий.

Воздействие на морские организмы при проглатывании диспергированных капель нефти

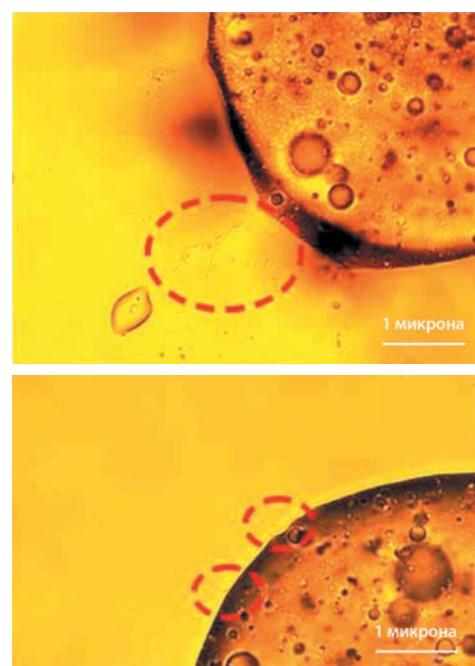
Вероятным путем воздействия ПАУ с высокой молекулярной массой на морские организмы является проглатывание загрязненной пищи. Фильтрующие организмы, которые охотятся на планктон, могут проглатывать диспергированные (естественным или химическим путем) капли нефти, если они имеют примерно такой же размер, как и некоторые виды планктона. Такие сравнительно простые организмы, как двусторчатые моллюски, не могут выполнять биохимическую обработку находящихся в нефти ПАУ с большой молекулярной массой, и эти ПАУ могут накапливаться («биоаккумулироваться») в некоторых органах (Neff и Burns, 1996). Следовательно, хищники, которые питаются загрязненными нефтью двусторчатыми моллюсками, могут подвергаться воздействию повышенной концентрации ПАУ с большой молекулярной массой при таком пути проникновения внутрь. Организмы, которые имеют печень, например, рыба, могут быстро метаболизировать ПАУ, и некоторые из этих метаболитов могут быть вредными. Однако маловероятно, что двусторчатые будут подвергаться воздействию диспергированной под водой нефти, поскольку это бентические организмы, поэтому они скорее подвержены воздействию диспергированных поверхностных пятен на мелководье. Планктон и веслоногие чаще обитают на средней и большой глубине, поэтому они подвержены повышенному риску воздействия. Низкая концентрация диспергированной нефти, в сочетании с большой численностью и быстрым восстановлением популяции, станет вероятной причиной ограниченного воздействия на эти организмы.

Биологическое разложение нефти

Нефтяные капли в толще воды быстро колонизируются микроорганизмами, разлагающими нефтепродукты. Эти организмы встречаются в естественных океанических средах (King и др., 2014). В любом из мировых океанов существуют природные места утечки углеводородов (Kvenvolden, 2003), поэтому в любой морской среде, даже в холодных и темных местах, также имеются микробы, разлагающие нефть. Эволюция создала организмы, которые способны разлагать просачивающуюся нефть. Большая часть химических соединений, содержащихся в каплях сырой нефти, обладает ограниченной растворимостью в воде, и микроорганизмы служат промежуточным звеном между водой и нефтью, разлагая ее. Рассеянная в виде небольших капель нефть обладает значительно большей площадью межфазной поверхности нефти и воды в сравнении с нефтяным пятном, плавающим на поверхности. Это увеличение площади межфазной поверхности ведет к проникновению большего количества микробов и ускорению биологического разложения. Сообщество микроорганизмов (бактерий и грибов) поедает и разлагает нефть, в то время как микробы растут и размножаются, а затем более крупные простейшие и нематоды потребляют эти бактерии. Таким образом, нефть ассимилируется в окружающую среду (Американская Академия микробиологии, 2011) и больше не представляет никакой опасности. Рассеянная нефть быстро разбавляется водой. К тому времени отдельные капли нефти полностью колонизируются микроорганизмами, и биоразложение начинает протекать значительно более быстрыми темпами, а концентрация диспергированной нефти в воде с высокой вероятностью становится очень низкой. При таких низких концентрациях в большинстве типов морских сред будет достаточно кислорода, фосфора, азота и других питательных веществ для обеспечения эффективного аэробного биоразложения.

На рисунке 5 показана микрофотография нефтяной капли с морскими бактериями, разлагающими нефть. Можно увидеть, что микроорганизмы

Рисунок 5 Микробы, поедающие каплю рассеянной нефти



Hazen et al., 2010

(несколько микрон в длину), разлагающие нефть, могут быть значительно меньше нефтяных капель (т.е. несколько десятков микрон в диаметре).

Биологическое разложение протекает главным образом путем биохимического окисления (Atlas и Bartha, 1992; Atlas и Cerniglia, 1995; Prince, 1997; Prince *и др.*, 2013). Биологическое разложение различных химических соединений в сырой нефти осуществляется с разной скоростью и в разной степени (Singer and Finnerty, 1984; Lindstrom and Braddock, 2002; Campo *и др.*, 2013). Быстрее всего происходит биологическое разложение алканов с линейной цепью, за которыми следуют однокольцевые ароматические соединения, а затем алканы и циклоалканы с разветвленной цепью. Многие сложные разветвленные, циклические и ароматические углеводороды, которые не подвергаются биологическому разложению индивидуально, могут окисляться за счет кометаболизма в нефтяной смеси из-за обилия других субстратов, которые могут быть легко метаболизированы в нефти (Heitkamp и Cerniglia, 1987).

В конечном счете большая часть нефти должна быть биологическим путем превращена в диоксид углерода и воду (MacNaughton *и др.*, 2003). Некоторые особо тяжелые нефтяные соединения, такие как асфальт и битум, разлагаются медленнее. Эти соединения биологически инертны, нетоксичны или частично токсичны.

По мере разбавления мелких капель нефти в толще воды концентрация нефти, диспергированной в воде, будет постепенно уменьшаться до незаметного уровня. Поверхностно-активные вещества и растворители, входящие в состав диспергентов, участвуют в процессах биологического разложения, поэтому диспергенты также разлагаются естественным образом, зачастую даже быстрее нефти. Концентрация нефтяных соединений, которые не могут быть быстро разложены под действием микроорганизмов, изначально будет очень низкой, в пределах нескольких частей на миллиард, как и остатков диспергированных нефтяных капель. Эти остатки нефти с низкой концентрацией в конечном счете осядут по обширной территории морского дна.

Подводя итоги, можно сказать, что добавление диспергентов для рассеивания нефти позволяет значительно ускорить естественные процессы биологического разложения. Эффективно рассеянная нефть будет присутствовать в окружающей среде в течение нескольких дней или недель, в то время как недиспергированная плавающая нефть, подвергающаяся процессам выветривания, эмульгирования и оседания на береговой линии, может оставаться в окружающей среде в течение многих лет.

Анализ суммарной экологической выгоды

Анализ суммарной экологической выгоды (АСЭВ) – это процесс, используемый сообществом ликвидаторов аварии для выбора лучших вариантов минимизации воздействия разливов нефти на людей и окружающую среду – см. методическое руководство IPIECA-IOGP по АСЭВ (IPIECA-IOGP, 2015b).

АСЭВ может применяться на различных стадиях разлива:

- АСЭВ — неотъемлемая часть процесса планирования действий при аварийном разливе нефти, который используется для надлежащего информирования о методах реагирования для планируемых сценариев.
- В ходе ликвидационной операции процесс АСЭВ используется для того, чтобы обеспечить правильное понимание складывающихся условий с целью адаптации и корректировки методов реагирования.
- Процесс АСЭВ также может быть использован для обеспечения определения и достижения долговременных конечных результатов ликвидационной операции.

Процесс АСЭВ включает рассмотрение и оценку, для сравнения вероятных результатов использования различных методов ликвидации разливов нефти и рекомендаций по тактике ведения работ, полученных от опытных ликвидаторов и заинтересованных сторон. Как правило, АСЭВ состоит из этапов, определенных для различных сценариев разлива, и должен выполняться до разлива нефти как составная часть плана ликвидации разлива нефти.



Таблица 8 Стандартные этапы АСЭВ в процессе планирования действий при аварийном разливе нефти

Этап АСЭВ	Описание
Оценка данных	Первый этап заключается в рассмотрении вопроса, где находится разлитая нефть и куда она будет дрейфовать под влиянием течений и ветра — для этого существуют различные модели траектории движения нефтяного пятна. Также полезно знать, насколько нефть будет подвержена «выветриванию» во время дрейфа. Это часть оценки имеющихся данных.
Прогнозирование последствий	Второй этап заключается в оценке того, что может пострадать от разлитой нефти, если не будут предприняты никакие меры по ликвидации разлива. Сюда могут быть отнесены морские, прибрежные и расположенные на береговой линии экологические и социально-экономические ресурсы. Также должны быть пересмотрены эффективность и реализуемость набора средств ликвидации разливов. Они охватывают методы ликвидации, целесообразность применения и объем нефти, который может быть возвращен или переработан. Если район, находящийся под угрозой, включает прибрежную среду обитания, чувствительную к нефтяному загрязнению, то задачей ликвидации морского разлива нефти является предотвращение или ограничение распространения разлитой нефти, чтобы не допустить ее проникновения в эту среду обитания. В оценке наиболее эффективных методов ликвидации нефтяного пятна может помочь предыдущий опыт. Прагматичные оперативные соображения должны формировать очень важную часть процесса АСЭВ применительно ко всем возможным методам ликвидации разливов.
Поиск компромисса между преимуществами и недостатками	Преимущества и недостатки возможных вариантов ликвидации разливов нефти рассматриваются и сопоставляются с экологическими и социально-экономическими последствиями каждого из них, чтобы найти компромиссное решение.
Выбор наилучших вариантов	Этот процесс завершается принятием метода или методов реагирования на нефтяной разлив, которые сведут к минимуму влияние возможных разливов на окружающую среду и обеспечат наиболее быстрое восстановление пострадавшего района.

Шаг 1: Оценка данных

Важнейшим аспектом планирования действий при аварийном разливе нефти является использование реалистичных сценариев нефтяного разлива (см. методическое руководство IPIECA-IOGP по планированию действий при аварийном разливе нефти (IPIECA-IOGP, 2015c). Необходимо разработать различные сценарии подводного разлива, включая самые невероятные. При этом должны быть учтены прогнозируемые преобладающие условия.

В качестве вспомогательного средства для оценки возможного поведения разлитой нефти могут быть использованы различные системы моделирования. Для моделирования подводных выбросов нефти и газа разработан ряд компьютерных моделей. Модель должна учитывать соответствующие факторы, такие как характеристики скважины и гидрометеорологические условия, включая течение, температуру и другие показатели на соответствующих глубинах.

В настоящее время ведутся работы над разработкой моделей, способных точно спрогнозировать размеры нефтяных капель, образующихся при самых различных условиях разлива.

Шаг 2: Прогнозирование последствий

Комбинирование составления карт чувствительности (IPIECA/IMO/IOGP, 2012) и компьютерного моделирования может указать на экологические и социально-экономические ресурсы (на воде, у берега или на побережье), которые потенциально подвергаются опасности при отсутствии мер реагирования. Более подробная информация о способах влияния нефти на различные экологические и социально-экономические ресурсы, а также о факторах, влияющих на это воздействие, приводится в методических руководствах IPIECA-IOGP по вопросам морской и береговой экологии (IPIECA-IOGP, 2015a, 2016).

Возможность применения метода реагирования

Необходимо оценить вероятную эффективность и целесообразность применения различных методов реагирования для разнообразных прогнозируемых преобладающих условий. При этом следует рассмотреть методы ликвидации, целесообразность их применения и объем нефти, который может быть собран или обработан в течение времени, вероятно имеющегося для реализации этих методов. Прагматичные оперативные соображения должны формировать важную часть процесса АСЭВ применительно ко всем возможным методам ликвидации разливов.

При рассмотрении вопроса применения определенного метода ликвидации подводного разлива необходимо принять решение о проведении ликвидационной операции под водой (подводная герметизация, локализация в море, подводный сбор и применение диспергентов) или ожидании подъема нефти на поверхность, где могут быть применены методы локализации и сбора на поверхности, контролируемого сжигания на месте разлива или применения диспергентов на поверхности воды. Это решение принимается на основании конкретных условий подводного разлива и поведения нефти и газа.

- При подводном выбросе нефти и газа на большой глубине, когда газ растворяется в воде и не достигает поверхности моря, возможным вариантом реагирования может стать применение надводных кораблей для развертывания подводных аварийных заглушек, систем подводной локализации и сбора, а также оборудования для подводного закачивания диспергентов.
- Однако в случае подводного выброса нефти и газа на мелководье (при аналогичных значениях скорости и давления углеводородов), когда газ не полностью растворяется в воде и может достигнуть поверхности моря, рекомендуется рассмотреть вариант применения подводного оборудования, развертываемого на расстоянии до 500 м от скважины по горизонтали, поскольку в этом случае надводные корабли над скважиной будут подвергаться опасности пожара и взрыва.

Одним из основных показателей применимости того или иного метода является время, необходимое для развертывания ликвидационного оборудования. Любая ликвидационная операция – это чаще всего гонка на время. После возникновения подводного разлива потенциальная опасность определяется близостью ресурсов, которым может быть нанесен ущерб, а также такими преобладающими условиями, как направление и скорость ветра.

Обычно первым рассматривают метод локализации и сбора нефти в море. Этот подход будет оставаться неизменным и в будущем, поскольку абсолютное большинство разливов отличается небольшими масштабами и близким расположением к запасам оборудования. При более крупных разливах и их удаленности от запасов оборудования метод локализации и сбора становится менее эффективным из-за увеличения площади, покрытой нефтью, уменьшения скорости сбора нефти, а также вопросов обеспечения транспортирования нефти на берег для последующей обработки и утилизации. Именно поэтому необходимы диспергенты, применение которых возможно как с воздуха, так и при помощи подводного оборудования. Диспергенты могут помочь быстро справиться с удаленными нефтяными разливами за счет сброса с быстро движущихся летательных средств. Развертывание с самолетов означает возможность быстрого охвата больших территорий в сравнении с операциями, где задействованы надводные средства. Еще более эффективным способом является применение диспергентов под водой, что позволяет работать на конкретном обозначенном участке.

Шаг 3: Поиск компромисса между преимуществами и недостатками

Решение об использовании диспергентов не может быть односторонним, несмотря на то, что обычно к этому вопросу относятся как к спору о птицах против рыб. Необработанные пятна нефти перемещаются по воде и могут воздействовать на икру и личинки, находящиеся на самом пятне или непосредственно под ним. Более того, находящаяся у берега или оседающая нефть может оказать воздействие на этапы развития мальков многих видов рыб. Если нефть не будет рассеяна, пятна могут дрейфовать по поверхности воды и оседать на береговых линиях, оказывая влияние на рыболовство, причем это воздействие может быть большим, чем диспергирование нефти при возникновении разлива во время нереста или попадании нефти в особо чувствительные прибрежные места обитания мальков рыб. Поскольку вероятный урон запасам рыбы от воздействия диспергированной нефти относительно мал, с точки зрения АСЭВ применение диспергентов для защиты рыболовства может быть весьма весомым фактором.

Компромисс (или баланс) между возможными преимуществами и рисками применения диспергентов при подводном выбросе схожи с ситуацией обработки диспергентами плавающей нефти, но не идентичны ей, так как обстоятельства разливов отличаются. Возможные риски, представляемые диспергированной нефтью для морских организмов, отличаются своим масштабом, местонахождением и возможными последствиями.

Риск токсического воздействия на морские организмы связан с влиянием диспергированной нефти и частично водорастворимых соединений, выделяющихся из нефти. Степень воздействия зависит от концентрации и продолжительности.

Воздействие диспергированной нефти, вызванное обработкой диспергентами плавающей нефти

Разрушающие волны, проходящие через локализованную область нефтяного пятна, ведут к его разделению на нефтяные капли различного размера. Более крупные капли вскоре вновь собираются в пятно, а мелкие нефтяные капли рассеиваются в толще воды. Часть нефти, диспергированной естественным образом, зачастую невелика, и она уменьшается по мере выветривания нефти.

