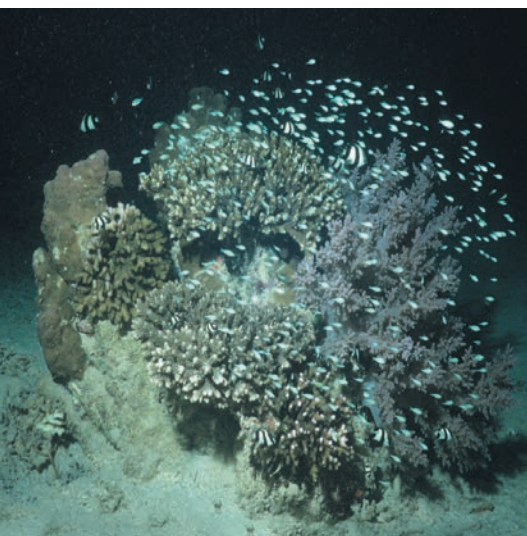


Последствия разливов нефти для морской экологии

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



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 № 525

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. Информация, приведенная в этой публикации, не является профессиональной консультацией, и ни IPIECA, ни IOGP, ни их члены не несут никакой ответственности за последствия правильного или неправильного использования данной документации. Этот документ может служить руководством, дополняющим местное законодательство. Тем не менее, никакая часть этого документа не может заменить, изменить или отменить вышеупомянутые требования или каким-либо другим образом отступить от них. При любых конфликтах или противоречиях между положениями настоящего документа и местным законодательством преимущественную силу имеет действующее законодательство.

Последствия разливов нефти для морской экологии

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

Preface

Данная публикация является частью серии практических рекомендаций IPIECA-IOGP, в которой обобщаются текущие представления о действующих подходах к обеспечению готовности к разливам нефти 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 был создан в 2011 году, 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, методов 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	Воздействие разливов нефти на морскую жизнь и дикую природу	20
Введение	4	Планктон	20
Морские экосистемы и нефть	4	Жизнь на морском дне	21
Цель этого документа	6	Рыба и рыбные запасы	26
Нефть в морской среде	7	Морские млекопитающие	30
Состав и характеристики нефти	7	Морские рептилии	33
Поведение разлитой нефти	9	Птицы	34
Испарение	10	Береговые и прибрежные места обитания	37
Распространение и перемещение	10	Управление разливами нефти и потенциальным воздействием	39
Растворение	11	Анализ чистой экологической пользы	40
Дисперсия	11	Преимущества и последствия применения диспергентов	41
Эмульгирование	12	Оценка ущерба от нефтяных разливов — основные мероприятия	44
Заиление	12	Библиография и рекомендуемая литература	46
Осаждение	13	Пособия и методические документы	46
Обмеление береговой линии	14	Литература по распространению разливов и последствиям	47
Фотоокисление	14	Полезные веб-сайты	51
Биоразложение	14	От авторов	52
Экологические последствия и восстановление	15		
Воздействие нефти и его механизмы	15		
Факторы, влияющие на воздействие нефти	17		
Сезонность	17		
Экологическая роль ключевых видов	17		
Жизненные факторы	18		
Здоровье и состояние	18		
Долгосрочные экологические последствия и восстановление	18		

Введение

Морские экосистемы и нефть

Морская среда представляет собой динамичную и разнообразную сеть мест обитания и видов, в которой переплетаются сложные физические и экологические процессы. Эти процессы самым разнообразным образом взаимодействуют с людьми и их деятельностью. Морская среда обитания и связанные с ней сообщества зачастую образуют экосистемы, например открытый океан, глубокое море, коралловые рифы, солончаки, скалистые берега и т.д. При этом все эти системы тесно связаны между собой и любое воздействие на одну экосистему может оказывать влияние на другие. При оценке воздействия важную роль играют структура и функции экосистемы. Основная польза, которую люди получают от этих мест обитания и сообществ, называется экосистемными услугами. Самые распространенные такие услуги — это рыба, моллюски и другие потребляемые нами продукты питания, а также возможности отдыха и природная красота моря. Кроме того, многие прибрежные общины имеют прочные культурные и духовные связи с морем. Однако существует множество и менее очевидных услуг.

