IPIECA

International Association of Oil & Gas Producers

Диспергенты: поверхностное применение

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

IPIECA

Международная ассоциация представителей нефтегазовой промышленности
по экологическим и социальным вопросам

Level 14, 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

International Association of Oil & Gas Producers

Международная ассоциация производителей нефти и газа

Офис в Лондоне
Level 14, City Tower, 40 Basinghall Street, London EC2V 5DE, United Kingdom (Великобритания)
Тел.: +44 (0)20 7633 0272 Факс: +44 (0)20 7633 2350
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 Веб-сайт: www.iogp.org

Отчет IOGP № 532

Дата публикации: 2015

© IPIECA-IOGP 2015 Все права защищены.
Репродукция, сохранение в системах поиска или передача любой части данной публикации, в любой форме или с использованием любого рода средств связи, будь то электронные, механические, копировальные, записывающие или другие, без предварительного письменного разрешения IPIECA запрещены.

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. В соответствии с вышеизложенным, пользователь принимает на себя весь риск за любое такое использование данной информации и признает заявление об ограничении ответственности издателя 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: поверхностное применение

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

Фотографии на обложке любезно предоставили следующие организации (слева направо): Министерство сельского хозяйства США; Oil Spill Response Limited; военно-воздушные силы США

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. Здесь затрагиваются вопросы, имеющие значение как в поисково-разведочных работах, так и в производстве и процессах транспортировки и отгрузки.

Изменения внесены в рамках совместного отраслевого проекта по вопросам ликвидации разливов нефти IOGP-IPIECA (JIP). Проект JIP была создан в 2011 году для того, чтобы предоставить знания и информацию об обеспечении готовности к разливам нефти и их ликвидации, полученные по итогам ликвидации инцидента на Мексиканском заливе в апреле 2010 года.

Исходная серия отчетов IPIECA будет последовательно изыматься по мере публикации различных документов из новой серии практических рекомендаций в 2014–2015 годах.

Примечание о практических рекомендациях

«Практическая рекомендация» в контексте проекта JIP 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 сферах.

Содержание

Предисловие **2**

Краткое содержание **4**

Роль диспергентов в ликвидации разливов нефти **6**

Поведение разлитой нефти в окружающей среде 6

Потенциальное воздействие разлитой нефти 7

Методы ликвидации 8

Диспергенты и их действие **11**

Естественное диспергирование 11

Эмульгирование воды в нефти 12

История создания диспергентов 12

Состав современных диспергентов 13

Механизм действия диспергента 15

Достоинства и недостатки использования диспергентов 17

Возможности и ограничения **18**

Скорость удаления нефти 18

Ограничения, обусловленные преобладающими условиями 19

Типы нефти и их физические свойства 20

Способность к биологическому разложению и токсичность нефти **23**

Химические соединения в сырой нефти 23

Взаимодействие морских организмов с диспергированной нефтью 23

Способность к биологическому разложению нефти 23

Потенциальная токсичность диспергированной нефти 25

Нормативно-правовое регулирование использования диспергентов **28**

Почему правительства разных стран осуществляют нормативно-правовое регулирование диспергентов? 28

Проведение испытаний с целью утверждения диспергентов 29

Порядок получения разрешения на применение диспергентов 34

Диспергенты и планирование действий по ликвидации аварийных разливов нефти **36**

Планирование использования диспергентов 37

Анализ суммарной экологической пользы 38

Анализ суммарной экологической пользы (NEBA) и использование диспергентов 40

Применение диспергентов **43**

Принципы применения диспергентов на поверхности моря 43

Возможности различных систем распыления диспергентов 43

Вопросы охраны здоровья и безопасности при использовании диспергентов 45

Обоснование эффективности применения диспергентов в море 46

Примеры использования диспергентов 48

Типичные сценарии возможного использования диспергентов **50**

Выводы **56**

Литература **58**

Дополнительная литература **68**

От авторов **69**

Краткое содержание

Использование диспергентов является одним из нескольких возможных методов ликвидации нефтяных разливов в открытом море, который позволяет удалить плавающую разлитую нефть. Использование диспергентов может быть эффективным способом минимизации общего экологического и социально-экономического ущерба за счет предотвращения проникновения нефти в прибрежную среду обитания и на береговую линию, а также усиления процессов естественного биологического разложения, которые разрушают нефть.

Использование диспергентов значительно повышает скорость и степень естественного диспергирования и разбавления нефти под действием волн. Поверхностно-активные вещества в диспергенте позволяют энергии перемешивания волн превратить большую часть нефти в мелкие нефтяные капли. Эти капли выталкиваются в верхний слой толщи воды под воздействием волн и удерживаются там за счет турбулентности. Диспергированные капли нефти в гораздо большей степени доступны для микроорганизмов, разлагающих углеводороды естественного происхождения, по сравнению с плавающей или выброшенной на берег нефтью.

Как и все методы, входящие в набор средств для ликвидации разливов нефти, использование диспергентов имеет некоторые ограничения, но в то же время некоторые свойства делают этот метод особенно полезным при ликвидации крупных разливов нефти в море. Диспергенты оказывают надлежащее воздействие на большинство типов сырой нефти, но эффективность их применения снижается с увеличением вязкости нефти, вызванной ее «выветриванием».

По сравнению с другими методами ликвидации разливов нефти, метод распыления диспергентов на поверхности моря часто может оказаться самым быстрым и эффективным методом удаления плавающей нефти:

- Распыление диспергентов с самолета позволяет в течение относительно короткого промежутка времени диспергировать нефть, разлитую в море на большой площади.
- Распыление диспегентов с воздуха позволяет относительно быстро осуществлять ликвидацию разлива нефти в удаленных местах.
- При этом снижается степень воздействия и угроза безопасности для персонала, выполняющего работы по ликвидации.
- Диспергенты можно использовать в условиях бурного моря, что является препятствием и влияет на эффективность сбора и удаления с поверхности моря и контролируемого сжигания нефти.

Очень важным процессом для эффективной ликвидации возможных разливов нефти является планирование. Чтобы диспергенты стали эффективным методом ликвидации разлива нефти, их необходимо применять без задержек. Поэтому различные аспекты применения диспергентов должны быть рассмотрены при разработке плана ликвидации аварийного разлива нефти. Анализ суммарной экологической пользы (NEBA) является частью процесса планирования; он используется сообществом ликвидаторов для выбора наилучших вариантов минимизации воздействия разливов нефти на людей и окружающую среду. Результат анализа суммарной экологической пользы (NEBA) использования диспергентов при разливе нефти в воде глубиной более 10–20 м, как правило, ясен: потенциальная польза велика, а потенциальный ущерб очень мал, из-за быстрого разбавления диспергированной нефти в большом объеме воды. А если разлитая нефть находится в воде, глубина которой менее 10–20 м, целесообразность использования диспергентов следует изучить более тщательно.

Oil Spill Response Limited

Распыление диспергента со специально оборудованного самолета.

Существует потенциальная опасность воздействия диспергированной нефти на морские организмы, обитающие в верхнем слое толщи воды, которые на короткое время подвергаются воздействию диффузных облаков дисперсных капель нефти и растворимых в воде соединений нефти. При этом степень воздействия оказывается больше, чем в случае, когда диспергенты не используются. Диспергированная нефть может оказывать токсическое воздействие на морские организмы.

Oil Spill Response Limited

Распыление диспергентов с установленной на судне стрелы для распыления.

Относительно использования диспергентов государствам необходимо разрабатывать соответствующие нормативно-правовые акты. Обычно они состоят из двух частей:

1. **Порядок одобрения диспергентов:** описывает, использование каких диспергентов будет разрешено в национальных водах, и гарантирует, что эти диспергенты обладают надлежащей эффективностью и относительно низкой токсичностью, по сравнению с нефтью.
2. **Порядок получения разрешения на применение диспергентов:** определяет, где и когда можно получить разрешение, в том числе предварительное, на использование утвержденных диспергентов, допустимых к применению в национальных водах.

Использование диспергентов является признанным и проверенным методом, который является частью набора средств для ликвидации разливов нефти, и может внести существенный вклад в минимизацию экологических и социально-экономических последствий морских разливов нефти.

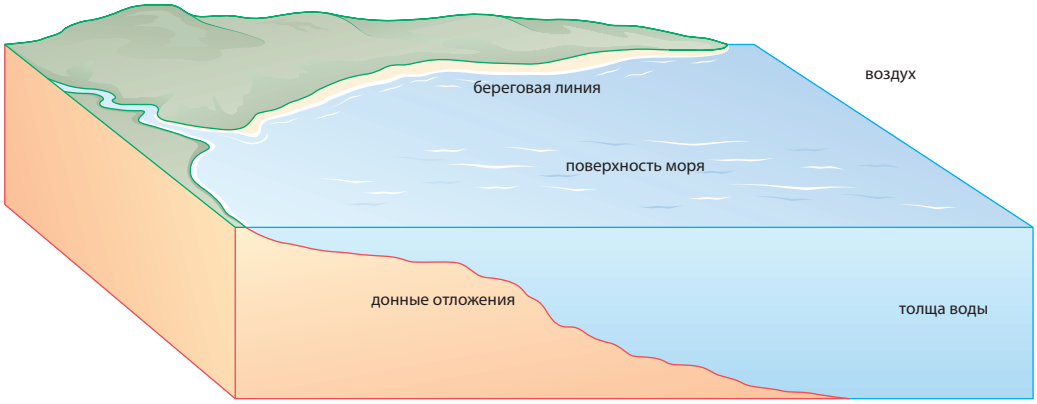
Роль диспергентов в ликвидации разливов нефти

Использование диспергентов является одним из нескольких возможных методов ликвидации нефтяных разливов в открытом море. Использование диспергентов может быть приемлемым способом минимизации общего ущерба в результате аварии за счет предотвращения проникновения нефти в прибрежную среду обитания и на береговую линию, а также усиления процессов естественного биологического разложения, которые разрушают нефть. Как и все методы, входящие в набор средств для ликвидации разливов нефти, использование диспергентов имеет некоторые ограничения, но его возможности позволяют успешно использовать диспергенты при ликвидации крупных разливов нефти в море.

Fate of spilled oil in the environment

Потенциальное воздействие разливов нефти на окружающую среду часто вызывает большую озабоченность. Разлитая нефть может оказывать воздействие на несколько объектов окружающей природной среды: воздух, береговую линию, поверхность моря, толщу воды и донные отложения (см. рисунок 1).

Рисунок 1 *Экологические компоненты, подвергающиеся потенциальной опасности от разлитой нефти*



Каждый из этих объектов, за исключением воздуха (который может иметь значение в плане воздействия на ликвидаторов и местное население), может содержать множество различных мест обитания со своими собственными популяциями видов и особей.

Естественные процессы вызывают перемещение разлитой нефти или ее химических компонентов из одного объекта окружающей природной среды в другой:

- Испарение перемещает более летучие компоненты из нефти в воздух.
- Ограниченная доля компонентов нефти, которые растворимы в воде, растворится в толще воды.
- Под действием прибоя некоторое количество нефти будет перемещаться с поверхности моря в толщу воды в виде мелких капель нефти; это явление известно как естественное диспергирование.
- Разлитая нефть, которая естественным образом рассеивается в толще воды на мелководье под действием волн в прибойной зоне, может перейти в состав прибрежных донных отложений.
- Нефть, разлитая на поверхности моря, будет дрейфовать под воздействием ветра и течения, и может быть выброшена на берег.
- И, наконец, нефть может приобрести отрицательную плавучесть из-за потери летучих компонентов, эмульгирования, биологического разложения и взаимодействия с осадками, взвешенными в толще воды, и опуститься на дно.

Потенциальное воздействие разлитой нефти

Нефть, разлитая в море, может оказывать отрицательное воздействие на различные экологические и социально-экономические ресурсы, в зависимости от объекта окружающей природной среды, в котором она разлита. Более подробная информация приведена в практических рекомендациях IPIECA-IOGP по вопросам морской и береговой экологии (IPIECA-IOGP, 2015, 2015a).

Воздух

При крупных разливах сырой нефти происходит испарение нефтяных соединений с поверхности моря в воздух, что может вызвать риск возгорания или взрыва. Однако такой риск быстро уменьшается, так как концентрация этих компонентов в воздухе стремительно рассеивается. Воздействие потенциально вредных паров разлитой нефти на ликвидаторов аварии можно контролировать с помощью соответствующих средств индивидуальной защиты (СИЗ) и/или уменьшать за счет использования диспергентов для удаления плавающей нефти. См. практические рекомендации IPIECA-IOGP по охране здоровья и безопасности групп реагирования на разливы нефти (IPIECA-IOGP, 2012).

Поверхность моря

Разлитая нефть, плавающая на поверхности моря, представляет опасность для таких экологических ресурсов, как морские птицы и млекопитающие. Оперение морских птиц, которые садятся на воду или ныряют в нее сквозь нефть, будет загрязнено нефтью. Это снижает его теплоизолирующие свойства и может привести к смерти от переохлаждения. Плавающая нефть может быть стойкой и оказаться долгосрочным источником загрязнения углеводородами верхнего слоя толщи воды. Нефть на поверхности моря может загрязнять рыболовные суда и их оборудование, что вызывает необходимость запрета рыболовства и тем самым лишает рыбаков источника средств к существованию. Нефть на поверхности воды может ограничить возможности отдыха на воде и берегу.

Толща воды

Водорастворимые компоненты нефти и, естественно, диспергированные капли нефти, образовавшиеся из нефтяного пятна на поверхности моря, будут перемещаться в толщу воды, где, как показывает опыт, концентрация будет быстро снижаться в открытой воде из-за разбавления, обусловленного течениями и приливами. Однако нефтяные пятна, распространяющиеся на большие площади и сохраняющиеся в течение значительного периода времени, могут непрерывно переносить нефть в толщу воды, а это может вызывать более долгосрочное токсическое воздействие и загрязнение морской флоры и фауны. Используемые в экономической деятельности флора и фауна моря могут стать «зараженными», что делает их непригодными для коммерческих и рекреационных целей. При крупных разливах нефти часто вводятся временные запреты рыболовства как мера предосторожности и сохранения доверия к рынку морепродуктов. Это сказывается на доходах рыбаков и лишает их источника средств к существованию.

Донные отложения

Естественно диспергированные капли нефти, которые переходят в состав прибрежных донных отложений, могут оказывать длительное воздействие на организмы, обитающие в илистых и осадочных отложениях.

Береговая линия

Нефть, разлитая на поверхности моря, часто дрейфует на мелководье и к берегу, и может привести к загрязнению прибрежной среды обитания, особенно чувствительных к нефти илистых и заболоченных участков. Данные фото- и видеосъемки серьезно пострадавших и умирающих морских птиц, загрязненных прибитой к берегу нефтью, являются яркими свидетельствами последствий разливов нефти. Разлитая нефть может густо покрывать организмы, обитающие на береговой линии. Нефть,

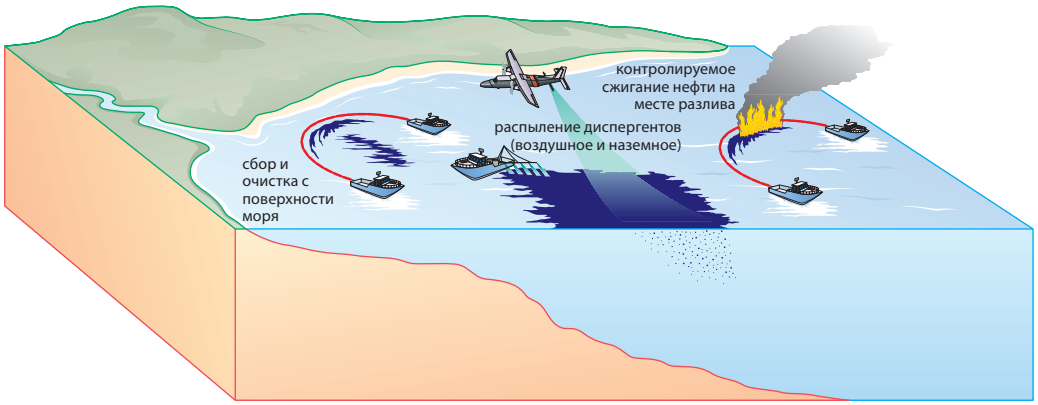
Сверху: примеры разнообразных экологических и социально-экономических ресурсов, которые могут пострадать от разливов нефти.

попавшая в нижний слой почвы береговой линии, может быть источником долговременного воздействия на организмы, обитающие на береговой линии, и причиной долговременного токсического влияния. Разлитая нефть, дрейфующая на туристический пляж, превращает его в непригодный для использования, и это может сказаться на доходах тех, чье благосостояние зависит от туризма. Экономические объекты береговой линии, например, водозаборы морской воды или порты и гавани, также могут серьезно пострадать от нефти, дрейфующей к берегу. Выброшенная на берег нефть представляет собой потенциальный путь воздействия нефти на местное население и ликвидаторов аварии, участвующих в очистке береговой линии.

Методы ликвидации

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. Цель методов ликвидации морских разливов нефти заключается в том, чтобы удалить плавающую нефть, порой путем ее переноса в другой объект природной окружающей среды для уменьшения потенциального ущерба от разлива.

Рисунок 2 *Три основных метода ликвидации разлива нефти на поверхности моря*



Три основных метода ликвидации разлива нефти с поверхности моря – это сбор и очистка, воздушное и наземное распыление диспергентов и контролируемое сжигание нефти на месте разлива (рисунок 2).

- **Сбор и очистка разлитой нефти с поверхности моря с помощью плавучих заграждений (бонов) и устройств для удаления нефти (скиммеров):** собранную нефть сохраняют для последующей переработки или утилизации.
- **Контролируемое сжигание нефти на месте разлива:** нефть окружают огнеупорными бонами и поджигают. Контролируемое сжигание на месте разлива преобразует плавающую нефть в поднимающиеся в воздух продукты сгорания (в первую очередь, диоксид углерода и пары воды с небольшим количеством сажи и других газов), которые быстро растворяются.
- **Применение диспергентов:** перемещает плавающую нефть в толщу воды в виде мелких капель. Диспергированная нефть быстро разбавляется, и ее концентрация в воде становится низкой. 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.

Служба береговой охраны США

Служба береговой охраны США

Научно-исследовательский центр по морским наукам США

Примеры трех основных методов ликвидации разлива нефти на море (слева направо): сбор с помощью боновых заграждений; контролируемого сжигания нефти на месте разлива и распыления диспергентов.

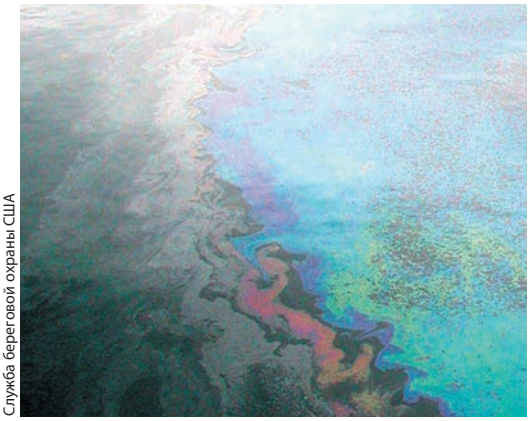
В основу каждого из методов ликвидации разлива нефти положен один и тот же принцип: предотвратить или ограничить контакт разлитой нефти с экологическими и социально-экономическими ресурсами, которые могут пострадать. Во многих случаях, наиболее чувствительными к нефти являются те экологические ресурсы, которые находятся в прибрежных водах или на береговой линии, поэтому цель ликвидационной операции заключается в предотвращении или ограничении контакта разлитой нефти с этими ресурсами. Также необходимо уделять внимание и охране здоровья людей путем сведения к минимуму воздействия нефти на ликвидаторов аварии и местное население. Это достигается за счет удаления нефти с поверхности моря и предотвращения ее попадания на береговую линию.

В таблице 1 сравниваются ключевые оперативные характеристики основных методов ликвидации разливов в море (см. также *Возможности и ограничения* на стр. 18). Использование диспергентов может быть самым быстрым и эффективным методом ликвидации разлива нефти, который удаляет плавающую нефть во время разливов нефти на море, потому что:

- распыление диспергентов с самолета позволяет обрабатывать большие площади разлитой нефти и диспергировать нефть в море в течение относительно короткого промежутка времени (см. *Как распыляются диспергенты* на стр. 43);
- диспергенты могут использоваться в условиях бурного моря, которые представляют сложность для эффективного использования боновых заграждений и скиммеров или контролируемого сжигания нефти на месте разлива.

Таблица 1 *Ключевые оперативные свойства основных методов ликвидации разливов нефти на море*

Фактор	Сбор и удаление	Контролируемое сжигание нефти на месте разлива	Использование диспергентов
Скорость воздействия на разлитую нефть	Низкая	Низкая	Высокая
Скорость удаления разлитой нефти	Низкая	Высокая во время горения	Высокая
Ограничивающие преобладающие условия	Допускается при скорости ветра до 20 узлов и высоте волны не более 2,5 м	Допускается при скорости ветра до 10 узлов и высоте волны менее 1 м	Распыление с воздушного судна допускается при скорости ветра до 35 узлов и высоте волны до 5 м
Тип и свойства нефти	Необходимо, чтобы скиммер соответствовал изменению вязкости	Нефть, потерявшую легкие фракции, и эмульгированную нефть трудно поджечь	Для нефти с высокой вязкостью могут возникнуть проблемы с диспергированием; температура застывания нефти также может повлиять на диспергирование



Служба береговой охраны США

Справа: разлитое судовое дизельное топливо будет диспергироваться и испаряться естественным путем в открытом море, и не требует вмешательства.

В некоторых случаях никакой активной реакции может не потребоваться. Например, разлитое в открытом море небольшое количество нестойкого к действию окружающей среды судового дизельного топлива будет диспергироваться и рассеиваться естественным путем, при этом меры реагирования могут ограничиться мониторингом.

В дополнение к ликвидации разливов нефти на море часто возле ресурсов, находящихся под угрозой, развертывают защитные боновые заграждения, стационарные боновые заграждения. Этим признается тот факт, что никакие меры по ликвидации разлива на море не позволяют удалить всю плавающую нефть. Неизбежно, в большинстве аварий, связанных с разливом большого объема нефти или разлива нефти у побережья, некоторое количество нефти в конечном счете будет дрейфовать к берегу, что потребует выполнения мероприятий по очистке.

Каждый метод ликвидации разлива нефти из набора средств имеет свои сильные и слабые стороны, которые делают его применение более или менее целесообразным для сложившихся обстоятельств конкретного разлива нефти. Также может потребоваться одновременное использование разных методов в разных местах. Анализ суммарной экологической пользы (NEBA) представляет собой систематический процесс принятия решений и служит основой для выбора метода или комбинации методов ликвидации разлива, которые минимизируют общее отрицательное воздействие разлитой нефти на находящиеся под угрозой экологические и социально-экономические ресурсы. Более подробно анализ суммарной экологической пользы (NEBA) рассматривается в разделе, посвященном планированию действий по ликвидации аварийного разлива нефти, на стр. 36–42.

Диспергенты и их действие

Когда на поверхности моря разлита нефть, могут происходить два естественных процесса перемешивания, обусловленных воздействием волн. Этими процессами являются естественное диспергирование и образование эмульсии воды в нефти; оба они определяют поведение разлитой нефти и эффективность всех методов ликвидации разлива, включая использование диспергентов.

Естественное диспергирование

Тонкий слой разлитой на поверхности моря нефти разрушается при прохождении через него разрушающихся волн. Слой нефти в зоне действия волны преобразуется в нефтяные капли разного размера (Delvigne, 1985; Delvigne и Sweeney, 1988). Эти нефтяные капли выталкиваются волнами в верхний слой воды толщиной несколько метров. Распределение размеров образующихся нефтяных капель зависит от:

- **энергии волны:** она определяет мощность или силу и размеры волны;
- **вязкости нефти:** она определяет сопротивление нефти растеканию, и является мерой «текучести» нефти; это свойство зависит от температуры (при снижении температуры вязкость повышается);
- **поверхностного натяжения на границе раздела нефти и воды (IFT):** оно создает стягивающую силу (натяжение), которая минимизирует площадь межфазной поверхности между нефтью и водой, и, следовательно, обычно образует крупные капли нефти, когда нефть смешивается в водой. Более крупные капли имеют меньшую площадь поверхности по отношению к единице объема нефти, чем мелкие капли.

Диаметр большинства нефтяных капель, образующихся по действием разрушающейся волны, значительно больше, чем 0,05–0,1 мм (50–100 мкм), и они быстро возвращаются на морскую поверхность. Более мелкие капли нефти поднимаются медленнее из-за меньшей плавучести (Delvigne *и др.*, 1987). Действие разрушающихся волн приводит к снижению доли этих мелких капель нефти (Lunel, 1995b; Daling *и др.*, 1990b.). Они, как правило, остаются в верхнем слое толщи воды за счет турбулентности, которая создается под волнами при умеренном волнении моря (Csanady, 1973). Полагают, что эта нефть естественным образом рассеивается в толще воды.