Применение диспергентов значительно увеличивает часть нефти, преобразуемой в небольшие капли под действием волн. По мере того как разрушающие волны воздействуют на плавающую нефть,

обработанную диспергентом, образуются локализованные шлейфы диспергированных нефтяных капель. Концентрация нефти (в виде капель) в верхнем слое воды быстро возрастает, однако затем также быстро уменьшается по мере разбавления нефти окружающей водой. По мере движения нефтяных шлейфов под действием ветра дальнейшее воздействие разрушающих волн приведет к образованию локализованных «облаков» диспергированной нефти в толще воды в местах, удаленных на некоторое расстояние от мест предыдущего образования шлейфов, которые впоследствии были разбавлены водой. Пиковые концентрации диспергированной нефти в воде невелики, непродолжительны, и возникают только в отдельных местах под слоем нефти, обработанной диспергентом.

Морские организмы, обитающие в верхнем слое толщи воды (на глубине не более 5-10 метров), могут кратковременно подвергаться воздействию повышенной концентрации диспергированных капель нефти и водорастворимых соединений нефти в толще воды, в отличие от ситуации, когда диспергенты не используются. Когда диспергенты не используются, некоторое воздействие все равно имеет место из-за естественного рассеяния. Подробные сведения об этом см. в методическом руководстве IPIECA-IOGP по применению диспергентов на поверхности воды (IPIECA-IOGP, 2015).

Воздействие диспергированной нефти, вызванное ЗДПВ при подводных выбросах нефти

Продолжительный выброс большого количества нефти и газа из точечного источника будет вести к повышению концентрации диспергированной нефти и водорастворимых соединений, выделяющихся из нефти, в воде поблизости от места разлива. Концентрация диспергированной нефти в воде будет уменьшаться по мере подъема и перемещения шлейфа. Использование метода ЗДПВ приведет к дополнительному увеличению и так высокой концентрации диспергированной нефти в воде вблизи от места разлива. Высокая концентрация диспергированной нефти в воде вблизи источника разлива будет сохраняться до тех пор, пока не будет остановлен выброс нефти и газа (см. рисунок 4 на стр. 18).

Характер воздействия диспергированной нефти и водорастворимых нефтяных соединений на морские организмы, обитающие в толще воды, будет зависеть от их близости к месту выброса, направления перемещения шлейфов, а также от способности морских организмов обнаруживать нефть и уходить от нее. Сессильные организмы морского дна, которые не могут менять место обитания, могут подвергаться серьезному воздействию диспергированной нефти, в сравнении с организмами, способными уплыть из опасного места. Сессильные организмы, находящиеся недалеко от места выброса, могут подвергаться воздействию повышенной концентрации диспергированной нефти в течение длительного времени.

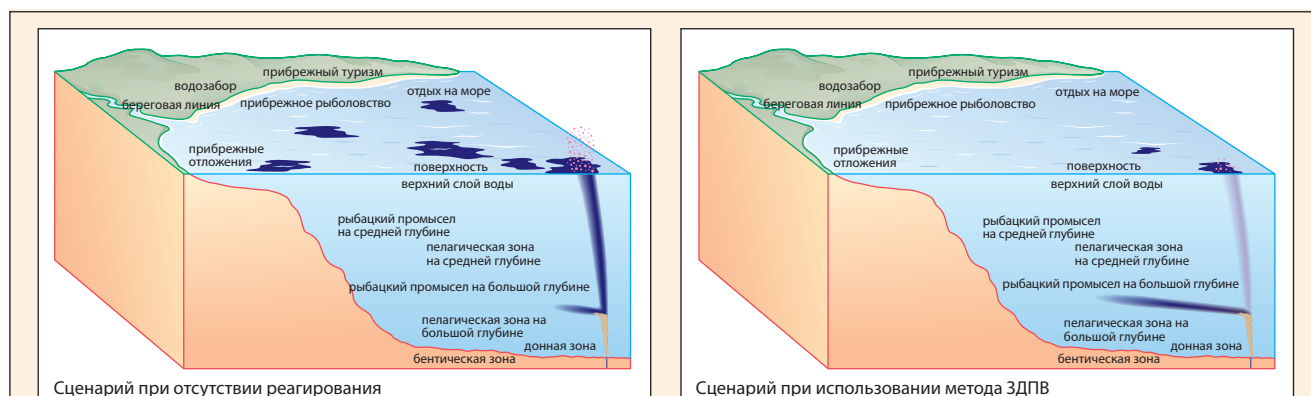
Фактические последствия воздействия диспергированной нефти в результате применения метода ЗДПВ будут зависеть от морских организмов, обитающих в непосредственной близости от места подводного выброса нефти и газа или от места нахождения подводных шлейфов диспергированной нефти, которые дрейфуют, разбавляются и разлагаются под действием микроорганизмов. В целом, плотность популяции в глубокой воде меньше, чем у поверхности моря.

Важнейшим элементом АСЭВ при рассмотрении возможности применения диспергентов под водой и сравнении вероятной эффективности с другими методами реагирования, является необходимость рассмотрения вероятных последствий в результате:

- отсутствия реагирования, т. е. применения диспергентов под водой и других методов реагирования;
- использования диспергентов под водой.

Поэтому рассмотрение преимуществ и недостатков использования диспергентов под водой должно учитывать величину серьезного и долговременного ущерба, причиненного чувствительной к нефти прибрежной среде обитания и социально-экономическим ресурсам, который можно было бы предотвратить путем использования диспергентов, и сравнивать его с возможными локальными последствиями использования диспергентов для морской среды. На странице 33 в вставке 2 приведен пример сценария, демонстрирующего получение выгоды от применения ЗДПВ по сравнению с отсутствием реагирования.

Вставка 2 Пример сценария, демонстрирующего получение суммарной выгоды от применения ЗДПВ по сравнению с отсутствием реагирования



Этот представительный сценарий показывает, что успешное применение метода ЗДПВ может уменьшить общие отрицательные последствия выброса и тем самым добиться суммарной экологической выгоды.

Обратите внимание, что это иллюстративный пример, и при реальном планировании действий при аварийном разливе нефти необходимо учитывать специфику операции, в том числе местные природные ресурсы, их экологическую, коммерческую и культурную ценность, а также их сезонные особенности.

Объект окружающей природной среды		Типичная популяция/ресурсы	Возможные относительные последствия* при отсутствии мер реагирования	Возможные относительные последствия при использовании метода ЗДПВ
Бентическая зона морского дна		Землеройные организмы	Незначительные	Незначительные
Толща воды	Донная зона у морского дна	Камбала	Незначительные	Незначительные
	Пелагическая зона на большой глубине (>400 м)	Рыбы круглой формы	Небольшие	Средние
	Пелагическая зона на средней глубине (<400 м)	Рыбы круглой формы	Небольшие	Небольшие
	Верхний слой воды (<20 м)	Планктон	Средние	Незначительные
	Прибрежные воды (<10 м)	Коралловый риф	Средние	Незначительные
Поверхность моря		Морские птицы/морские млекопитающие	Очень большие	Небольшие
Береговая линия	Прибрежные отложения	Морская трава	Средние	Незначительные
	Болотистая местность	Землеройные организмы	Очень большие	Незначительные
	Скалистые берега		Средние	Незначительные
	Песчаные берега		Средние	Незначительные
Социально-экономические ресурсы	Прибрежный туризм		Очень большие	Небольшие
	Прибрежный лов и аквакультура**		Большие	Небольшие
	Лов на средней глубине**		Небольшие	Средние
	Рыбацкий промысел на большой глубине**		Незначительные	Большие
	Места забора морской воды		Очень большие	Небольшие
	Отдых на море		Очень большие	Небольшие

* Категории относительных последствий учитывают множество факторов, включая чувствительность среды обитания, виды и популяции, географические размеры области, которая может пострадать, ожидаемое время восстановления, а также социально-экономическая ценность ресурсов, в соответствующих случаях.

** Органы, контролирующие рыбацкий промысел, обычно налагают профилактический запрет рыболовства для защиты людей от возможных рисков и доверия к рынку. Запрет обычно действует до тех пор, пока не будет получено доказательство безопасности употребления рыбы в пищу. Такие запреты обычно увеличивают убытки рыболовных хозяйств за счет сокращения прибыли, а не сокращения популяции или запасов рыбы.

Шаг 4: Выбор наилучших вариантов

На 4 этапе процесса АСЭВ выбирается оптимальный метод реагирования для сценария планирования и преобладающих условий инцидента с учетом данных, точек зрения и компромиссов. На этом этапе основной вклад в процесс АСЭВ вносят специалисты по планированию и заинтересованные стороны, которые достигают компромиссных решений в части приоритетов защиты и определяют баланс между преимуществами и недостатками методик.

Главная цель планирования и осуществления реагирования — это реализация методов, которые в любой момент времени будут иметь максимальную суммарную выгоду. Например, при разливе нефти в открытом море наибольшую выгоду будет обеспечивать обработка или сбор максимального количества нефти на максимально близком расстоянии от источника, прежде чем она успеет выветриться и распространиться, что приведет к снижению эффективности других методов реагирования и увеличит вероятность того, что большее количество нефти достигнет чувствительных областей, береговой линии и международных границ.

Примеры различных сценариев разлива и вопросов АСЭВ, связанных с планированием ликвидационной операции, приведены в приложении на страницах 57–64.

Нормативно-правовое регулирование использования диспергентов

Обзор принципов, лежащих в основе законодательства, регулирующего применение диспергентов, приведен в отчете под названием Нормативно-правовое утверждение использования диспергентов и получение разрешений на их использование, подготовленном в рамках межотраслевого проекта (JIP) IPIECA-IOGP по ликвидации аварийного разлива нефти (IPIECA-IOGP, 2014).

Законодательство, регулирующее применение диспергентов, разделяется на две категории:

1. **Законодательство по утверждению диспергентов** описывает, использование каких диспергентов разрешено в национальных водах.
2. **Законодательство по получению разрешений на применение диспергентов** определяет, где и когда можно получить разрешение на использование утвержденных диспергентов при разливах нефти в национальных водах.

Законодательство по утверждению диспергентов для применения под водой

Для применения диспергентов на поверхности воды и под водой действует один и тот же порядок утверждения диспергентов:

- Эффективность (или «способность эффективного функционирования») диспергента должна соответствовать установленному пороговому значению или превышать его.
- Токсичность диспергента не должна превышать порог максимальной токсичности для морских организмов. Особое внимание нужно уделить сравнению токсичности диспергентов и токсичности диспергированной нефти (диспергент плюс нефть) При утверждении диспергента к возможному использованию максимальная токсичность предполагаемого диспергента обычно определяется следующим образом:
 - устанавливается на уровне, при котором смесь нефти и диспергента не является более токсичной, чем сама нефть при тех же уровнях воздействия;
 - если диспергент проверяется отдельно от нефти, то она устанавливается на уровне, при котором диспергент значительно менее токсичен, чем образец токсичного вещества.
 Примечание. Вопросы, касающиеся токсичности диспергированной нефти, должны решаться во время получения разрешения на применение диспергента (т.е. тогда и там, где может быть получено разрешение на использование диспергента).
- Диспергент должен быть легко биоразлагаемым и не должен содержать стойких вредных составляющих. Для этого в процессе утверждения может потребоваться предоставление дополнительной информации.

Во время инцидента на скважине Макондо под водой использовались диспергенты, которые широко применялись по всему миру для обработки плавающей нефти.

Правила получения разрешения на применение диспергентов под водой

В настоящее время США является единственной страной, где имеется законодательство, регулирующее закачивание диспергентов под водой как метод реагирования. После инцидента на скважине Макондо Национальное объединение сил быстрого реагирования США опубликовало руководство по экологическому мониторингу нетипичных случаев применения диспергентов (NRT, 2013) и инициировало процесс пересмотра национального плана действий при аварийном разливе нефти. Американский институт нефти (API, 2013) разработал аналогичное методическое руководство по мониторингу, акцент в котором сделан на сборе информации, необходимой для принятия оперативных решений в части продолжения использования метода ЗДПВ.

Пример: инцидент Макондо

Впервые метод закачивания диспергентов под водой (ЗДПВ) был применен при ликвидации разлива на месторождении Макондо в Мексиканском заливе в апреле 2010 г. ВДПВ Для оценки рациональности применения метода ЗДПВ необходимо учитывать обстоятельства инцидента.

Вечером 20 апреля 2010 года на платформе Deepwater Horizon (Глубоководный горизонт), ведущей разведку скважины Макондо в Мексиканском заливе, произошел выброс газа, повлекший взрывы и затопление платформы. Это произошло примерно в 42 милях (68 км) к юго-востоку от Венеции, штат Луизиана. Когда буровая установка затонула, морской стояк с буровой трубой внутри, соединяющий установку с предохранителем выбросов и скважиной, отделился от нее и рухнул на морское дно. После того как платформа Deepwater Horizon затонула, нефть и газ продолжали вытекать из сломанного и согнутого стояка (трубы, ранее соединявшей скважину на морском дне с буровой установкой на поверхности моря).

Инцидент привел к нарушению целостности скважины, что вызвало потерю гидростатического контроля. После первых взрывов предохранитель выбросов уже не мог справиться с задачей герметизации скважины. Для остановки потока газа и нефти и герметизации скважины потребовались серьезные усилия. Первоначально были экстренно развернуты работы по бурению двух вспомогательных скважин.

В течение нескольких дней после инцидента федеральное правительство США организовало единый командный центр, который управлял ликвидационной операцией. Так началась крупнейшая в истории операция по ликвидации разлива нефти. Для защиты от нефти берега, чувствительных экологических ресурсов и локальной экономической сферы (в частности, туризма и рыболовства) было применено множество различных методов реагирования. Среди них:

- применение крупных морских скиммеров и оборудования для мелководья с целью сбора плавающей нефти;
- контролируемое сжигание нефти на месте разлива, проведенное единым командованием, которое обеспечило безопасность в соответствии с погодными условиями, состоянием моря, расстоянием до берега и других условий;
- применение диспергентов различными способами;
- физическая защита береговой линии, в том числе развертывание жестких боновых заграждений общей длиной 3,8 миллиона футов (1 160 км) и абсорбирующих гибких боновых заграждений общей длиной 9,7 миллиона футов (2 960 км). Все это являлось частью масштабной программы по защите береговой линии.

Скважина была заблокирована 10 июля, а выброс нефти и газа прекратился 15 июля. Выброс нефтегазовой смеси в Мексиканский залив продолжался 87 дней. В январе 2015 года окружной суд США пришел к заключению, что невозможно точно узнать, сколько нефти вылилось в Мексиканский залив, однако были представлены доказательства того, что этот объем был не менее 3,19 миллиона баррелей (507 000 м³).

Подводный выброс нефти и газа на скважине Макондо

Поведение нефти после подводного выброса нефти и газа, произошедшего на скважине Макондо, определялось рядом характеристик. Некоторые значения параметров точно не известны, а некоторые стали предметом массовых спекуляций и правовых споров, которые продолжаются и на момент публикации данного руководства. Некоторые факты неоспоримы и доподлинно известны.

После того как платформа Deepwater Horizon затонула, выброс нефти и газа происходил на глубине около 5 100 футов (1 550 метров), где давление составляет около 150 атмосфер. Это исключило вариант оценки скорости выброса нефти и газа и блокировки источника выброса путем задействования водолазов. В связи с этим, все подводные операции выполнялись телеуправляемыми необитаемыми

подводными аппаратами (ТНПА).

Видеокамеры на ТНПА, опущенные на дно, позволили установить, что поток нефти и газа исходил из двух или трех точек вдоль поломанного и изогнутого стояка.

Нефть продолжала поступать на поверхность моря, а для восстановления контроля над источником нефти и газа, остановки потока, локализации и сбора нефти применялись самые разнообразные методы.