Морской планктон, обитающий на огромной площади открытого океана, играет важную роль в поддержании нашей атмосферы путем передачи углерода в глубокое море. Зоны открытого океана и глубоководные районы также являются местом обитания многих видов рыбы, которые мы ловим и используем в качестве пищи. Конечно же, изобилие видов и эффективность ловли возрастают на мелководье и ближе к прибрежным районам. Прибрежные водно-болотные угодья и некоторые мелководные экосистемы, включая солончаки, мангровые леса, леса ламинарии и слои водорослей,

Экосистемные услуги морской среды — поддержание чистоты, продуктивности и здорового состояния моря важно для каждого жителя планеты.



относятся к особо продуктивным зонам, снабжая соседние мелководные экосистемы большей частью органического материала. Они также служат источником пищи и укрытия для молодых рыб и многих других видов, защищают наши берега от штормов и наводнений, забирают отложения и органические отходы из земли. Мангровые леса и коралловые рифы служат источником строительных материалов. Например, новейшие фармацевтические продукты в настоящее время разрабатываются на основе огромного разнообразия морских видов.

Биоразнообразие (т.е. разнообразие видов жизни) само по себе является ценной особенностью этих экосистем, так как оно увеличивает сложность пищевых цепей и других экологических процессов, которые, в свою очередь, повышают устойчивость систем к природным и антропогенным воздействиям. Большинство морских пищевых цепей включают в себя широкий спектр первичных производителей (т.е. растения и водоросли, включая фитопланктон, который берет энергию от солнца, или организмы, которые используют химическую энергию в глубоководных жерлах), бактерии (которые преимущественно питаются растворенным органическим углеродом), травоядные животные (зоопланктон, беспозвоночные морского дна и некоторые виды рыб), хищники, мусорщики и паразиты (широкий спектр животных), а также биоредукторы (особенно бактерии и грибок). Биоразнообразие и другие экосистемные услуги нашли отражение в национальных и международных режимах регулирования, которые признают необходимость сохранения и защиты важных мест обитания и видов. Сюда также относится определение охраняемых районов.

Минеральное топливо (т.е. углеводородное сырье) являются производными от растений и животных, которые существовали миллионы лет назад и которые со временем преобразовались под действием подземного тепла и давления. Во многих местах эти подземные резервуары нефти соединяются с поверхностью из-за различных геологических свойств, таких как разрывы или соляные купола, а в некоторых районах в морском дне возникают естественные протоки нефти. Эти места естественного просачивания нефти были в мировом океане миллионы лет, и морские организмы развили молекулярные механизмы, которые обеспечили разложение и нейтрализацию этих веществ с последующим включением в пищевую цепь. Природные уровни *петрогенных* (см. вставку 1 на странице 7) углеводородов присутствуют в морской воде и донных осадках, причем в некоторых регионах их концентрация выше, чем в других, в зависимости от распространенности просачиваний нефти. В результате промышленной революции эти природные уровни выросли за счет воздушных выбросов, стоков и отходов от морского транспорта. По оценкам Национального исследовательского совета США, около половины нефти, ежегодно попадающей в мировой океан, имеет антропогенное происхождение. Вторая половина является результатом естественного просачивания.

Крупные нефтяные разливы происходят редко, но они могут привести к значительным и долгосрочным негативным последствиям. Масштабы последствий разлива могут варьироваться от минимальных (например, при разливе легкой нефти в открытом океане), которые характеризуются отсутствием или минимумом последствий, длящихся несколько часов или дней, до значительных (например, при крупном разливе тяжелой нефти, попадающей в охраняемые водно-болотные угодья), которые характеризуются более долгосрочными последствиями. Более крупные разливы могут причинить больший ущерб, чем мелкие, но уровень воздействия значительно отличается в зависимости от типа нефти и происшествя, местных условий (например, сезон, погода и местоположение) и ресурсов.