Естественное диспергирование происходит при умеренном волнении моря с образованием разрушающихся волн и при скорости ветра более 10 узлов (около 5 м/с). Если море очень бурное, естественное диспергирование может определять поведение большей части разлитой нефти. Например, когда в условиях сильного шторма сел на мель танкер *Braer* возле Шетландских островов, Великобритания в 1993 г., почти все 85 000 т (630 000 баррелей) сырой нефти Gullfaks были естественным образом диспергированы, оказав минимальное воздействие на береговую линию (ESGOSS, 1994; Lunel, 1995; Davies *и др.*, 1997) и ограниченное воздействие на рыболовство (Goodlad, 1996). Другим примером естественного диспергирования является случай, когда села на мель наливная баржа *North Cape* в США в 1996 г. Погодные условия были такими: скорость ветра 60 миль/ч (52 узла) и высота волн 15–20 футов (3–5 м). В результате происшествия разлилось 19 700 баррелей (3 000 т) судового топлива (топлива № 2). Это происшествие оказало существенное влияние на прибрежное рыболовство (Michel *и др.*, 1997).

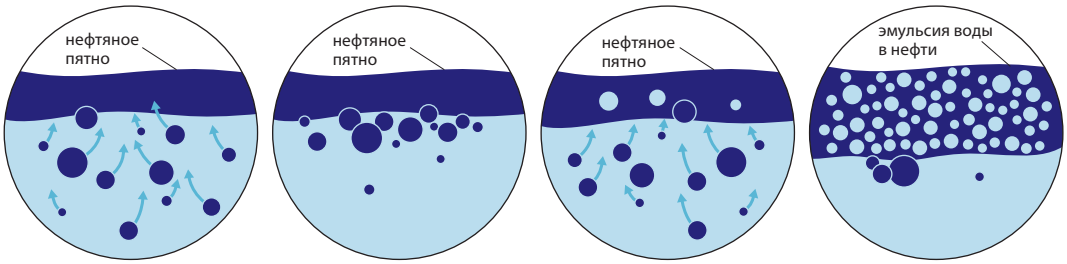
Королевское общество защиты птиц (RSPB)

Сложные погодные условия привели к тому, что большая часть груза сырой нефти танкера Braer была естественным образом диспергирована.

Эмульгирование воды в нефти

В результате изгибающего действия волн на плавающий слой нефти и всплытия крупных капель нефти, которые были диспергированы лишь временно, в нефть попадают небольшие капли воды. Эти капли воды стабилизируются и не сливаются друг с другом вследствие осаждения асфальтенов, которые присутствуют в сырой нефти и остаточном топливе (но не в дистиллятном топливе). В результате этого образуется эмульсия воды в нефти (Bridie *и др.*, 1980; Bobra, 1991).

Рисунок 3 *Схематическое изображение процесса эмульгирования*



Под действием волн естественно диспергированные капли нефти всплывают.

Всплывающие капли нефти захватывают морскую воду.

Каждая следующая волна выносит на поверхность новые капли нефти; нефть и захваченная вода начинают смешиваться.

Продолжительное воздействие волн вызывает перемешивание нефти и воды, при этом образуется эмульсия воды в нефти.

За период от нескольких часов до нескольких дней доля воды, попавшей в нефть, может возрасти до 75% и увеличить объем эмульсии воды в нефти в четыре раза по сравнению с первоначальным объемом самой нефти (Sjöblom *и др.*, 2003). Вязкость образовавшейся эмульсии намного выше, в 100 и более раз, чем у исходной нефти. Образование эмульсий воды в нефти останавливает процесс естественного диспергирования; вязкость становится слишком высокой даже для самых мелких капель нефти, которые образуются под действием разрушающихся волн.

История создания диспергентов

Во время разлива нефти при аварии танкера *Torrey Canyon* в Великобритании в 1967 г. не существовало никаких специальных диспергентов для разлива нефти. Для очистки от нефти песчаной и скалистой береговой линии было использовано очень большое количество (около 11 000 т) промышленных моющих средств. Некоторые моющие средства использовали в открытом море, чтобы попытаться рассеять нефть в море. Результат оказался поразительным:

«Использование моющих средств для обработки нефти вдали от берега не нанесло заметного вреда морской флоре и фауне, за исключением крайних поверхностных слоев, где пострадали икра сардины и некоторые виды фитопланктона. А непосредственная обработка загрязненного берега привела к гибели большого количества обитающих на берегу организмов, относящихся к различным видам. Кроме того, отрицательные явления наблюдались также в сублиторальной зоне (зоне материковой отмели)».

Torrey Canyon Pollution and Marine Life, J. E. Smith (Editor), 1968.

Моющие средства оказались токсичными для морской флоры и фауны на берегу (Corner *и др.*, 1968), что обусловило медленное восстановление (Southward and Southward, 1978). Первые специальные диспергенты для разлива нефти, гораздо менее токсичные, появились в начале 1970-х годов. Они представляли собой смеси, содержащие 15–25 % поверхностно-активных веществ (см. вставку 1 на стр. 15) в растворителе – керосине с низким содержанием ароматических соединений («без запаха»). По сравнению с диспергентами, выпускаемыми в настоящее время, они были менее эффективными и должны были использоваться при высокой дозировке – 1 часть диспергента на 2–3 части разлитой нефти. Этот тип диспергента теперь известен как диспергент первого типа (UK Type 1) или диспергент «на углеводородной основе». Во многих странах использование таких диспергентов не получило одобрения, так как они были вытеснены другими.

Распыление всех диспергентов в то время выполнялось с лодок или судов. Операции по распылению диспергентов были относительно неэффективными из-за высокой дозировки требуемого диспергента. Механизм распыления, использовавшийся в то время, мог распылять только жидкости с низкой вязкостью и не мог распылять более концентрированные (с более высоким содержанием поверхностно-активных веществ) и, следовательно, более вязкие диспергенты. Затем был разработан механизм распыления, который позволяет разбавлять «концентрированный» диспергент (до 50% поверхностно-активных веществ) морской водой непосредственно перед распылением. Морскую воду прокачивают через водоструйный насос, который всасывает и подмешивает диспергент перед распыляющим соплом. Эти диспергенты использовались в следующей дозировке: 1 часть разбавленного диспергента (10% концентрированного диспергента плюс 90% морской воды) на 2–3 части разлитой нефти. Теперь они известны как диспергенты второго типа (UK Type 2) или «водорастворимые концентрированные» диспергенты.

В середине и конце 1970-х годов была разработана система распыления диспергентов с воздушных судов – как с вертолетов, так и с самолетов. Была разработана рецептура гораздо более эффективных диспергентов и созданы соответствующие системы распыления. Эти современные диспергенты были эффективны при использовании в дозировке 1 части диспергента на 20–30 частей разлитой нефти; они как минимум в 10 раз эффективнее диспергентов первого типа. Теперь они известны как диспергенты третьего типа (UK Type 3) или «концентрированные» диспергенты.

В 1980-е и 1990-е годы были разработаны новые по составу диспергенты. Некоторые из них продемонстрировали эффективную работу с эмульгированной и тяжелой нефтью. Все эти современные диспергенты гораздо более эффективны и менее токсичны, чем более ранние типы.

Состав современных диспергентов

Поверхностно-активные вещества в современных диспергентах

Точный состав большинства диспергентов является конфиденциальной информацией. Однако подробные сведения о составе могут быть переданы в конфиденциальном порядке в национальные регулирующие органы в рамках процесса формирования перечня или утверждения диспергентов. 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). Большинство современных поверхностно-активных веществ, используемых в диспергентах, также широко применяется в бытовых продуктах – это e.g. мыло, шампунь, моющие средства и т. д.

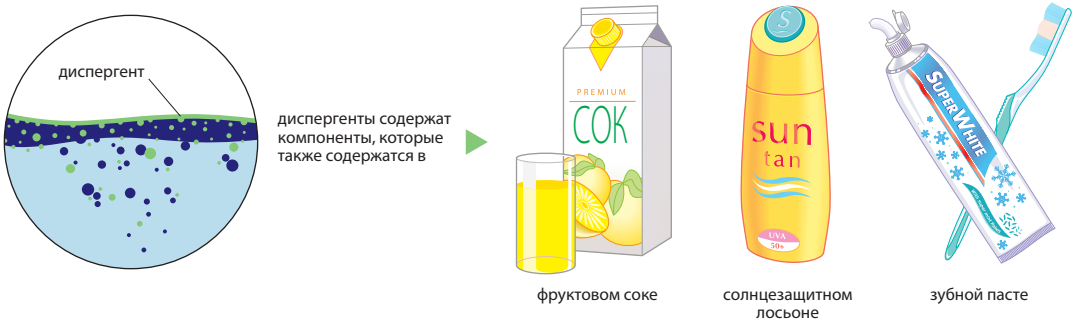
Список компонентов диспергентов COREXIT®, запасенных в большом количестве, был опубликован их производителем и приведен в таблице 2 на стр. 14.

Таблица 2 *Опубликованный производителем список компонентов диспергентов COREXIT®, запасенных в большом количестве*

Номер химического вещества реферативной службы	Наименование	Общее 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-этандиил) 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-этандиил) 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-бутокси-1-метилэтокси)	Гликолевый эфир, растворитель	Бытовая химия
64742-47-8	Дистиллят (нефть), гидроочищенный легкий	Углеводородный растворитель	Освежитель воздуха, чистящее средство
111-76-2	Этанол, 2-бутокси [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 известны под общим наименованием «Tween». Они являются этоксилированными эфирами сорбитана. Span и Tween применяются в фармацевтической, косметической, пищевой и агрохимической промышленности. Анионогенным поверхностно-активным веществом, используемым во многих современных диспергентах, является натрий диизооктил сульфосукцинатом (иногда называемым DOSS). Это поверхностно-активное вещество также используется во многих бытовых продуктах, например, в средствах для очистки и продукции медицинского назначения.

Рисунок 4 *Диспергенты содержат компоненты, которые также используются во многих бытовых товарах*



Вставка 1 *Поверхностно-активные вещества*

Поверхностно-активные вещества используются в различных средствах для очистки. 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 диспергентов поверхностно-активные вещества не производятся.

Назначение поверхностно-активных веществ

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 поверхностное натяжения на границе раздела фаз 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 поверхностное натяжения на границе раздела фаз IFT «нефть-вода» примерно в 30 раз, если используется современный диспергент с хорошо подобранными компонентами.

Растворители в современных диспергентах

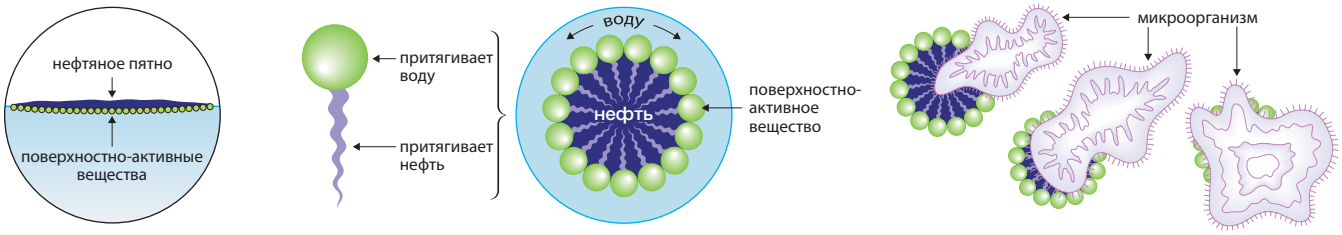
Растворители, используемые в современных диспергентах – это гликолевые эфиры, углеводороды и вода (Fiocco *и др.*, 1995). Растворитель необходим для получения жидкого, легкораспыляемого диспергента. Многие поверхностно-активные вещества являются жидкостями с высокой вязкостью и/или твердыми веществами,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

Механизм действия диспергента

Использование диспергентов повышает скорость и степень естественного диспергирования под действием волн (Canevari, 1969; Fiocco и Lewis, 1999; Lessard и DeMarco, 2000).

Когда диспергент распыляют на плавающую разлитую нефть, он поглощается нефтью. Поверхностно-активные вещества диспергента перемещаются к поверхности раздела вода-нефть и ориентируются таким образом, чтобы гидрофильная часть молекулы поверхностно-активного вещества находилась в воде, а олеофильная часть – в нефти. Такая ориентация поверхностно-активного вещества значительной снижает поверхностное натяжения на границе раздела фаз IFT «нефть-вода», позволяя смесительной энергии разрушающейся волны (или другого источника энергии) преобразовывать гораздо большую долю обработанного диспергентом объема нефти в мелкие нефтяные капли. Эти капли нефти с максимальным диаметром 0,05–0,1 мм (50–100 мкм) или менее (Mukherjee *и др.*, 2012) выталкиваются в верхний слой толщи воды под воздействием волн и можно увидеть появление в воде облака светло-коричневого цвета («кофе с молоком»), если позволяют условия наблюдения. Маленькие капли медленно поднимаются обратно к поверхности моря и снова выталкиваются в толщу воды каждой

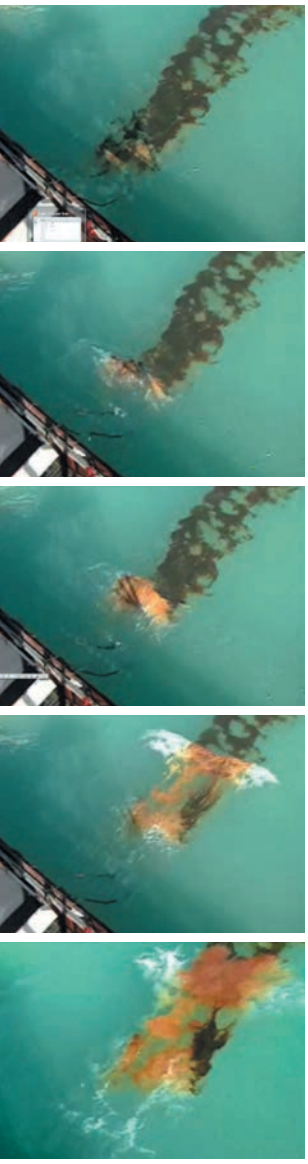
Рисунок 5 *Как работают диспергенты*



Поверхностно-активные вещества снижают поверхностное натяжение между нефтью и водой, позволяющее нефтянным пятнам распадаться.

Поверхностно-активные вещества состоят из двух частей; молекулы притягивают воду на одном конце, а нефть – на другом.

Микроорганизмы превращают нефть главным образом в двуокись углерода (CO_2) и воду (H_2O).



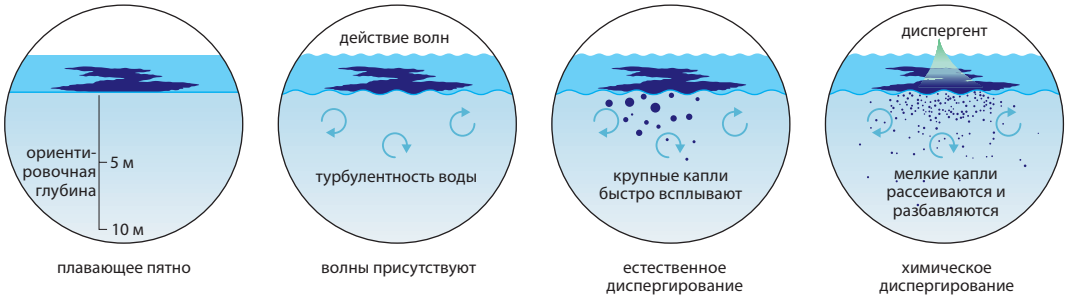
Испытания на установке OHMSETT (емкость для смоделированных экологических испытаний с нефтью и опасными материалами) проводились правительством США.

очередной разрушающейся или неразрушающейся волной (Leibovich и Lumley, 1982; Robbins *и др.*, 1995; Varadaraj *и др.*, 1995; Lunel, 1995a). Облако диспергированной нефти быстро исчезает из поля зрения, так как нефть быстро разбавляется, и ее концентрация становится низкой вследствие турбулентности в верхнем слое толщи воды (Cormack и Nichols, 1977; Mackay и Chau, 1986; Mackay, 1995).

Поверхностно-активные вещества остаются на поверхности капель нефти, диспергированных в воде. Этот очень тонкий слой поверхностно-активного вещества не допускает слияния капель нефти, когда они вступают в контакт друг с другом. Однако возможность появления такого контакта маловероятна, так как все более и более диспергированная нефть быстро разбавляется водой и ее концентрация в воде становится очень низкой. Поверхностно-активные вещества также предотвращают прилипание диспергированных капель нефти к поверхности таких твердых тел, как перья птиц, или таких береговых субстратов, как песок, камни или галька.

Мелкие капли диспергированной нефти в толще воды легко доступны для углеводородо-разлагающих микроорганизмов естественного происхождения. Объем нефти в виде мелких капель имеет гораздо большую площадь поверхности (нефть-вода), чем такое же количество нефти, существующее в виде целостного пятна на поверхности моря. Образование мелких капель нефти позволяет имеющимся в воде микроорганизмам входить в контакт с гораздо большим объемом нефти, что облегчает биологическое разложение.

Рисунок 6 *Различные этапы диспергирования нефти*



Слева: этот ряд изображений с воздуха показывает прохождение одной волны через обработанную диспергентом нефть; обратите внимание на образование светло-коричневого облака, что указывает на успешное использование диспергента.

Достоинства и недостатки использования диспергентов

При тщательном планировании работы по использованию диспергентов могут быть начаты достаточно быстро, а также будет возможна быстрая обработка больших площадей плавающей нефти, по сравнению с другими методами ликвидации разливов. Эффективное применение диспергентов обладает следующими преимуществами:

- сводит к минимуму долгосрочный ущерб и нарушение нормальных условий для уязвимых диких животных, прибрежной среды обитания и социально-экономических объектов, которые могут возникнуть, когда нефть либо остается на поверхности, либо достигает прибрежных вод и береговой линии ввиду неприменения диспергента;
- увеличивает доступность нефти для биоразложения и тем самым ускоряет ее естественное разрушение и ассимиляцию в окружающую среду;
- может уменьшить концентрацию потенциально вредных паров в непосредственной близости от разлива нефти и обеспечить повышенную безопасность для ликвидаторов аварии, осуществляющих свою деятельность на судах в близлежащем районе, а также свести к минимуму воздействие нефти на ликвидаторов аварии и местное население в целом;
- исключает необходимость возможного проведения крупномасштабных и продолжительных операций по очистке береговой линии;
- позволяет избежать образования большого объема отходов, часто ассоциирующихся с проведением операций по очистке береговой линии; такие отходы создают серьезные экологические проблемы в процессе их обработки, хранения и утилизации.

Тем не менее, существует потенциальный риск кратковременного воздействия диспергированной нефти на морские организмы, обитающие в верхнем слое толщи воды: морские организмы на короткое время подвергаются воздействию диффузного облака дисперсных капель нефти и водорастворимых соединений нефти в большей степени, чем если бы диспергенты не использовались. Диспергированная нефть может оказывать токсическое воздействие на морские организмы.

Оценка последствий использования диспергентов обсуждается в контексте анализа суммарной экологической пользы (NEBA) в разделе, посвященном планированию действия по ликвидации аварийного разлива нефти (см. стр. 36-42).

Возможности и ограничения

Все методы ликвидации разлива нефти обладают возможностями, которые могут сделать их более подходящими, чем другие. В зависимости от обстоятельств разлива нефти, применение некоторых методов может быть весьма ограничено. Выбор методов ликвидации должен быть основан не на заранее существующих предпочтениях, а на понимании того, какие методы в наибольшей степени способны обеспечить требуемый результат, т. е. свести к минимуму общий ущерб, который может быть нанесен разлитой нефтью.

Общей целью всех методов ликвидации разливов нефти в море (сбора и очистки с поверхности моря, контролируемого сжигания нефти на месте разлива и использования диспергентов) является удаление разлитой нефти и уменьшение количества нефти, которая угрожает прибрежной зоне и может привести к загрязнению среды обитания береговой линии. Возможности и ограничения этих методов ликвидации нефтяных разливов в море можно классифицировать следующим образом:

a) скорость, с которой может быть удалена плавающая нефть;
b) преобладающие условия, при которых ликвидация разлива эффективна или целесообразна;
c) ограничения, связанные с типом нефти или физическими свойствами, и то, каким образом они могут повлиять на эффективность метода ликвидации разлива.

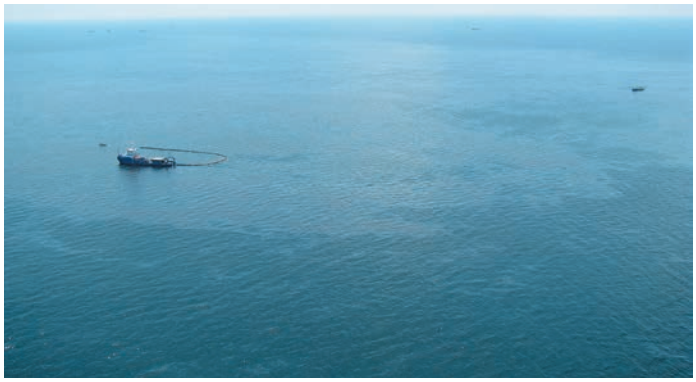
Скорость удаления нефти

Скорость, с которой должна удаляться разлитая нефть, чтобы предотвратить или ограничить повреждение ресурса, зависит от количества разлитой нефти, близости к подверженному опасности ресурсу и преобладающих условий ветра и течений. На скорость удаления нефти также может влиять логистика, так как развертывание некоторых видов оборудования в отдаленных районах может затянуться по времени.

Любой метод ликвидации должен быть введен в действие как можно скорее после разлива нефти. Большинство типов разлитой нефти быстро распространяется по морю, что может привести к быстрому охвату большой площади.

При ликвидации относительно небольших разливов в объеме менее нескольких тонн (десятков баррелей) нефти в местах, защищенных от воздействия волн, часто может быть достаточно эффективным использование боновых заграждений и скиммеров для очистки от нефти. Ликвидация более крупных разливов нефти в море гораздо сложнее, так как плавающая нефть быстро распространяется и покрывает большую площадь поверхности моря. Толщина разлитой нефти часто очень неравномерна: состоит из разбросанных участков толстых слоев нефти, разделенных участками большой площади с очень тонким слоем нефти (блестящим) или участками чистой воды. Это может усложнить ликвидацию разлива на море и потребовать воздушного наблюдения для определения участков с максимальной толщиной слоя нефти (см. практические рекомендации IPIECA-IOGP по воздушному наблюдению за нефтяным загрязнением в море – IPIECA-IOGP, 2015b). «Скорость воздействия» – скорость, с которой можно выполнять обработку плавающей нефти с помощью определенного метода – мала как для сбора

Скорость воздействия морских систем боновых заграждений на нефть может быть низкой.



Служба береговой охраны США

и очистки нефти с поверхности моря, так и для контролируемого сжигания нефти на месте разлива из-за ограничений, свойственных боновым заграждениям, которые позволяют работать только при малой скорости течения или при буксировке судами на малой скорости (не более нескольких узлов даже для систем «на быстром течении»). Скорость воздействия при использовании диспергентов на сегодняшний день является самой высокой среди всех методов ликвидации разливов нефти. Распыление с большого самолета с неподвижным судом может обеспечить высокую скорость воздействия, поскольку время реагирования и перемещения, как правило, гораздо меньше, чем у судов. Однако в некоторых сценариях суда могут оставаться на месте выполнения работ гораздо дольше и нести на борту гораздо больше диспергента.

Если разлитая нефть уже находится очень близко к уязвимому ресурсу и преобладающий ветер вызывает быстрый дрейф нефти к этому ресурсу, времени может оказаться недостаточно для каких-либо эффективных мер реагирования на море, независимо от используемого метода ликвидации разлива.

Ограничения, обусловленные преобладающими условиями

Состояние моря

Преобладающие морские условия оказывают большое влияние на эффективность методов ликвидации разлива нефти.

Эффективность боновых заграждений, используемых для ограждения разлитой нефти перед ее сбором судами-нефтесборщиками (скиммерами) или удаления путем контролируемого сжиганиям на месте разлива значительно снижается в более бурном море. Боны могут перехлестываться волнами, в зависимости от размеров (осадки и высоты надводного борта) бона, а также его плавучести и способности противостоять волнам или скользить по ним. Даже крупные морские боны могут стать неэффективными при высоте волн приблизительно 1,4–1,8 м и скорости ветра более 20 узлов. Возможности многих скиммеров зависят от состояния моря, а некоторые типы становятся все менее эффективными при высоте волн более 0,6–1 м.

Быстрое рассеивание обработанной диспергентом нефти начинается при скорости ветра около 7 узлов (3 м/с, легкий или слабый бриз) и высоте волн 0,2–0,3 м. Однако диспергенты можно распылять на плавающую нефть в тихих спокойных морских условиях, а рассеивание начнется при возникновении иных подходящих условий на море. Ураганный ветер со скоростью более 35 узлов (18 м/с) и высотой волн 5 м, как правило, является верхним пределом для распыления диспергента с самолета, хотя диспергенты распыляли с самолета и при скорости ветра более 50 узлов (ESGOSS, 1994). Кроме того, при сильном ветре, когда плавающая нефть омывается или временно погружается в бурное море, попадание диспергента в цель усложняется. По тем же причинам возможность распыления диспергентов с судов будет ограничена.