- 7 мая была установлена водонепроницаемая перемычка, но внутри нее скопился твердый гидрат метана, который привел к увеличению плавучести, в результате чего перемычка всплыла, и ее было невозможно установить в месте утечки для сбора нефти.
- 14 мая в поломанный стояк была вставлена труба, называемая RITT (вспомогательная вставная труба стояка), которая позволила собрать часть потока и направить ее на судно на поверхности моря. Труба RITT позволяла собрать около 2000 баррелей (320 м³) нефти в день, но затем она была убрана, чтобы дать возможность продолжить процедуры глушения (закачивания бурового раствора в скважину).
- Операция глушения успешно завершилась 29 мая, после чего началась подготовка к планированию развертывания системы локализации, называемой «нижний соединительный узел водоотделяющей колонны» (LMRP).
- Стояк был заблокирован 3 июня, когда начала работать система локализации LMRP («колпакового» типа). Собранная нефть и газ перекачивались через стояк на судно Discoverer Enterprise со скоростью приблизительно 15 000 баррелей (2 400 м³) в сутки.
- Вторая система локализации (подводный коллектор) была подсоединена к предохранителю выбросов 16 июня, обеспечив сбор нефти и газа через платформу Q4000 со скоростью приблизительно 8 500 баррелей (1 400 м³) в сутки.
- Скважина была заблокирована, и 15 июля выброс нефти и газа был полностью прекращен.

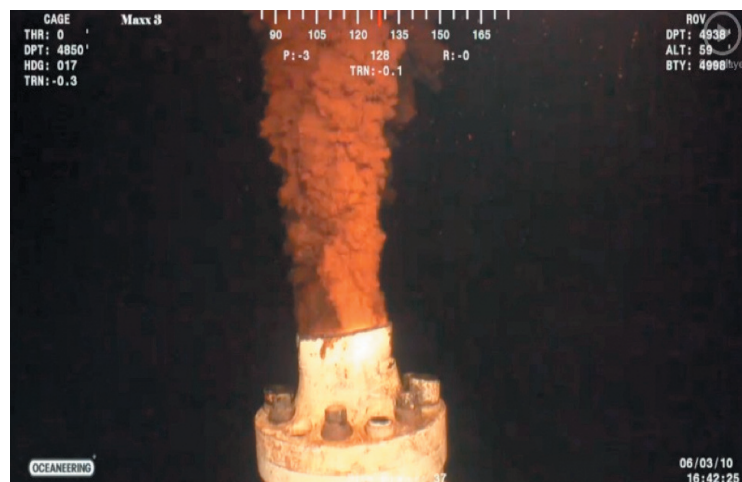
Объемы нефти и газа, выброшенные в море во время инцидента Макондо в настоящее время невозможно точно оценить. Было произведено множество оценок скорости потока нефтегазовой смеси, как во время, так и после инцидента, но точные значения до сих пор неизвестны. Очевидно, что часть разлитой нефти достигала поверхности моря, так как образование нефтяного пятна на поверхности моря не прекращалось до запуска системы ЗДПВ. Кроме того, часть нефти продолжала достигать поверхности вблизи места разлива (в пределах нескольких километров) даже после запуска системы ЗДПВ.



Modified from BP video from ROVs

Выброс нефти и газа из поломанного стояка 11 мая 2010 года

Ниже: углеводороды (нефть и природный газ), вытекающие из стояка после разрыва 3 июня 2010 года, непосредственно над блоком противовыбросовых превенторов на скважине Макондо



Подготовлено на основании видео, предоставленного компанией BP и снятого ТНПА

После этого нефтяные пятна и пленки на поверхности моря начали разрушаться и перемещаться из этого района под действием преобладающих ветров и течений. Тем не менее, отбор проб воды показал, что часть нефти, разлитой из места выброса, не достигла поверхности моря и рассеялась в толще воды, что было обусловлено собственной энергией смешивания выброса и системой 3ДПВ.

Выброс нефти не имел вид непрерывного потока жидкости. Вместо этого, под действием турбулентности, возникающей в условиях выброса, нефть и газ попадали в воду в виде шлейфа из небольших капель нефти и пузырьков газа. Распределение размеров нефтяных капель и газовых пузырьков зависело от нескольких параметров, в том числе:

- скорости потока нефти и газа, а также объемного отношения газа к нефти;
- давления и температуры вытекающей жидкости (скважина Макондо бурилась в газонефтяной резервуар с высоким давлением и температурой);
- размера и конфигурации отверстий, через которые выливалась нефть;
- давления и температуры в воде, в которую происходил выброс нефти и газа.

Как было сказано выше, некоторые значения этих параметров известны с высокой точностью, тогда как другие могут быть определены с гораздо меньшей точностью. Исследования и моделирование, проведенные после инцидента Macondo (например, Socolofsky, 2012), а также измерения, произведенные во время инцидента и в последующие месяцы (OSAT, 2010), подтвердили общие характеристики поведения нефти, показанные ранее на рисунке 4 на странице 18.

Применение диспергентов на скважине Макондо

Распыление диспергентов на нефть на поверхности моря

22 апреля началось распыление диспергента на плавающую нефть с самолета. Эта операция была проведена под руководством федерального координатора работ на месте событий (FOSC), а разрешение на применение диспергентов было заблаговременно получено региональной группой реагирования (RRT) при разработке плана действий при аварийном разливе нефти. Распыление диспергентов с самолетов осуществлялось на нефть за пределами зоны безопасности радиусом в пять морских миль от судов, выполняющих задачи контроля источника разлива. Ближе к источнику разлива распыление диспергентов производилось с судов и лодок. Стояла задача рассеять плавающую нефть в толще воды, а также ограничить образование ЛОС в воздухе, чтобы защитить персонал ликвидационной операции от воздействия вредных веществ.

По мере расширения операции по ликвидации разлива нефти было задействовано еще несколько самолетов для распыления диспергентов на плавающую нефть. Объем диспергентов, сброшенных с самолетов за одну неделю, составил 138 024 галлонов (522,5 м³), и это был не предел. По мере продолжения ликвидационной операции росла озабоченность по поводу объема диспергентов, которые могут потребоваться для обработки всех поверхностных пятен. Она относилась к возможности изготовления и приобретения необходимого объема диспергентов, а также к потенциальному воздействию диспергентов на окружающую среду. Некоторые ликвидаторы и представители общественности также высказывали озабоченность по поводу воздействия на людей химических веществ, входящих в состав диспергентов, и диспергированной нефти.

Вопросы использования диспергентов под водой

Была проведена оценка более эффективных способов применения диспергентов. Был рассмотрен вариант закачивания диспергента под водой, направляя его непосредственно на вытекающую нефть. Применение диспергентов под водой может дать ряд возможных преимуществ:

- Повышение безопасности ликвидационной группы и операций по установлению контроля над источником разлива за счет снижения объема нефти, выходящей на поверхность моря. Это позволит снизить вероятность воздействия ЛОС, испаряющихся из нефти, на ликвидационный персонал, работающих на надводных судах.
- Возможность снижения требований к последующим операциям локализации и сбора нефти на поверхности, контролируемого сжигания нефти, поверхностного применения диспергентов, а также защиты/обработки береговой линии за счет уменьшения объемов плавающей нефти.
- Повышение скорости «встречи» с нефтью по сравнению с распылением диспергента на плавающую нефть. Диспергенты могут быть эффективны при более низких скоростях обработки. Кроме того, это позволит сократить общее количество диспергентов, необходимых для проведения ликвидационной операции.
- Возможность круглосуточного проведения работ, в то время как распыление диспергентов с воздуха может производиться только в дневное время.
- Отсутствие влияния большей части неблагоприятных погодных и морских условий, которые могут ограничить проведение операций на поверхности моря.

Тем не менее, при применении диспергентов под водой возникало много неопределенных ситуаций и появлялись вопросы, в том числе следующие:

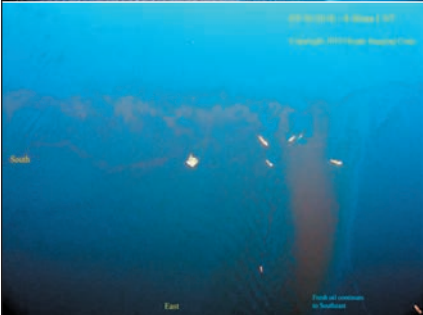
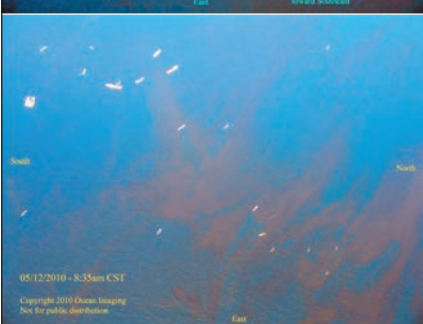
- Диспергенты ранее никогда не применялись под водой. Работоспособен ли этот метод? А если да, то каковы будут последствия?
- Каковы будут долгосрочные последствия применения диспергентов под водой?
 - Каковы будут последствия образования большого объема диспергированной нефти вблизи источника разлива в течение продолжительных периодов времени?
 - Как провести анализ суммарной экологической выгоды (АСЭВ), если подводная среда не была досконально изучена?
- Начнутся ли процессы биологического разложения при низкой температуре воды на большой глубине?
 - Если биоразложение начнется, не опустится ли содержание кислорода до предельно низких уровней?

Проверка использования диспергентов под водой

Компания BP получила разрешения от управляющих органов (федерального координатора работ на месте событий (FOSC) и Агентства по охране окружающей среды США) на проведение испытаний нового подхода к применению диспергентов под водой. 30 апреля, 2–4 мая и 10–11 мая был проведен ряд испытаний, предполагающих применение диспергентов в ограниченном объеме.

Во время испытательного подводного закачивания диспергента, проведенного с 9 по 12 мая, был сделан ряд воздушных снимков, описание которых приведено на вставке 3 на странице 40. Несмотря на то, что на основании этих фотографий трудно оценить точный объем нефти на поверхности моря, они представляют качественное доказательство эффективности применения диспергентов под водой. Автор фотографий смог подтвердить значительное уменьшение объемов поверхностной нефти, выходящей за пределы участка, охватываемого изображениями.

Вставка 3 Визуальные доказательства эффективности метода ЗДПВ

	9 мая, 08:52 Эта фотография сделана до закачивания диспергентов. Плавающая нефть над источником разлива образует непрерывный слой. Нефть, вытекающая из сломанного стояка, непрерывно поднимается в толще воды и выходит на поверхность моря.
	10 мая, 08:40 Тот же вид через три часа после начала закачивания диспергента в поток нефти и газа, выходящий из конца сломанного стояка. Закачивание осуществляется через трубу, направляемую при помощи ТНПА. Четко видно, что площадь плавающей нефти значительно уменьшилась по сравнению с предыдущей фотографией. Разумно будет сделать вывод, что большая часть нефти больше не выходит на поверхность моря.
	10 мая, 17:05 Плавающая нефть через одиннадцать часов после начала подводного закачивания диспергентов. На поверхности моря видны лишь отдельные небольшие пятна. На этом подводное закачивание диспергента было остановлено.
	11 мая, 09:10 Эта фотография сделана через пять часов после остановки подводного закачивания диспергентов. На ней видно, что площадь плавающей нефти значительно увеличилась. Это говорит о том, что нефть, которая ранее рассеивалась под водой под действием диспергентов, теперь опять стала выходить на поверхность моря.
	12 мая, 08:35 Фотография сделана через 28 часов после остановки подачи диспергентов. Это изображение показывает, что площадь нефтяного пятна вернулась к состоянию, которое было до начала закачивания диспергента под водой, за тем лишь исключением, что нефть теперь дрейфует на север из-за изменения направления ветра.

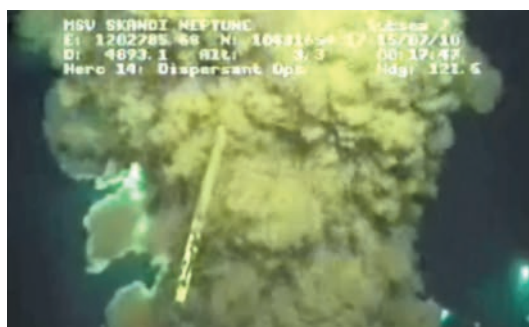
Авторские права на фотографии принадлежат Ocean Imaging

Применение диспергентов под водой

Подводный метод

Диспергенты подавались в поток нефти и газа, выходящий из конца сломанного стояка. Закачивание осуществлялось через трубу, направляемую при помощи ТНПА. Эта операция продолжалась до 3 июня, когда сломанный стояк был удален из воды. Затем диспергенты направлялись в поток нефти и газа, выходящий из устья скважины, а затем из LMRP, до тех пор пока выброс не был остановлен. 15 июля.

Диспергент подавался через «трубку» или «зонд», удерживаемый ТНПА и направляемый оператором ТНПА. Видеотрансляция с места работ показывает, как трубка движется вокруг потока нефти и газа. Также на ней видно, как внутри шлейфа, на расстоянии нескольких футов (около 1 метра) над устьем скважины или LMRP, попадает вода. Было предпринято несколько попыток закачивания диспергента через трубки (или зонды) различной конфигурации (см. фотографии справа).



Подготовлено на основании видео, предоставленного компанией ВР и снятого ТНПА

Скорость обработки диспергентом под водой

Поскольку скорость потока нефти и газа не была известна и не могла быть измерена, было невозможно определить скорость подачи диспергента для обеспечения требуемой дозировки соотношения диспергент нефть (DOR). На предварительных испытаниях системы ЗДПВ, проведенных в мае 2010 года, диспергенты подавались со средней скоростью от 4,6 до 10 галлонов/мин (от 17,4 до 37,9 л/мин).

Поэтому были проведены испытания для определения наиболее эффективной скорости подачи в испытательном диапазоне, и оценки возможности сокращения общего объема диспергентов, необходимого для проведения ликвидационной операции, при подводном закачивании. Эти испытания должны были показать, будет ли эффективным прямое добавление диспергентов в нефть, вытекающую из устья скважины, и насколько эффективным будет значительное сокращение объема диспергентов в сравнении с методом ежедневного воздушного распыления диспергентов на фрагментированную плавающую нефть. Эти испытания показали, что подводное закачивание может предотвратить выход нефти на поверхность моря непосредственно над скважиной и вблизи нее. Тем не менее, скорость подачи во время испытаний оказалась недостаточной для рассеивания всей нефти под водой. Некоторое количество частично разложившейся и выветренной нефти продолжало выходить на поверхность моря в нескольких километрах от скважины. Для обработки этой нефти на поверхности применялся метод распыления диспергентов с воздуха.

26 мая Агентство по охране окружающей среды США и береговая охрана США (USCG) выпустили директиву (US EPA, 2010a), обязывающую сократить общий объем применяемых диспергентов (для обработки нефти на поверхности моря и под водой) на 75% от максимального ежедневно расходуемого объема. Эта директива запретила ответственной стороне применять диспергенты для обработки нефти на поверхности при отсутствии предварительного письменного разрешения от USCG. Применять диспергенты под водой разрешалось, но в объеме не более 15 000 галлонов/сут, что соответствует 10,4 галлона/мин (39,4 л/мин, или 357 баррелей диспергента в сутки).

Объем используемых диспергентов

Всего во время инцидента на скважине Макондо было израсходовано около 1,8 миллиона галлонов (около 7 000 м³) диспергента.

Более 40% (771 272 галлона или 2 920 м³) от общего объема было применено под водой.