Развитие нефтяной разведки в полярных и глубоководных средах создает ряд проблем для науки и процессов разработки мер по ликвидации разливов. Для растений и животных в экосистемах с холодной водой характерны более длительные периоды жизни и роста в отличие от более теплого климата и вод, в то время как скорость многих биологических процессов является относительно медленной. Факт дальнейшего присутствия нефти имеет большое значение для восстановления среды обитания и может увеличить время восстановления в высоких широтах. Поэтому зачастую предполагается, что восстановление от разливов нефти занимает много времени, хотя это зависит от многих факторов. Исследования показали, что микроорганизмы, присутствующие в экосистемах с холодной водой, могут быстро разлагать нефть при отсутствии других ограничивающих условий.

Широко разрабатываемые меры по ликвидации нефтяных разливов описывают способы удаления нефтяных загрязнений, ускорения разложения нефти и предотвращения ее распространения до более чувствительных частей экосистемы; однако они могут приводить и к дальнейшему нанесению вреда окружающей среде. В некоторых ситуациях необходимо найти компромисс и оценить суммарную экологическую пользу от возможностей реагирования. В основе оценки экологических рисков и управленческих операций, включая решения при ликвидации разливов, лежит научный подход. Имеющиеся знания базируются на многочисленных данных исследований предыдущих разливов и экспериментальных исследований.

Цель этого документа

Целью этого документа является обзор влияния нефтяных разливов на морские экологические ресурсы и функции, а также способов быстрого восстановления этих ресурсов и функций. Он основан на существующих научных доказательствах и включает ссылки на конкретные исследования. Данный документ предназначен для широкого спектра участников реагирования, который включает операторов, правительства, бизнес и общественность.

В первом разделе, который называется *Нефть в морской среде*, описываются свойства минерального топлива и физические процессы, характерные для разлитой нефти и связанные с воздействием на морскую среду. Упор делается на свойствах и процессах, которые влияют на дальнейшее присутствие нефти, так как это является наиболее вероятными источником долгосрочных последствий.

В разделе *Экологические последствия и восстановление* приводится общее описание механизмов и факторов, которые обычно определяют последствия нефтяных разливов для морских ресурсов и темпы их восстановления.

В третьем разделе *Воздействие разливов нефти на морскую жизнь и дикую природу* описываются некоторые из наиболее распространенных последствий разливов нефти на формы жизни, связанные с различными экосистемами. В нем также приводятся ссылки на соответствующие тематические исследования.

В разделе под названием *Управление разливами нефти и потенциальным воздействием* рассматриваются текущие принятые методы ликвидации последствий разливов и факторы минимизации ущерба окружающей среде (то есть достижения максимальной чистой экологической выгоды при ликвидации).

В пятом разделе *Оценка ущерба от нефтяных разливов — основные мероприятия* кратко излагаются некоторые из основных подходов и требований к оценке ущерба и последующему мониторингу, который необходим для описания процессов восстановления.

Последний раздел *Библиография и рекомендуемая литература* содержит список важных ссылок и соответствующих публикаций.

Серия методических руководств IPIECA-IOGP включает ряд других документов, которые также могут быть интересны читателю. В частности, документ *Воздействие разливов нефти на побережье* (IPIECA-IOGP, 2015a) содержит более подробные сведения о распространении и последствиях морских нефтяных разливов для береговых ресурсов. В других документах рассматриваются такие вопросы, как анализ чистой экологической выгоды (IPIECA-IOGP, 2015b) и использования диспергентов на море и на суше (IPIECA-IOGP, 2015 c) и под водой (IPIECA-IOGP, 2015 d). Вопросы, касающиеся последствий разливов нефти для внутренних/пресноводных береговых линий, рек и озер, см. в методических рекомендациях по мерам ликвидации последствий на суше (IPIECA-IOGP, 2015e).

Нефть в морской среде

Состав и характеристики нефти

Сырая нефть является сложным сочетанием углеводородов с небольшим количеством других соединений (см. вставку 1) и элементов, которые обычно включают серу и другие микроэлементы. Продукты переработки, от бензина до битума, также главным образом состоят из углеводородов и производятся из сырой нефти в рамках различных процессов нефтепереработки, которые позволяют достичь желаемых химических и физических характеристик.