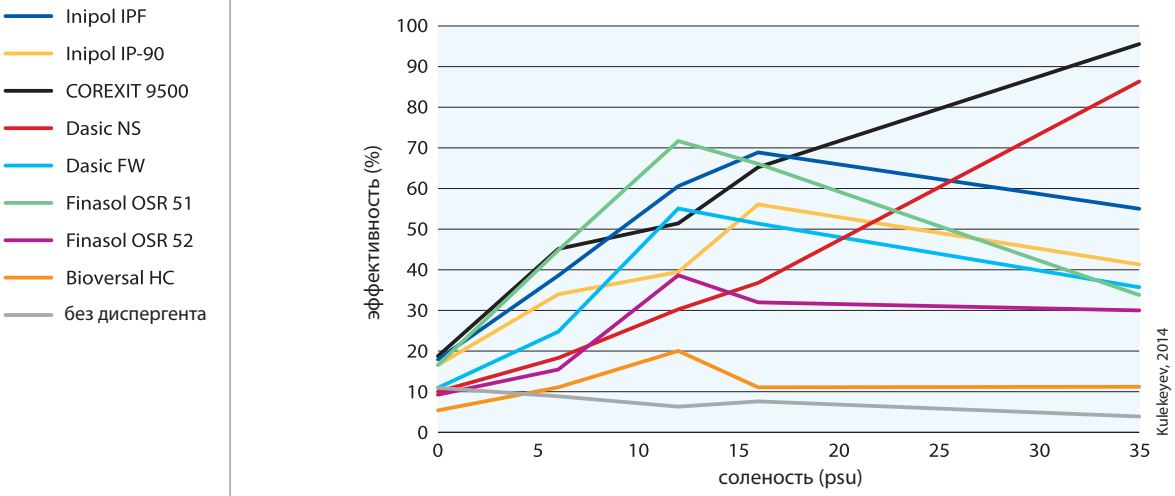
Крайне суровые морские условия могут исключить всякую возможность проведения операции по ликвидации разливов нефти на море. Однако в этих условиях может происходить интенсивное естественное диспергирование при разливе легких типов нефти.

Влияние солености воды на эффективность диспергентов

Большинство выпускаемых и доступных для приобретения диспергентов имеют в составе компоненты, обеспечивающие наибольшую эффективность в морской воде с содержанием соли (солености) 30–35 psu (единиц фактической солености) (Belk *и др.*, 1989; Georges-Ares *и др.*, 2001). Эффективность этих диспергентов уменьшается в солоноватой воде (при солености 5–10 psu), и может быть очень низкой в пресной воде (Kulekeyev *и др.*, 2014) (см. рисунок 7 на стр. 20). Несмотря на то, что существуют

диспергенты для применения в пресной воде, диспергирование нефти в пресной воде в большинстве случаев применять не рекомендуется из-за недостаточного объема воды в реках, а часто и в озерах, для разбавления диспергированной нефти до достаточно низкой концентрации.

Рисунок 7 *Влияние солености на эффективность диспергентов при лабораторных испытаниях с использованием восьми продуктов*

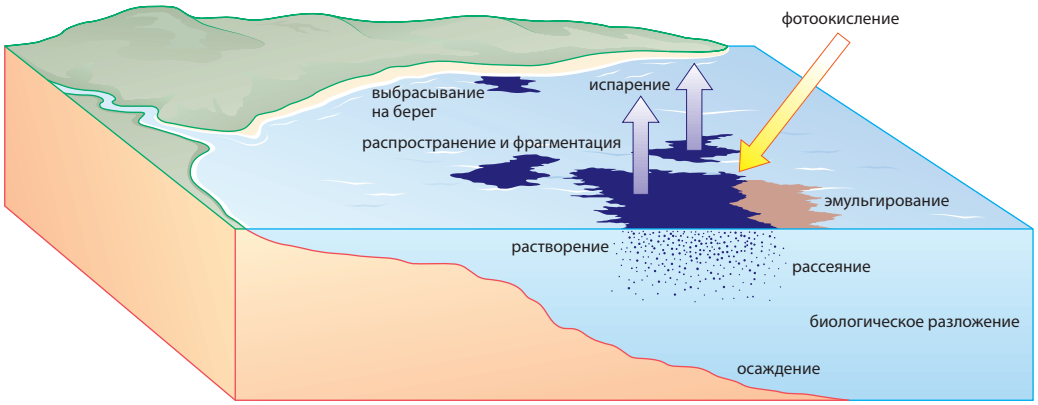


Типы нефти и их физические свойства

В море могут происходить разливы большого количества различных видов нефти и нефтепродуктов, в том числе сырой нефти, дизельного топлива и тяжелой (остаточной) топливной нефти.

Физические свойства разлитой сырой нефти и тяжелой топливной нефти изменяются по мере того, как они теряют летучие компоненты за счет испарения, при этом они могут образовывать устойчивые эмульсии воды в нефти (Payne и McNabb, 1984; Daling *и др.*, 1990; Lewis *и др.*, 1995). Эти изменения известны в совокупности как «выветривание» нефти и характеризуются постепенным увеличением

Рисунок 8 *Поведение и естественные процессы выветривания разлитой нефти*



вязкости плавающей нефти со временем. Скорость выветривания связана с преобладающим состоянием моря, температурой, типом нефти и условиями разлива.

Физические свойства нефти, которые оказывают существенное влияние на эффективность всех методов ликвидации разлива – это плотность, температура застывания и вязкость. Для нефти, образующей стабильные водонефтяные эмульсии, важным фактором является вязкость эмульгированной нефти, значение которой связано с содержанием воды.

Плотность

Общая классификация типов нефти осуществляется по ее плотности, измеренной как удельный вес (вес по отношению к пресной воде) или в градусах API (Американского нефтяного института). Нефть обычно делят на четыре группы по ее плотности. Нефть 1 группы определяется как очень легкая и в значительной степени нестойкая. Нефть 4 группы – очень тяжелая, а нефть 2 и 3 группы занимает промежуточное положение. В некоторых системах классификации устанавливается пятая группа сверхтяжелой нефти, имеющей склонность к оседанию на дно. Данные о плотности нефти дают ликвидаторам разлива общее представление о том, как может вести себя нефть и какие методы ликвидации могут быть эффективными.

Температура застывания

Нефть, температура которой значительно (на 10–15 °C) ниже температуры ее застывания, будет находиться в полутвердом состоянии и не будет растекаться. Это имеет важное значение для устройств механического сбора нефти и методов очистки береговой линии, а также указывает на то, что использование диспергентов вряд ли будет успешным, так как они не смогут проникнуть в полутвердую нефть и будут смываться.

Вязкость

Это важное свойство имеет значение для всех методов ликвидации разливов нефти. Нефть с очень высокой вязкостью может быть окружена боновыми заграждениями, но некоторые типы скиммеров требуют, чтобы нефть стекалась к ним, поэтому их эффективность и КПД могут быть низкими при высокой вязкости нефти или эмульсии. Нефть с высокой вязкостью также может с трудом перекачиваться. Воспламенение нефти, которая потеряла свои легкие фракции вследствие испарения, может оказаться сложной задачей, особенно если нефть эмульгирована (т.е. с высоким содержанием воды), что ограничивает эффективность контролируемого сжигания нефти на месте разлива.

Вязкость разлитой нефти изменяется с течением времени, так как она «выветривается», что влияет на эффективность воздействия диспергентов на плавающую нефть (Canevari *и др.*, 2001; Clark *и др.*, 2005). Поскольку вязкость плавающей нефти увеличивается со временем, эффективность использования диспергентов будет снижаться. Это свойство часто называют «окном возможности» для использования диспергентов. Это окно зависит от температуры.

Вставка 2 *Вязкость*

Вязкость – это сопротивление течению («растеканию») нефти. Она измеряется либо в сП (сантипуазах – динамическая вязкость), либо в сСт (сантистоксах – кинематическая вязкость). Динамическая вязкость в сП равна кинематической вязкости в сСт, умноженной на плотность нефти. С практической точки зрения для ликвидации разливов нефти кинематическая и динамическая вязкости взаимозаменяемы. Вязкость заметно уменьшается с увеличением температуры.

Не существует общепризнанного предела вязкости нефти, вне которого диспергенты считаются неэффективными: он зависит от многих факторов, например, от используемого диспергента, от происхождения нефти и преобладающих условий (Colcomb *и др.*, 2005). Общие рекомендации и данные о вероятной эффективности диспергентов при разной вязкости нефти приведены в таблице 3.

Таблица 3 *Влияние вязкости нефти на эффективность диспергентов*

Тип/вязкость нефти	Эффективность диспергентов
Легкое дистиллятное топливо (бензин, керосин, дизельное топливо)	Использование диспергентов не рекомендуется В большинстве случаев эта нефть будет довольно быстро испаряться и рассеиваться естественным путем
Нефть с вязкостью до 5 000 сСт	Использование диспергентов, вероятно, будет эффективным
Нефть с вязкостью 5 000–10 000 сСт	Использование диспергентов может быть эффективным
Нефть с вязкостью выше 10 000 сСт	Использование диспергентов, вероятно, будет неэффективным (хотя есть данные об их успешном применении для нефти с вязкостью более 20 000 сП)

Для содействия в планировании действий по ликвидации аварийных разливов нефти и выборе методов ликвидации могут быть необходимы информация о нефти, которая может быть разлита (например, сырая нефть с объекта морской добычи), а также данные о выветривании и результаты моделирования, которое было проведено ранее.

AEA Technology

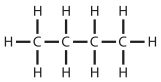
При некоторых обстоятельствах возможно успешное диспергирование выветренной нефти. На снимке показано рассеивание сырой нефти Alaskan North Slope *во время попытки ликвидации разлива в Северном море после выветривания в течение 55 часов и при вязкости 15 000–20 000 сП; облако диспергированной нефти в воде имеет светло-коричневую окраску.*

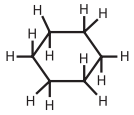
Способность к биологическому разложению и токсичность нефти

Перемещение разлитой плавающей нефти в толщу воды в виде мелких нефтяных капель, благодаря использованию диспергента, делает нефть более доступной для биологического разложения морскими организмами. В конечном итоге будет происходить биологическое разложение основной массы диспергированной нефти микроорганизмами естественного происхождения, уже присутствующими в море. Некоторые из химических соединений в нефти являются водорастворимыми и потенциально токсичными для морских организмов. Степень наблюдаемой токсичности зависит от параметров (концентрации и продолжительности) воздействия диспергированной нефти и содержащихся в нефти водорастворимых соединений на морских организмов. Некоторые из этих соединений перемещаются в толщу воды независимо от того, используется ли диспергент.

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 один или несколько бензольных колец). Относительные пропорции этих химических соединений отличаются для разных типов нефти и определяют ряд физических свойств сырой нефти. Большинство углеводородов в большинстве типов сырой нефти являются 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.


алкан


циклоалкан

ароматический бензол

Взаимодействие морских организмов с диспергированной нефтью

Многие морские микроорганизмы (бактерии и дрожжи) обладают способностью к метаболизму и разложению химических соединений в нефти. Метаболизм – это биохимический процесс, который разрушает сложные вещества, например, содержащиеся в нефти химические соединения, с выделением энергии и образованием отходов (например, двуокиси углерода и воды в случае нефти). Метаболизм проходит через ряд стадий с участием ферментов, которые преобразуют химические соединения в промежуточные соединения или метаболиты. Последствия этого процесса зависят от рассматриваемого химического соединения и соответствующего морского организма, т. е.:

- биологическое разложение нефти можно считать полезным для микроорганизмов, так как метаболиты являются источником энергии;
- однако может возникнуть некоторое токсическое воздействие на различных представителей морской флоры и фауны, вызванное влиянием частично растворимых в воде компонентов, перемещающихся из капель нефти в воду, или при проглатывании капель организмами-фильтраторами, которые могут стать добычей более крупных организмов. Тяжесть последствий влияния токсичности пропорциональна степени подверженности и может варьироваться от сублетальных эффектов (временного наркоза, нарушения функций воспроизводства или кормления), которые часто обратимы, до летальных для некоторых особей пострадавшей популяции.

Способность к биологическому разложению нефти

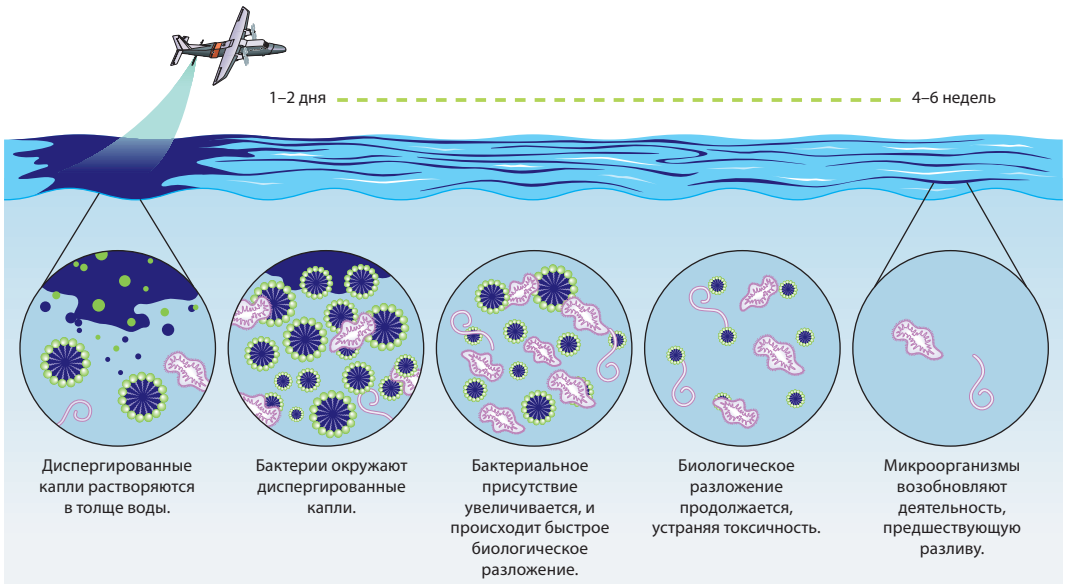
Биологическое разложение протекает главным образом путем биохимического окисления (Leahy и Colwell, 1990; Atlas и Bartha, 1992; Atlas и Cerniglia, 1995; Prince, 1997; Prince *и др.* 2013). Биологическое разложение различных химических соединений в сырой нефти осуществляется с разной скоростью и в разной степени углеводородо-разлагающими микроорганизмами естественного происхождения (Singer и Finnerty, 1984; Lindstrom и Braddock, 2002; Campo *и др.*, 2013). Быстрее всего происходит биологическое разложение алканов с линейной цепью, за которыми следуют ароматические соединения с одним кольцом, 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). Соединения нефти, которые устойчивы к биологическому разложению, в значительной степени биологически инертны и обладают низкой токсичностью. Сами диспергенты легко разлагаются и не мешают биологическому разложению нефти, скорее, наоборот, усиливают его за счет увеличения доступности нефти, как описано ниже.

Скорость биологического разложения зависит от наличия доступа к нефти, а также от наличия кислорода и питательных веществ. Наличие кислорода и питательных веществ, как правило, не является ограничивающим фактором в море, однако оно может быть ограничено там, где нефть выбрасывается на берег, особенно в рыхлых отложениях. Микроорганизмы колонизируют границу раздела нефть-вода; мелкие диспергированные капли нефти могут иметь площадь поверхности в 100 раз больше, чем эквивалентный объем нефти в виде плавающего пятна, поэтому диспергирование значительно повышает скорость биологического разложения. Биологическое разложение нефти, выброшенной на берег, может замедляться из-за увеличения толщины, что уменьшает доступную площадь поверхности. Оно также может быть ограничено из-за высыхания в результате воздействия воздуха в приливных зонах. Кроме того, нефть может залегать в илистых отложениях пляжей, и это также может замедлить биологическое разложение из-за недостатка кислорода.

Наиболее благоприятные условия для биологического разложения возникают, когда нефть диспергируется в море. Процесс биологического разложения капель нефти, как правило, начинается в течение 1-2 дней и завершается в течение нескольких недель. Места, подверженные воздействию нефти из-за естественного просачивания и промышленного загрязнения окружающей среды, возможно, уже содержат большое количество активных сообществ углеводородо-разлагающих микроорганизмов. Однако подходящие микроорганизмы присутствуют во всех морях, и могут быстро адаптироваться и расширять свои популяции, когда появляется доступ к нефти, например, в случае разлива.

Рисунок 9 *Типичный процесс биологического разложения разлитой нефти*



Потенциальная токсичность диспергированной нефти

Существенным элементом токсикологии является то, что степень влияния на организм, вызванная химическим соединением, зависит от параметров воздействия этого химического соединения на организм. Степень влияния зависит от концентрации химического вещества и пути воздействия на организм, а также продолжительности воздействия.

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 являются компонентами сырой и топливной нефти, которые, как правило, считаются токсичными для водных организмов (Anderson *и др.*, 1974; Di Toro *и др.*, 2007).

Воздействие нефти, диспергированной нефти и водорастворимых соединений нефти

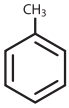
После разлива нефти некоторые морские организмы неизбежно будут подвергаться воздействию повышенных концентраций естественно диспергированных капель нефти и водорастворимых соединений нефти в верхнем слое толщи воды (González *и др.*, 2006). Однокольцевые ароматические соединения (или БТЭК) быстро испаряются из плавающей нефти в воздух, и это изменяет потенциал токсического воздействия, оказываемого остаточной нефтью (Neff *и др.*, 2000).

Основной причиной острого токсического воздействия на морские организмы является воздействие 2-кольцевых ПАУ (полициклических ароматических углеводородов) (замещенных нафталинов) в воде за счет поглощения через жабры и другие органы. Диспергирование нефти в виде мелких капель, как естественное, так и усиленное диспергентами, может усилить воздействие этих и других частично растворимых в воде соединений нефти на некоторых представителей морской флоры и фауны из-за увеличения площади поверхности зон нефть-вода. Однако процесс диспергирования не увеличивает токсичность нефти.

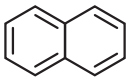
В самом верхнем слое воды, как правило, высока плотность планктонных организмов, в том числе развивающихся икринок (эмбрионов и личинок) некоторых видов рыб. Эти ранние стадии жизни, как известно, чувствительны к низкой концентрации двух- и трехкольцевых ПАУ в воде (Carls *и др.*, 2008). Планктон дрейфует в воде по течению и не может избежать воздействия соединений нефти, но любое воздействие на планктон будет локализованным, а исходное состояние быстро восстановлено за счет пополнения из-за пределов пораженной области. Большинство разливов нефти происходит в ограниченной зоне и имеет короткую продолжительность, поэтому воздействие, если оно имеет место, будет ограничено и локальным (Kingston, 1999).

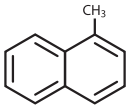
В воде, находящейся на глубине более 10 метров, концентрация естественно диспергированной нефти и водорастворимых соединений нефти быстро уменьшается до низкого уровня в нижележащем слое воды. Взрослые рыбы в состоянии ощутить наличие нефтяных соединений в воде и, скорее всего, покинут загрязненную зону (Weber *и др.*, 1981). Случаи массовой гибели рыбы вследствие морских разливов нефти не зафиксированы.

Рыба, плывущая через воду, содержащую нефть, может поглощать некоторые из водорастворимых соединений (чаще всего 2-кольцевые ароматические соединения) нефти, которые оказываются в ее тканях, но эти соединения быстро теряются («очищаются»), когда рыба попадает в чистую воду. Запреты или ограничения рыболовства часто устанавливают в качестве меры предосторожности, чтобы предотвратить загрязнение нефтью рыболовных судов и их оборудования, а также успокоить общественность и защитить репутацию рынка морепродуктов.

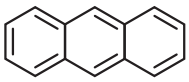


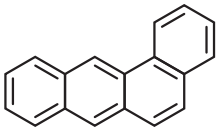
1-кольцевой: толуол

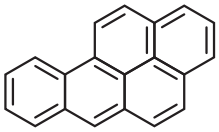

2-кольцевой: нафталин



2-кольцевой: 2-метилнафталин


3-кольцевой: антрацен


4-кольцевой: бенз(а)антрацен


5-кольцевой: бенз(а)пирен

Выше: примеры ароматических соединений

Вставка 3 *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 они также неустойчивы и быстро испаряются в воздух из нефти, разлитой на поверхности моря.
- **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 (млн-1) 3-кольцевых ароматических соединений, и гораздо меньше, обычно 1–10 млн-1, отдельных 4-кольцевых и 5-кольцевых соединений. Эти ПАУ-соединения не летучие, а 3- и 4-кольцевые соединения слабо растворимы в воде.

Нефть, разлитая в воде на глубине менее 10 м, с большей вероятностью будет оказывать токсическое действие, поскольку водные организмы будут подвергаться воздействию повышенной концентрации естественно диспергированной нефти и растворимых в воде соединений нефти в течение более длительного периода времени (Claireaux *и др.*, 2013). Кроме того, среди присутствующих на мелководье морских организмов, которые могут быть подвержены воздействию высоких концентраций диспергированной нефти, будут и те, которые обитают либо возле морского дна, либо на морском дне. В более глубоком месте моря эти организмы находились бы на слишком большой глубине, и не пострадали бы. Это не означает, что всегда следует избегать использования диспергентов при глубине менее 10 метров, просто этот случай требует более детального рассмотрения, чем при большей глубине (Le Floch *и др.*, 2014).

Последствия от использования диспергентов

Диспергирование большего объема нефти и превращение ее в мелкие капли в толще воды при помощи диспергента приведет к временному увеличению воздействия на все морские организмы, обитающие в верхнем слое толщи воды (Singer *и др.*, 1998). Увеличение площади поверхности зоны вода-нефть позволит большей части водорастворимых химических соединений переместиться в воду. Они также будут быстро разбавляться водой, пока глубина воды достаточно велика (Law и Kelly, 1999; Bejarano *и др.*, 2013). Повышение концентрации этих соединений (2- и 3-кольцевых ароматических соединений) в толще воды может оказывать токсическое воздействие, при этом степень воздействия зависит от его продолжительности (Kelly и Law, 1998; Sterling *и др.*, 2003; Bejarano, 2014). Если диспергенты наносят на разлитую нефть при глубине воды более 10–20 м, концентрация диспергированных капель нефти и водорастворимых химических соединений нефти сначала будет повышаться, но затем быстро уменьшится, так как они будут разбавляться окружающей водой. Следовательно, морские организмы будут подвергаться воздействию кратковременного резкого повышения концентрации этих соединений (Singer *и др.*, 1991; Bragin *и др.*, 1994; Clark *и др.*, 2001). Как правило, значения концентрации достигают 50 млн-1 и редко превышают 100–200 млн-1 в верхнем слое глубиной несколько метров и падают приблизительно до 1 млн-1 за несколько часов. Общий уровень воздействия в морской среде значительно ниже, чем тот, который наблюдается при проведении стандартных лабораторных испытаний на токсичность (Pace *и др.*, 1995; Coelho *и др.*, 2013).

Воздействие на морские организмы при проглатывании диспергированных капель нефти

Морские организмы могут также подвергаться воздействию ПАУ с более высокой молекулярной массой при проглатывании пищи. Организмы-фильтраторы, которые охотятся на планктон, могут глотать диспергированные естественным или химическим путем нефтяные капли, если они имеют примерно такой же размер, как и некоторые виды планктона. Такие сравнительно простые организмы, как

двустворчатые 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). Впоследствии эти соединения будут удалены в результате очистки в чистой воде. Следовательно, хищники, которые питаются загрязненными нефтью двустворчатыми моллюсками, могут подвергаться воздействию повышенной концентрации ПАУ с большой молекулярной массой при таком пути проникновения внутрь. Организмы, которые имеют печень, например, рыба, могут метаболизировать ПАУ, и некоторые из этих метаболитов являются вредными и вызывают патологические изменения и другие последствия. Степень токсического воздействия при таком пути его распространения в большинстве случаев, вероятно, будет низкой и затронет только отдельных особей.

Вставка 4 *Понятие токсичности и терминология*

Токсичность определяется как «внутренний потенциал или способность материала вызывать неблагоприятное влияние на живые организмы»; токсичность в водной среде – это воздействие химических веществ на водные организмы.

- Диапазон действия **неблагоприятного влияния** может распространяться от субклеточного уровня до целых организмов, сообществ и целых экосистем. Побочное влияние может быть обратимым или необратимым, легким или тяжелым. Многие исследования токсичности сосредоточены на смертности. Менее тяжелые, сублетальные последствия включают изменение поведения, физиологии (например, замедленное перемещение) и влияние на размножение, питание и другие функции. Некоторые организмы проявляют гораздо большую чувствительность к отдельным веществам, чем другие. На ранних этапах жизни чувствительность выше, чем у взрослых организмов.
- **Путь воздействия** – это способ воздействия вещества на организм, в том числе проглатывание (непосредственно или в пище), поглощение через жабры или контакт с кожей.

Наблюдаемое биологическое влияние возникает в результате таких показателей, как **продолжительность воздействия** химического вещества, и **концентрация** этого химического вещества. В водной среде продолжительность воздействия зависит от приливов и течений, а также от подвижности и потенциальной уязвимости организма. Концентрация химического вещества, находится под сильным влиянием (i) физических, химических и биологических свойств экосистемы, (ii) источников и скорости поступления химического вещества в окружающую среду и (iii) физических и химических свойств данного химического вещества.