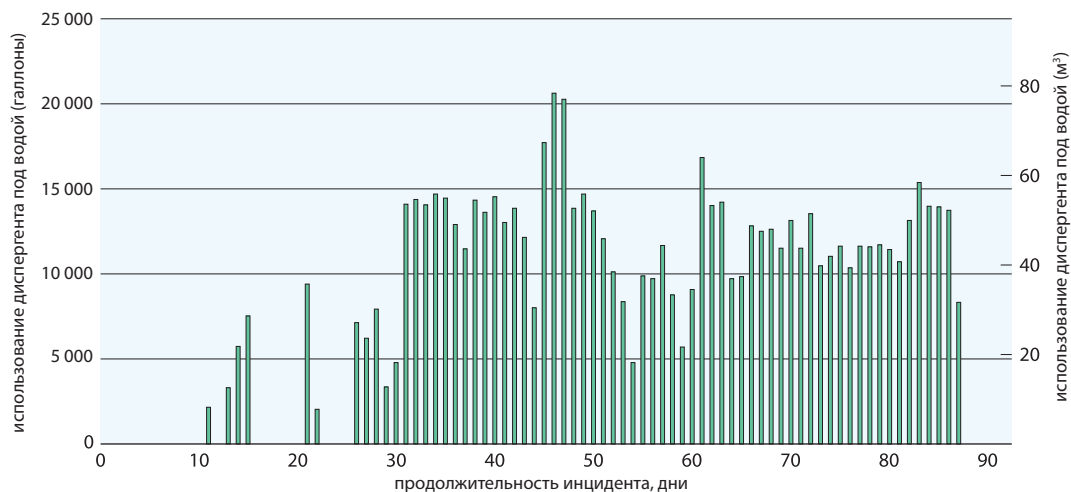
Таблица 9 Диспергенты, используемые в ходе инцидента на скважине Макондо

Диспергент	Объем в галлонах (округление до тысяч)	Объем в м ³
Распыление с воздуха	976 000	3 700
Распыление с судов	94 000	360
Закачивание под водой	771 000	2 920
Итого	1 841 000	6 980

После завершения испытательного применения в конце апреля в течение мая объем ежедневно используемых диспергентов вырос до 15 000 галлонов/сут (55 м³/сут), а средняя скорость подачи составляла около 10 галлонов/мин (37,9 л/мин) (рисунок 6). Данные, приведенные в таблице 9 и на рисунке 6, взяты из ежедневных отчетов, публикуемых компанией BP на специальном веб-сайте, посвященном инциденту.

После выхода директивы EPA от 26 мая объем ежедневно используемых диспергентов значительно снизился. В течение нескольких дней распыление диспергентов на поверхности было запрещено, а в последующие дни, когда требовалась поверхностная обработка, разрешен со значительно меньшим суточным объемом. В период с 3 по 5 июня, когда сток был удален из воды и устанавливалась система LRMP, скорость закачивания диспергента под водой немного выросла до 20 000 галлонов/сут (76 м³/сут), что соответствует 14 галлонам/мин. В другое время ежедневный расход диспергентов оставался приблизительно на одном уровне: от 8 000 до 15 000 галлонов/сут (от 30 до 55 м³/сут), что соответствует диапазону от 6 до 10,4 галлонов/мин (от 22,7 до 39,4 л/мин). Так продолжалось до 15 июля, пока разлив не был ликвидирован.

Рисунок 6 Применение диспергентов под водой в ходе инцидента на скважине Макондо



Требования к мониторингу толщи воды

Использование диспергентов под водой никогда не рассматривалось как метод ликвидации разлива нефти до инцидента на скважине Макондо, поэтому расход такого большого количества диспергентов в рамках ликвидационной операции не имел аналогов. Поэтому потребовалось организовать надлежащий мониторинг толщи воды, который мог бы дать ответы на вопросы и предположения касательно применения диспергентов, включая следующие:

- Насколько работоспособным будет добавление диспергента к нефти и газу под водой?
- Если добавление диспергента под водой работоспособно, каковы будут последствия?
 - В какую сторону будут перемещаться шлейфы диспергированной нефти под действием преобладающих течений?
 - Какова будет концентрация диспергированной нефти в этих шлейфах?
 - Могут ли эти концентрации нанести вред морским организмам, подвергающихся воздействию диспергированной нефти?
 - Будут ли происходить процессы биологического разложения при низкой температуре и на большой глубине?
 - Если биоразложение начнется, не опустится ли содержание кислорода до предельно низких уровней, что нанесет вред морским организмам?

Агентство по охране окружающей среды США обязало вести мониторинг операции закачивания диспергента под водой во время операции для оценки общей эффективности этого метода. Также поступило пожелание получить показатели движения диспергированной нефти в толще воды.

10 мая Агентство по охране окружающей среды США выпустило директиву (EPA, 2010b), установившую план мониторинга, состоящий из трех частей, который требовалось исполнить для проведения операции подводного закачивания диспергентов. Согласно части 1, требовалось наладить мониторинг для контроля эффективности подводного закачивания диспергентов, т.е. фактического протекания процессов диспергирования нефти. Его составляющие:

- использование буксируемого флуориметра (флуориметра Turner Designs C3), располагаемого на глубине 1 м для контроля концентрации нефти в воде;
- анализ размеров частиц с помощью анализатора LISST (трансмиссометрия и определение характеристик рассеяния на месте с помощью лазера) (Sequoia Scientific, Inc.) на различной глубине, от поверхности воды до 550 м, с целью измерения распределения размеров нефтяных капель;
- контроль растворенного кислорода на различной глубине, от поверхности до 550 м, для обнаружения фактов кислородного истощения из-за биоразложения нефти;
- использование устройства CTD для измерения электропроводности, температуры и глубины (ГТЭ) на различной глубине, от поверхности до 550 м;
- отбор проб воды на различной глубине, от поверхности до 550 м, для анализа содержания ПАУ (полициклических ароматических углеводородов);
- проведение воздушного визуального наблюдения (при благоприятных погодных условиях).

Выполнение части 2 предполагалось в том случае, если по результатам выполнения части 1 будет подтверждена эффективность закачивания диспергентов под водой. В этой части расширяются требования, установленные в части 1, до морского дна на глубине 1500 м. Кроме того, были добавлены некоторые дополнительные требования к мониторингу:

- измерения с помощью литого флуориметра (т.е. опускаемого, а не буксируемого) на разной глубине от поверхности до дна;
- контроль токсичности по методу Rototox™;
- проведение испытаний УФ-лучами для обнаружения ПАУ-соединений с повышенной молекулярной массой более чем трехкольцевых).

В части 3 устанавливались оперативные процедуры по подводному закачиванию диспергентов и определялись такие параметры, как типы используемых диспергентов, скорость закачивания, способы контроля скорости закачивания, а также процедуры для федерального координатора работ на месте событий (FOSC) по началу и остановке закачивания.

Дополнительное требование по проведению испытаний на токсичность методом Rototox™ было необходимо для оценки риска, связанного с ранними стадиями применения метода ЗДПВ, а также для определения условий, при которых ЗДПВ не сможет быть продолжена или потребует внесения изменений в процесс, так как в противном случае морским организмам может быть нанесен вред. Было определено два пороговых значения:

1. Значительное снижение содержания растворенного кислорода от фонового значения до значения ниже 2 мг/л;
2. Чрезмерное проявление токсического действия, демонстрируемое при проведении испытаний на токсичность.

При достижении любого из этих пороговых значений, и принимая во внимание все соответствующие факторы, включая береговую линию, поверхностные воды, влияние на здоровье людей и экологию, государственные органы должны были решить, превышает ли риск применения метода ЗДПВ возможные преимущества и принять решение о модификации или прекращении применения системы подводного закачивания диспергентов.

Впоследствии в требования к мониторингу были внесены дополнительные изменения, которые включали контроль неподверженных влиянию вод для получения фоновых данных, а также применение комбинированного розеточного комплекта CTD (для измерения электропроводности, температуры и глубины) и отбора проб воды¹.

Результаты мониторинга

Система мониторинга и отбора проб из толщи воды необходима для выявления:

- поддающихся измерению показателей эффективности применения диспергентов под водой, например местоположения и концентрации диспергированной нефти в подводных шлейфах;
- возможных рисков и неблагоприятных последствий применения диспергентов, включая токсическое воздействие на испытываемые организмы или сильное снижение содержания растворенного кислорода в воде.

Результаты мониторинга и отбора проб были сведены в отчет, подготовленный объединенным командованием, озаглавленный как *Сводный отчет по обнаружению нефти и диспергентов на поверхности моря и под водой: отбор проб и мониторинг*, который зачастую сокращенно называется OSAT1 (OSAT, 2010). В этом отчете содержится сводная информация более чем по 10 000 проб, взятых 25 исследовательскими судами в рамках более чем 125 выходов и 850 дней пребывания в море. OSAT1 содержит результаты по данным, собранным в рамках операции по ЗДПВ, однако он посвящен не только методу закачивания диспергентов под водой. В нем содержатся результаты анализа проб воды, позволяющие определить время завершения ликвидационных мероприятий. Он позволил FOSC сместить внимание к ликвидационной операции на берегу и в приливных зонах вдоль берега.

Данные, приведенные на рисунке 7, взяты из отчета, подготовленного Объединенной аналитической группой (JAG) для документа под названием «Данные по поверхностной и подводной океанографии, нефти и диспергентам» (JAG, 2010a), и являются примерами показателей, полученных в ходе мониторинга толщи воды в различное время, в различные дни и в различных местах. На рисунке показаны:

- данные флуориметра, свечение (частей на миллиард, QSDE — эквивалентность гидрату сульфата хинина), черным цветом;
- содержание растворенного кислорода в воде (мл/л), красным цветом;
- аномалии плотности воды (кг/м³), синим цветом.

Эти значения являются необработанными данными и используются для демонстрации результатов, полученных в процессе мониторинга.

¹ Самая популярная конструкция пакета для отбора проб, которая обычно состоит из 12-36 баллонов для отбора проб емкостью от 1,2 до 30 литров, размещенных вокруг центрального цилиндра, к которому может подсоединяться комплект датчиков CTD или аналогичных датчиков.

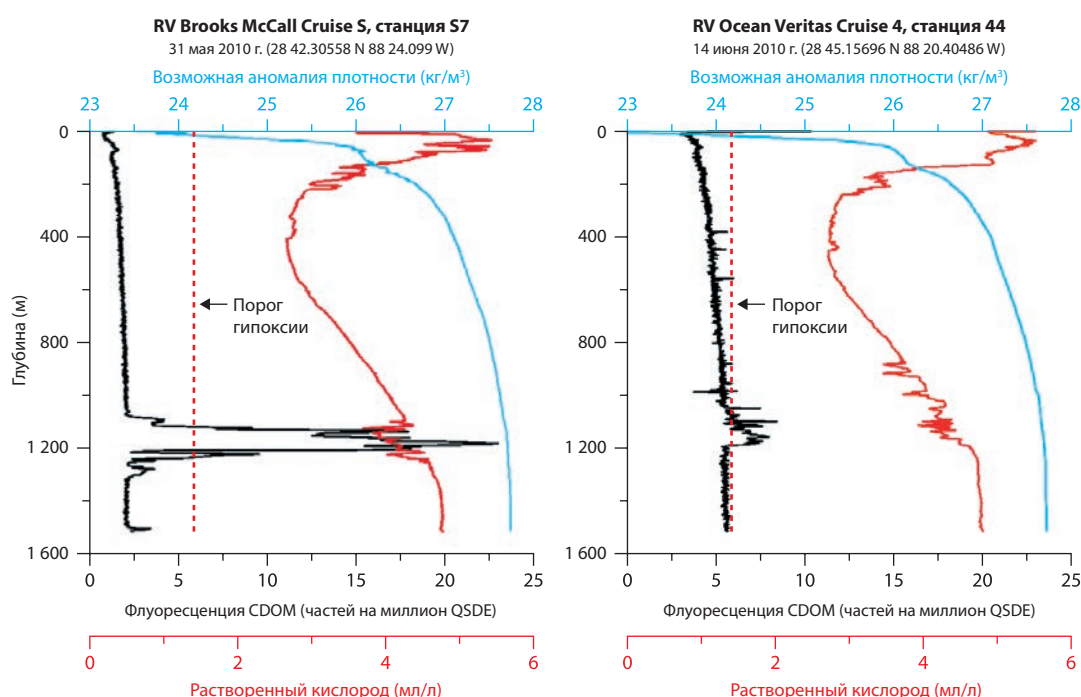
Флуориметрия и химический анализ воды

Согласно отчету JAG, процессе флуориметрии диспергированная нефть (включая нефть, диспергированную под действием турбулентности и химических веществ, входящих в состав диспергентов) обнаруживалась в виде рассеянного шлейфа на глубине приблизительно 1200 м, т.е. в 300 метрах над местом выброса нефти и газа. У точки выброса значения были достаточно большими, но значительно уменьшались по мере увеличения расстояния, направляясь главным образом на юго-запад, в соответствии с выявленным направлением течения (JAG, 2010a).

Дополнительный доклад JAG (JAG, 2012) установил, что:

- Обнаруженная нефть подразделялась на летучие фракции углеводородов (частично растворимые в воде) и труднолетучие фракции углеводородов. Подготовка отдельной отчетности по этим двум классам углеводородов позволила заблаговременно следить за различиями в поведении данных фракций. Некоторые данные показывают, что фракции нефти, легче всего поддающиеся биологическому разложению (т.е. летучие фракции), практически полностью распались под действием микроорганизмов.
- Наблюдаемое снижение концентрации углеводородов по мере увеличения расстояния до устья скважины связано, вероятнее всего, с целым рядом факторов. Основными являются растворение и биоразложение, но на это также повлияли и другие факторы, такие как частичная адсорбция, которая также оказала влияние на снижение концентрации.
- Самая высокая концентрация летучих углеводородов в воде наблюдалась на глубине от 900 до 1300 м и составляла 2112 частей на миллиард. Это значение было обнаружено в пробе, взятой в 1,2 км от устья скважины. На расстоянии более 20 км от скважины концентрация летучих углеводородов не превышала 100 частей на миллиард, а на расстоянии 100 км она находилась ниже уровней определения используемого аналитического метода.
- На расстоянии более 10 км от скважины уровень труднолетучих фракций углеводородов на глубине от 900 до 1300 м в основном находился в пределах от 1 до 10 частей на миллиард. Самый высокий уровень труднолетучих углеводородов в пробе воды составлял 485 частей на миллиард, и был

Рисунок 7 Примеры измерений, сделанных в ходе мониторинга толщи воды



обнаружен в пробе, взятой на расстоянии 1,2 км от устья скважины. На расстоянии в 400 км от устья скважины были обнаружены поддающиеся измерению объемы труднолетучих углеводородов. На расстоянии в 275 км были обнаружены значения на уровне 10 частей на миллиард.

Измерения растворенного кислорода

Вблизи шлейфа диспергированной нефти наблюдалось истощение растворенного в воде кислорода, однако в результате применения метода закачивания диспергента под водой это не привело к появлению новых зон кислородного истощения, где было бы возможно нанесение вреда морским организмам.

Результаты отбора проб из толщи воды и их анализа

В местах, где флуориметрия показала высокую концентрацию диспергированной нефти, были взяты пробы воды, которые затем были проанализированы на содержание определенных видов углеводородов.

Критерии влияния на здоровье человека

Для оценки возможного влияния воды, загрязненной нефтью, на здоровье человека, применяются критерии влияния на здоровье человека, разработанные Агентством по охране окружающей среды совместно с Министерством здравоохранения и социального обеспечения США. Критерии включают уровни концентрации ряда соединений, включая ЛОС, ПАУ и металлы.

Всего в рамках контроля влияния на здоровье человека было взято и проанализировано 11 634 (6 090 проб у берега, 750 – на поверхности моря и 4 794 – на глубине) проб. Ни одна из проб не показала отрицательного результата по критериям Агентства по охране окружающей среды.

Критерии оценки водной флоры и фауны

Агентство по охране окружающей среды определило «уровни озабоченности» для критериев оценки концентрации ПАУ в воде и отложениях с целью контроля возможного неблагоприятного воздействия на водную флору и фауну. Пробы воды были проанализированы на содержание 41 химического соединения нефти, включая 7 видов летучих органических соединений, 16 базовых ПАУ и 18 алкинированных гомологов базовых ПАУ. Каждому химическому соединению был присвоен индекс потенциальной токсичности, который позволил рассчитать общую токсичность (острую или хроническую) смеси соединений, входящих в определенную пробу. Критерии воздействия на водную среду были определены на основании комплекса лабораторных испытаний на токсичность, в которых проверялась загрязненная вода и различные виды. При этом учитывались различные этапы жизни, критические точки и продолжительность воздействия.