Углеводороды подразделяются на множество групп в зависимости от химической структуры, но важнейшими характеристиками, определяющими распространение нефти в морской среде, являются молекулярный вес и точка кипения (обычно эти показатели тесно связаны), растворимость в воде и биодоступность (эти свойства также тесно связаны). Соединения с низким молекулярным весом обычно имеют низкую точку кипения и неустойчивы при низких температурах окружающей среды. Многие из этих соединений могут иметь токсичные свойства (см. вставку 2 на стр. 9), но на поверхности моря или берега они испаряются настолько быстро, что их влияние на морскую среду обычно невелико. При разливе в глубоководной среде они оказывают большое влияние на токсичность, хотя вещества с низким молекулярным весом обычно быстро разлагаются. На другом конце весов — высокомолекулярные углеводороды (например асфальтены, одни из основных компонентов битума), которые имеют высокую температуру кипения, устойчивы к биоразложению и отличаются высокой стойкостью. Они также могут иметь длительную токсичность, но из-за низкой растворимости в воде отличаются более низкой биодоступностью. Между этими двумя крайностями лежит широкий спектр углеводородов, многие из которых обладают потенциалом биологического воздействия.

Вставка 1 Типы и группы нефти

Углеводороды: настоящие углеводороды содержат только углерод и водород. Сырая нефть обычно также содержит часть других органических соединений. В основном это углерод и водород, но имеются примеси азота, серы и кислорода. Для целей настоящего документа термин углеводороды включает все эти органические соединения.

Ароматические углеводороды: отвечают за большую часть токсичности нефти и обладают одним или несколькими бензольными кольцами:

- бензол, толуол, этилбензол и ксилолы (BTX-соединения) имеют одно кольцо и относительно растворимы в воде, но также являются летучими соединениями (очень низкая температура кипения).
- полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) имеют два или несколько колец:
 - нафталин и алкилзамещенные производные имеют два кольца, умеренную растворимость в воде и летучесть;
 - соединения с тремя или четырьмя кольцами слегка растворимы в воде и не являются летучими (высокая точка кипения);
 - соединения с пятью или более кольцами нерастворимы в воде и имеют высокую температуру кипения.

Группы нефти от 1 до 5: нефтяная промышленность подразделяет нефть на пять групп на основе их удельного веса, от группы 1 с очень низким ($<0,8$) удельным весом (например, керосин) до группы 5 с очень высоким ($\geq 1,0$) удельным весом (например, битум). Эта классификация полезна при обсуждении распространения и сохранения разливов нефти.

Петрогенные, пирогенные и биогенные углеводороды: получают непосредственно из минерального топлива, при неполном сжигании ископаемого топлива и биологических процессах, соответственно.