- **Острая** токсичность оказывает вредное влияние, возникающее в организме после однократного или кратковременного воздействия.
- **Хроническая** токсичность – это способность вещества или смеси веществ вызывать вредное влияние в течение длительного периода, как правило, при повторяющемся или непрерывном воздействии, иногда длящемся в течение всей жизни подвергающегося воздействию организма.

Тестирование на токсичность проводится по разным причинам и с использованием различных методов.

- LC_{50} (летальная концентрация для 50% популяции испытываемого организма) включает воздействие на тестируемые организмы серии возрастающих концентраций (например, 1, 10, 100, 1000 млн-1 в воде) в течение стандартного периода времени (как правило, 48 или 96 часов). Вычисляется доза или концентрация, при которой погибает 50% популяции тестируемого организма. Это хороший метод для оценки относительной токсичности различных веществ, но полученные результаты не соответствуют реальному воздействию на организмы в реальных ситуациях.
- Для определения потенциала токсического воздействия, которое может вызываться веществами в реальных ситуациях, крайне важно, чтобы при проведении испытаний воспроизводились условия воздействия (концентрация вещества и продолжительности воздействия).
- Данные могут быть использованы при моделировании траектории разлива нефти с доработкой модели соответствующим условиям воздействия.

Нормативно-правовое регулирование использования диспергентов

Почему правительства разных стран осуществляют нормативно-правовое регулирование диспергентов?

Разработка норм и правил обращения с диспергентами компетентными национальными органами или соответствующими правительственными регулирующими органами образует важную часть процессов национального планирования действий по ликвидации аварийных разливов нефти. Государства имеют право и обязанность защищать своих граждан и природные ресурсы в пределах своих национальных вод от последствий загрязнения нефтью. Цель использования диспергента при ликвидации разливов нефти заключается в том, чтобы уменьшить общую величину ущерба, который может быть нанесен разлитой нефтью. Некоторые прибрежные государства руководствуются законами, которые контролируют или запрещают добавление химических веществ в море в пределах своих национальных границ. Исключения должны делаться только для некоторых обстоятельств, например, для использования диспергентов. Кроме того, существует необходимость нормативно-правового регулирования использования диспергентов для предотвращения использования чрезмерно токсичных видов диспергентов для рассеивания нефти, или ограничения бесконтрольного использования диспергентов в ситуациях, которые могут нанести значительный ущерб морской флоре и фауне.

Правовые основы правил и норм обращения с диспергентами отличаются в разных странах, поскольку соответствующие нормативно-правовые акты зачастую являются вспомогательными по отношению к существующему первичному законодательству по охране окружающей среды. Различия в первичном законодательстве по охране окружающей среды означают, что правила и нормы обращения с диспергентами в разных странах должны быть разработаны или сформулированы по-разному. Во многих странах действуют два направления по регламентации использования диспергентов, как указано ниже.

Порядок утверждения диспергентов

Здесь содержится информация о том, какие виды диспергентов допущены к использованию, и как диспергенты могут быть включены в утвержденный перечень диспергентов в случае, если они удовлетворяют установленным требованиям по результатам проведенных испытаний. Порядок утверждения диспергентов чаще всего требует:

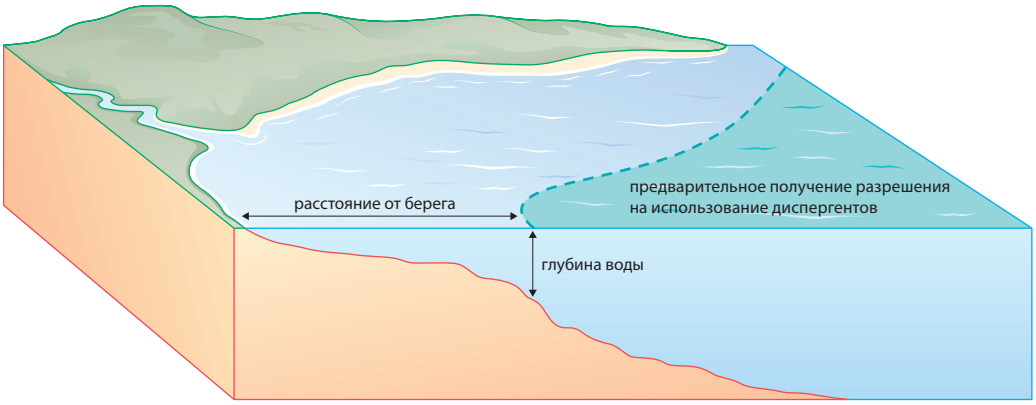
a) проведения испытаний на эффективность, чтобы гарантировать, что применение диспергента будет достаточно эффективным;
b) проведения испытаний на токсичность, чтобы гарантировать, что диспергент не будет чрезмерно токсичным (например, более токсичным, чем нефть).
c) В некоторых странах может также потребоваться дополнительная информация о биологическом разложении диспергента, разрешенных и запрещенных ингредиентах, физических свойствах и необходимой маркировке.

Порядок получения разрешения на применение диспергентов

Здесь определяется, какие национальные организации могут разрешать использование диспергента, а также где и когда утвержденные диспергенты могут быть использованы при разливах нефти в национальных водах. Предварительное получение разрешения на применение диспергентов в конкретных зонах национальных вод может иметь важное значение в обеспечении быстрого применения диспергентов сразу после разлива нефти. Порядок получения разрешения на применение диспергентов должен включать анализ суммарной экологической пользы, которую может обеспечить диспергирование нефти.

i. Общие ограничения могут быть основаны на установлении допустимой глубины воды (например, 10 или 20 м) и расстояния от берега (например, 1 или 2 км или морских мили). Это гарантирует, что объем воды достаточен для того, чтобы разбавить диспергированную нефть до такой концентрации в воде, которая не может оказывать существенное негативное воздействие на морские организмы.
ii. В случае нанесения диспергентов на плавающую нефть на мелководье или в местах с особо чувствительными ресурсами, может возникнуть потребность в более конкретных географических и сезонных ограничениях, обоснование которых приводится в анализе суммарной экологической пользы (NEBA).

Рисунок 10 *Порядок получения разрешения на применение диспергентов определяет, где и когда могут использоваться утвержденные диспергенты*



Проведение испытаний с целью утверждения диспергентов

Страны, в которых в настоящее время нет действующего перечня утвержденных диспергентов или установленного порядка утверждения диспергента для включения в перечень, но имеется намерение разработать такой утвержденный перечень диспергентов, могут рассмотреть следующие варианты:

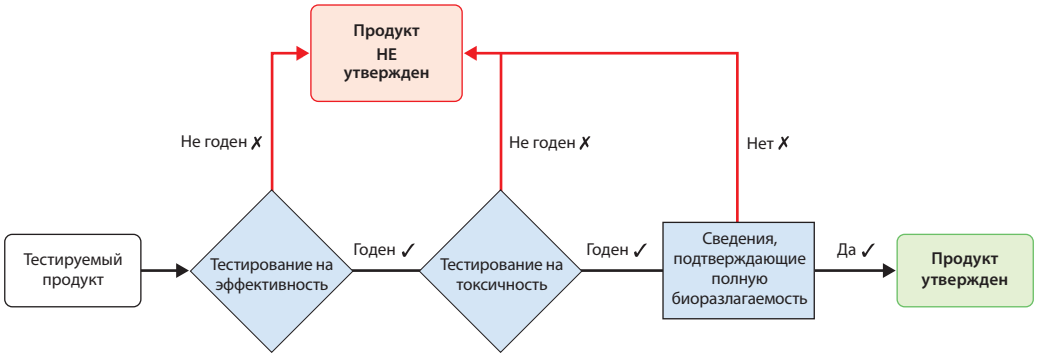
i. Адаптировать тот или иной из существующих международно признанных методов тестирования, чтобы обеспечить его соответствие местным преобладающим условиям. Рассматривать вопрос о разработке уникальных методов тестирования на эффективность и токсичность для целей утверждения диспергента нет необходимости, поскольку уже существует широкий спектр стандартных и проверенных методов.
ii. Принять диспергенты, утвержденные в другой стране (или выбранной группе стран), имеющей опубликованные протоколы испытаний для включения в собственный перечень утвержденных диспергентов. Такой подход позволяет избежать необходимости проведения дополнительных тестов и значительно упрощает процесс утверждения.

Важно понимать, что такое тестирование предназначено для того, чтобы выявить различия потенциальных диспергентов для включения в перечень, и не всегда отражает реальные условия их применения. В обоих случаях (при испытаниях на эффективность и токсичность) испытания не являются точной имитацией использования диспергентов в «реальном мире» на разлитой нефти в море, потому что масштаб этих лабораторных испытаний не может имитировать то, что происходит в открытом море.

Порог или проходной балл годности для утверждения диспергентов по результатам этих испытаний на эффективность и токсичность устанавливается на уровне, который регулирующий орган сочтет подходящим с точки зрения пригодности для утверждения диспергентов, имеющих достаточную эффективность и обладающих гораздо меньшей токсичностью, чем нефть, для обработки которой они предназначены.

Блок-схема, описывающая рекомендации для процесса утверждения диспергента, показана на рисунке 11 на стр. 30.

Рисунок 11 *Пример процесса утверждения диспергента для включения в перечень*



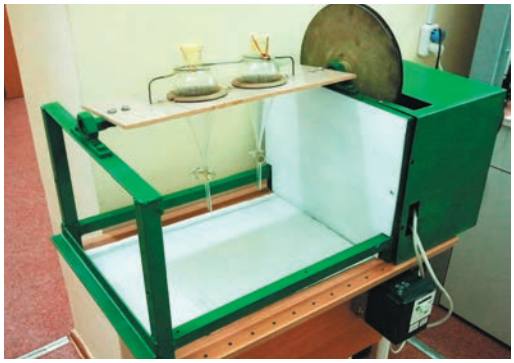
Тестирование на эффективность с целью утверждения диспергента

Задача проведения испытаний эффективности диспергентов с целью утверждения продукта заключается в выявлении тех диспергентов, которые имеют минимальный установленный уровень эффективности при диспергировании нефти, исключая тем самым утверждение неэффективных продуктов.

Разработаны различные методы тестирования на эффективность (или «способность эффективного функционирования») (Rewick *и др.*, 1981; Becker *и др.*, 1993), которые используются различными национальными органами. Все испытания на эффективность проводятся с применением лабораторного оборудования, создающего определенную энергию смешения тестовой нефти, диспергента и воды в закрытом сосуде, чтобы воспроизвести условия (Clayton *и др.*, 1993).

Ни один из методов лабораторных испытаний не может имитировать все сложные сценарии и энергии смешения, возникающие в морской среде (Mukherjee и Wrenn, 2009). Преобладающие условия волнения моря могут изменяться в широком диапазоне от штиля до сильного волнения. Каждый метод лабораторных испытаний может в большей или меньшей степени внешне напоминать конкретное состояние моря, но точная имитация океанических условий не представляется возможной по причине масштаба (Kaku *и др.*, 2006).

При проведении испытаний на эффективность с целью утверждения диспергента используются заданные тестовая нефть, объем диспергента и условия температуры и солености. Результаты, как правило, выраженные в виде «эффективности в процентах», следует использовать только для сравнения относительной эффективности различных диспергентов, испытываемых в тех же условиях и с использованием того же метода. Затем необходимо определить соответствующий пороговый уровень, указывающий минимально допустимый уровень эффективности в результате испытания. Большинство комбинаций методов тестирования и тестовой нефти способны выделить плохие диспергенты от хороших на основании порогового уровня, установленного возле среднего значения диапазона (т.е. в районе 50%). Тем не менее, устанавливаемый пороговый уровень эффективности может быть как выше, так и ниже этого.



Карагандинский государственный университет

Пример установки для проведения испытаний на эффективность – метод WSL.

Этот произвольно устанавливаемый пороговый уровень эффективности не следует интерпретировать как показатель качества работы диспергента на месте разлива. Установленный в Великобритании 60% пороговый уровень эффективности на основании метода вращающейся колбы (WSL) (WSL, 2007) для средней топливной нефти не означает, что только 60% нефти будет диспергировано, а 40% нет. Часть нефти, диспергированной в море, может на 100% или менее зависеть от преобладающих условий.

Проведение испытаний на токсичность с целью утверждения диспергента

Для утверждения диспергента регулирующим органом, как правило, требуется, чтобы острая токсичность диспергента в водной среде не превышала заданный порог. Проведение испытаний должно гарантировать, что утвержденные диспергенты значительно менее токсичны, чем нефть, для обработки которой они предназначены.

Тестирование на токсичность «только диспергента»
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, больше не повторится. Для утверждения диспергентов их токсичность должна быть меньше установленного допустимого уровня. Для определения токсичности диспергентов использовали 96-часовое или 48-часовое воздействие LC_{50} (летальная концентрация для 50% испытываемой популяции) с различными испытываемыми особями. Цель 48-часового или 96-часового воздействия LC_{50} заключается в том, чтобы определить концентрацию диспергента в воде, при которой погибает половина существ, подвергающихся воздействию в течение заданного времени. Таким образом на основании тестирования можно определить, насколько токсичен или не токсичен данный диспергент в сравнении с другим диспергентом. 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.

Виды, для которых проводятся испытания на токсичность, изменяются и могут включать рыбу, креветок, планктон, двустворчатых моллюсков и др.

Некоторые страны в настоящее время используют испытание LC_{50} только для проверки токсичности для целей утверждения диспергента. Пороговое значение часто устанавливается на менее токсичном уровне, чем имеется у тестового токсичного вещества; во Франции диспергент должен быть в десять раз менее токсичен, чем установленное четвертичное аммониевое соединение.

Тестирование на токсичность «диспергента плюс нефть»
Первые специальные диспергенты для разлива нефти были разработаны в 1970-е годы. Они были гораздо менее токсичными, чем средства для очистки, использовавшиеся при аварии танкера *Torrey Canyon*. Концентрация диспергента в воде, вызывающая 50-процентную гибель креветок, была очень высокой, вплоть до 10 000 1/млн (1% по объему), и это затруднило получение точных результатов при этих испытаниях.

Было признано, что беспокойство по поводу токсичности диспергента неуместно, а реальное беспокойство должно вызывать потенциальное токсическое воздействие диспергированной нефти на морские организмы. Может показаться необходимым проводить испытания на токсичность «диспергента плюс нефть», а не «только диспергента», потому что:

- диспергент не использовали бы, если бы не было разлитой нефти;
- потенциальные токсические воздействие при нанесении современных диспергентов на разлитую в море нефть вызываются диспергированной нефтью, а не диспергентом

Однако это проявление недопонимания задачи проведения испытаний на токсичность с целью утверждения диспергента, заключающееся в выявлении диспергента, токсичность которого не превышает заданный порог острой токсичности в водной среде.

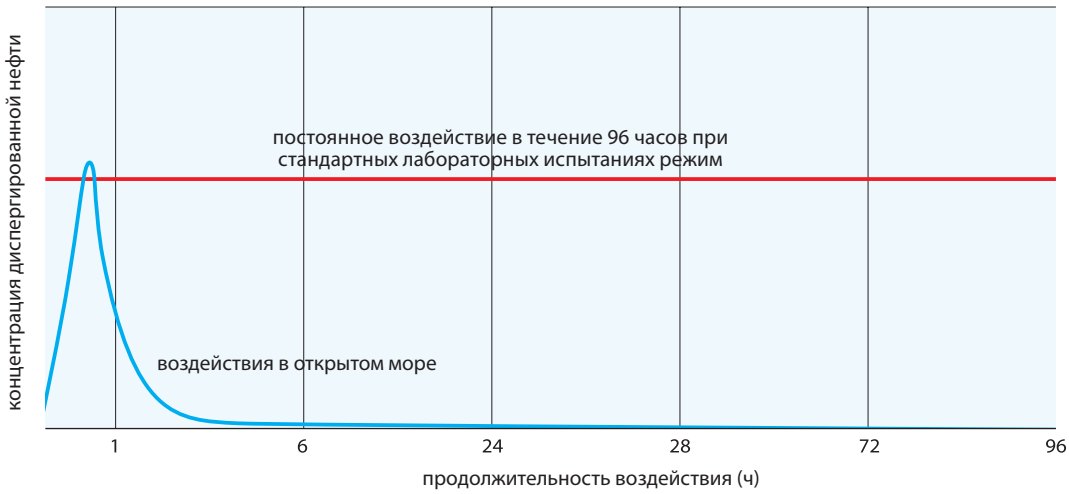
В некоторых странах в настоящее время с целью утверждения диспергента для включения в перечень проводят испытания «диспергента плюс нефть» (Blackman *и др.*, 1978; Kirby *и др.*, 1996). Тем не менее, при использовании этого подхода к проведению испытаний, возникает несколько вопросов:

- Эти испытания не имитируют реальное применение диспергента на разлитой нефти в морской среде. Режимы воздействия, используемые при проведении испытаний на токсичность «диспергента плюс нефть», гораздо жестче, чем те, которым подвергаются морские организмы при обработке диспергентом разлитой нефти в море (рисунок 12). Это необходимый аспект любых тестов на токсичность, которые предназначены для сравнения воздействия, оказываемого различными диспергентами.
- Анализ химических соединений в воде проводится редко, и сообщается только номинальная концентрация нефти.
- Поскольку токсичность в значительной степени исходит от компонентов нефти, в результате испытаний более токсичных видов нефти будет наблюдаться более высокая токсичность.
- Испытания на токсичность «диспергента плюс нефть» неизбежно приведут к исключению высокоэффективных диспергентов в пользу менее эффективных.

Результаты испытаний на токсичность «диспергента плюс нефть» (т.е. диспергированной нефти), проведенные с целью утверждения диспергента для включения в перечень, часто бывают неверно истолкованы как указывающие на возможные последствия в море при нанесении диспергента на разлитую нефть. Беспокойство по поводу возможного токсического воздействия, вызываемого диспергированной нефтью, является обоснованной и требует решения, но не при проведении испытаний на токсичность в целях утверждения диспергента для включения в перечень. Вместо этого следует уделять внимание данным научных исследований о потенциальном токсическом воздействии диспергированной нефти на различные морские организмы в реальных условиях (Clark *и др.*, 2001). Эти данные формируют научное обоснование, необходимое для процесса анализа суммарной экологической пользы (NEBA), предусмотренного в рамках получения разрешения на применение диспергентов.

Рисунок 12 *Сравнение токсического влияния на морские организмы при длительном воздействии диспергированной нефти – стандартных лабораторных испытаний по сравнению с кратковременным воздействием в море*

Воздействие постоянной концентрации диспергированной нефти в течение длительного периода при лабораторных испытаниях на токсичность гораздо более серьезное, чем кратковременное воздействие на морские организмы в море.



Тестирование на токсичность нефти, «только диспергента» и «диспергента плюс нефть»
В настоящее время в США испытания на токсичность, проведение которых требует EPA (Агентство по охране окружающей среды США), для диспергентов, которые включаются в перечень утвержденных диспергентов в рамках Национального плана мероприятий по обеспечению готовности к ликвидации загрязнения нефтью и опасными веществами, требует проведения испытаний для двух биологических видов, определяемых Агентством по охране окружающей среды США (EPA): атерин *(Menidia beryllina)* и мизид *(Americamysis bahia)*. Эти виды подвергаются воздействию: (i) только топливной нефти № 2; (ii) только диспергента; (iii) смеси диспергента и топливной нефти № 2 в пропорции 1:10; и (iv) тестового токсиканта. Для испытаний на *Menidia* применяется 96-часовое воздействие LC_{50} и для испытаний *Americamysis* - 48-часовое воздействие LC_{50}. Результаты тестирования не оцениваются по критерию «годен-не годен», полученные результаты просто отражаются в отчете.

Как было отмечено выше, режим воздействия 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 токсического влияния, которое может быть вызвано диспергентами или диспергированной нефтью в условиях воздействия, предусмотренного испытаниями.

Та же методика испытаний на токсичность, которая применяется для целей включения в перечень диспергентов в рамках Национального плана мероприятий по обеспечению готовности к ликвидации загрязнения нефтью и опасными веществами, была использована Агентством по охране окружающей среды (US EPA, 2010) для определения относительной величины токсического влияния вследствие:

i. механического диспергирования нефти Louisiana Sweet Crude (LSC);
ii. применения диспергента, использовавшегося при ликвидации разлива на месторождении Макондо в 2010 г. – COREXIT® EC9500A;
iii. диспергирования сырой нефти LSC под воздействием COREXIT® EC9500A, COREXIT® EC9500A с нефтью LSC в пропорции 1:10.

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

Результаты, приведенные в таблице 4, показывают, что только диспергент оказывает менее токсическое влияние, чем только сырая нефть. 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 полученные результаты токсического воздействия вызваны нефтью, а не диспергентом.

Таблица 4 *Сводные результаты испытаний Агентства по охране окружающей среды США (US EPA) на токсичность в воде для разлитой нефти, диспергента и диспергированной нефти по результатам ликвидации последствий аварии на месторождении Макондо в 2010 г.*

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

Агентство по охране окружающей среды США, 2010

Вопросы, касающиеся нормативных требований к испытаниям на токсичность и использования диспергентов, более подробно рассматриваются в публикации IPIECA-IOGP об одобрении диспергентов, допустимых к использованию и разрешение на их применение (IPIECA-IOGP, 2014).

Порядок получения разрешения на применение диспергентов

Цель нормативно-правового регулирования применения диспергентов заключается в том, чтобы гарантировать, что использование диспергентов будет разрешено только в тех ситуациях, где и когда они предотвращают или сводят к минимуму ущерб, который может быть нанесен разлитой нефтью.

Успешное применение диспергента должно привести к перемещению большей части нефти в толщу воды. Следовательно, морские организмы будут подвергаться воздействию повышенной концентрации диспергированной нефти, а также водорастворимых соединений нефти, по сравнению с ситуацией, когда диспергенты не используются. Это вызывает опасения по поводу того, что при использовании диспергентов возможно увеличение токсического воздействия диспергированной нефти на некоторые морские организмы. Чтобы рассеять опасения относительно потенциального токсического влияния, вызванного диспергированной нефтью, необходимо рассматривать данный вопрос как часть процесса анализа суммарной экологической пользы (NEBA) (см. стр. 36–42 и публикацию IPIECA-IOGP, 2015e).

Простейший общий случай применения процесса анализа суммарной экологической пользы (NEBA) – это рассмотрение вопроса определения минимальной глубины воды и расстояния от берега, которые гарантируют, что концентрация диспергированной нефти в воде и продолжительность воздействия будут достаточно низкими. Это обеспечивает низкий уровень риска существенного токсического воздействия на присутствующие морские организмы. Справедливость такого подхода подкреплена последними исследованиями токсичности диспергированной нефти. Этот подход, основанный на анализе суммарной экологической пользы (NEBA) используется при получении разрешения на применение диспергентов во многих странах, в том числе во Франции и Великобритании, а также в отдельных регионах США. Например, в Великобритании правила использования диспергентов требуют получения разрешения уполномоченного органа для обработки диспергентами нефти на мелководье, где мелководье определяется как участки моря глубиной менее 20 м или расположенные на расстоянии не более 1 морской мили от любого такого участка. В более глубоких водах использование диспергентов предварительно разрешено. Поэтому морские районы или зоны «предварительного разрешения», где обработка диспергентами разлитой нефти разрешена, часто определяются на основании общих ограничений, например:

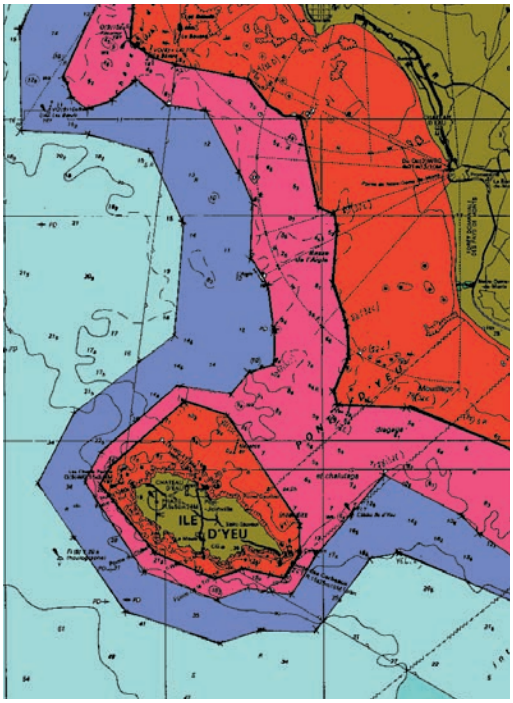
i. минимальной глубины моря (например, 10 или 20 м);
ii. минимального расстояния от берега (например, 1 км или 1 морская миля);
iii. отсутствие таких экологических и социально-экономических объектов, как промышленные водозаборы морской воды и рыбоводные хозяйства, которые идентифицируются как особенно уязвимые к воздействию диспергированной нефти.

Во многих случаях правилами применения диспергентов также предусматриваются и другие условия, например:

- обязательным условием для распыления диспергента является наличие нефтяного загрязнения;
- предусмотрены исключения для получения разрешения на использование диспергентов в соответствии с нормативными требованиями, то есть отменено привлечение к ответственности или наложение штрафных санкций, предусмотренных действующим экологическим законодательством за использование диспергентов;
- при несоблюдении требований применения диспергента виновные могут быть привлечены к ответственности с наложением предусмотренных штрафных санкций;
- во время применения должно быть установлено наблюдение/мониторинг, позволяющее убедиться, что диспергент работает, или прекратить применение диспергента, если не достигнут результат. Использование других методов наблюдения/мониторинга, кроме визуального, должно производиться при наличии соответствующего оборудования, а его отсутствие не должно задерживать ликвидацию разлива;

- диспергент должен применяться с использованием соответствующего оборудования и в соответствии с инструкцией производителя;
- необходимо соблюдать практические аспекты применения диспергентов (например, опубликованные рекомендации Международной морской организации, IMO).