Всего для сравнения с критериями морской жизни было взято и проанализировано 10 578 (6 090 проб у берега, 749 – на поверхности моря и 3 739 – на глубине) проб. Согласно отчетности (OSAT, 2010 и OSAT, 2011), около 1% всех проб были сопоставимы с критериями, установленными на скважине Макондо и Агентством по охране окружающей среды США, при этом около 1% этих проб было взято из отложений, и менее 1% – из воды.

Критерии оценки диспергентов

Во время анализа проб воды проводился контроль на содержание четырех составляющих диспергентов:

- 2-бутокситанол (обнаружен только в COREXIT® 9527, который применялся до мая, пока не закончились запасы);
- n-бутиловый эфир дипропиленгликоля (DPnB);
- пропиленгликоль;
- диизоцитилсульфосукцинат (DOSS).

Критерии, основанные на концентрации растворенной морской воды в отдельных соединениях, были разработаны для защиты морской жизни и применялись для определения «уровней озабоченности» с учетом данных о биологическом воздействии.

Всего в рамках сравнения критериев опасности диспергентов было взято и проанализировано 10 178 (5 262 проб у берега, 682 – на поверхности моря и 4 334 – на глубине) проб. Согласно отчетности OSAT, превышений установленных пределов обнаружено не было.

Контроль токсичности

Лабораторные испытания, проведенные согласно стандартным протоколам Rototox™, в отношении сырой нефти из скважины Макондо, диспергированной при помощи COREXIT® 9500A, показали что значение LC50 для коловратки (*B. plicatilis*) находилось в пределах от 10 до 17 частей на миллиард. Самое высокое значение общего содержания нефтяных углеводородов (ТНУ) среди всех мест, где проводились испытания на токсичность, было значительно ниже этого предела. Поэтому не удивительно, что в рамках контроля воды, требуемого частью 2 плана мониторинга, при проведении испытаний на токсичность в соответствии с протоколом Rototox™ признаков токсического воздействия обнаружено не было.

Кроме того, испытания на токсичность были проведены в отношении различных бентических и пелагических видов (таблица 10).

Таблица 10 Испытания, проведенные в отношении бентических и пелагических организмов во время инцидента Макондо

Тип пробы	Испытываемый вид	Продолжительность	Конечная точка	Кол-во испытаний
Вода	Рыба	96 часов	Выживание	126
		7 дней	Выживание, рост, биомасса	36
	Мизида (<i>Americamysis bahia</i>)	96 часов	Выживание	93
		7 дней	Выживание, рост, плодовитость, биомасса	30
	Розовая креветка	7 дней	Выживание	88
	Морской еж	2 часов	Оплодотворение	2
	Моллюски	48 часов	Выживание, развитие эмбрионов	20
	Диатомовые водоросли	96 часов	Рост	68
	Беспозвоночные	96 часов	Рост	68
Отложения	Боклопав	96 часов	Выживание, рост	74
		10 дней	Выживание, рост, перезахоронение	505
	Черви	10 дней	Выживание	112
	Мизиды	48 часов	Выживание	256
		96 часов	Выживание, рост	65
	Морской еж	60 минут/ 48 часов	Оплодотворение/ эмбриональное развитие	66

Источник: OSAT, 2011

Всего во время разлива и ликвидационных операций было проведено 3 548 испытаний на токсичность, что сделало эту программу самой масштабной из всех проводившихся для оценки воздействия нефтяного разлива на морскую среду. В целом, 90% этих испытаний не показали статистически значимого воздействия. Ни одна из концентраций веществ, входящих в состав диспергентов, обнаруженных в пробах отложений и воды из прибрежной зоны после 3 августа 2010 года, не превысила критерии, установленные Агентством по охране окружающей среды США (OSAT, 2011).

Решение проблем, связанных с морепродуктами

Чтобы предотвратить потенциальное воздействие нефти и диспергентов на морепродукты, в июне 2010 года Национальное управление океанических и атмосферных исследований (NOAA) и Управлению по контролю за продуктами и лекарствами США (FDA), совместно с Агентством по охране окружающей среды США и штатами США на побережье Мексиканского залива, согласовали обширную процедуру отбора проб и тестирования. Участки, закрытые для рыбной ловли, открывались повторно только тогда, когда все пробы морепродуктов успешно проходили установленные сенсорные и химические испытания. Если в ходе первоначальных испытаний упор был сделан на нефтяное загрязнение, то затем, в октябре 2010 года FDA и NOAA разработали новое испытание для определения следов составляющих диспергентов в тканях рыбы (US FDA, 2010). По результатам испытаний уровень концентрации в каждом из прошедших это испытание образцов был ниже предела, установленного FDA, а около 99% образцов не показали присутствия различных признаков вредных веществ.

На сегодняшний день ни один из морепродуктов, прошедших испытания FDA, NOAA и штатов США на побережье Мексиканского залива, не превышает уровни безопасности для здоровья человека, установленные FDA. Морепродукты из Мексиканского залива относятся к наиболее тщательно проверенным источникам морепродуктов на американском рынке. С мая 2010 года FDA, NOAA и штаты США на побережье Мексиканского залива провели испытания более 10 000 видов пелагических рыб и моллюсков, и результаты показывают, что уровни ПАУ в морепродуктах ниже установленных FDA пределов в 100-1000 раз (US FDA, 2012).

Оценка ущерба природным ресурсам

В США воздействие нефтяных разливов регулируется Законом о запрете загрязнения прибрежных вод нефтью от 1990 года, который определяет два типа деятельности:

- **Реагирование:** действия, направленные на локализацию и удаление нефти из воды и с береговой линии, а также сведение к минимуму неблагоприятного воздействия на здоровье и безопасность людей.
- **Восстановление:** действия, предпринимаемые для восстановления или замены поврежденных природных ресурсов и компенсации общественности временных потерь от недоступности этих ресурсов.

Через несколько дней после аварии к операции были привлечены ученые, работающие над анализом природных ресурсов и разработкой ликвидационных мероприятий. Они собирали данные, которые впоследствии использовались для оценки возможного влияния нефти и диспергентов на дикую природу и места обитания, а также на использование этих ресурсов в рекреационных целях. Таким образом началась реализация программы оценки ущерба, нанесенного природным ресурсам (NRDA) — крупнейшая из когда-либо проводимых программ экологического анализа. К началу 2015 года ученые провели более 240 исследований по программе NRDA, включая оценку потенциального воздействия на бентические организмы. На момент публикации данного руководства работы по анализу данных и оценке потенциального ущерба все еще не завершены.

Оперативные аспекты — обзор

Основные операции при использовании диспергентов под водой:

- Задействуется надводное судно, которое доставляет диспергенты и необходимое оборудование на место подводного разлива.
- Выполняется разворачивание оборудования и, если возможно, проводится мониторинг подводной среды для определения характеристик подводного разлива.
- Диспергент перекачивается с поверхности в подводный коллектор. Перемычка коллектора соединяется с соплом на телеуправляемом необитаемом подводном аппарате (ТНПА), который располагается возле места разлива.
- ТНПА направляет сопло в сторону потока нефти, как можно ближе к точке ее выброса.
- Через это сопло диспергент подается прямо в поток нефти со скоростью, управляемой с палубы надводного судна.
- Выполняется мониторинг операции закачивания диспергента под водой с целью контроля эффективности и предоставления информации о расположении нефтяных шлейфов в толще воды и риске воздействия на морские организмы.

Необходимое оборудование

Первым шагом является мобилизация необходимого оборудования на место проведения мероприятий по управлению источником разлива. В таблице 11 приведен пример контрольного списка готовности для оценки ресурсов, необходимых для мобилизации оборудования.

Таблица 11 Пример контрольного списка для обеспечения готовности к закачиванию диспергентов под водой

Тип ресурса	Оборудование, материалы и другие средства
Судно	● Морское судно для транспортирования и разворачивания системы закачивания диспергентов под водой, а также суда, совершающие челночные рейсы для пополнения запасов диспергентов
Химические материалы	● Диспергент
Рабочее оборудование	● Несколько ТНПА для выполнения монтажа и оперативного использования ● Койлтюбинговый агрегат ● Подводный коллектор ● Система перекачивания диспергентов ● Шланги и оборудование для соединения между судами, необходимые для пополнения резервуаров с диспергентами
Комплект для мониторинга применения диспергентов под водой	● Исследовательское судно ● Специализированное контрольно-измерительное оборудование для мониторинга операции по закачиванию диспергентов под водой ● Группа ученых для ведения мониторинга
Процедуры	● Процедуры монтажа и оперативные процедуры, откорректированные с учетом параметров судов, проводящих операцию ликвидации нефтяного разлива
Планирование/процедуры	● План доставки диспергентов (из контейнеров на судно) ● Планы закачивания диспергентов (отношение скорости потока нефти к скорости подачи диспергента или соотношение «диспергент нефть» (DOR)) ● План транспортировки для насосных установок пополнения запасов ● Планирование мониторинга применения диспергентов ● Аварийное планирование для монтажных работ
Планирование	● Поэтапный план и последовательность операций, выполняемых при прибытии резервуаров с диспергентами на береговую базу ● Обеспечение соглашения о перевозке судами, в том числе поставке диспергентов
Соглашения	● Соглашение с поставщиком диспергентов о приобретении дополнительных объемов диспергентов

Предоставлено MWCC

Запасы диспергентов

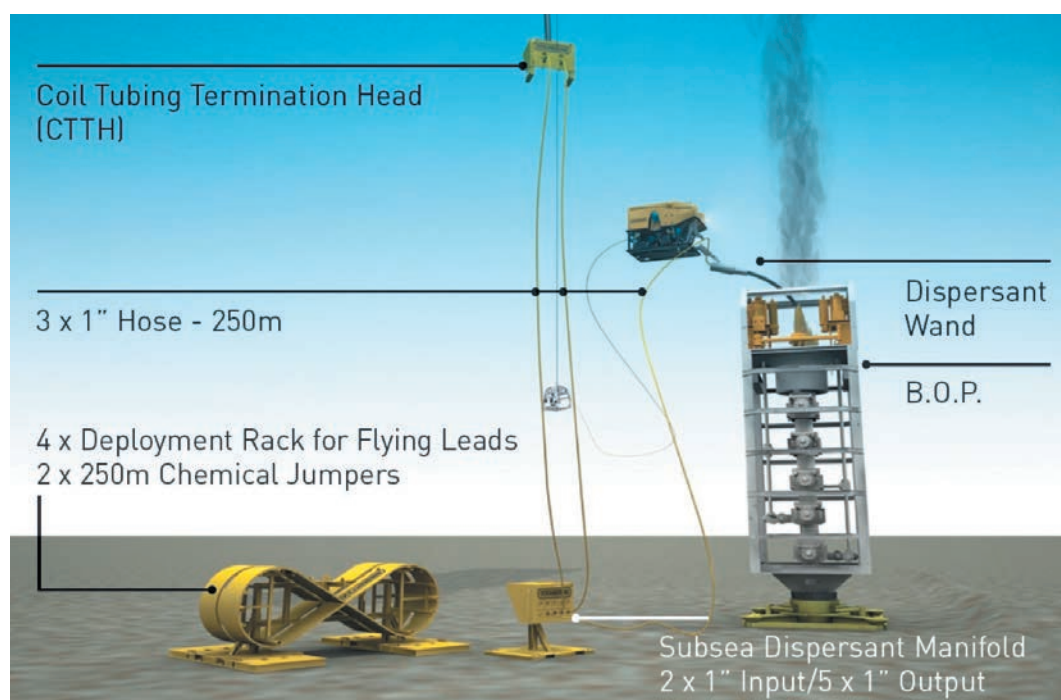
В соответствии с программой обеспечения мировых запасов диспергентов компании Oil Spill Response Limited (OSRL), мировые запасы диспергентов поддерживаются на уровне 5000 м³ (или 5 млн л). Расположение запасов обеспечивает быстрый доступ к диспергентам и их мобилизацию в достаточном количестве для ликвидации конкретного разлива. Доступ к мировым запасам диспергентов обеспечивается всем членам OSRL, подписавшим дополнительное соглашение о доступе к мировым запасам диспергентов. Другие аварийные службы, такие как Marine Well Containment Company (MWCC) в Мексиканском заливе или Australian Marine Oil Spill Centre (AMOSC) в Австралии также обладают запасами диспергентов на соответствующих территориях.

Развертывание оборудования для закачивания диспергентов под водой

После прибытия оборудования для ЗДПВ на место проведения работ, из которого осуществляется контроль источника разлива, снаряжается судно для подачи диспергентов, которое располагается непосредственно над устьем скважины. Поскольку у устья скважины могут проводиться другие операции (например, операции по герметизации скважины, локализации нефти, удаления мусора, бурения вспомогательных скважин и т. д.), все перемещения судов и выполняемые работы должны быть скоординированы из единого командного центра, называемого центром командования параллельными операциями (SIMOPS). SIMOPS координирует все операции на поверхности океана и под водой для обеспечения безопасности всех параллельно работающих судов.

После расположения судна в нужной точке шланги для подачи диспергентов подсоединяются к резервуарам для хранения. Затем с судна опускаются коллектор с диспергентом и стабилизирующие грузы с койлтюбингом. Для подсоединения различных компонентов подводной системы закачивания диспергентов применяются ТНПА.

Рисунок 8 Комплект экстренного подводного реагирования SWIS



После завершения сборки и проверки ТПНА наводит трубку подачи диспергента (или зонд) на поток нефтяного шлейфа. Второй ТПНА помогает первому, обеспечивая освещение и видеосъемку на морском дне. После установки трубки для подачи в нужное место на судне включается подача диспергента. Скорость и место подачи диспергентов постоянно корректируются для повышения эффективности операции, в соответствии с результатами оперативного мониторинга.

На мобилизацию и сборку, описываемые здесь, обычно уходит несколько дней. После ввода в действие система может работать круглосуточно, так как она не зависит от времени суток и прочих условий, кроме экстремальных условий на поверхности моря. И даже в этом случае можно разворачивать на дно моря автономную насосную систему диспергентов на дно моря, которая работает без управления с поверхности. Одна из таких систем была разработана компанией MWCC и называется автономной системой закачивания диспергентов под водой (SADI). Система SADI обеспечивает применение метода ЗДПВ даже в условиях экстренной эвакуации персонала с места проведения работ. Она включает оборудование для хранения диспергентов под давлением, коллектор и насосную установку, которые могут работать автономно на морском дне без какой-либо поддержки с поверхности моря.

Скорость обработки диспергентом под водой

Дозировка диспергента зависит от конкретных обстоятельств разлива. Часто дозировка выражается коэффициентом объемного отношения диспергента к воде (DOR), соблюдение которого необходимо для обеспечения увеличения количества капель нефти, размер которых будет достаточно мал для диспергирования в толще воды.