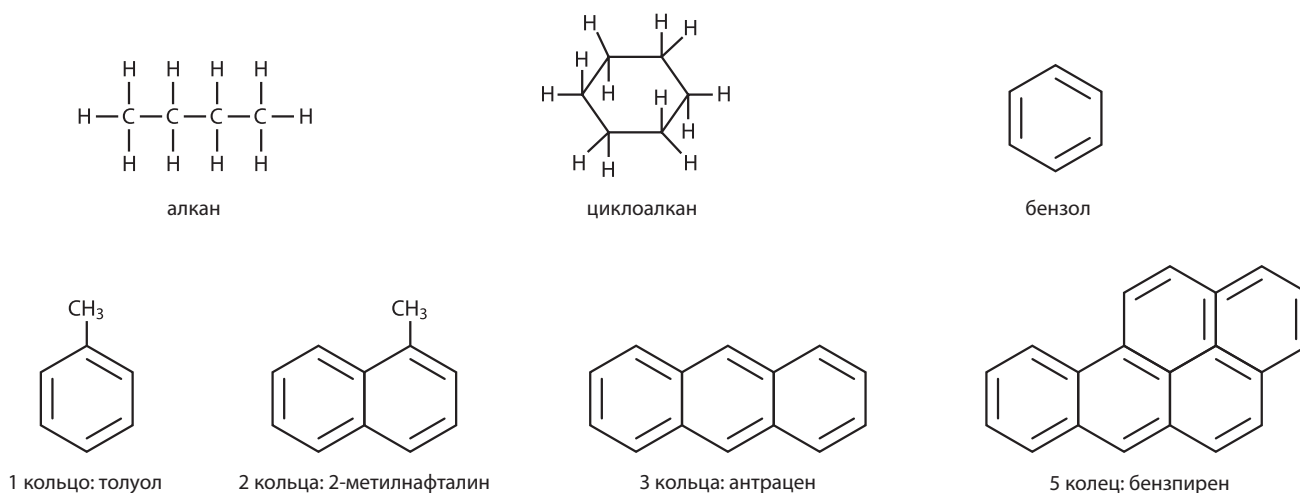
Оценка токсичности углеводородных соединений (см. вставку 2 на странице 9) не является простой задачей и зависит от многих факторов. Тем не менее, ароматические углеводороды, особенно полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), как правило, обладают большей токсичностью, чем другие группы углеводородов. Их концентрация (как всего ПАУ-соединения или отдельных компонентов) чаще всего определяется и контролируется в воде, отложениях или тканях животных, и служит индикатором токсичности загрязнений. Многие ароматические соединения с низким молекулярным весом обладают относительно высокой растворимостью в воде, а поэтому и более высокой биологической доступностью, но они отличаются меньшей стойкостью. Эти вещества чаще всего определяют наркотическое воздействие с острыми последствиями. Большую озабоченность вызывают ПАУ со средней молекулярной массой. Они менее растворимы в воде, но более стойки и высокотоксичны, поэтому даже небольшие объемы, которые становятся биологически доступными, могут вызывать долгосрочные хронические последствия. Даже ароматические соединения с высоким молекулярным весом, такие как асфальтены, могут привести к определенным хроническим последствиям в организме, которые достаточно долго контактирует с остатками смолы.

ПАУ могут попадать в морскую среду из целого ряда источников, не только при нефтяных разливах. Атмосферные оседания частиц, полученных от неполного сгорания угля, нефти и многих других материалов, определяют значительную часть влияния, оказываемого *пирогенными* ПАУ на природные экосистемы.

Свойства нефти в целом определяются функциями ее составляющих соединений. Основные физические свойства: плотность (или удельный вес), вязкость, текучесть (температура, при превышении которой соединение становится текучим). Основные химические свойства: содержание ароматических веществ, воска и асфальтена. Легкие нефтепродукты низкой плотности и вязкости часто характеризуются высоким содержанием ароматических соединений, поэтому чаще всего они остро токсичны, но в большинстве сред их стойкость, скорее всего, будет низкой. Тяжелая нефть и мазут имеют сравнительно высокую плотность и вязкость, с большей долей вероятности отличаются высокой стойкостью, при этом они все еще могут быть токсичными, в зависимости от состава. Все эти свойства могут меняться после разлива нефти (см. *Поведение разлитой нефти* на страницах 9–14).

Определения терминов, связанных с токсикологией, приведены во вставке 2 на следующей странице. Тем не менее, следует отметить, что основные экологические последствия от разливов нефти, как правило, связаны с физическим загрязнением или удушением растений и животных, особенно в прибрежных местах обитания, а не с токсичностью нефти.

Рисунок 1 Примеры структуры химических соединений в сырой нефти



Вставка 2 Токсикология

Уязвимость и чувствительность к нефти: уязвимость описывает вероятность воздействия нефти на ресурс. Чувствительность предполагает воздействие нефти на ресурс и описывает относительное влияние этого воздействия. Таким образом, глубоководные коралловые, несмотря на чувствительность к нефти, могут быть не подвержены воздействию поверхностных нефтяных разливов, а водоросли скалистого берега могут быть уязвимыми, но не чувствительными к разливам.

Токсичность — это потенциал или возможность материала оказывать неблагоприятное воздействие на живые организмы; токсичность в водной среде — воздействие химических веществ на водные организмы. Поскольку любое вещество может быть токсичным, необходимо всегда рассматривать конкретные организмы и воздействие, которое на них оказывает определенное вещество.

Воздействие является сочетанием **продолжительности** воздействия и **концентрации** химического вещества.