Использование диспергентов может быть оправданным методом на мелководье, где минимальная глубина или минимальное расстояние от берега меньше, чем предусмотрено предварительным разрешением, при условии предоставления убедительных данных, что это приведет к уменьшению ущерба, нанесенного окружающей среде в целом, и что альтернативные методы ликвидации разлива не могут достичь того же результата. Порядок выдачи разрешений для таких особых случаев и орган, который их выдает, должны быть определены в нормативно-правовом акте.
В этом случае на организацию, затребовавшую разрешение на применение диспергента в особом случае, возлагается ответственность за проведение анализа суммарной экологической выгоды (NEBA) относительно данного особого случая и представление обоснования на рассмотрение соответствующему органу, после чего этот орган может разрешить или не разрешить использование диспергента.



CEDRE (Центр документации, исследований и испытаний)

Во Франции зоны, в которых допустимые объемы нефти можно обрабатывать диспергентами, определены для прибрежных районов на основании данных о глубине и расстоянии от берега; не предусмотрено никаких ограничений в водах глубиной более 15 м.

Министерство сельского хозяйства США

Требуется использование соответствующего оборудования; при этом распылительные головки проверяются водой, чтобы гарантировать образование капель диспергента надлежащего размера.

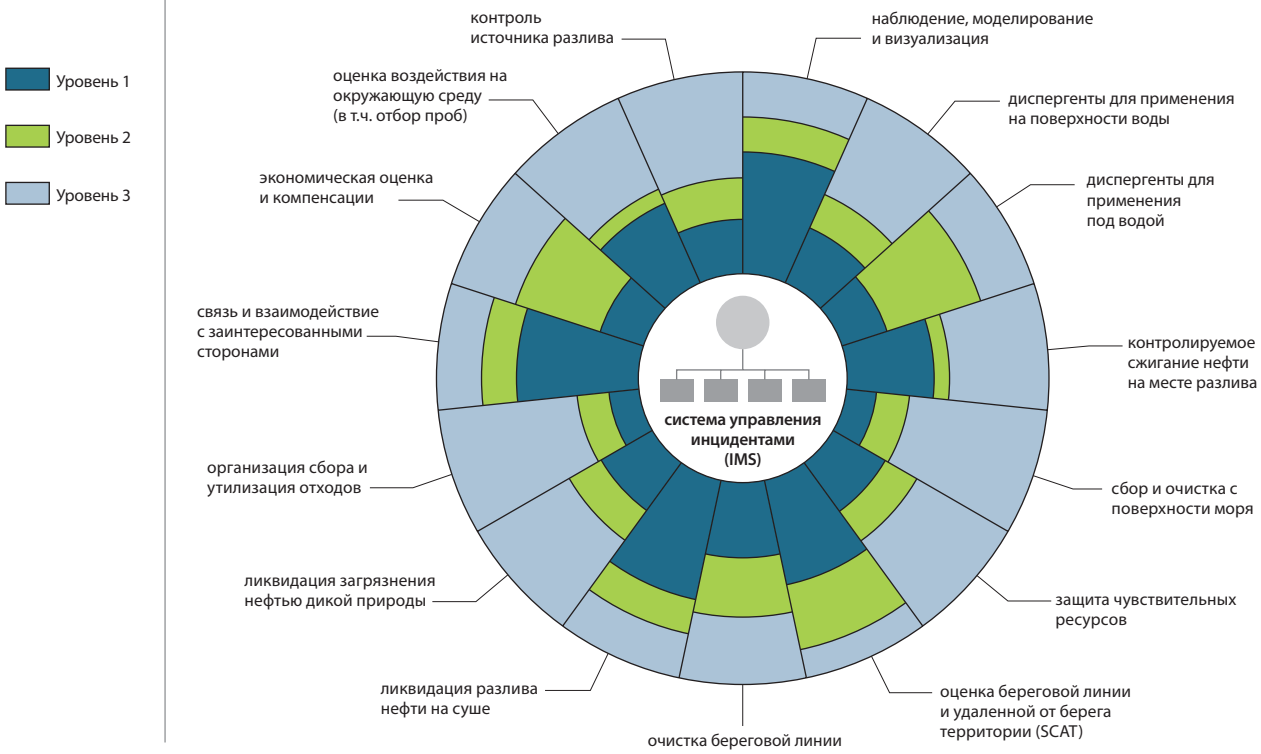
Диспергенты и планирование действий по ликвидации аварийных разливов нефти

Очень важным процессом для эффективной ликвидации возможных разливов нефти является планирование действий по ликвидации аварийных разливов нефти. С помощью хорошо подготовленного и проверенного плана ликвидации аварийных разливов нефти намного проще решать вопросы при ликвидации аварийных разливов нефти и существенно уменьшить возможный ущерб. Планы ликвидации аварийных разливов нефти определяют структуру организации управления и осуществления операций по ликвидации аварий. Объем и содержание плана ликвидации аварийных разливов нефти должны быть основаны на так называемой концепции «многоуровневого реагирования». Это помогает убедиться, что планируемое реагирование отражает масштаб опасности конкретного разлива.

Ликвидация относительно малых разливов часто может быть организована на местном уровне (уровень 1). Если масштаб аварии выходит за пределы локальных возможностей или загрязняет большую площадь, потребуется усиленное, но согласованное реагирование с использованием ресурсов совместного пользования, национальных или региональных (уровень 2). Основой этого многоуровневого реагирования является локальный план ликвидации аварийных разливов нефти для конкретного объекта, например, порта или нефтяного терминала, или для определенного участка береговой линии, который может пострадать от разлива. Эти местные планы могут являться частью более крупного районного или национального плана ликвидации аварийных разливов нефти, который может задействовать дополнительную национальную или международную поддержку (уровень 3). Более подробно процесс планирования описан в практических рекомендациях IPIECA-IOGP по планированию ликвидации аварийных разливов нефти (IPIECA-IOGP, 2015c) и по многоуровневому обеспечению готовности и ликвидации (IPIECA-IOGP, 2015d). В многоуровневой модели обеспечения готовности и ликвидации (см. рисунок 13) планирование использования диспергентов включается в мероприятия по обеспечению готовности наряду с другими критериями готовности.

Обратите внимание, что на рисунке 13 каждый сектор отображает тип готовности к ликвидации разлива, а толщина каждого уровня отображает уровень ресурсов, необходимых для ликвидации разлива для конкретного объекта или региона.

Рисунок 13 *Модель многоуровневой готовности и ликвидации – каждый уровень отображает ресурсный потенциал, необходимый для ликвидации конкретного разлива*



Планирование использования диспергентов

Чтобы обработка диспергентами была жизнеспособным вариантом в наборе средств ликвидации разлива, их необходимо применять без задержек. Диспергенты оказываются наиболее эффективными, если они распыляются на разлитую нефть как можно скорее после разлива, хотя это «окно возможности» может меняться в зависимости от типа нефти и преобладающих условий. Это окно «открывается», когда нефть попадает в воду, и начинает «закрываться» по мере выветривания нефти. Если уже определено нормативно-правовое регулирование относительно утверждения диспергента и получения разрешения на применение диспергента и такое регулирование учтено в планах ликвидации аварийных разливов нефти, гораздо более вероятно, что они будут успешно применены в имеющиеся короткие сроки. В сущности, если не планируется использовать диспергенты, можно запланировать НЕ использовать диспергенты.

Для выбора вариантов ликвидации, особенно в отношении использования диспергентов, важное значение в процессе планирования действий по ликвидации аварийных разливов нефти имеют указанные ниже шаги.

Нормативно-правовые акты

Политика и процедуры по утверждению диспергента для включения в перечень допустимых и по выдаче предварительного разрешения на их применение соответствующими органами должны быть установлены в нормативно-правовых актах.

Сценарии

Оценка риска разливов нефти должна включать в себя рассмотрение возможных сценариев разливов нефти. Они должны включать место, тип и объем возможного разлива, преобладающие условия окружающей среды, а также экологические и социально-экономические ресурсы, которые находятся под угрозой загрязнения. Обычно разработка сценария подкрепляется результатами моделирования поведения разлитой нефти и траектории разлива. Уровень, для которого могут разрабатываться эти сценарии, зависит от характера операции. Для фиксированных мест, таких как морские установки, порты и гавани или известные перевалочные пункты груза, уровень детализации может быть высоким. Однако для общих путей и районов судоходства, где большое количество нефти является предметом торговли, подход обязательно должен быть более общим. Такие сценарии должны быть предусмотрены для всех уровней реагирования.

NEBA (Анализ суммарной экологической пользы)

Для выбранных сценариев должны быть рассмотрены доступные и жизнеспособные методы ликвидации разливов. Должен быть проанализирован наилучший вариант с точки зрения минимизации общего ущерба окружающей среде (суммарной экологической пользы). Для данного этапа необходимо наличие информации о типе, количестве и местонахождении средств ликвидации на всех уровнях реагирования.

Возможности

Необходимо обеспечить наличие соответствующего оборудования для удовлетворения выявленных потребностей. В случае диспергентов должна быть указана информация о местонахождении запасов диспергентов, подходящих систем распыления и материально-техническом обеспечении и логистике. Чтобы обеспечить безопасное и контролируемое применение диспергентов, потребуется обученный персонал. Более подробная информация приведена в отчете IPIECA-IOGP по планированию логистики и поставки диспергентов (IPIECA-IOGP, 2013).

Мониторинг

Должны быть разработаны процедуры ведения мониторинга для выявления эффективности использования диспергентов на начальной стадии и в процессе ликвидации разлива нефти.

В районе разлива могут существовать факторы, которые влияют на способность мобилизации ресурсов и которые, следовательно, будут определять потребность в соответствующих средствах.

Уровень 1

Уровень 2

Уровень 3

Рисунок 14 *Характер реагирования определяют особенности местности на месте разлива*

Анализ суммарной экологической пользы

Анализ суммарной экологической пользы (NEBA) – это процесс, используемый сообществом ликвидаторов аварии, для выбора лучших вариантов минимизации воздействия разливов нефти на людей и окружающую среду – см. практические рекомендации IPIECA-IOGP по анализу суммарной экологической пользы (NEBA) (IPIECA-IOGP, 2015e). При сравнении вероятных результатов применения различных методов ликвидации разливов необходимо обсудить и оценить их, а также получить рекомендации опытных практических специалистов по вопросам ликвидации разливов и проведения Анализ суммарной экологической пользы (NEBA) относительно предпочтительных методов ликвидации разливов нефти. Анализ суммарной экологической пользы (NEBA) состоит из этапов, указанных в таблице 5, и должен выполняться до разлива нефти как составная часть планирования действий по ликвидации аварийных разливов нефти.

Таблица 5 *Этапы процесса анализа суммарной экологической пользы (NEBA)*

Этапы *анализа суммарной экологической пользы* NEBA	Описание
Оценивание данных	Первый этап: выявить, где находится разлитая нефть и куда она будет смещена под влиянием течений и ветра – для этого существуют различные программы моделирования траектории движения нефтяного пятна. Также полезно знать, насколько нефть будет подвержена «выветриванию» во время дрейфа. Это часть оценки имеющихся данных.
Прогнозирование последствий	Второй этап: выявление и оценка ресурсов и объектов подверженных воздействию разлива нефти, если не будут предприняты никакие меры по ликвидации разлива. Сюда могут быть отнесены морские, прибрежные и расположенные на береговой линии экологические ресурсы, а также 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 собран или обработан. Если район, находящийся под угрозой, включает прибрежную среду обитания, чувствительную к нефтяному загрязнению, то задачей ликвидации разлива нефти на море является предотвращение или ограничение распространения разлитой нефти на чувствительные районы. Предыдущий опыт может помочь оценить, какие методы ликвидации разливов нефти могут быть эффективными. Прагматичные оперативные стороны применимых методов ликвидации разливов нефти должны стать важной частью процесса NEBA.
Баланс преимуществ и недостатков	Преимущества и недостатки возможных методов ликвидации разливов нефти рассматриваются и сопоставляются с экологическими и социально-экономическими последствиями каждого из них, чтобы найти компромиссное решение.
Выбор наилучших вариантов	Процесс завершается выбором методов (-а) ликвидации, которые сводят к минимуму воздействие возможных разливов на окружающую среду и способствуют скорейшему восстановлению пострадавшего района и включения подходящих методов в планы ликвидации аварийных разливов нефти.

Выбор вариантов

В таблице 6 приведена упрощенная матрица решений, помогающая определить пригодность имеющихся методов ликвидации.

Таблица 6 *Упрощенная матрица решений для выбора методов ликвидации разливов нефти*

Методы ликвидации	Будет ли ликвидация эффективной в преобладающих условиях?	Достаточно ли будет эффективным, чтобы существенно повлиять на результат в имеющееся время?	Имеется ли необходимое оборудование и персонал?
Сбор и очистка с поверхности моря	Да/Нет	Да/Нет	Да/Нет
Защитное боновое заграждение	Да/Нет	Да/Нет	Да/Нет
Контролируемое сжигание нефти на месте разлива	Да/Нет	Да/Нет	Да/Нет
Использование диспергентов	Да/Нет	Да/Нет	Да/Нет

Наличие «богатого выбора» различных методов ликвидации может привести к путанице и ненужным обсуждениям, но часто реалистичного выбора нет, так как тип разлитой нефти или преобладающие условия диктуют свою комбинацию методов ликвидации разлива, которую следует использовать. Например:

- Если море холодное и разлита нефть с очень высокой вязкостью, например, мазут М-100 (тяжелая топливная нефть для использования на электростанциях), как во время разлива при аварии танкера Prestige у берегов Испании в ноябре 2002 г., использование диспергентов, вероятно, не будет эффективным, и все усилия следует направить на удаление нефти с поверхности моря и защиту береговой линии.
- Если условия разлива сырой нефти и состояние моря слишком неблагоприятны для эффективного использования боновых заграждений и скиммеров, следует рассмотреть возможность использования диспергентов – и возможные последствия. Дополнительно установливаются защитные боновые заграждения в особо чувствительных к нефти районах, потому что никакой метод ликвидации разливов нефти в море, вероятно, не будет эффективным на 100%.

Необходимо сравнить все возможные варианты методов ликвидации и сопоставить их преимущества и недостатки, а также сравнить их с вариантом, не предусматривающим никакого вмешательства и предполагающим естественное восстановление.

Служба береговой охраны США

Дополнительно установливаются защитные боновые заграждения в основных прибрежных районах при использовании диспергентов.

Анализ суммарной экологической пользы (NEBA) и использование диспергентов

Как указано выше, первые два этапа процесса анализа суммарной экологической пользы (NEBA) являются общими для всех методов ликвидации разливов нефти, включая использование диспергентов. Они включают в себя оценку данных и прогнозирование результатов, с акцентом на:

- оценку возможных сценариев разлива и то, куда будет смещена разлитая нефть под влиянием течений и ветра;
- оценку экологических и социально-экономических ресурсов, которые могут пострадать.

На третьем этапе рассматриваются компромиссные решения и дается оценка методам ликвидации разлива нефти, имеющихся в наборе средств:

- будут ли достаточно эффективными для разлитой нефти в преобладающих условиях;
- будут ли способны предотвратить выброс на берег значительного количества нефти в отведенное время;
- реализуемы ли практически при имеющихся ресурсах.

При рассмотрении вопроса использования диспергентов первой задачей этого этапа является оценка эффективности использования диспергентов при разливе нефти в преобладающих условиях.

Большинство типов нефти, которая может быть разлита в море, поддается обработке диспергентами вскоре после разлива. Использование диспергентов осуществимо в широком диапазоне преобладающих морских условий. Когда диспергенты распыляются с больших самолетов, большие площади (а, следовательно, и объемы) разлитой нефти можно обработать быстрее, чем с помощью других методов ликвидации. Таким образом, во многих случаях использование диспергентов может быть эффективным и реализуемым. Определяющим фактором может быть наличие оборудования для распыления диспергента и квалифицированного персонала; данные факторы должны быть учтены в планах ликвидации аварийных разливов нефти. Если ясно, что использование диспергентов вряд ли будет успешным для данного типа нефти, в данных преобладающих условиях или из-за недостатка времени, следует рассмотреть альтернативные методы ликвидации разливов в море, впрочем, большинство их также будет ограничиваться теми же факторами.

Поэтому оперативный анализ на данном этапе пришел к заключению, что использование диспергентов является оправданным выбором метода ликвидации разливов. Следующая задача состоит в рассмотрении последствий, преимуществ и потенциальных рисков использования диспергентов.

Преимущества и потенциальные риски использования диспергентов можно резюмировать следующим образом:

- Преимуществом использования диспергентов является минимизация экологического и социально-экономического ущерба за счет удаления нефти с поверхности моря, предотвращения загрязнения нефтью чувствительной прибрежной среды обитания и береговой линии и усиления процессов естественного биологического разложения.
- Потенциальным недостатком использования диспергентов является то, что морские организмы, обитающие в верхнем слое толщи воды, будут подвергаться кратковременному воздействию диффузного облака диспергированных капель нефти и растворимых в воде соединений нефти в толще воды, в отличие от ситуации, если бы диспергенты не использовались. Диспергированная нефть может оказывать токсическое воздействие на морские организмы.

Решение об использовании или не использовании диспергентов иногда рассматривается как компромисс: то есть, нужно воспринять неизбежность ущерба для береговых ресурсов, если диспергент не будет применен, или для морских организмов, если диспергент будет применен. Смысл «компромисса» заключается в том, что нужно сделать выбор между некоторым ущербом от воздействия дрейфующей нефти к побережью, и таким же ущербом, обусловленным рассеянием нефти в толще воды. Однако это не так, и это одно из наиболее частых заблуждений в вопросе применения диспергентов. Когда разлитая нефть перемещается по поверхности моря и в толщу воды, то при обработке

диспергентом потенциальный ущерб для этих двух экологических объектов не является эквивалентным. Ущерб для толщи воды в открытом море от диспергированной нефти может быть намного меньше, чем ущерб, который недиспергированная нефть может нанести береговой линии и прибрежным районам.

Преимущества использования диспергентов

Плавающая нефть, которая дрейфует у берега над водорослями или прибивается к берегу в особо уязвимых прибрежных местах обитания, таких как илистые или заболоченные участки, может нанести серьезный и долгосрочный вред этим местам обитания, а также популяциям и сообществам птиц, млекопитающим и другим видам, обитающим на береговой линии. Восстановление некоторых из этих сообществ, обитающих на береговой линии, после загрязнения нефтью может занять годы и даже десятилетия. Использование диспергентов может предотвратить нанесение этого вреда. Более подробная информация о гораздо более медленном восстановлении потенциала уязвимых участков береговой линии, по сравнению с открытым водным пространством, приведена в практических рекомендациях IPIECA-IOGP о влиянии разливов нефти на морскую экологию (IPIECA-IOGP, 2015) и береговую линию (IPIECA-IOGP, 2015a).

Dreamstime.com

Болотистые участки, например, мангровые заросли, особенно чувствительны к долгосрочному вреду, нанесенному плавающей нефтью.

Кроме того, удаление плавающей нефти снижает угрозу для животных, обитающих на поверхности. Промышленный водозабор морской воды, туристические пляжи и другие прибрежные и береговые промышленные и бытовые объекты также будут защищены, если нефть будет диспергирована в открытом море.

Потенциальные риски использования диспергентов

Накопленный опыт в ходе ликвидации нескольких крупных разливов нефти показал, что негативное воздействие на морские организмы, вызванное повышенной концентрацией диспергированной нефти в воде при глубине 10 м и более из-за использования диспергентов, было локализованным и непродолжительным (Baker *и др.*, 1984). Большое количество результатов проведенных исследований токсичности указывает на то, что влияние реалистичного воздействия диспергированной нефти на разумных глубинах будет относительно небольшим и локализованным. Экологические исследования и мониторинг после крупных разливов нефти неоднократно показывали, что популяции и сообщества организмов, обитающих в толще воды (например, водоросли и зоопланктон), после кратковременного воздействия диспергированной нефти в воде восстанавливаются гораздо быстрее, чем популяции и сообщества птиц, млекопитающих, морских водорослей, солончак или мангровые леса, которые могут быть подвержены воздействию нефти в виде плавающего пятна и или выбрашенной на берег.

Wellcome Images

Популяции планктона быстро восстанавливаются от последствий кратковременного воздействия диспергированной нефти.

Поэтому рассмотрение преимуществ и недостатков использования диспергентов должно учитывать величину тяжелого и долговременного вреда, причиненного чувствительной к нефти прибрежной среде обитания и социально-экономическим ресурсам, который можно было бы *предотвратить путем использования диспергентов*, и сравнивать его с сильно локализованным и краткосрочным влиянием, которые могут быть *вызваны в морской среде путем использования диспергентов*.

Таблица 7 *Преимущества и недостатки использования диспергентов*

Преимущества	Недостатки
• Достигает и обрабатывает значительно большее количество нефти, чем другие методы ликвидации разливов. • Может применяться в широком диапазоне погодных условий. • Ускоряет удаление нефти из толщи воды путем повышения биологического разложения. • Предотвращает смещение нефти к береговой линии, снижая угрозу для экологических и социально-экономических объектов. • Снижает потенциал вредных паров в непосредственной близости от места разлива, и, следовательно, обеспечивает преимущество с точки зрения безопасности. • Устраняет необходимость возможного проведения крупномасштабных и продолжительных операций очистки береговой линии. • Исключает образование большого объема отходов, что часто связано с операциями очистки береговой линии.	• Не собирает нефть непосредственно из окружающей среды, а перемещает ее с поверхности в толщу воды. • Потенциальное воздействие диспергированной нефти на морскую флору и фауну в толще воды (предполагается непродолжительное и локализованное воздействие). • Может быть неэффективным при высокой вязкости нефти в холодных морях. • Имеет ограниченное во времени «окно возможности» для применения после разлива. • Возможное влияние на доверие рынка в области рыболовства из-за неправильного понимания воздействия диспергентов на морепродукты.

Результат анализа суммарной экологической пользы (NEBA), оправдывающий использование диспергентов при разливе нефти в воде при глубине более 10–20 м, как правило, ясен: потенциальная польза велика, а потенциальный риск очень мал (Kucklick *и др.*, 1997). Проведен ретроспективный анализ суммарной экологической пользы (NEBA) по поводу использования диспергентов при разливе нефти после аварии танкера Sea Empress, подтверждающий, что использование диспергента обеспечило суммарную экологическую выгоду (Lunel *и др.*, 1997). Береговая охрана США провела ряд семинаров по оценке экологического риска совместно с различными федеральными и государственными органами. Эти семинары рассмотрели последствия и темпы восстановления экосистемы после использования различных вариантов ликвидации разливов нефти на гипотетических разливах в открытой воде в Мексиканском заливе и за его пределами. Аналогичные семинары были проведены в Новой Зеландии и Великобритании. Эти события на основании анализа суммарной экологической пользы (NEBA) отдавали предпочтение использованию диспергентов на поверхности воды во время крупных разливов нефти в открытом море.

Там, где нефть разлилась на воду при глубине менее 10–20 м или вблизи от берега или бухты, целесообразность использования диспергентов следует изучать более тщательно. Сюда, скорее всего, относится тот случай, когда соседние районы береговой линии имеют очень высокую чувствительность к нанесению долговременного ущерба выброшенной недиспергированной нефтью, например, биологически продуктивные болота и мангровые заросли (Baca *и др.*, 2005). Здесь применяемого для общего случая подход (глубины и отдаленности от берега) может оказаться недостаточным, в связи с уменьшением возможности разбавления. Поэтому может потребоваться более конкретная информация о токсичности диспергированной нефти как часть результатов анализа NEBA.

Применение диспергентов

Принципы применения диспергентов на поверхности моря

Диспергент можно распылять на разлитую нефть с ряда платформ, в том числе судов, вертолетов и самолетов различных размеров. Цель любой операции распыления диспергента заключается в том, чтобы точно нанести диспергент на разлитую нефть настолько равномерно, насколько это возможно, и обеспечить рекомендуемую дозировку диспергента.

Размер капель диспергента

Используемая система распыления должна наносить на разлитую нефть капли диспергента с диаметром приблизительно 0,4–0,7 мм, напоминающие мелкий дождь (Lindblom и Cashion, 1983). Более мелкие капли диспергента, вероятно, будут сдуваться с цели ветром, а капли диспергента крупнее 1 мм в диаметре могут проходить сквозь тонкие слои нефти и теряться в воде.

Рекомендуемая дозировка для обработки

Рекомендуемая дозировка применения диспергента на поверхности моря составляет, как правило, 1 часть диспергента на 20–25 частей разлитой нефти. Ее может быть трудно реализовать на практике, поскольку точно оценить толщину плавающей нефти не представляется возможным. Часто полагают, что средняя толщина слоя нефти равна 0,1 мм, хотя фактическая толщина может изменяться в широких пределах (от менее чем 0,0001 мм до более чем 1 мм) на коротких расстояниях. При распылении диспергента неизбежна некоторая локальная избыточная или недостаточная степень дозировки.