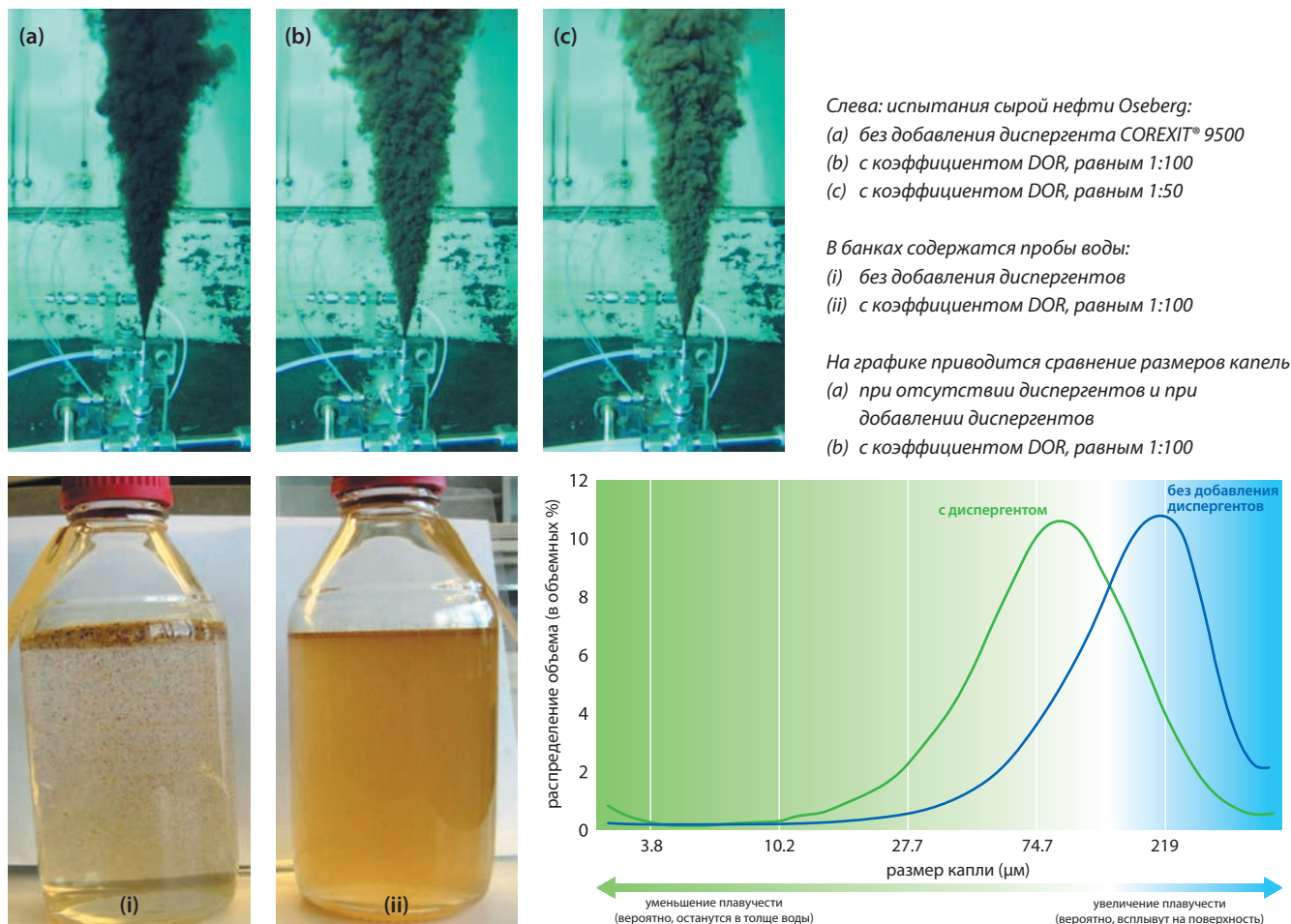
Как сказано на странице 51, значение коэффициента DOR, имевшее место в процессе ликвидационной операции на скважине Макондо, точно неизвестно, так как доподлинно неизвестны значения скорости потока нефти и газа.

Последующие исследования (Brandvik и др., 2014b), проводимые при менее крупных разливах нефти и газа, показали, что для ускорения диспергирования достаточно, чтобы коэффициент DOR находился на уровне 1:50, 1:100 и менее. Во время инцидента оценка коэффициента DOR осуществляется на основании наблюдений, предоставляемых системами мониторинга. Скорость закачивания диспергентов подлежит корректировке для достижения минимального значения коэффициента DOR, при котором обеспечивается эффективное диспергирование при текущей скорости потока нефти. См. таблицу 12.

Таблица 12 Скорость закачивания диспергентов для различных скоростей потока нефти, при которой коэффициент DOR будет находиться на уровне от 1:50 до 1:100

Скорость потока нефти	Скорость закачивания диспергента, необходимая для доведения коэффициента DOR до уровня 1:50		Скорость закачивания диспергента, необходимая для доведения коэффициента DOR до уровня 1:100	
	галлон/мин	л/мин	галлон/мин	л/мин
20 000	12	44	6	22
40 000	23	88	12	44
50 000	29	110	15	55
60 000	35	132	18	66
100 000	58	221	29	110

Рисунок 9 Испытания сырой нефти Oseberg при добавлении и без добавления диспергентов (источник: SINTEF)



Задачи подводного мониторинга и отбора проб

Мониторинг закачивания диспергентов под водой

Несмотря на то, что метод ЗДПВ является эффективным методом ликвидации аварийных разливов, часть нефти может подниматься на поверхность, где могут быть применены традиционные методы сбора, включая использование протоколов SMART (специальный мониторинг применяемых методов ликвидации разлива). Таким образом, программы подводного мониторинга, вероятнее всего, будут осуществляться в сочетании с программами поверхностного мониторинга.

В API разработаны методические рекомендации для промышленности, в первую очередь регулирующие оперативный мониторинг (API, 2013). Основной их задачей является сбор данных для мониторинга в режиме реального времени (или близком к этому), которые могут использоваться в качестве основы для принятия оперативных решений на следующий день. Если для сбора и анализа данных мониторинга требуется несколько дней, они не смогут быть использованы для оперативного принятия решений. В рекомендациях API различные методы мониторинга разделены на три этапа с различными целями:

- оценка эффективности использования диспергентов под водой;
- определение характера и масштабов подводных и подповерхностных шлейфов диспергированной нефти;
- первоначальная оценка возможных экологических последствий и их связь с принятием оперативных решений в рамках операции ликвидации нефтяного разлива.

Эти этапы выполняются в порядке, в котором они перечислены ниже, и каждый из них основан на информации, полученной на предыдущем этапе. Предполагается, что каждый этап будет протекать параллельно этапу развертывания ресурсов для закачивания диспергентов под водой по ходу ликвидационной операции.

Этап 1: оценка эффективности использования диспергентов под водой

Первый вопрос, на который должна дать ответ программа подводного мониторинга, это «будет ли метод ЗДПВ эффективен?».

Изначально мониторинг на месте разлива необходим для оценки природы подводного выброса, скорости потока нефти и газа, а также для определения свойств и характера разлитой нефти. Эта информация служит для подготовки предварительных данных, необходимых для применения метода ЗДПВ, и используется для определения методов и скорости закачивания диспергентов.

Оценка эффективности применения диспергентов может быть проведена путем сравнения базовых данных, полученных до закачивания диспергента (т.е. данных о внешнем виде, качестве воздуха и воды) с данными, полученными после начала закачивания диспергента. Оценка эффективности применения диспергентов может быть выполнена:

- Визуальным способом, путем просмотра видеозаписей, снятых камерами ТНПА, для оценки изменений формы и цвета нефти после добавления диспергентов.
- Акустическим способом, путем анализа данных обратного рассеивания при работе гидролокатора ТНПА. Для оценки эффективности применения диспергентов могут использоваться гидроакустические изображения струи нефти, формируемые до и после подачи диспергентов. Это связано с тем, что перед подачей диспергента при работе гидролокатора при соответствующей длине волны может формироваться сильный сигнал обратного рассеяния, который становится значительно слабее после подачи диспергентов.
- Визуальным способом, путем анализа аэрофотоснимков нефтяных пятен на поверхности моря. Аэрофотосъемка должна вестись до и во время закачивания диспергентов под водой, так как это позволит определить, сокращаются ли объемы нефти, выходящей на поверхность, после начала закачивания диспергентов.
- Воздушный мониторинг ЛОС и нижнего порога взрываемости (НПЗ) на судах вблизи скважины до и после добавления диспергента.

Ни один из этих методов в отдельности не может оценить эффективность, однако сочетание полученных с их помощью данных может быть достаточным для принятия обоснованных решений о продолжении или внесении изменений в порядок применения диспергентов. Следует обратить внимание, что изменения в форме поверхностного пятна проявляются не сразу и зависят от ветров, течений, а также ожидаемого времени подъема нефти в толще воды.

Этап 2: определение характера и масштабов подводных и подповерхностных шлейфов диспергированной нефти

После того как сделан вывод об эффективности ЗДПВ, следующим этапом мониторинга становится контроль масштабов и поведения подводных шлейфов диспергированной нефти. Задачи этого этапа мониторинга:

- определение местоположения, размеров и характеристик растворенной и диспергированной нефти в толще воды;
- оценка характеристик поперечного и вертикального движения растворенной и диспергированной нефти;
- документирование изменения концентрации нефти по мере ее удаления от источника.

Локальные океанографические данные в сочетании с гидродинамическими моделями (если таковые доступны) помогут определить вероятное направление движения подповерхностной нефти.

Мониторинг толщи воды

Основная стратегия мониторинга предполагает использование исследовательского судна, оснащенного А-образной рамой и лебедкой для отбора проб с помощью прибора ГТЭ и розеточного устройства для отбора проб. ГТЭ оснащается флуориметром, датчиком растворенного кислорода и анализатором размера частиц, работающим на основе принципа рассеяния лазерного излучения (например, LISST).

Используя эту стратегию, производится отбор и хранение проб воды для последующего подробного химического анализа, при этом глубина отбора определяется результатами ГТЭ по выбранным станциям. Пробы воды для контроля растворенного кислорода на борту судна должны быть взяты в нескольких точках: выше, на глубине и ниже точки, где наблюдалось увеличение флуориметрического отклика.

Для контроля размера частиц нефтяных капель в режиме реального времени может применяться анализатор размера частиц, работающий на основе принципа рассеяния лазерного излучения. Значительная разница в размерах крупных и мелких капель является индикатором диспергирования нефти.

Отбор проб воды

Определение мест отбора проб воды должно быть основано на информации, полученной из заслуживающей доверия объемной модели подводного нефтяного разлива. Если такая модель недоступна, потребуется разработать систему отбора проб, центральной точкой которой станет место разлива. Станции устанавливаются по радиальной схеме, начиная от центра, и для определения направления движения диспергированной нефти используют показания флуориметра на ГТЭ и показатели рассеивания света.

После поступления из соответствующих приборов, пробы воды помещаются в подходящие контейнеры и хранятся до последующего анализа.

Этап 3: первоначальная оценка возможных экологических последствий

Задачей этого этапа мониторинга является точное определение характеристик всех проб воды, взятых ГТЭ, используя современные методы лабораторного анализа, компонентов нефти и маркеров диспергентов. После отбора проб воды они возвращаются на материк, где немедленно передаются сертифицированным, аккредитованным лабораториям, в которых действуют соответствующие процедуры обеспечения сохранности проб. Время судна в пути, время, необходимое на передачу проб и проведение лабораторного анализа должно составлять максимум пять дней, в зависимости от места инцидента. В случае крупномасштабного разлива, когда собирается большое количество проб, на получение подробных аналитических результатов, соответствующих стандартам обеспечения качества и контроля (QA/QC), отводится 7-10 дней. Очень маловероятно, что во многих местах в мире имеется доступ к соответствующим лабораториям, обладающим надлежащим уровнем токсикологии и аналитической химии, необходимым на этапе отбора проб и мониторинга во время операции по применению диспергентов, как это было в ходе инцидента на скважине Макондо.

Выводы

Цель применения диспергентов, как на поверхности моря, так и под водой, одна: свести к минимуму общий экологический и социально-экономический ущерб путем ограничения перемещения разлитой нефти к прибрежным или береговым местам обитания, а также на берег. Воздействие диспергентов на плавающую нефть позволяет расщеплять и рассеивать в верхнем слое толщи воды, где она быстро разбавляется и разлагается под действием живых организмов. Закачивание диспергентов под водой (ЗДПВ) позволяет предотвратить выход нефти на поверхность моря за счет диспергирования нефти в том же слое воды, где произошел разлив. Это дает значительный положительный эффект для сохранения здоровья и безопасности за счет меньшего воздействия летучих органических соединений (ЛОС) на персонал, работающий вблизи места разлива.

Опыт, полученный в процессе ликвидации разлива на скважине Макондо в 2010 году показал, что ЗДПВ может быть эффективным методом реагирования при подводных нефтяных и газовых выбросах. Известно, что если не применять диспергенты под водой, берега достигнет значительно больше нефти. Трудности, с которыми столкнулись при проведении операции по ликвидации разлива на глубине 5100 футов (1550 метров) с применением недостаточно изученного метода, были поистине колоссальными. Для создания жизнеспособного метода ЗДПВ во время крупнейшей из когда-либо проводившихся операций потребовались невероятная изобретательность и опыт.

Как метод реагирования на подводный разлив нефти ЗДПВ имеет целый ряд преимуществ над методом реагирования на разлив нефти после достижения ею поверхности моря. Метод ЗДПВ позволяет:

- обрабатывать нефть в месте ее выброса;
- расходовать меньшее количество диспергентов по сравнению с обработкой на поверхности;
- уменьшить риски для здоровья и безопасности ликвидаторов, связанные с воздействием ЛОС и самой нефти;
- операция может проводиться постоянно, в дневное и ночное время, при практически любых погодных условиях, в отличие от методов, применяемых на поверхности моря.

Применение метода ЗДПВ для диспергирования разлитой нефти в толще воды обладает определенными возможностями и ограничениями, наряду с преимуществами и рисками. При рассмотрении вопроса применения метода ЗДПВ или любого другого метода ликвидации разлива, требуется оценка всех преимуществ и рисков с помощью анализа суммарной экологической выгоды (АСЭВ). Добавление диспергента приводит к разделению разлитой нефти на небольшие капли, которые разбавляются в толще воды, а затем подвергаются интенсивному биологическому разложению. Метод ЗДПВ обладает следующими преимуществами:

- Эффективное рассеивание разлитой нефти в толще воды исключает или сокращает объемы нефти, выходящей на поверхность моря, откуда она может попадать на берег, нанося урон чувствительным к нефти прибрежным местам обитания и социально-экономическим ресурсам.
- Рассеивание нефти в толще воды в виде небольших капель обеспечивает быстрое заселение микроорганизмов, разлагающих нефтяные продукты, что является естественным процессом для океанической среды. Эти микроорганизмы обеспечат быстрое разложение существенных объемов нефти в течение нескольких дней или недель. Диспергент также подвергается биологическому разложению.

Тем не менее, увеличение объемов и концентраций диспергированной нефти в воде может временно привести к увеличению риска для морских организмов, подвергающихся воздействию диспергированной нефти, особенно вблизи источника.

Все вовлеченные стороны должны понимать преимущества и недостатки ЗДПВ и, в идеальном случае, все вопросы должны быть заблаговременно решены во время планирования действий при аварийном разливе нефти.

Организация работ по применению метода ЗДПВ требует привлечения соответствующего специального оборудования, обученного персонала и должной поддержки. Для проведения операции потребуется несколько ТНПА и специальные морские суда для снабжения. Использование диспергентов под водой требует организации подводного мониторинга для оценки эффективности метода и контроля за перемещением подводных шлейфов под действием преобладающих подводных течений. Для решения проблем, связанных с возможным токсическим воздействием диспергированной нефти на морские организмы, может потребоваться организация дополнительного мониторинга воды и отбора проб с последующим химическим анализом и проведением испытаний на токсичность. Именно это было реализовано в рамках инцидента на скважине Макондо. Несмотря на то, что многие исследования все еще не завершены на момент публикации этого руководства, имеющиеся данные показывают, что опасения по поводу высокой токсичности для морских организмов, истощения кислорода в воде из-за биологического разложения и присутствия диспергентов в толще воды являются необоснованными, а метод применения диспергентов под водой доказал свою высокую эффективность при ликвидации разливов.

Приложение: Пример АСЭВ для четырех сценариев планирования подводного выброса

Сценарий 1

Разведочная скважина вышла из-под контроля, в том числе возник отказ в работе противовыбросового устройства. Произошел выброс нефти и газа, при этом скорость утечки нефти по оценкам составляла около 3 000 м³ (19 000 баррелей) в сутки.