Возможности различных систем распыления диспергентов

Успешное использование диспергентов требует планирования и подготовки. Точное распыление диспергента на разлитую нефть с воздушных судов (вертолетов или самолетов) на малой высоте является специализированной задачей, выполнение которой требует подготовки и опыта. Экипажи привлекаемых воздушных судов (VOO) должны быть обучены безопасному и эффективному применению диспергента. Успешное проведение операции распыления диспергента требует хорошей организации и связи между несколькими группами людей.

Распыление диспергентов с судов

Должна использоваться соответствующая судовая система распыления диспергента (ASTM International - международная организация стандартов ASTM - разработала ряд стандартов, касающихся применения оборудования по распылению диспергентов, см. www.astm.org). Некоторые диспергенты можно распылять после разбавления водой, а другие диспергенты не следует использовать таким образом. Система распыления часто состоит из длинных распылительных консолей с несколькими распылительными насадками, которые могут устанавливаться в различных местах судна (на носу, в районе миделя или на корме). Также имеются однонасадочные системы.

Скорость судна будет оказывать непосредственное влияние на концентрацию диспергента, наносимого на нефть: чем выше скорость судна, тем меньше концентрация диспергента, и наоборот (Merlin *и др.*, 1989). Оптимальная скорость будет зависеть от ряда факторов, но, как правило, она лежит в пределах 1-10 узлов. Типичная норма расхода должна составлять 5–20 $м^3/км^2$ (примерно 5–20 американских галлонов/акр). В некоторых районах может потребоваться несколько проходов, чтобы обеспечить нанесение диспергента на толстые пятна нефти.

Cedre

Служба береговой охраны США

Служба береговой охраны США

Любая операция нанесения диспергента должна быть направлена на толстую часть пятна (передний край), а не на тонкие области радужного серебристого блеска. После определения самой толстой части пятна, чаще всего с помощью воздушного наблюдения, нанесение диспергента на толстый слой нефти следует производить «лесенкой» или зигзагами.

Распыление диспергента с самолета

Распыление диспергента с самолета было исследовано в конце 1970-х и начале 1980-х годов (Lindblom и Barker, 1978; Parker, 1979; Cormack, 1983; Lindblom и Cashion, 1983). Существуют несколько систем для распыления диспергента с самолета. К ним относятся NIMBUS, пакет модульной системы распыления с воздуха (MASS), и пакет системы подачи диспергента с воздуха (ADDS). Пакет системы подачи диспергента с воздуха (ADDS) имеет самую большую полезную нагрузку из этих трех систем. Он состоит из съемного резервуара и распылительной системы, которые могут быть установлены на самолете Hercules. Он вкатывается в грузовой отсек самолета и быстро настраивается на доставку и распыление до 5 000 американских галлонов (19 000 л) диспергента. Разрабатываются системы распыления диспергентов для самолетов Boeing 727 и Boeing 737.

Дозаправка диспергентом крупномасштабной воздушной системы между полетами.

BBC США

Чтобы обеспечить точное нанесение диспергента на разлитую нефть, распыление диспергента необходимо проводить на малой высоте. Скорость распыления должна быть настолько низкой, насколько это совместимо с безопасной эксплуатацией воздушного судна. Во время распыления диспергента для экипажа распыляющего самолета не представляется возможным точно определить, где расположены толстые участки нефти. Второй, меньший самолет, летящий на высоте 400–500 футов, должен корректировать действия распыляющего самолета при распылении диспергента на нефть, и подавать команды, например, «распыление включить» и «распыление выключить», в соответствующие моменты времени.

Таблица 8 *Достоинства и недостатки систем распыления диспергентов разного типа*

	Самолетная	Вертолетная	Судовая
Система	• Системы нанесения диспергента разработаны для больших самолетов, например, Boeing 727/737 и Hercules. • Для нанесения диспергента может также использоваться меньший тип распыляющего самолета.	• Вертолеты могут использоваться для установки специализированных распылительных систем «Helibucket».	• Привлекаемые суда (VOO) могут быть оснащены системой распыления диспергента.
Преимущества	• Самолет может быстро добраться до места разлива нефти. • Системы большого самолета могут принимать на борт большой объем диспергента и обрабатывать большие площади нефти в течение относительно короткого периода времени.	• Применение вертолета может быть более целенаправленным, чем применение самолета и, следовательно, может использоваться для обработки небольших «оторванных» разливов.	• Может оставаться на месте выполнения работ в течение длительного времени и принимает на борт большой объем диспергента. • Нанесение диспергента с судов легче обеспечить, чем с самолета, поскольку привлекаемые суда (VOO) могут быть оснащены лодочными распылительными комплектами. • Удобны для контроля эффективности.
Ограничения	• Имеется ограниченное число систем. • Самолеты должны регулярно возвращаться на базу для дозаправки диспергентом. • При расчете возможного количества распылительных прогонов должно учитываться время работы экипажа.	• Вертолеты имеют меньшую дальность действия, чем самолеты. • Как правило, емкость распылительной системы меньше емкости распылительной системы самолета.	• Если палубное пространство используется другим оборудованием, дополнительные возможности для хранения диспергента могут быть ограничены. • Способны охватить меньшую площадь, чем самолетная система.

Вопросы охраны здоровья и безопасности при использовании диспергентов

Основной проблемой для здоровья человека является воздействие сырой нефти или продуктов, которые потенциально могут представлять опасность, в том числе сероводорода и летучих органических соединений (ЛОС), таких как гексан и легкие ароматические соединения. Поскольку нефть выветривается на поверхности моря, более легкие компоненты (ЛОС) быстро испаряются или рассеиваются. Как правило, более тяжелые компоненты, если они не рассеиваются в толще воды, в конечном счете образуют смолистые шарики или пенку и оседают на землю или в донные отложения. Считается, что такая «выветренная» нефть обладает меньшей острой токсичностью для людей и животных, по сравнению со свежей нефтью. Эти выветренные тяжелые фракции еще могут оказывать сильное воздействие на окружающую среду и объекты инфраструктуры, оседая густым слоем.

Во время проведения операций по ликвидации разливов нефти наивысший приоритет имеет безопасность населения и ликвидаторов. Безопасность и охрана здоровья в системе управления инцидентами – это главная задача, которая должна начинаться с верхушки управления и проникать на все уровни внутри организаций, участвующих в мероприятиях по ликвидации. Группа управления должна назначить лицо и группу поддержки, способных взять на себя ответственность за обеспечение безопасности и охраны здоровья при проведении всех операций по ликвидации разливов нефти. Ответственное лицо должно рассмотреть такие вопросы, как мониторинг и поддержание осведомленности о текущей и развивающейся ситуации, оценка опасных и рискованных ситуаций и разработка мер для обеспечения безопасности персонала. К числу этих мер относятся:

- Первоначальная оценка места проведения работ с документированием процессов. Основные цели: идентификация опасности; оценка рисков; выбор и защита ликвидаторов, в том числе с местной рабочей силы; предоставление данных о районировании, специализированного оборудования и средств индивидуальной защиты в этих районах; запрет движения танкеров, рыболовных и прогулочных судов в районе ликвидации разливов нефти; оценка необходимости обучения, а также определение областей специальной обработки. Квалифицированный персонал, т.е. персонал, имеющий соответствующую подготовку и опыт в вопросах, связанных с безопасностью при разливах нефти, который осуществляет организацию и контроль за выполнением работ по ликвидации разлива.
- Разработка и реализация Плана обеспечения безопасности и охраны здоровья на месте проведения работ (SSHP): информацию для разработки этого плана можно получить от компетентных специалистов в области охраны здоровья и безопасности, а также по результатам оценки риска и экологического мониторинга. Этот план следует регулярно пересматривать с учетом результатов предлагаемых или выполняемых мероприятий в области безопасности и охраны здоровья.

При оценке риска во время проведения операций с диспергентами следует учитывать два вопроса:

1. Есть ли опасность воздействия?
2. Если есть опасность воздействия, какие защитные меры могут устранить это воздействие?

Растворители для современных диспергентов выбираются исходя из необходимости повышения производительности и снижения токсичности, и в основном используются в качестве носителя для доставки поверхностно-активного вещества к нефти. Как уже упоминалось ранее, многие из поверхностно-активных веществ, используемых в диспергентах, также встречаются в бытовых чистящих средствах, шампунях, моющих средствах, мыле и пищевых продуктах. Каждый диспергент должен иметь паспорт безопасности продукта (SDS), определяющий возможную опасность, в том числе опасность для здоровья человека, а также средства контроля за воздействием и необходимость индивидуальной защиты. Паспорт безопасности продукта (SDS) следует изучить, и на его основании принять надлежащие меры для минимизации риска для здоровья людей.

Ключом к управлению потенциальным риском для здоровья, связанным с диспергентами, является обеспечение оценки возможных путей воздействия с их последующим устранением или сокращением до минимума. При работе с диспергентами это достигается организацией соответствующего контроля во время их хранения, обработки и распыления, а также использованием соответствующих средств индивидуальной защиты (СИЗ) для защиты кожи или глаз. Рекомендуемые средства индивидуальной

защиты для операторов на судне включают: непроницаемый костюм; спасательный жилет; устойчивые к воздействию химикатов очки и перчатки; средства защиты слуха (во время работы техники); ботинки со стальным носком и респиратор. Палубы судна должны быть вымыты морской водой, если с диспергентом ведутся работы на борту, так как диспергент делает палубы чрезвычайно скользкими.

При распылении с морских или воздушных судов должны быть установлены запретные зоны для других судов, участвующих в ликвидации разлива, а также для судов, связанных с транспортированием, рыбным промыслом или используемых для отдыха. Эти зоны обеспечивают безопасность низколетящих самолетов при распылении, но в обоих случаях эти запретные зоны должны также учитывать возможность распространения ветром капель и аэрозолей, образующихся при распылении. Это позволит устранить потенциальный риск воздействия на других ликвидаторов аварии, а также широкие массы людей. В общем, люди вряд ли будут подвергаться воздействию диспергированной нефти, поскольку диспергированная нефть будет смешиваться с толщей воды и разбавляться вдали от берега и от людей. В маловероятном случае, когда воздействие все-таки произойдет, можно ожидать, что краткосрочное воздействие диспергированной нефти будет иметь последствия, аналогичные воздействию самой нефти.

Если наблюдатели находятся рядом с местом распыления диспергента, они также должны надевать соответствующие СИЗ; воздействие на наблюдателей, как правило, сводится к минимуму, если они не приближаются непосредственно к месту распыления. Обычно диспергент распыляют на разлитую нефть на некотором расстоянии от берега, поэтому широкие массы людей не будут подвергаться воздействию распыленного диспергента.

Обоснование эффективности применения диспергентов в море

Необходимо контролировать эффективность распыления диспергента, чтобы гарантировать диспергирование разлитой нефти.

Выпускаются комплекты для проверки успешности использования диспергентов в полевых условиях (AMSA, 2012). До начала полномасштабной операции должно проводиться контрольное распыление диспергента на разлитую нефть.

Визуальная оценка эффективности диспергентов

Визуальное наблюдение требует хороших условий для обзора. Успешное применение диспергента должно привести к тому, что разлитая нефть, которая перемещается в толщу воды, будет иметь вид цветного облака или шлейфа светло-коричневого цвета («кофе с молоком»), которое медленно исчезает из поля зрения по мере разбавления диспергированной нефти водой. Шлейф диспергированной нефти не может образоваться сразу, так как для диспергирования обработанной диспергентом нефти требуется воздействие волн. Следовательно, отсутствие облака сразу после обработки не означает, что диспергент неэффективен. Шлейф диспергированной нефти может дрейфовать под нефтью, остающейся на поверхности моря, и может быть недоступен для наблюдения. Если диспергент не попал на нефть или попал на очень вязкую или сильно эмульгированную нефть, появится молочно белый шлейф.

Д-р Tim Lunel

Белый шлейф указывает на то, что диспергент неэффективен в отношении данной нефти с высокой вязкостью.

Протокол SMART

Протокол SMART (специальная система мониторинга применяемых технологий реагирования) был разработан службой береговой охраны США совместно с другими участниками (Henry *и др.*, 1999; Henry и Roberts, 2001). Целью данного мониторинга является оценка оперативной эффективности применения диспергента и принятие решения, работает она или нет. Контроль воздействия диспергированной нефти не является задачей этого протокола. Протокол специальной системы мониторинга применяемых технологий реагирования (SMART) предусматривает три уровня

мониторинга, как описано ниже (обратите внимание, что они не связаны с уровнями реагирования, используемыми при планировании ликвидации аварийных разливов нефти):

Уровень 1: Визуальный контроль (как описано в предыдущем подразделе).

Уровень 2: Сочетает визуальный контроль с группой на воде, проводящей мониторинг водяного столба в реальном времени (с помощью флуорометра) на одной глубине с забором проб воды для последующего анализа.

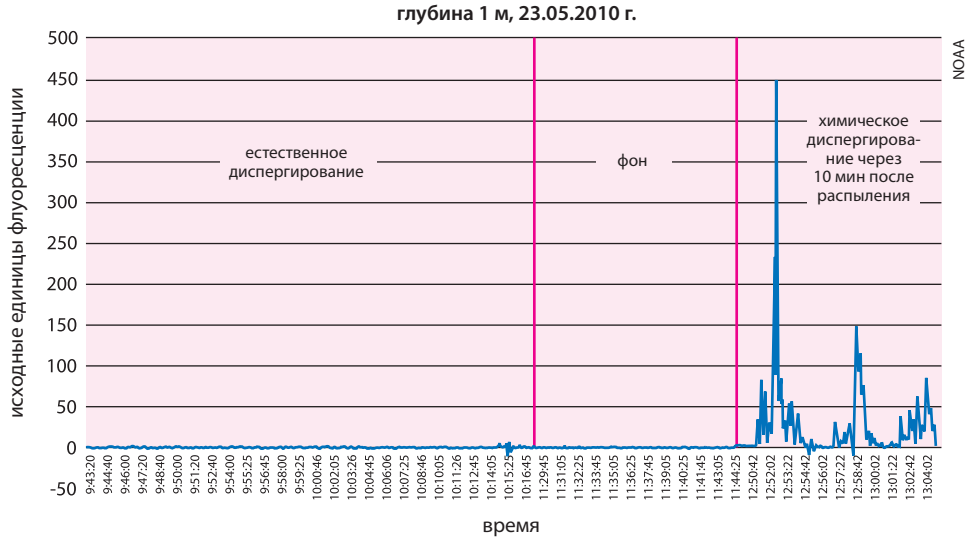
Уровень 3: Расширяет мониторинг воды, предусмотренный уровнем 2, для удовлетворения требований к информационному сопровождению происшествия. Может включать мониторинг на нескольких глубинах (с использованием флуорометра), а также проводить измерения качества воды или более обширных проб воды.

Флуорометр используется для измерения характеристик ультрафиолетовой флуоресценции (UVF) нефти в воде (Hurford *и др.*, 1989). В соответствии с протоколом специальной системы мониторинга применяемых технологий реагирования (SMART), ультрафиолетовая флуоресценция (UVF) используется в качестве сравнительного метода. Сигнал ультрафиолетовой флуоресценции (UVF) на разной глубине моря измеряется в тех местах, где: (i) нефть отсутствует на поверхности моря (фон); (ii) нефть присутствует на поверхности моря (естественное диспергирование); и (iii) где нефть недавно подвергалась обработке диспергентом (химическое диспергирование). Значительно более мощные сигналы ультрафиолетовой флуоресценции (UVF) из мест, где нефть подвергалась обработке диспергентом, по сравнению с фоном или с сигналом от необработанной нефти, показывают, что нефть диспергирована в воде. Пробы воды, содержащей диспергированную нефть, следует использовать для калибровки сигнала ультрафиолетовой флуоресценции (UVF), но ультрафиолетовая флуоресценция (UVF) в этих условиях не может быть количественной характеристикой, так как измерения производятся только в небольшой части воды, которая может содержать диспергированную нефть.

Служба береговой охраны США

Сверху: подготовка флуорометра для контроля эффективности диспергента.

Рисунок 15 *Пример результата мониторинга с помощью флуорометра для оценки эффективности применения диспергента с судна*



Слева: Пример результатов флуорометрического контроля для оценки эффективности диспергента.

Для достижения успешного результата во время ликвидации разливов нефти важное значение имеют гибкость и адаптивность (OSRL, 2011). План отбора проб определяется многими факторами, например, наличием оборудования и персонала, условиями работы и окном возможности для применения диспергентов. Необходимость обеспечения гибкости при планировании отбора проб, проведении работ

и быстром реагировании (возможно, с участием привлекаемого судна) может определять характер и степень мониторинга. Отправка судна в зону, в которой производилось распыление с воздуха, может оказаться сложной задачей, поскольку диспергированное облако может отделиться от оставшейся плавающей нефти, и его будет трудно обнаружить. Этот мониторинг наиболее эффективен, когда распыление производится с судна, но проблемы все равно остаются. В тех случаях, когда первичная обработка осуществляется воздушными системами, мониторинг текущей оперативной эффективности на выветриваемой нефти может осуществляться на воде со специализированного судна, предназначенного для мониторинга. Более подробная информация приводится в отчете IPIECA-IOGP о проведении мониторинга эффективности диспергентов (IPIECA-IOGP, 2015f).

Примеры использования диспергентов

Отчеты об авариях свидетельствуют о том, что на протяжении почти четырех десятилетий с 1968 по 2007 г. диспергенты использовались приблизительно в 210 операциях по ликвидации разливов нефти (Steen, 2008). Многие из этих работ выполнялись в относительно ограниченном масштабе с использованием небольшого количества диспергента. Обзор базы данных ITOPF (Международной Федерации владельцев танкеров по предотвращению загрязнения) о разливах нефти выявил, что из 258 происшествий на море, которые относятся к компетенции ITOPF, в период с 1995 по 2005 г. в 46 (18%) из них использовались диспергенты (Chapman *и др.*, 2007).

с разливом нефти в феврале 1996 г. возле Милфорд-Хейвен, Уэльс, Великобритания (Harris, 1997; Edwards и White, 1999). Около 72 000 т сырой нефти Forties вытекло в море с севшего на мель судна в течение семи дней. В общей сложности на нефть, оказавшуюся на поверхности моря, с самолетов было распылено 446 т диспергентов. По имеющимся оценкам (SEEEC, 1996), 40% (±5%) нефти испарилось, 2,5-5,5% удалено из моря и с берега, а 2-6% выброшено на берег и осело на дно. По имеющимся оценкам, 52% (±7%) нефти диспергировано в открытом море и, по сравнению с данными, полученными из тщательно контролируемых морских испытаний, далее было подсчитано, что 14% (±7%) было диспергировано естественным путем и 38% (±14%) было диспергировано благодаря применению диспергентов (Lunel *и др.*, 1997). Следовательно, благодаря использованию диспергентов, рассеяно по меньшей мере 18 000 т и, возможно, еще 38 000 т нефти в море. Воздействие на морскую флору и фауну находилось под контролем (SEEEC, 1996; Law *и др.*, 1997; Dyrynda *и др.*, 1997; Law *и др.*, 1998; Law и Kelly, 2004). Высокая концентрация диспергированной нефти в воде, привела к заметному изменению флоры и фауны на морском дне, но восстановление было быстрым, и не было стойкого загрязнения отложений приливоотливной зоны.

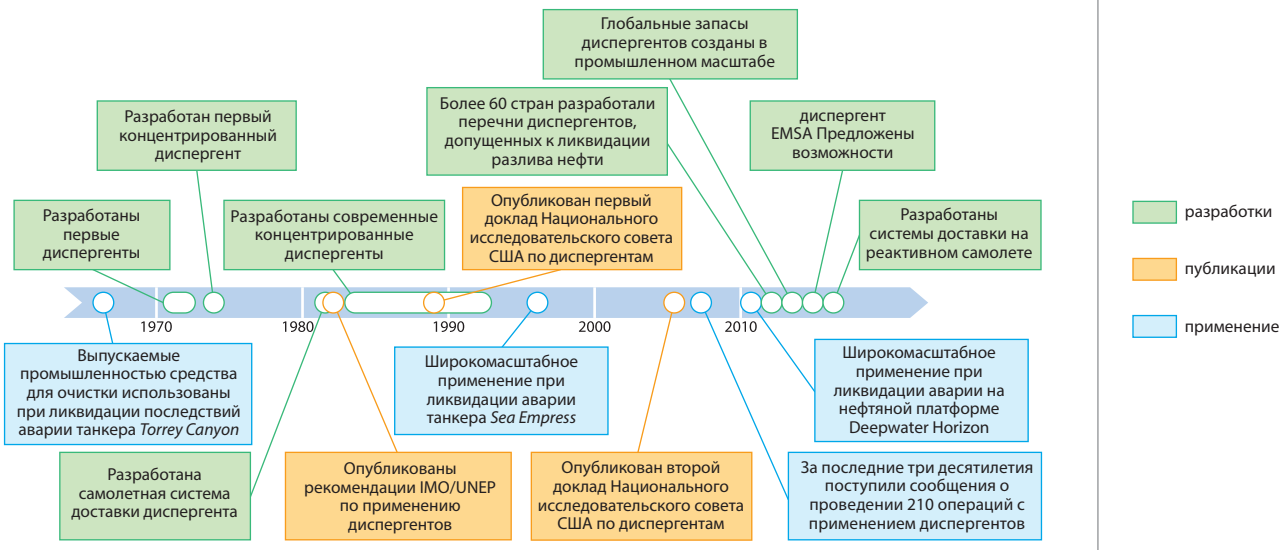
Более 3 500 тонн диспергента было применено с воздуха в Мексиканском заливе во время ликвидации аварии на месторождении Макондо в 2010 г.

Служба береговой охраны США

При ликвидации разлива нефти в результате аварии на месторождении Macondo в Мексиканском заливе в 2010 г. в общей сложности на разлитую нефть было распылено 3 857 т диспергентов, из них 3 511 т с самолета (Gass *и др.*, 2011 и Joeckel *и др.*, 2011) и 346 т с судов, (National Commission, 2011). Отбор проб воды и использование протоколов системы мониторинга применяемых технологий реагирования (SMART) показали эффективность применения диспергентов (BenKinney *и др.*, 2011; Levine *и др.*, 2011). Количество нефти при подводном разливе нефти, которая достигла поверхности моря, не оценивалась с какой-либо степенью определенности, и поэтому оценить количество диспергированной нефти не было возможности.

Использование диспергентов является признанной и проверенной частью набора средств, используемых во многих странах для минимизации возможных экологических и социально-экономических последствий морских разливов нефти. На рисунке 16 показаны основные события, касающиеся разработки диспергентов, их применения и выпуска публикаций в хронологической последовательности.

Рисунок 16 *Хронологическая последовательность основных событий, касающихся разработки диспергентов (зеленые), их применения (синие) и выпуска публикаций (оранжевые)*



EMSA – Европейское агентство по безопасности на море IMO – Международная морская организация

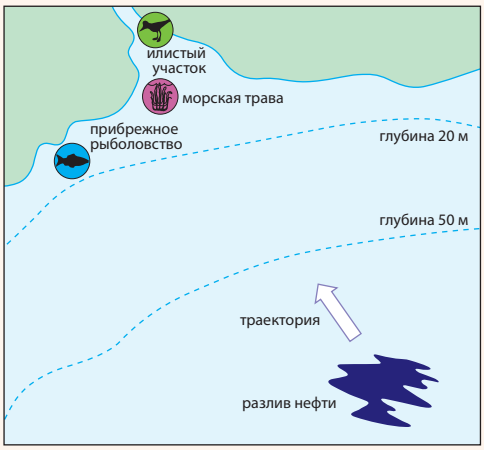
UNEP – Программа Организация Объединенных Наций по окружающей среде US NRC – Национальный исследовательский совет США

Типичные сценарии возможного использования диспергентов

Рассматриваемые ниже сценарии иллюстрируют факторы, которые необходимо учитывать при рассмотрении вопроса об использовании диспергентов как одного из вариантов ликвидации разливов нефти. В каждом случае предполагается, что с точки зрения логистики представляется возможным применить диспергенты.

Сценарий 1

Танкер с сырой нефтью столкнулся с сухогрузом в 15 морских милях от берега при глубине моря 70 м. Несколько тысяч тонн легкой сырой нефти вылилось на поверхности моря.



- Нефтяное пятно дрейфует к берегу под влиянием господствующего ветра со скоростью 15 узлов.
- Высота волн – около 1–1,5 м.
- Температура морской воды – 15 °C.
- Есть рыболовные угодья ближе к побережью и травянистое дно на мелководье.
- Прибрежные ресурсы, которые могут пострадать от нефти, включают эстуарный илистый участок, который поддерживает большую популяцию болотных птиц.

Целесообразность применения диспергентов

При преобладающих условиях разлитая нефть достигнет берега примерно через 30–40 часов после разлива. За это время разлитая нефть станет «выветренной» и эмульгированной. Объем разлитой нефти сначала уменьшается из-за потерь при испарении, а затем увеличивается за счет эмульгирования. Если разлито 3 000 тонн нефти, то может образоваться более 10 000 тонн эмульгированной нефти.