- Скважина находится под водой на глубине 1100 метров.
- Поверхностные нефтяные пятна дрейфуют в направлении берега под влиянием преобладающего ветра со скоростью 15 узлов и поверхностного течения.
- Подводное течение направлено параллельно побережью.
- Высота волны составляет около 1,5 м.
- Ближе к побережью находятся рыболовные угодья и травянистое дно на мелководье.
- Прибрежные ресурсы, которые могут пострадать от нефти, включают эстуарный илистый участок, который поддерживает большую популяцию болотных птиц. На прибрежных островах обосновалась колония морских птиц. Поблизости расположены три популярных туристических курорта.

Вывод АСЭВ

Оценка данных

Моделирование прогнозирует, что без вмешательства и при наиболее вероятных условиях разлитая на поверхности нефть с вероятностью 80% достигнет берега в течение четырех дней. За это время разлитая нефть должна стать более «выветренной» и эмульгированной. Объем разлитой нефти сначала должен уменьшиться из-за потерь при испарении, а затем увеличиться за счет эмульгирования. Это может привести к тому, что через четыре дня побережью будет угрожать до 10 000 м³ эмульгированной нефти в сутки. Газ, выходящий вместе с жидкостью из скважины, растворится, не достигая поверхности.

Прогнозирование последствий

Уязвимость прибрежной и береговой зон крайне высока, и их защита от нефти обеспечит большую экологическую выгоду. Эстуарный илистый участок биологически продуктивен, и его трудно защитить с помощью боновых заграждений, и так же трудно очистить в случае загрязнения нефтью. В колонии морских птиц нет видов, которым угрожает исчезновение, но в этой области проводятся ежедневные прогулки на судах, и колония является дополнительным объектом привлечения внимания туристов. Туристические курорты являются важной частью региональной экономики, и привлекают посетителей популярными песчаными пляжами и возможностью занятий водными видами спорта. Туризм носит сезонный характер, а данный сценарий разворачивается в период активного туризма. Угроза пляжам может привести к серьезной и быстрой дестабилизации и может подорвать доверие к области и сократить количество посетителей в будущем. Прибрежное рыболовство представляет определенную важность на местном уровне, но не так важно по экономическим показателям, как туризм.

продолжение...

Поиск компромисса между преимуществами и недостатками

Сбор и очистка с поверхности моря или контролируемое сжигание нефти на месте разлива по отдельности не смогут справиться с таким количеством разлитой нефти в отведенное время. Возможно поверхностное распыление диспергента; проверка показала, что сырая нефть доступна для обработки диспергентом перед образованием эмульсии в течение около 24 часов. Преобладающие условия по показателям высоты волн 1,5 м и скорости ветра 15 узлов подходят для применения диспергента. Однако, поверхностная нефть быстро распространяется и может разделиться на фрагменты, что усложнит определение цели и обнаружение плавающей нефти даже с помощью комплекса судов и воздушных систем. Потребуется ежедневно применять около 150 м³ диспергента с пропорцией диспергент-нефть (DOR) 1:20. Авиационная система обеспечивает круглосуточную готовность к работе и может распылять до 100 м³ диспергента в сутки. Первоначальное реагирование проводится с помощью дежурного судна с установленной системой распыления и запасом 5 м³ диспергента.

Мобилизация системы закачивания диспергента под водой в рамках операции перекрытия позволит начать восстановление через семь дней, благодаря поставкам диспергента из глобальных источников. Закачивание в устье скважины значительно увеличит прицельность операции применения диспергента и объем всплывающей нефти. Пропорцию диспергент-нефть можно уменьшить до 1:50 и менее и сократить ежедневный расход диспергента более чем на 50%. Применение диспергентов на поверхности может быть сокращено или остановлено.

Увеличение подводного обогащения рассеянной нефти закачиваемым диспергентом представляет повышенный риск для морской флоры и фауны, особенно находящейся в нескольких километрах от скважины. Однако, разбавление диспергированной нефти (i) снизит ее концентрацию в обширном районе ниже ожидаемого уровня токсичности, (ii) улучшит процесс биоразложения и (iii) значительно снизит общее нефтяное загрязнение чувствительной прибрежной зоны.

Ожидается, что скважина будет перекрыта через 15 суток.

Выбор наилучших вариантов

Первоначальное поверхностное применение диспергента на разлитой плавающей нефти и дальнейшая максимально быстрая мобилизация закачивания под водой должны быть эффективным и основным средством реагирования.

Наземные операции по сбору и очистке нефти должны быть мобилизованы и направлены в экологически чувствительные районы.

Вокруг песчаных туристических пляжей требуется проведение операции очистки береговой линии.

Сценарий 2

Разведочная скважина вышла из-под контроля, в том числе возник отказ в работе противовыбросового устройства. Произошел выброс нефти и газа, при этом скорость утечки нефти по оценкам составляла около 3 000 м³ (19 000 баррелей) в сутки.



- Скважина находится под водой на глубине 130 метров.
- Поверхностные нефтяные пятна дрейфуют в направлении берега под влиянием преобладающего ветра со скоростью 10 узлов и поверхностного течения.
- Подводное течение направлено параллельно побережью.
- Высота волны составляет около 0,5 м.
- Ближе к побережью находятся рыболовные угодья и травянистое дно на мелководье.
- Прибрежные ресурсы, которые могут пострадать от нефти, включают эстуарный илистый участок, который поддерживает большую популяцию болотных птиц.

Вывод АСЭВ

Оценка данных

Моделирование прогнозирует, что без вмешательства и при наиболее вероятных условиях разлитая на поверхности нефть с вероятностью 95% достигнет берега в течение двух дней. За это время разлитая нефть должна стать более «выветренной» и эмульгированной. Объем разлитой нефти сначала должен уменьшиться из-за потерь при испарении, а затем увеличиться за счет эмульгирования. Это может привести к тому, что через два дня побережью будет угрожать до 10 000 м³ эмульгированной нефти в сутки.

Прогнозирование последствий

Уязвимость прибрежной и береговой зон крайне высока, и их защита от нефти обеспечит большую экологическую выгоду. Эстуарный илистый участок биологически продуктивен, и его трудно защитить с помощью боновых заграждений, и так же трудно очистить в случае загрязнения нефтью. Прибрежное рыболовство представляет определенную важность на местном уровне.

поиск компромисса между преимуществами и недостатками

Газ, содержащийся в выходящей из скважины жидкости, не успеет раствориться и выйдет на поверхность над скважиной. Это может оказать значительное влияние на все операции вблизи участка по соображениям безопасности. Ликвидационные операции на поверхности моря допускаются проводить только на удалении от места аварии.

Сбор и очистка с поверхности моря или контролируемое сжигание нефти на месте разлива по отдельности не смогут справиться с таким количеством разлитой нефти в отведенное время. Возможно поверхностное распыление диспергента; проверка показала, что сырая нефть доступна для обработки диспергентом перед образованием эмульсии в течение около 24 часов.

продолжение...

Преобладающие условия по показателям высоты волн 0,5 м и скорости ветра 10 узлов подходят для применения диспергента. Однако, поверхностная нефть быстро распространяется и может разделиться на фрагменты, особенно под влиянием газа, содержащегося в жидкости, что усложнит определение цели и обнаружение плавающей нефти даже с помощью комплекса судов и воздушных систем. Для обработки всей нефти потребуется ежедневно применять около 150 м³ диспергента с пропорцией диспергент-нефть (DOR) 1:20. Авиационная система обеспечивает круглосуточную готовность к работе и может распылять до 100 м³ диспергента в сутки. Первоначальное реагирование проводится с помощью дежурного судна с установленной системой распыления и запасом 5 м³ диспергента. Согласно местному законодательству, распыление допускается на участках глубиной до 20 м.

Мобилизация системы подводного закачивания диспергентов может быть отложена или ограничена из-за наличия газа на поверхности моря. Поэтому для оценки возможности развертывания системы подводного закачивания потребуется проведение дополнительного анализа. Если будет принято решение о его целесообразности, закачивание в устье скважины значительно увеличит прицельность подачи диспергента и снизит объем всплывающей нефти. Пропорцию диспергент-нефть можно уменьшить до 1:50 и менее, что также может привести к сокращению ежедневного расхода диспергента более чем на 50%. В этих условиях под действием поднимающегося газа диспергированная нефть может оказаться в верхнем слое воды, а не образовать подводный шлейф. Применение диспергентов на поверхности может быть сокращено или остановлено.

Обогащение подводной рассеянной нефти закачиваемым диспергентом представляет повышенный риск для пелагических морских организмов, находящихся в нескольких километрах от скважины. Однако, разбавление диспергированной нефти (i) снизит ее концентрацию в обширном районе ниже ожидаемого уровня токсичности, (ii) улучшит процесс биоразложения и (iii) значительно снизит общее нефтяное загрязнение чувствительной прибрежной зоны.

В зависимости от обстоятельств, можно либо заблокировать скважину в течение 15 дней, либо остановить поток путем бурения вспомогательной скважины.

Выбор наилучших вариантов

Первоначальная обработка диспергентом разлитой плавающей нефти на поверхности и дальнейшее закачивание под водой, если это возможно, должны стать эффективным и основным средством реагирования.

Наземные операции по сбору и очистке нефти должны быть мобилизованы и направлены в экологически чувствительные районы. Поскольку эти места удалены от основных популяций и мест обитания, может быть применен метод контролируемого сжигания на месте разлива.

Варианты ликвидации последствий на береговой линии должны рассматриваться с учетом масштабов и типов затрагиваемых береговых мест обитания.

Сценарий 3

Разведочная скважина вышла из-под контроля, в том числе возник отказ в работе противовыбросового устройства. Произошел выброс нефти и газа, при этом скорость утечки нефти по оценкам составляла около 2 000 м³ (12 500 баррелей) в сутки.



- Скважина находится под водой на глубине 1 200 метров.
- Поверхностные нефтяные пятна дрейфуют в направлении от берега под влиянием преобладающего ветра со скоростью 20-25 узлов и поверхностного течения.
- Подводное течение направлено параллельно побережью.
- Высота волны составляет около 2,5 м.
- Ближе к побережью имеются рыболовные угодья и травянистое дно на мелководье, однако они не подвержены угрозам.
- Прибрежные ресурсы, которые могут пострадать от нефти при смене направления ветра, включают эстуарный илистый участок, который поддерживает большую популяцию болотных птиц. На прибрежных островах обосновалась колония морских птиц. Поблизости расположены три популярных туристических курорта.

Вывод АСЭВ

Оценка данных

Моделирование прогнозирует, что без вмешательства и при наиболее вероятных условиях разлитая на поверхности нефть с вероятностью 0% достигнет берега. Согласно прогнозу модели, значительная часть подводного разлива будет диспергирована естественным образом. Более того, всплывающая нефть будет разделяться и рассеиваться под действием преобладающих условий неспокойного моря, что приведет к образованию лишь тонких слоев нефти на поверхности. Газ, выходящий вместе с жидкостью из скважины, растворится, не достигая поверхности.

Прогнозирование последствий

Уязвимость прибрежной и береговой зон крайне высока, и их защита от нефти обеспечит большую экологическую выгоду. Тем не менее, преобладающие в настоящее время погодные условия показывают, что прибрежные ресурсы не находятся под непосредственной угрозой воздействия нефти.

Поиск компромисса между преимуществами и недостатками

Преобладающие условия неспокойного моря исключают использование средств локализации и сбора на поверхности моря, как и метод контролируемого сжигания на месте разлива. В результате единственным способом обработки плавающей нефти остается применение диспергентов на поверхности воды и под водой.

продолжение...

На ближайшие 3-5 дней прогнозы говорят о сохранении морских преобладающих ветров со скоростью 20-25 узлов. Модели показывают, что нефть будет продолжать разделяться, не образуя стойких пятен на поверхности.

Выбор наилучших вариантов

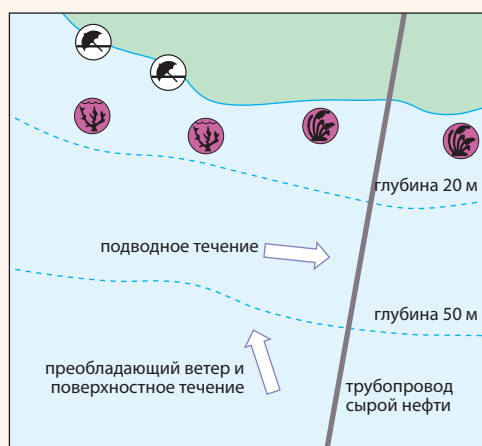
Для оценки и контроля прогнозов, полученных на основе моделей, требуется вести воздушное наблюдение и мониторинг морского участка вокруг места выброса, включая контроль быстрого растворения поверхностных нефтяных пятен.

В качестве меры предосторожности возможен перевод систем подводного и поверхностного применения диспергентов в режим ожидания. Вариант с применением диспергентов должен рассматриваться только тогда, когда смягчение погодных условий начнет приводить к образованию стойких поверхностных пятен. Исходным предпочтительным вариантом должен стать метод закачивания диспергента под водой, который представляет собой наиболее эффективный способ сокращения или ограничения выхода нефти на поверхность.

Постоянный контроль прогноза погоды на ближайшие 5-10 дней поможет в принятии решений о мобилизации иных средств реагирования, включая системы локализации и сбора на море, а также средств защиты береговой линии. Тем не менее, поскольку в местности, где произошел инцидент, в этот сезон преобладают стойкие морские ветра, маловероятно, что в среднесрочной перспективе потребуется использование указанных ресурсов.

Сценарий 4

Повреждение нефтяного трубопровода якорем судна. Трубопровод перекрыт, но на поверхности моря обнаруживается нефть.



- Инцидент произошел на глубине 50 метров.
- Поверхностные нефтяные пятна дрейфуют в направлении берега под влиянием преобладающего ветра со скоростью 10 узлов и поверхностного течения.
- Подводное течение направлено параллельно побережью.
- Высота волны составляет около 0,5 м.
- Вдоль побережья есть мангровые заросли и туристические курорты, а на западе расположены морские коралловые рифы.

Вывод АСЭВ

Оценка данных

Моделирование прогнозирует, что без вмешательства и при наиболее вероятных условиях разлитая на поверхности нефть с вероятностью 98% достигнет берега в течение 24 часов. За это время разлитая нефть должна стать более «выветренной» и эмульгированной. Объем разлитой нефти сначала уменьшается из-за потерь при испарении, а затем увеличивается за счет эмульгирования. Максимальный объем нефти в трубопроводе составляет приблизительно 2 000 м³.

Прогнозирование последствий

Экологическая чувствительность прибрежных зон высока, и их защита от нефти приведет к большой экологической выгоде. Мангровые заросли биологически продуктивны, и их трудно как защитить с помощью боновых заграждений, так и очистить в случае загрязнения нефтью. Туристические курорты относятся к категории повышенной комфортности, отличительной особенностью которых являются нетронутые пляжи, а основное занятие клиентов – подводное плавание.

Поиск компромисса между преимуществами и недостатками

В зависимости от масштабов повреждений трубопровода, в начале разлива объемы нефти могут оказаться небольшими.

Основное внимание должно быть уделено локализации и сбору нефти на берегу, поэтому требуется развертывание соответствующих систем. Возможно поверхностное распыление диспергента; проверка показала, что сырая нефть доступна для обработки диспергентом перед образованием эмульсии. Преобладающие условия по показателям высоты волн 0,5 м и скорости ветра 10 узлов подходят как для сбора нефти, так и для применения диспергента. Авиационная система

продолжение...

обеспечивает круглосуточную готовность к работе и может распылять до 15 м³ диспергента в сутки. Согласно местному законодательству, распыление допускается до глубины 20 м и не далее чем в 2 км от коралловых рифов.

Мобилизация системы подводного закачивания диспергентов не является рекомендуемым вариантом, так как энергии смешивания при таком разливе будет недостаточно.

Выбор наилучших вариантов

Первоначальная обработкаплавающей нефти диспергентами может стать наиболее быстрым и наилучшим методом защиты мангровых зарослей, имеющих критически важное значение для региона. В пределах 20-метровой зоны возможно применение средств локализации и сбора нефти. По мере возможности, следует провести подготовительные мероприятия для очистки туристических пляжей.