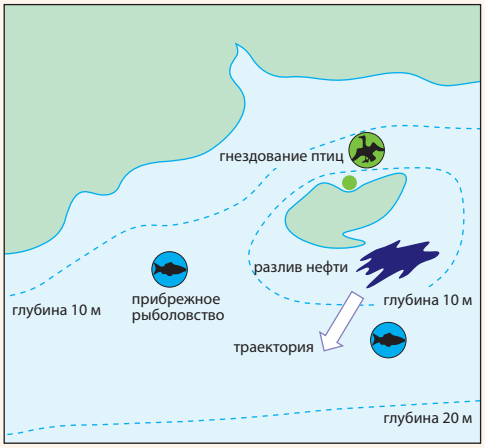
Уязвимость прибрежной и береговой зон высока, и их защита от нефти приведет к большой экологической выгоде. Эстуарный илистый участок биологически продуктивен, и его трудно защитить как с помощью боновых заграждений, так и очистить в случае загрязнения нефтью.

Маловероятно, что сбор и очистка поверхности моря или контролируемое сжигание нефти на месте разлива в одиночку могут справиться с таким количеством разлитой нефти в отведенное время. Большинство типов легкой сырой нефти поддается обработке диспергентами вскоре после разлива. Было бы важно получить информацию о температуре застывания сырой нефти и убедиться, что она намного ниже 15 °C. Вязкость и температура застывания нефти будут расти в процессе «выветривания». Преобладающие условия – высота волн 1–1,5 м и скорость ветра 15 узлов – благоприятны для использования диспергентов. Эффективность использования диспергентов необходимо будет контролировать.

Обработка диспергентами разлитой нефти как можно дальше от берега будет эффективной частью ликвидации разлива и подкреплена результатами (анализа суммарной экологической пользы) NEBA.

Сценарий 2

Большой паром сел на мель на скалистом острове. Топливный бак был разорван, и несколько тысяч литров судового дизельного топлива (MDO) вытекло на поверхность моря при глубине моря 2–3 м возле парома.



- На пароме установлены высокоскоростные дизельные двигатели, работающие на судовом дизельном топливе.
- Температура морской воды – 15 °C.
- Нефть перемещается под воздействием ветра, дующего с берега со скоростью 15 узлов, в сторону открытого моря в более глубоководную зону.
- Высота волн – около 1–1,5 м.
- На скалах острова находится важная зона гнездования птиц.
- Остров находится в середине зоны крупного рыбного промысла.

Целесообразность применения диспергентов

Разлитое судовое дизельное топливо (MDO) будет дрейфовать от берега и естественным образом диспергироваться и рассеиваться в течение одного-двух дней в преобладающих условиях. Поэтому водорастворимые соединения нефти и естественным образом диспергированная нефть неизбежно будут попадать в воду, хотя много нефти в конечном счете испарится.

Рыбный промысел может быть временно запрещен из-за наличия естественно диспергированной нефти в воде. Птицы из гнездовой колонии могут пострадать, ныряя через нефть на поверхности моря.

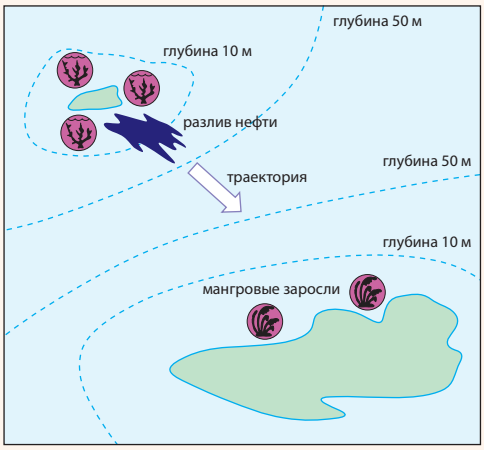
Удаление и сбор с поверхности моря и контролируемое сжигание нефти на месте разлива вряд ли будут эффективными; разлитое судовое дизельное топливо будет быстро растекаться и образовывать очень тонкий слой. Его нецелесообразно концентрировать боновыми заграждениями для сбора с помощью скиммеров или сжигания. Несмотря на то, что преобладающие условия благоприятны для использования диспергентов, этот метод не подходит для ликвидации разливов судового дизельного топлива. Диспергирование судового дизельного топлива в толще воды дополнительно увеличивает концентрацию нефти в воде, уже повышенную вследствие естественного рассеяния, безо всякой пользы, так как нефть дрейфует в открытое море и не угрожает прибрежным и береговым ресурсам.

Применять диспергенты не следует, поскольку это не принесет никакой суммарной экологической выгоды. Ситуацию следует держать под контролем, но такие активные ликвидационные операции в море, как сбор и удаление нефти с поверхности моря или контролируемое сжигание нефти на месте разлива, не имеют больших шансов на успех.

... Типичные сценарии возможного использования диспергентов (продолжение)

Сценарий 3

Большой сухогруз сел на мель на коралловом рифе в группе островов. Коралловый риф окружает маленький островок, находящийся в 5 морских милях от более крупного тропического острова. Топливный бак разорван, и 50 тонн мазута IFO-180 вытекло на поверхность моря.



- Нефтяное пятно дрейфует от маленького островка в сторону большого острова под влиянием преобладающего ветра, дующего со скоростью 5 узлов.
- Глубина моря на месте посадки на мель всего 3 м. Между двумя островами есть более глубокое место (70 м).
- Высота волн – около 0,2–0,3 м.
- Температура морской воды – 25 °C.
- Обширные площади побережье большого острова заняты мангровыми зарослями, которые находятся под угрозой загрязнения нефтью.

Целесообразность применения диспергентов

В зависимости от преобладающих течений, разлитой нефти понадобится около 35 часов, чтобы достичь берега большого острова. В спокойных условиях эмульгирование воды в нефти будет происходить медленно.

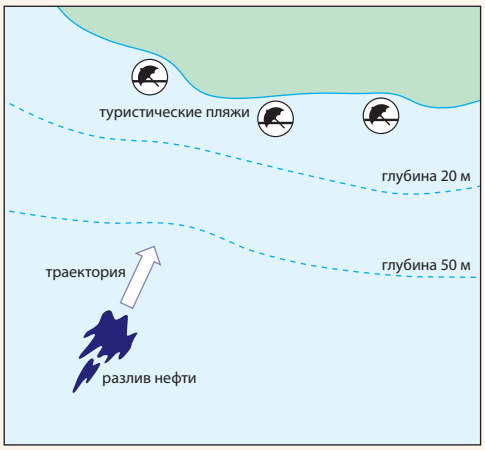
Судно село на мель на коралловом рифе, окружающем небольшой островок, поэтому нефть будет плавать над рифом. Мангровым зарослям с высоким биоразнообразием может быть нанесен долгосрочный ущерб от удушения нефтью. Стратегическим приоритетом должно быть предотвращение дрейфа нефти на берег большого острова и к этим мангровым зарослям.

Сбор и удаление нефти с поверхности моря с помощью боновых заграждений и скиммеров были бы целесообразными при преобладающих условиях. Контролируемое сжигание на месте разлива неэффективно для этого сорта мазута. Обработка диспергентами должна давать эффект для этого класса мазута при температуре воды в море 25 °C.

Этот сценарий разлива требует скоординированного применения методов ликвидации. Обработка диспергентами должна быть сосредоточена на нефти, дрейфующей на участках воды с глубиной более 10 –20 м, где понятная суммарная экологическая выгода может быть достигнута за счет сокращения объема нефти, угрожающей мангровым зарослям. Диспергирование нефти в более мелких водах возле маленького островка может нанести дополнительный ущерб находящимся под водой кораллам, поэтому оно не оправдано с точки зрения анализа суммарной экологической пользы (NEBA). На мелководье у побережья большого острова должно быть развернуто оборудование для сбора и удаления нефти с поверхности моря, чтобы удалить нефть, которая не была обработана диспергентами. Там, где это возможно, должны быть развернуты защитные боновые ограждения, чтобы не допустить нефть к мангровым зарослям на большом острове.

Сценарий 4

Подводный трубопровод для экспорта сырой нефти с морской установки был разорван сейсмическим явлением. По результатам оценки установлено, что в общей сложности 300 т тяжелой сырой нефти достигли поверхности моря с глубины 100 м до того, как трубопровод был изолирован, и медленное высвобождение нефти продолжается, так как поврежденный трубопровод заполняется морской водой.



- Нефтяное пятно дрейфует к берегу, который находится на расстоянии 30 морских миль, под влиянием господствующего ветра со скоростью 25 узлов.
- Высота волн – около 3–4 м.
- Температура морской воды – 15 °C.
- Прибрежные ресурсы включают несколько находящихся по соседству туристических курортов с песчаными пляжами.

Целесообразность применения диспергентов

Нефть, вероятно, начнет поступать на берег примерно через 40–48 ч после ее разлива в море. В бурном море прогнозируется быстрое «выветривание» тяжелой сырой нефти и ее эмульгирование с образованием около 600 т эмульсии.

В основном она угрожает социально-экономической ценности туристических курортов. Если не будет предпринята морская операция по ликвидации разлива в море, песчаные пляжи можно будет очистить с помощью относительно простой операции, но если произойдет выбрасывание нефти на берег, это вызовет немедленное полное прекращение функционирования курортов и, в перспективе, может привести к долгосрочным проблемам, влияющим на репутацию туризма в этом районе.

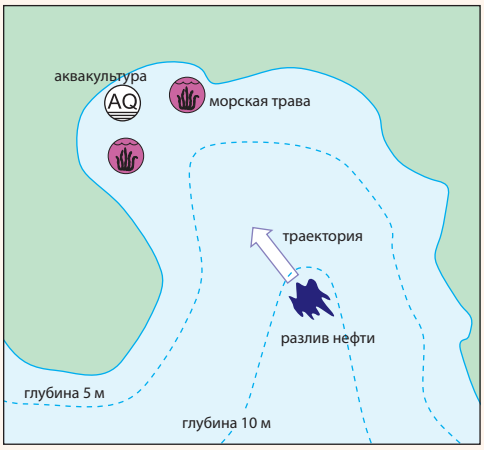
Сбор и удаление нефти с поверхности моря с помощью боновых заграждений и скиммеров или контролируемого сжигания нефти на месте разлива в преобладающих морских условиях не представляется возможным. Обработка диспергентами была бы целесообразной при распылении диспергента с самолета, и должна быть эффективной до критического эмульгирования нефти, которое возможно наступит через 24–36 ч.

Применение диспергентов, а также мониторинг эффективности будут оправданным решением с точки зрения анализа суммарной экологической пользы (NEBA), так как это будет защищать туризм за счет минимизации угрозы для береговой линии.

... Типичные сценарии возможного использования диспергентов (продолжение)

Сценарий 5

Двухкорпусный нефтеналивной танкер с полной грузоподъемностью 35 000 т с грузом легкой сырой нефти потерял управление и сел на мель на скалистом рифе в большом мелководном заливе. Скалистое морское дно пробило отверстие в двух резервуарах, и нефть вытекает в море. Прежде чем судно удастся спасти, около 4 000 т нефти, скорее всего, будут потеряны.



- Нефть дрейфует в сторону скалистого берега, который находится в 15 морских милях, под действием преобладающего ветра, дующего со скоростью 20 узлов.
- Высота волн – 2–2,5 м.
- Море у берега не глубокое, глубиной 5–10 м.
- На мелководье есть обширные заросли водорослей.
- Существуют обширные устричные отмели и другие объекты аквакультурной деятельности ближе к берегу.

Целесообразность применения диспергентов

Разлитая нефть будет дрейфовать через мелководье до подхода к берегу приблизительно в течение 24 часов.

Уязвимые ресурсы, например, заросли водорослей, устричные отмели и другие объекты аквакультурной деятельности, могут пострадать от нефти, которая естественным образом диспергируется в воде в преобладающих условиях. Часть нефти, которая в дрейфует на скалистый берег, будет впоследствии повторно перемещена приливами и оказывать длительное воздействие, хотя его возможные последствия со временем будут уменьшаться из-за выветривания.

Сбор и удаление с поверхности моря и контролируемое сжигание нефти на месте разлива вряд ли будут эффективными методами ликвидации в преобладающих условиях. Диспергирование нефти в относительно мелкой воде будет подвергать уязвимые ресурсы воздействию повышенной концентрации нефти, хотя, скорее всего, приливно-отливные явления довольно быстро удалят диспергированную нефть.

С учетом всех обстоятельств, а также потому, что преобладающие условия делают другие варианты ликвидации неэффективными, использование диспергентов может быть оправдано с точки зрения анализа суммарной экологической пользы (NEBA), по сравнению с альтернативой не предпринимать никаких активных действий в море. Преимуществом этого подхода будет предотвращение длительного воздействия нефти на уязвимые ресурсы, но за счет временного усиления эффектов, вызванных разлитой нефтью.

Сценарий 6

Нефтеналивной танкер с грузом парафинистой сырой нефти (с температурой застывания +27 °C и нагретой до 35 °C для транспортирования) столкнулся с сухогрузом в густом тумане при приближении к нефтяному терминалу и гавани. Крыльевой танк на этом танкере был поврежден выше ватерлинии. Около 1000 тонн сырой нефти вылилось на поверхность моря

- Скорость ветра – 1–2 узла, и поднимается густой туман.
- Высота волны – около 0,1 м.
- Температура воды 5 °C, а температура воздуха 0 °C.
- Глубина моря – 30 м.
- Побережье является промышленно развитым районом.

Целесообразность применения диспергентов

Сырая нефть будет быстро затвердевать и превращаться в воскообразные комочки вскоре после контакта с холодным морем. Выветривание нефти будет минимальным с небольшими потерями при испарении и в очень спокойных морских условиях не произойдет эмульгирование. Кусочки затвердевшей нефти будут очень медленно дрейфовать под действием ветра и течений.

Находясь в твердом состоянии, эта нефть представляет небольшую опасность для экологических ресурсов. Опасность удушения мелких обитателей прибрежной зоны является низкой, а потенциал токсического воздействия на морские организмы небольшим при таком физическом состоянии разлитой нефти. Тем не менее, нефть, которая все-таки достигнет береговой линии, может оказаться стойкой и может в конечном итоге внедриться в грунтовую основу береговой линии.

Контролируемое сжигание нефти на месте разлива будет неудачным или неэффективным методом ликвидации разлива. Эту нефть можно окружить боновыми заграждениями и собрать с помощью некоторых типов скиммеров, например, щеточных скиммеров.

Обработку диспергентами проводить не следует, поскольку она будет неэффективной. Самым эффективным методом ликвидации разлива будет сбор и удаление нефти с поверхности моря.

Выводы

Использование диспергентов для разливов нефти является одним из нескольких возможных методов ликвидации разливов нефти на море, которые позволяют удалить плавающую разлитую нефть. Использование диспергентов может быть эффективным способом минимизации общего экологического и социально-экономического ущерба, за счет недопущения попадания нефти на береговую линию и усиления естественных процессов биологического разложения, которые разрушают нефть.

Современные диспергенты представляют собой смеси поверхностно-активных веществ в растворителях. Поверхностно-активные вещества основных диспергентов, используемых сегодня во всем мире, также используются во многих других продуктах, в том числе в товарах широкого потребления. Эти поверхностно-активные вещества являются биологически разлагаемыми. Использование диспергентов значительно повышает скорость и степень естественного рассеяния нефти под действием волн. Поверхностно-активные вещества позволяют энергии перемешивания волн превратить большую часть нефти в мелкие нефтяные капли. Эти капли выталкиваются в верхний слой толщи воды под воздействием волн и удерживаются там за счет турбулентности. Диспергированные капли нефти легко доступны для углеводородо-разлагающих микроорганизмов естественного происхождения в воде. Диспергирование увеличивает площадь поверхности раздела фаз нефть-вода, облегчая биологическое разложение, в результате которого большая часть нефти разлагается в основном на двуокись углерода и воду.

Как и все другие методы, входящие в набор средств для ликвидации разливов нефти, использование диспергентов имеет некоторые ограничения, но в то же время оно обладает возможностями, которые особенно полезны при ликвидации крупных морских разливов нефти. Диспергенты оказывают надлежащее воздействие на большинство типов сырой нефти, но эффективность их применения снижается с увеличением вязкости нефти, вызванной ее «выветриванием». Диспергенты могут оказаться неэффективными при высокой вязкости остаточной топливной нефти в холодных морях или для сырой нефти, температура застывания которой выше температуры морской воды.

По сравнению с другими методами ликвидации разливов нефти, обработка диспергентами часто может оказаться самым быстрым и эффективным методом удаления плавающей нефти:

- Распыление диспергентов с самолета позволяет в течение относительно короткого промежутка времени диспергировать нефть, разлитую в море на большой площади.
- Распыление диспегентов с воздуха позволяет относительно быстро осуществлять ликвидацию разлива нефти в удаленных местах.
- При этом снижается степень воздействия и угроза безопасности для персонала, выполняющего работы по ликвидации, и населения.
- Диспергенты можно использовать в гораздо более сложных морских условиях, которые влияют на эффективность работ по сбору и удалению нефти с поверхности моря или при контролируемом сжигании нефти на месте разлива.

Тем не менее, существует потенциальная опасность диспергированной нефти для морских организмов, обитающих в верхнем слое толщи воды, которые на короткое время подвергаются воздействию диффузного облака диспергированных капель нефти и водорастворимых соединений нефти в большей степени, чем если бы диспергенты не использовались. Диспергированная нефть может оказывать токсическое воздействие на морские организмы.

Нефть содержит небольшое количество растворимых в воде соединений, которые могут оказывать токсическое воздействие на некоторые морские организмы. Степень тяжести токсического воздействия связана с концентрацией этих соединений в воде и времени, в течение которого на эти организмы оказывается воздействие. Морские организмы будут подвергаться воздействию кратковременного резкого повышения концентрации этих соединений и диспергированных капель нефти вскоре после нанесения диспергентов на разлитую нефть. Эти условия воздействия являются гораздо менее серьезными, чем используемые при проведении лабораторных испытаний на токсичность по стандартной методике. Данные исследований токсичности диспергированной нефти указывают на то, что влияние реалистичного воздействия диспергированной нефти на разумных глубинах будет относительно небольшим и локализованным.

Очень важным процессом для эффективной ликвидации возможных разливов нефти является планирование. Чтобы обработка диспергентами была жизнеспособным вариантом ликвидации разлива нефти, их необходимо применять без задержек. Поэтому во время планирования действий по

ликвидации разлива нефти, важно рассмотреть различные аспекты применения диспергентов. Анализ суммарной экологической пользы (NEBA) является частью процесса планирования; он используется сообществом ликвидаторов для выбора наилучших вариантов минимизации воздействия разливов нефти на людей и окружающую среду. Он рассматривает возможные сценарии разлива, вероятные убытки, а также эффективность и реализуемость методов ликвидации.

При рассмотрении вопроса об использовании диспергента первая задача состоит в том, чтобы оценить, будет ли использование диспергента эффективным в преобладающих условиях. Если использование диспергентов будет эффективным, следующая задача состоит в рассмотрении последствий, преимуществ и потенциальных рисков использования диспергентов:

- Преимуществом использования диспергентов является минимизация экологического и социально-экономического ущерба за счет удаления нефти с поверхности моря, предотвращения загрязнения нефтью чувствительной прибрежной среды обитания и береговой линии и усиления процессов естественного биологического разложения.
- Потенциальным недостатком использования диспергентов является то, что морские организмы, обитающие в верхнем слое толщи воды, будут подвергаться кратковременному воздействию диффузного облака диспергированных капель нефти и растворимых в воде соединений нефти в толще воды, в отличие от ситуации, если бы диспергенты не использовались. Накопленный опыт при ликвидации нескольких крупных разливов нефти показал, что негативное воздействие на морские организмы, вызванное повышенной концентрацией диспергированной нефти в воде при глубине более 10 м из-за использования диспергентов, было локализованным и непродолжительным.

Результат анализа суммарной экологической пользы (NEBA) использования диспергентов при разливе нефти в воде при глубине более 10–20 м, как правило, ясен: потенциальная польза велика, а потенциальный ущерб очень мал. Там, где разлитая нефть находится в воде при глубине менее 10–20 м или вблизи от берега или бухты, целесообразность использования диспергентов следует изучить более тщательно.

Относительно использования диспергентов государствам необходимо разрабатывать соответствующие нормативно-правовые акты. Обычно они состоят из двух частей:

1. Порядок утверждения диспергентов: описывает, использование каких диспергентов будет разрешено в национальных водах, и гарантирует, что эти диспергенты обладают надлежащей эффективностью и относительно низкой токсичностью, по сравнению с нефтью.
2. Порядок получения разрешения на применение диспергентов: определяет, где и когда можно получить разрешение, в том числе предварительное, на использование утвержденных диспергентов, допустимых к применению в национальных водах.

Если диспергенты используются, их нужно применять эффективно, т.е. распылять на более толстые участки нефти при рекомендуемой дозировке обработки диспергентом из расчета 1 часть диспергента на 20–25 частей нефти. Распыление диспергентов может выполняться с самолета или судов. Эффективность применения диспергентов должна контролироваться с помощью таких методов, как протокол SMART (специальная система мониторинга применяемых технологий реагирования). Необходимость обеспечения гибкости при планировании отбора проб, проведении работ и быстром реагировании (возможно, с участием привлекаемого судна) может определять характер и степень мониторинга.

Использование диспергентов является признанным и проверенным методом, который является частью набора средств для ликвидации разливов нефти, и может внести существенный вклад в минимизацию экологических и социально-экономических последствий морских разливов нефти.

Литература

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*, Vol. 28, Issue 5, pp. 661-670.

AMSA (2012). *National Plan Oil Spill Dispersant Effectiveness Field Test Kit (Nat-DET): Operational Guide. Revision: June 2012*. Australian Maritime Safety Authority. www.amsa.gov.au/forms-and-publications/Publications/NatDET_Guide_2012.pdf

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.

Atlas, R. M. and R. Bartha (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. In *Bioscience*, Vol. 45, Issue 5, pp. 332-338.

Baca, B., Ward, G.A., Lane, C.H. and Schuler, P.A. (2005). Net environmental benefit analysis (NEBA) of dispersed oil on nearshore tropical ecosystems derived from the 20 year "TROPICS" field study. In *International Oil Spill Conference Proceedings*: Vol. 2005, Issue 1 (May 2005), pp. 453-456. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2005-1-453

Baker, J. M., Cruthers, J. H., Little, D. I., Oldham, J. H. and Wilson, C. M. (1984). Comparison of the fate and ecological effects of dispersed and non-dispersed oil in a variety of marine habitats. In *Oil Spill Chemical Dispersants: Research, Experience, and Recommendations* (T.E. Allen, ed.), pp. 239-279. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.

Becker, K. W., Walsh, M. A., Fiocco, R. J. and Curran, M. T. (1993). A new laboratory method for evaluating oil spill dispersants. In *International Oil Spill Conference Proceedings*: March 1993, Vol. 1993, No. 1, pp. 507-510. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1993-1-507

Bejarano, A. C., Levine, E. and Mearns A. (2013). Effectiveness and potential ecological effects of offshore surface dispersant use during the Deepwater Horizon oil spill: A retrospective analysis of monitoring data. In *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 185, pp. 10281-10295.

Bejarano, A. C. (2014). *DTox: a Worldwide Quantitative Database of the Toxicity of Dispersants and Chemically Dispersed Oil*. A final report submitted to the Coastal Response Research Center, University of New Hampshire. www.crrc.unh.edu/sites/crrc.unh.edu/files/final_report_bejarano_022814.pdf

Belk, J. L., Elliot, D. J. and Flaherty, M. (1989). The comparative effectiveness of dispersants in fresh and low salinity marshes. In *International Oil Spill Conference Proceedings*: February 1989, Vol. 1989, No. 1, pp. 333-336. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1989-1-333

BenKinney, M., Brown, J., Mudge, S., Russell, M., Nevin, A. and Huber, C. (2011). Monitoring Effects of Aerial Dispersant Application during the MC252 Deepwater Horizon Incident. In *International Oil Spill Conference Proceedings*: March 2011, Vol. 2011, No. 1, pp. abs368. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2011-1-368

Blackman, R.A.A., Franklin, F. L., Norton, M. G. and Wilson, K. W. (1978). New procedures for the toxicity testing of oil slick dispersants in the United Kingdom. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 9, Issue 9, pp. 234-238.

Bobra, M. 1991. Water-in-Oil Emulsification: A Physicochemical Study. In *International Oil Spill Conference Proceedings*: March 1991, Vol. 1991, No. 1, pp. 483-488. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1991-1-483

Bragin, G. E., Clark, J. R. and Pace, C. B. (1994). *Comparison of Physically and Chemically Dispersed Crude Oil Toxicity Under Continuous and Spiked Exposure Scenarios*. MSCR Technical Report 94-015. Marine Response Spill Corporation, Research & Development, Washington, D.C. 28pp.

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.

Bridie, A. L., Wanders, Th. H., Zegveld, W. and Van der Heijde, H. B. (1980). Formation, Prevention and Breaking of Sea Water in Crude Oil Emulsions: "Chocolate Mousses." In *Marine Pollution Bulletin,* Vol. 11, Issue 12, pp. 343-348.

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.

Canevari, G. P. (1969). The role of chemical dispersants in oil spill cleanup. In Holt, D. P. (ed.), *Oil on the Sea; Proceedings of a Symposium on the Scientific and Engineering Aspects of Oil Pollution of the Sea*. New York: Plenum Press. pp. 29-51.

Canevari, G. P., Calcavecchio, P., Becker, K. W., Lessard, R. R. and Fiocco, R. J. (2001). Key Parameters Affecting the Dispersion of Viscous Oil. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* March 2001, Vol. 2001, No. 1, pp. 479-483. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2001-1-479

Carls, M. G., Holland, L., Larsen, M., Collier, T. K., Scholz, N. L. and Incardona, J. P. (2008). Fish embryos are damaged by dissolved PAHs, not oil particles. In *Aquatic Toxicology*, Vol. 88, pp. 121-127.

Chapman, H., Purnell, K., Law, R. J. and Kirby, M. F. (2007). The use of chemical dispersants to combat oil spills at sea: A review of practice and research needs in Europe. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 54, Issue 7, pp. 827-838.

Claireaux, G., Theron, M., Prineau, M., Dussauze, M., Merlin, F-X. and Le Floch, S. (2013). Effects of oil exposure and dispersant use upon environmental adaptation performance and fitness in the European sea bass, Dicentrarchus labrax. In *Aquatic Toxicology*, Vol. 130, pp. 160-170.

Clark, J. R., Bragin, G. E., Febbo, R. and Letinski, D. J. (2001). Toxicity of physically and chemically dispersed oils under continuous and environmentally realistic exposure conditions: Applicability to dispersant use decisions in spill response planning. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* March 2001, Vol. 2001, No. 2, pp. 1249-1255. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2001-2-1249

Clark, J. R., Becker, K., Venosa, A. and Lewis, A. (2005). Assessing dispersant effectiveness for heavy fuel oils using small-scale laboratory tests. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* May 2005, Vol. 2005, No. 1, pp. 59-63. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2005-1-59

Clayton, J. R. Jr., Payne, J. R. and Farlow, J. S. (1993). *Oil Spill Dispersants: Mechanisms of Action and Laboratory Tests to Evaluate Performance*. CK Smoley/CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, 113 pp.

Coelho, G., Clark, J. and Aurand, D. (2013). Toxicity testing of dispersed oil requires adherence to standardized protocols to assess potential real world effects. In *Environmental Pollution,* Vol. 177, pp. 185-188.

Colcomb, K., Salt, D., Peddar, M. and Lewis, A. (2005). Determination of the limiting oil viscosity for chemical dispersion at sea. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* May 2005, Vol. 2005, No. 1, pp. 53-58. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2005-1-53

Cormack, D. (1983). *The Use of Aircraft for Dispersant Treatment of Oil Slicks at Sea: Report of a Joint UK Government/Esso Petroleum Company Limited Investigation*. London: Department of Transport, Marine Pollution Control Unit. 83 pp.

Cormack, D. and Nichols, J. A. (1977). The concentrations of oil in sea water resulting from a naturally and chemically induced dispersion of oil slicks. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* March 1977, Vol. 1977, No. 1, pp. 381-385. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1977-1-381

Corner, E. D. S., Southward, A. J. and Southward, E. C. (1968). Toxicity of oil-spill removers ('detergents') to marine life: An assessment using the intertidal barnacle *Elminius modestus*. In *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. Vol. 48, Issue 01, pp. 29-47.

Csanady, G. T. (1973.) *Turbulent Diffusion in the Environment*. Reidel Publishing Company, Boston, Massachusetts.

Daling, P. S., Brandvik, P. J., Mackay, D. and Johansen, Ø. (1990). Characterization of crude oils for environmental purposes. In *Oil and Chemical Pollution*, Vol. 7, pp. 199-224.

Daling, P. S., Mackay, D., Mackay, N. and Brandvik, P. J. (1990). Droplet size distributions in chemical dispersion of oil spills: towards a mathematical model. In *Oil and Chemical Pollution*, Vol. 7, pp. 173-198.

Davies, J. M., McIntosh, A. D., Stagg, R., Topping, G. and Rees, J. (1997). The Fate of the *Braer* Oil in the Marine and Terrestrial Environments. In *The Impact of an Oil Spill in Turbulent Waters: The Braer*. Proceeding of a Symposium held at the Royal Society of Edinburgh, 7–8 Sept 1995. Davies, J. M., and G. Topping (eds.), The Stationery Office. pp 26-41.

Delvigne, G. A. L. (1985). Experiments on Natural and Chemical Dispersion of Oil in Laboratory and Field Circumstances. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* February 1985, Vol. 1985, No. 1, pp. 507-514. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1985-1-507

Delvigne, G. A. L. and Sweeney, C. E. (1988). Natural dispersion of oil. In *Oil and Chemical Pollution,* Vol. 4, pp. 281-310.

Delvigne, G. A. L., Van der Stel, J. A. and Sweeney, C. E. (1987). *Measurements of vertical turbulent dispersion and diffusion of oil droplets and oiled particles*. OCS Study MMS 87-111. Minerals Management Service, Anchorage, Alaska.

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.

Dyrynda, E. A., Law, R. J., Dyrynda, P. E. J., Kelly, C. A., Pipe, R. K., Graham, K. L. and Ratcliffe, N. A. (1997). Modulations in cell mediated immunity of *Mytilus edulis* following the 'Sea Empress' oil spill. In *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, Vol. 77, 281-284.

Edwards, R. and White, I. (1999). The Sea Empress Oil Spill: Environmental Impact and Recovery. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* March 1999, Vol. 1999, No. 1, pp. 97-102. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1999-1-97

ESGOSS (1994). *The Environmental Impact of the Wreck of the Braer*. Report of the Ecological Steering Group on the oil spill in Shetland (ESGOSS). Scottish Office, Edinburgh, UK.

Fiocco, R. J. and Lewis, A. (1999). Oil spill dispersants. In *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 71, No. 1, pp. 27-42.

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.

Gass, M., Albert, V. E., Huber, C., Landrum, R. F. and Rosenberg, E. (2011). Aerial Dispersant Operations in the Deepwater Horizon Spill Response - A Framework for Safely Mounting a Large Scale Complex Dispersant Operation. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* March 2011, Vol. 2011, No. 1, pp. abs262. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2011-1-262

George-Ares, A., Lessard, R. R., Becker, K. W., Canevari, G. P. and Fiocco, R. J. (2001). Modification of the dispersant COREXIT 9500 for use in freshwater. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* March 2001, Vol. 2001, No. 2, pp. 1209-1211. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2001-2-1209

González, J. J., Viñas, L., Franco M. A., Fumega, J., Soriano, J.A., Grueiro, G., Muniategui, S., López-Mahía, P., Prada, D., Bayona, J. M., Alzaga, R. and Albaigés, J. (2006). Spatial and temporal distribution of dissolved/dispersed aromatic hydrocarbons in seawater in the area affected by the *Prestige* oil spill. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 53, Issues 5-7, pp. 250-259. http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.09.039

Goodlad, J. (1996). Effects of the *Braer* oil spill on the Shetland seafood industry. In *The Science of the Total Environment*, Vol. 186, pp. 127-133.

Harris, C. (1997). The *Sea Empress* incident: overview and response at sea. International Oil Spill Conference Proceedings: April 1997, Vol. 1997, No. 1, pp. 177-184. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1997-1-177

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

Henry, C. and Roberts, P.O. (2001). Background fluorescence values and matrix effects observed using SMART protocols in the Atlantic Ocean and Gulf of Mexico. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* March 2001, Vol. 2001, No. 2, pp. 1203-1207. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2001-2-1203

Henry, C. B., Roberts, P. O. and Overton, E. B. (1999). A primer on in-situ fluorimetry to monitor dispersed oil. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* March 1999, Vol. 1999, No. 1, pp. 225-228. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1999-1-225

Hurford, N., Buchanan, I., Law, R. J. and Hudson, P. M. (1989). Comparison of two fluorometers for measuring oil concentrations in the sea. In *Oil and Chemical Pollution*, Vol. 5, 379-389.

IPIECA-IOGP (2012). *Oil spill responder health and safety.* IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 480. http://oilspillresponseproject.org

IPIECA-IOGP (2013). *Dispersant logistics and supply planning.* Report of the IOGP Global Industry Response Group (GIRG) response to the Deepwater Horizon incident in the Gulf of Mexico in April 2010, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). 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 Deepwater Horizon incident in the Gulf of Mexico in April 2010, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). http://oilspillresponseproject.org

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

IPIECA-IOGP (2015a). *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

IPIECA-IOGP (2015b). *Aerial observation of oil pollution at sea.* IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 518. 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). IOGP Report 519. http://oilspillresponseproject.org

IPIECA-IOGP (2015d). *Tiered preparedness and response.* IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 526. http://oilspillresponseproject.org

IPIECA-IOGP (2015e). *Net environmental benefit analysis (NEBA).* IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 527. http://oilspillresponseproject.org

IPIECA-IOGP (2015f). *At-sea monitoring of surface dispersant effectiveness.* Report of the IOGP Global Industry Response Group (GIRG) response to the Deepwater Horizon incident in the Gulf of Mexico in April 2010, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). http://oilspillresponseproject.org

Joeckel, J., Walker, A., Scholz, D. and Huber, C. (2011). Dispersant Use Approval: Before, During and After Deepwater Horizon. In *International Oil Spill Conference:* Proceedings: March 2011, Vol. 2011, No. 1, pp. abs329. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2011-1-329

Kaku, V. J., Boufadel, M. C., Venosa, A. D. (2006). Evaluation of mixing energy in laboratory flasks used for dispersant effectiveness testing. In *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 132, No. 1, pp. 93-101. American Society of Civil Engineers (ASCE).

Kelly, C. A. and Law, R. J. (1998). Monitoring of PAH in fish and shellfish following the *Sea Empress* incident. In *The Sea Empress Oil Spill:* Proceedings of the International Conference held in Cardiff, 11-13 February 1998. R. Edwards and H. Sime (Eds). Chartered Institute of Water and Environmental Management, London. pp. 467-473.

Kingston, P. (1999). Recovery of the Marine Environment Following the *Braer* Spill, Shetland. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* March 1999, Vol. 1999, No. 1, pp. 103-109. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1999-1-103

Kirby, M. F., Matthiessen, P. and Rycroft, R. J. (1996). *Procedures for the Approval of Oil Spill Treatment Products*. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Directorate of Fisheries Research, Lowestoft, U.K. 19 pp.

Kucklick, J. H., Walker, A. H., Pond, R. and Aurand, D. (eds.). (1997). *Dispersant Use: Considerations of Ecological Concerns in the Upper 10 Meters of Marine Waters and in Shallow Coastal Waters: Proceedings from a Workshop*, August 27-28, 1996, Baltimore, USA. Prepared by Scientific and Environmental Associates, Inc., Alexandria, VA. for Marine Preservation Association, Scottsdale, AZ. 104 pp.

Kulekeyev, Zh. A., Nurtayeva, G. Kh., Mustafin, E. S., Pudov, A. M., Zharikessov, G., Taylor, P. M. and Lewis, A. (2014). Studies in support of the regulation of dispersant use in the Kazakhstan Sector of the Caspian Sea (KSCS). In *International Oil Spill Conference Proceedings:* May 2014, Vol. 2014, No. 1, pp. 463-475. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2014.1.463

Law, R. J. and Kelly, C. A. (1999). The Sea Empress Oil Spill: Fisheries Closure and Removal of Restrictions. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* March 1999, Vol. 1999, No. 1, pp. 975-979. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1999-1-975

Law, R., Kelly, C. A., Graham, K. L., Woodhead, R. J., Dyrynda P. E. J. and Dyrynda, E.A. (1997). Hydrocarbon and PAH in fish and shellfish from Southwest Wales following the *Sea Empress* oil spill in 1996. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* April 1997, Vol. 1997, No. 1, pp. 205-211. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1997-1-205

Law, R. J., Thain, J. E., Kirby, M. F., Allen, Y. T., Lyons, B. P., Kelly, C. A., Haworth, S., Dyrynda, E. A., Dyrynda, P. E. J., Harvey, J. S., Page, S., Nicholson, M. D. and Leonard, D. R. P. (1998). The impact of the *Sea Empress* oil spill on fish and shellfish. In *The Sea Empress Oil Spill:* Proceedings of the International Conference held in Cardiff, 11-13 February 1998. R. Edwards and H. Sime (Eds). Chartered Institute of Water and Environmental Management, London. pp. 109-136.

Law, R. J. and Kelly, C. (2004). The impact of the "*Sea Empress*" oil spill. In *Aquatic Living Resources*, Vol. 17, Issue 03, July 2004, pp. 389-394.

Leahy, J. G. and Colwell, R. R. (1990). Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. In *Microbiological Reviews*, Vol. 54, No. 3, pp. 305-315.

Le Floch, S., Dussauze, M., Merlin, F-X, Claireaux, G., Theron, M., Le Maire, P. and Nicolas-Kopec, A. (2014). DISCOBIOL: Assessment of the impact of dispersant use for oil spill response in coastal or estuarine areas. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* May 2014, Vol. 2014, No. 1, pp. 491-503. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2014.1.491

Leibovich, S. and Lumley, J. L. (1982). Interaction of turbulence and Langmuir cells in vertical transport of oil droplets. In *Proceedings of the First International Conference on Meteorology and Air/Sea Interaction of the Coastal Zone*, pp. 271-276. The Hague, Netherlands. American Meteorological Society, Boston, Massachusetts.

Lessard, R. R. and DeMarco, G. (2000). The significance of oil spill dispersants. In *Spill Science and Technology Bulletin*, Volume 6, Issue 1, pp. 59-68.

Levine, E., Stout, J., Parscal, B., Walker, A. H. and Bond, K. (2011). Aerial Dispersant Monitoring Using SMART Protocols during the Deepwater Horizon Spill Response. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* March 2011, Vol. 2011, No. 1, pp. abs225. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2011-1-225

Lewis. A., Daling, P. S., Strøm-Kristiansen, T., Nordvik, A. B. and Fiocco, R. J. (1995). Weathering and Chemical Dispersion of Oil at Sea. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* February-March 1995, Vol. 1995, No. 1, pp. 157-164. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1995-1-157

Lindblom, G. P. and Barker, C. D. (1978). Evaluation of equipment for aerial spraying of oil dispersant chemicals. In McCarthy, Jr., L.T.; Lindblom, G.P.; Walter, H.F. (eds.), *Chemical Dispersants for the Control of Oil Spills: A Symposium*. Philadelphia, USA, American Society for Testing and Materials. pp. 169-179.

Lindblom, G. P. and Cashion, B. S. (1983). Operational considerations for optimum deposition efficiency in aerial application of dispersants. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* February 1983, Vol. 1983, No. 1, pp. 53-60. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1983-1-53

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.

Lunel, T. 1995. The *Braer* spill: oil fate governed by dispersion. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* February-March 1995, Vol. 1995, No. 1, pp. 955-956. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1995-1-955

Lunel, T. 1995a. Dispersant effectiveness at sea. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* February-March 1995, Vol. 1995, No. 1, pp. 147-155. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1995-1-147

Lunel, T. 1995b. Understanding the mechanism of dispersion through oil droplet size measurements at sea. Pp. 240-285. In *The Use of Chemicals in Oil Spill Response*, ASTM STP 1252, P. Lane, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.

Lunel, T., Rusin, J., Bailey, N., Halliwell, C. and Davies, L. (1997). The net environmental benefit of a successful dispersant application at the *Sea Empress* incident. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* April 1997, Vol. 1997, No. 1, pp. 185-194. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1997-1-185

Mackay, D. 1995. Effectiveness of chemical dispersants under breaking wave conditions. In *The use of Chemicals in Oil Spill Response*. Pp. 310-340. ASTM STP 1252, P. Lane, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.

Mackay, D. and Chau, A. (1986). The effectiveness of chemical dispersants: a discussion of laboratory and field test results. In *Oil and Chemical Pollution*, 3:6, 405-415.

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.

Merlin, F., Bocard, C. and Castaing, G. (1989). Optimization of dispersant application, especially by ship. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* February 1989, Vol. 1989, No. 1, pp. 337-342. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1989-1-337

Michel, J., Csulak, F., French, D. and Sperduto, M. (1997). Natural resource impacts from the North Cape spill. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* April 1997, Vol. 1997, No. 1, pp. 841-850. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1997-1-841

Mukherjee, B. and Wrenn, B. A. (2009). Influence of dynamic mixing energy on dispersant performance: role of mixing systems. In *Environmental Engineering Science*, Vol. 26, pp.1725-1737.

Mukherjee, B., Wrenn, B. A. and Ramachandran, P. (2012). Relationship between size of oil droplet generated during chemical dispersion of crude oil and energy dissipation rate: Dimensionless, scaling, and experimental analysis. In *Chemical Engineering Science*, Vol. 68, pp. 432-442.

National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling (2010). *The Use of Surface and Subsea Dispersants During the BP Deepwater Horizon Oil Spill*. Staff Working Paper No. 4. Originally Released 6 October 2010; updated 11 January 2011.

Neff, J. M., Ostazeski, S., Gardiner, W. and Stejskal, I. (2000). Effects of weathering on the toxicity of three offshore Australian crude oils and a diesel fuel to marine animals. In *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 19, Issue 7, pp. 1809-1821.

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 *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 15, Issue 12, pp. 2240-2253.

OSRL (2011). Field guides for dispersant application monitoring. Oil Spill Response Limited (website). *www.oilspillresponse.com/technical-development/technical-field-guides.*

Pace, C. B., Clark, J. R. and Bragin, G. E. (1995). Comparing crude oil toxicity under standard and environmentally realistic exposures. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* February-March 1995, Vol. 1995, No. 1, pp. 1003-1004. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1995-1-1003

Parker, H. D. (1979). *Observations on the Aerial Application of Dispersant Using DC-6B Aircraft, Gulf of Campeche, Mexico*. Warren Spring Laboratory, Department of Industry. Stevenage, UK. 7pp.

Payne, J. R. and McNabb, G. D. Jr. (1984). Weathering of petroleum in the marine environment. In *Marine Technology Society Journal,* Vol. 18, No. 3, pp. 24-40.

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.

Rewick, R. T., Sabo, K. A., Gates, J., Smith, J. H. and McCarthy, L. T. (1981). An evaluation of oil spill dispersant testing requirements. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* March 1981, Vol. 1981, No. 1, pp. 5-10. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1981-1-5

Robbins, M. L., Varadaraj, R., Bock, J. and Pace, S. J. (1995). Effect of Stokes' law settling on measuring oil dispersion effectiveness. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* February-March 1995, Vol. 1995, No. 1, pp. 191-196. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1995-1-191

SEEEC (1996). Initial report of the *Sea Empress* Environmental Evaluation Committee. SEEEC Secretariat, Cardiff, Wales, United Kingdom.

Singer, M., Smalheer, D. L., Tjeerdema, R. S. and Martin, M. (1991). Effects of spiked exposure to an oil dispersant on the early life stages of four marine species. In *Environmental Toxicology and Chemistry,* Vol. 10, Issue 10, pp. 1367-1374.

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.

Singer, M. M., George, S., Lee, I., Jacobson, S., Weetman, L. L., Blondina, G., Tjerdeema, R. S., Aurand, D. and Sowby, M. L. (1998). Effects of dispersant treatment on the acute toxicity of petroleum hydrocarbons. In *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Volume 34, Issue 2, pp. 177-87.

Sjoblom, J., Aske, N., Auflem, I. H., Brandal, O., Harve, T. E., Saether, O., Westvik, A., Johnsen, E. E. and Kallevik, H. (2003). Our current understanding of water-in-crude oil emulsions. Recent characterization techniques and high pressure performance. *Advances in Colloid and Interface Science,* Volumes 100-102, pp. 399-473.

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

Southward, A. J. and Southward, E. C. (1978). Recolonization of rocky shores in Cornwall after use of toxic dispersants to clean up the *Torrey Canyon* spill. In Journal of the Fisheries Research Board of Canada, Vol. 35, No. 5, pp. 682-706.

Steen, A. and Findlay, A. (2008). Frequency of Dispersant Use Worldwide. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* May 2008, Vol. 2008, No. 1, pp. 645-649. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2008-1-645

Sterling, M. C., Bonner, J. S., Page, C. A., Fuller, C. B., Ernest, A. N. S. and Autenrieth, R. L. (2003). Partitioning of crude oil polycyclic aromatic hydrocarbons in aquatic systems. In *Environmental Science and Technology,* Vol. 37, Issue 19, pp. 4429-4434.

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. Ссылка: www.epa.gov/bpspill/dispersants-testing.html

US EPA (2012). Ecotoxicity categories for terrestrial and aquatic organisms. (Website—last updated on 10 February 2015). www.epa.gov/oppefed1/ecorisk_ders/toera_analysis_eco.htm

Varadaraj, R., Robbins, M. L., Bock, J., Pace, S. and MacDonald, D. (1995). Dispersion and biodegradation of oil spills on water. In *International Oil Spill Conference Proceedings:* February-March 1995, Vol. 1995, No. 1, pp. 101-106. http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1995-1-101

Weber, D. D., Maynard, D. J., Gronlund, W. D. and Konchin, V. (1981). Avoidance reactions of migrating adult salmon to petroleum hydrocarbons. In *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, Vol. 38, No. 7, pp. 779-781.

WSL (2007). *Specification for Oil Spill Dispersants*. Appendix A to WSL Report LR448 (OP), Warren Springs Laboratory. Ссылка: https://www.gov.uk/government/publications/get-an-oil-spill-treatment-product-approved-tests

Дополнительная литература

American Academy of Microbiology (2011). *Microbes & Oil Spills—FAQ*. American Society for Microbiology, Washington D.C. http://academy.asm.org/index.php/faq-series/436-faq-microbes-and-oil-spills

API Dispersant Fact Sheets www.oilspillprevention.org/oil-spill-cleanup/oil-spill-cleanup-toolkit/dispersants

API (2015). *Aerial and Vessel Dispersant Preparedness and Operations Guide*. API Technical Report 1148, March 2015. www.oilspillprevention.org/~/media/oil-spill-prevention/spillprevention/r-and-d/dispersants/api-technical-report-1148.pdf

Cedre (2005). *Using dispersant to treat oil slicks at sea: Airborne and shipborne treatment*. Centre of Documentation, Research and Experimentation on Accidental Water Pollution (Cedre). www.cedre.fr/en/publication/operational-guide/dispersant/dispersant.php

EMSA (2010). *Manual on the Applicability of oil Spill Dispersants, Version 2*. European Maritime Safety Agency. www.emsa.europa.eu/technical-ppr/87-marine-pollution/719-manual-on-the-applicability-of-oil-spill-dispersants.html

EMSA (2014). *Inventory of national policies regarding the use of oil spill dispersants in the EU*. European Maritime Safety Agency. www.emsa.europa.eu/news-a-press-centre/external-news/2-news/618-inventory-of-national-policies-regarding-the-use-of-oil-spill-dispersants-in-the-eu.html

Etkin, D. S. (1999). *Oil spill dispersants: From technology to policy*. Cutter Information Corporation, Arlington, Massachusetts.

IMO (2005). 'Chemical Dispersion'. In *Manual on Oil Pollution, Section IV, Combating Oil Spills*, Chapter 7, pp. 111-130. 2nd Edition, 2005. International Maritime Organization, London, UK.

IMO/UNEP (1995). *Guidelines on Oil Spill Dispersant Application Including Environmental Considerations*. 2nd Edition, 55 pp. International Maritime Organization, London, UK.

ITOPF Technical Information Papers
Ссылка: www.itopf.com/knowledge-resources/documents-guides/technical-information-papers

Lewis, A. and Aurand, D. (1997). *Putting Dispersants to work: Overcoming obstacles*. International Oil Spill Conference Issue Paper, Technical Report No. IOSC-004.23. American Petroleum Institute, Washington, DC.

Louisiana Universities Marine Consortium (LUMCON): Dispersants Bibliography.
Ссылка: www.lumcon.edu/library/dispersants/default.asp
This database consists of citations found in journals, conference proceedings, government reports and grey literature covering more than 40 years of published research on oil spill dispersants. Citations were collected from 1960 through June 2008. The bibliography was compiled and edited by John Conover, Associate Librarian at LUMCON. Citation data is stored and maintained at LUMCON by the Information and Technology Department.

NRC (1989). *Using Oil Spill Dispersants on the Sea*. US National Research Council. The National Academies Press, Washington, D.C.

NRC (2005). *Oil Spill Dispersants: Efficacy and Effects*. US National Research Council. The National Academies Press, Washington, D.C.

Oil Spill Response Limited, Technical Field Guides:
Dispersant Application Monitoring Field Guide: Tier 1 Visual Observation.
Dispersant Application Monitoring: Tiers I, II and III.
Dispersant Application Handbook.
Vessel Dispersant Application Field Guide.
Ссылка: www.oilspillresponse.com/technical-development/technical-field-guides

От авторов

Выражаем глубокую признательность Питеру Тэйлору (Petronia Consulting) и Алану Льюису (Alun Lewis Consulting) за помощь в разработке этого документа.

IPIECA

IPIECA — международная ассоциация представителей нефтегазовой промышленности по экологическим и социальным вопросам. Данная организация разрабатывает, распространяет и продвигает положительный опыт и знания 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

International Association of Oil & Gas Producers

Международная ассоциация производителей нефти и газа (IOGP) представляет нефтегазодобывающую отрасль в международных организациях, 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 области охраны здоровья, безопасности, экологической и социальной ответстве ности.

www.iogp.org.uk

© IPIECA-IOGP 2015 Все права защищены.