Литература

- Adams, E. E., and Socolofsky, S. A. (2005). *Review of Deep Oil Spill Modeling Activity Supported by the DeepSpill JIP and Offshore Operators Committee*. December 2004, revised 2005.
www.researchgate.net/publication/265031649_DEEP_OIL_SPILL_MODELING_ACTIVITY_SUPPORTED_BY_THE_DEEPSpill_JIP_AND_OFFSHORE_OPERATORS_COMMITTEE
- Al-Sabagh, A. M., El-Hamouly, S. H., Atta, A. M., El-Din, M. R. N. and Gabr, M. M. (2007). Synthesis of some oil spill dispersants based on sorbitol esters and their capability to disperse crude oil on seawater to alleviate its accumulation and environmental impact. In *Journal of Dispersion Science and Technology*, том 28, выпуск 5, стр. 661-670.
- American Academy of Microbiology. (2011). *Microbes & Oil Spills FAQs*. A report from the American Academy of Microbiology, 1752 N Street, NW Washington, DC 20036. www.asm.org.
- Anderson, J., Neff, J., Cox, B., Tatem, H. and Hightower G. M. (1974). Characteristics of dispersions and water-soluble extracts of crude and refined oils and their toxicity to estuarine crustaceans and fish. In *Marine Biology*, Vol. 27, Issue 1, pp. 75-88.
- API (2013). *Industry Recommended Subsea Dispersant Monitoring Plan. Version 1.0*. American Petroleum Institute (API) Technical Report 1152, September 2013. 20pp.
- Atlas, R. M. and Bartha, R. (1992). Hydrocarbon Biodegradation and Oil Spill Bioremediation. In *Advances in Microbial Ecology*, Vol. 12, pp. 287-338.
- Atlas, R. M. and Cerniglia, C. E. (1995). Bioremediation of Petroleum Pollutants: Diversity and environmental aspects of hydrocarbon biodegradation. In *BioScience*, Vol. 45, Issue 5, pp. 332-338.
- Brandvik, P. J. and Daling, P.S. (1998). Optimisation of oil spill dispersant composition by mixture design and response surface methods. In *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Vol. 42, pages 63-72. ISSN:0169-7439. DOI:10.1016/S0169-7439(98)00009-4
- Brandvik, P. J., Johansen, Ø., Leirvik, F., Farooq, U. and Daling, P. S. (2013). Droplet breakup in subsurface oil releases – Part 1: Experimental study of droplet breakup and effectiveness of dispersant injection. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 73, Issue 1, pp. 319-326. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.05.020
- Brandvik, P. J., Johansen, Ø. and Farooq, U. (2014a). Subsea Release of Oil & Gas – A Downscaled Laboratory Study Focused on Initial Droplet Formation and the Effect of Dispersant Injection. *International Oil Spill Conference Proceedings*: May 2014, Vol. 2014, No. 1, pp. 283-298.
- Brandvik, P. J., Johansen, Ø., Farooq, O., Angell, G. and Leirvik, F. (2014b). *Subsurface oil releases - Experimental study of droplet distributions and different dispersant injection techniques Version 2*. A scaled experimental approach using the SINTEF Tower basin. SINTEF report no. A26122. Trondheim, Norway.
- Brochu, C., Pelletier, É., Caron, G. and Desnoyers, J. E. (1986). Dispersion of crude oil in seawater: the role of synthetic surfactants. In *Oil and Chemical Pollution*, Vol. 3, No. 4, 257-279.
- Campo, P., Venosa, A. D. and Suidan, M. T. (2013). Biodegradability of COREXIT 9500 and Dispersed South Louisiana Crude Oil at 5 and 25 °C. In *Environmental Science & Technology*, Vol. 47, No. 4, pp. 1960-1967.

Chevron, 2012. *Frade Response: Updates and Information on Our Work to Resolve the Frade Field Incident in Brazil's Campos Basin*. www.chevron.com/fraderesponse

Di Toro, D. M., McGrath, J. A. and Stubblefield, W. A. (2007). Predicting the toxicity of neat and weathered crude oil: Toxic potential and the toxicity of saturated mixtures. In *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 26, Issue 1, pp. 24-36.

Farrington, J. (1980). *NOAA Ship RESEARCHER/Contract Vessel PIERCE Cruise to IXTOC-I Oil Spill: Overview and Integrative Data Assessment and Interpretation*. A summary and assessment report of data collected during research cruises in the Gulf of Mexico during the Ixtoc I oil spill. Woods Hole Oceanographic Institution. www.whoi.edu/oil/ixtoc-i

Fiocco, R. J., Lessard, R. R., Canevari, G. P., Becker K. W. and Daling, P. S. (1995). The Impact of Oil Dispersant Solvent on Performance. In *The use of Chemicals in Oil Spill Response*. ASTM STP 1252, P. Lane, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.

GESAMP (2014). Revised GESAMP Hazard Evaluation Procedure for Chemical Substances Carried by Ships, 2nd Edition (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNIDO/UNDP) Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, Rep. Stud. GESAMP No. 64. www.gesamp.org/publications/publicationdisplaypages/rs64

Hazen, T. C., Dubinsky, E. A., DeSantis, T. Z., Andersen, G. L., Piceno, Y. M., Singh, N., Jansson, J. K., Probst, A., Borglin, S. E., Fortney, J. L., Stringfellow, W. T., Bill, M., Conrad, M. E., Tom, L. M., Chavarria, K. L., Alusi, T. R., Lamendella, R., Joyner, D. C., Spier, C., Baelum, J., Auer, M., Zemla, M. L., Chakraborty, R., Sonnenthal, E. L., D'haeseleer, P., Holman, H-Y. N., Osman, S., Lu, Z., Van Nostrand, J. D., Deng, Y., Zhou, J. and Mason, O. U. (2010). Deep-Sea Oil Plume Enriches Indigenous Oil-Degrading Bacteria. In *Science*, Vol. 330, No. 6001, pp. 204-208. DOI:10.1126/science.1195979.

Heitkamp, M. A. and Cerniglia, C. E. (1987). Effects of chemical-structure and exposure on the microbialdegradation of polycyclic aromatic-hydrocarbons in freshwater and estuarine ecosystems. In *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 6, Issue 7, pp. 535-546.

Hemmer, M J., Barron, M. G. and Greene, R. M. (2010). *Comparative Toxicity of Eight Oil Dispersant Products on Two Gulf of Mexico Aquatic Test Species*. U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development. U.S.EPA/ORD Contributors: National Health and Environmental Effects Research Laboratory.

IPIECA/IMO/IOGP (2012). *Sensitivity mapping for oil spill response*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 477. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2014). *Regulatory approval of dispersant products and authorization for their use*. Report of the IOGP Global Industry Response Group (GIRG) response to the Macondo incident in the Gulf of Mexico in April 2010, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015). *Dispersants: surface application*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Отчет IOGP 532. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015a). *Impacts of oil spills on marine ecology*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Отчет IOGP 525.
<http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015b). *Response strategy development using net environmental benefit analysis (NEBA)*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Отчет IOGP 527.
<http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015c). *Contingency planning for oil spills on water*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Отчет IOGP 519. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2016). *Impacts of oil spills on shorelines*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 534.
<http://oilspillresponseproject.org/completed-products>

JAG (2010a). *Review of Preliminary Data to Examine Subsurface Oil In the Vicinity of MC252#1, May 19 to June 19, 2010*. Joint Analysis Group (JAG) for Surface and Sub-Surface Oceanography, Oil and Dispersant Data. http://service.ncddc.noaa.gov/rdn/www/activities/healthy-oceans/jag/reports/documents/JAG_Data_Report_2_FINAL.pdf

JAG (2010b). *Review of R/V Brooks McCall Data to Examine Subsurface Oil*. Joint Analysis Group (JAG) for Surface and Sub-Surface Oceanography, Oil and Dispersant Data.
http://www.noaa.gov/scienceemissions/PDFs/JAG_Report_1_BrooksMcCall_Final_June20.pdf

JAG (2012). *Review of Subsurface Dispersed Oil and Oxygen Levels Associated with the Deepwater Horizon MC252 Spill of National Significance*. NOAA Technical Report NOS OR&R 27, pp. 95. Joint Analysis Group (JAG) for Surface and Sub-Surface Oceanography, Oil and Dispersant Data.

Johansen, Ø., Brandvik, P. J. and Farooq, U. (2013). Droplet breakup in subsea oil releases – Part 2: Predictions of droplet size distributions with and without injection of chemical dispersants. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 73, Issue 1, pp. 327–335. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.04.012

Johansen, Ø., Rye, H. and Cooper, C. (2003). DeepSpill—Field Study of a Simulated Oil and Gas Blowout in Deep Water. In *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 8, Issues 5–6, pp. 433–443. doi:10.1016/S1353-2561(02)00123-8.

Johansen, Ø., Rye, H., Melbye, A. G., Jensen, H. V., Serigstad, B. and Knutsen, T. (2001). *Deepspill JIP experimental discharges of gas and oil at Helland Hansen*. SINTEF Technical Report, June 2000.

King, G. M., Kostka, J. E., Hazen, T. and Sobczyk, P. (2014). Microbial Responses to the Deepwater Horizon Oil Spill: From Coastal Wetlands to the Deep Sea. In *Annual Review of Marine Science*, Vol. 7, pp. 377–401. DOI:10.1146/annurev-marine-010814-015543. www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-marine-010814-015543

Kvenvolden, K. A. (2003). Natural seepage of crude oil into the marine environment. In *Geo-Marine Letters*, Vol. 23, Issues 3–4, pp.140–146.

Lindstrom, J. E. and Braddock, J. F. (2002). Biodegradation of petroleum hydrocarbons at low temperature in the presence of the dispersant COREXIT 9500. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 44, Issue 8, pp.739-747.

MacNaughton, S. J., Swannell, R. P. J., Daniel, F. and Bristow, L. (2003). Biodegradation of dispersed Forties crude and Alaskan North Slope oils in microcosms under simulated marine conditions. In *Spill Science and Technology Bulletin*, Vol. 8, Issue 2, pp. 179-186.

Neff, J. M. and Burns, W. A. (1996). Estimation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Concentrations in the Water Column Based on Tissue Residues in Mussels and Salmon: An Equilibrium Partitioning Approach. In *Journal of Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 15, Issue 12, pp. 2240–2253.

NOAA (2010). *Analysis of Hydrocarbons in Samples Provided from the Cruise of the R/V WEATHERBIRD II, May 23-26, 2010*. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Silver Spring, Maryland, USA. www.noaa.gov/stories2010/.../noaa_weatherbird_analysis.pdf

NRT (2013). *Environmental Monitoring for Atypical Dispersant Operations: Including Guidance for: Subsea Application; Prolonged surface Application*. U.S. National Response Team (NRT). www.nrt.org/production/NRT/NRTWeb.nsf/PagesByLevelCat/Level3Oil?OpenDocument

OSAT (2010). *Summary Report for Sub-Sea and Sub-Surface Oil and Dispersant Detection: Sampling and Monitoring*. Report prepared by the Operational Science Advisory Team (OSAT), Unified Area Command, for the US Coast Guard, 17 December 2010. www.restorethegulf.gov/sites/default/files/documents/pdf/OSAT_Report_FINAL_17DEC.pdf

OSAT (2011) *Summary Report for Sub-Sea and Sub-Surface Oil and Dispersant Detection: Ecotoxicity Addendum*. Report prepared by the Operational Science Advisory Team (OSAT), Gulf Coast Incident Management Team, for the US Coast Guard, 8 July 2011. www.restorethegulf.gov/sites/default/files/u306/FINAL%20OSAT%20Ecotox%20Addendum.pdf

Prince, R. C. (1997). Bioremediation of marine oil spills. In *Trends in Biotechnology*, Vol. 15, Issue 5, pp. 158-160.

Prince, R. C., McFarlin, K. M., Butler, J. D., Febbo, E. J., Wang, F. C. Y. and Nedwed, T. J. (2013). The primary biodegradation of dispersed crude oil in the sea. In *Chemosphere*, Vol. 90, Issue 2, pp. 521-526.

Singer, M. E. and Finnerty, W. R. (1984). Microbial metabolism of straight-chain and branched alkanes. In Atlas, R. M. (Ed.) *Petroleum Microbiology*, pp. 1-59. Macmillan Publishing Company, New York.

Smith, J. E. (1968). *Torrey Canyon Pollution and Marine Life*. Cambridge University Press, New York.

Socolofsky, S. A. (2012). *Integral plume modeling of subsea accidental oil-well blowouts*. Presentation to the Nearfield Modeling ListServe, 11 June 2012. https://ceprofs.civil.tamu.edu/ssocolofsky/nfm/Downloads/socolofsky_Jun_11.pdf

US EPA (2010). *Comparative Toxicity of Louisiana Sweet Crude Oil (LSC) and Chemically Dispersed LSC to Two Gulf of Mexico Aquatic Test Species*. August 2010 and the updated report of September 2010. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Доступно по адресу: www.epa.gov/bpspill/dispersants-testing.html

US EPA (2010a). *Dispersant Monitoring and Assessment Directive—Addendum 3*. US Environmental Protection Agency Archive Document, 26 May 2010. www.epa.gov/bpspill/dispersants/directive-addendum3.pdf

US EPA (2010b). *Dispersant Monitoring and Assessment Directive for Subsurface Dispersant Application*. US Environmental Protection Agency Archive Document, 10 May 2010. www.epa.gov/bpspill/dispersants/subsurface-dispersant-directive-final.pdf

US EPA (2012). Ecotoxicity categories for terrestrial and aquatic organisms. (Веб-сайт — обновление 10 февраля 2015). www.epa.gov/oppefed1/ecorisk_ders/toera_analysis_eco.htm

US FDA (2010). *NOAA and FDA announce chemical test for dispersant in Gulf seafood: all samples test within safety threshold*. Архив веб-сайта Управления по контролю за продуктами и лекарствами США. 29 октября 2010 г. www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/2010/ucm231653.htm

US FDA (2012). *Gulf Seafood is Safe to Eat after Oil Spill*. FDA Voice — официальный блог Управления по контролю за продуктами и лекарствами США (FDA), 11 января 2012г. <http://blogs.fda.gov/fdavoices/?tag=gulf-seafood>

От авторов

Этот документ был подготовлен Аланом Льюисом (Alun Lewis Consulting) и Питером Тейлором (Peter Taylor). Авторы выражают благодарность за ценный опыт и советы, которые учтены при разработке данного документа: Джина Коэльо (Gina Coelho, HDR Engineering, Inc.), Ричард Сантер (Richard Santner, BP), Виктория Брохе (Victoria Broje, Shell), Марти Крамер (Marty Cramer, ConocoPhillips), Анет Бой (Anette Boye, Statoil), Тим Лунел (Tim Lunel, ИТОПФ), Тим Недвед (Tim Nedwed, ExxonMobil) и Том Кулбах (Tom Coolbaugh, ExxonMobil).

IPIECA

IPIECA — международная ассоциация представителей нефтегазовой промышленности по экологическим и социальным вопросам. Данная организация разрабатывает, распространяет и содействует распространению положительного опыта и знаний для улучшения экологической и социальной эффективности промышленности. IPIECA является главным каналом коммуникаций отрасли с Организацией Объединенных Наций. При помощи своих участников, возглавляющих рабочие группы, а также исполнительного руководства, IPIECA объединяет коллективный опыт нефтегазовых компаний и ассоциаций. Ее уникальное положение в промышленности позволяет ее участникам эффективно реагировать на ключевые экологические и социальные проблемы.

www.ipieca.org



Международная ассоциация производителей нефти и газа (IOGP) представляет первичные нефтегазовые отрасли перед международными организациями, включая Международную морскую организацию, Конвенции региональных морей Программы ООН по окружающей среде (UNEP), а также другие группы под эгидой ООН. На региональном уровне IOGP является представителем промышленности в Европейской комиссии и парламенте, а также Комиссии ОСПАР в Северо-восточной Атлантике (OSPAR). Немаловажна роль IOGP в распространении передового опыта, особенно в областях здоровья, безопасности, экологической и социальной ответственности.

www.iogp.org