Путь воздействия представляет собой способ влияния вещества на организм, включая проглатывание (непосредственно или через пищу), проникновение через жабры или при контакте с кожей.

Степень токсичности зависит от чувствительности организма к химическим веществам и зависит от концентрации и продолжительности воздействия вещества.

Острая и хроническая токсичность: острая токсичность включает пагубные последствия в организме при одиночном или кратковременном воздействии. Хроническая токсичность — это способность вещества или смеси веществ оказывать вредное воздействие в течение длительного времени, обычно в виде многократного или непрерывного воздействия, которое иногда длится в течение всей жизни организма. Острые и хронические последствия могут иметь низкую или высокую степень, но хронические последствия обычно имеют низкую степень воздействия, поэтому их может быть трудно обнаружить.

Биодоступность — это объем доступного химического вещества, который может попасть в организм и, в части нефтяных разливов, обычно тесно связана с показателями токсичности и скорости биоразложения.

Бионакопление возникает, когда организм поглощает токсичное вещество через ткани со скоростью, превышающей вывод вещества.

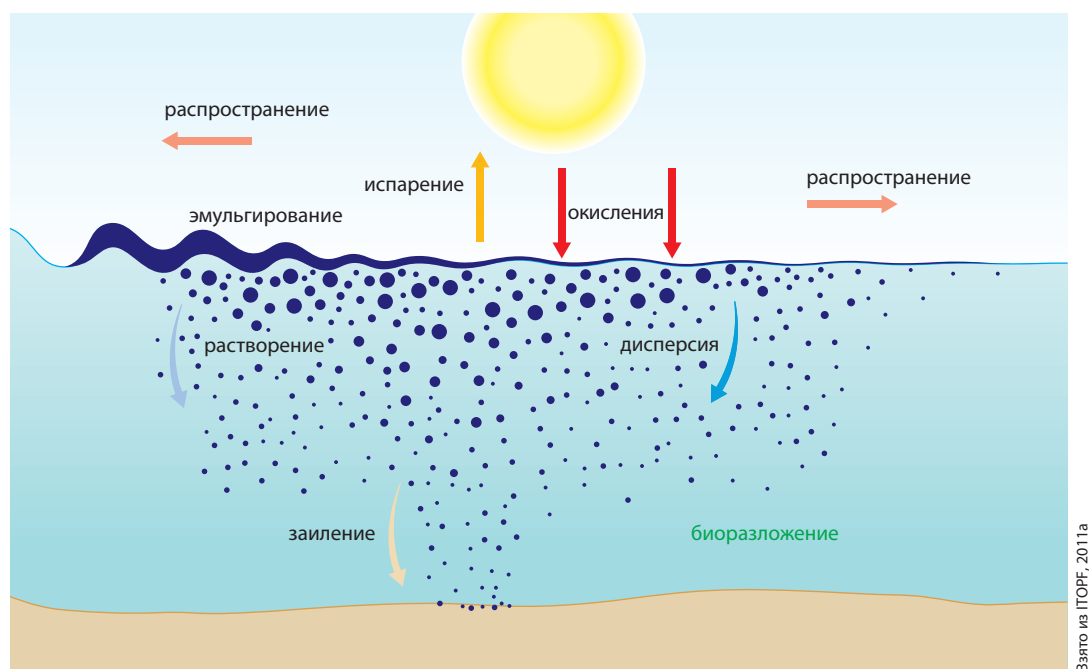
Летальные и сублетальные действия: летальный исход означает гибель организма, в то время как сублетальный исход означает снижение биологической функции или здоровья, например роста, способности воспроизводить или состояния кожи.

Биомаркер: этот термин имеет два отличных значения, оба из которых имеют особое значение в рамках этого документа:

- i) конкретное сублетальное биохимическое и физиологическое измерение, которое используется в качестве показателя воздействия загрязняющих веществ (например, ПАУ) на животное;
- ii) углеводородное соединение в нефти, которое изначально было выработано живыми организмами и которое в целом не претерпело изменений (иногда называется «молекулярным ископаемым»); это соединение используется в процессе анализа углеводородов в качестве уникального признака (как «отпечатка пальцев») определенного вида нефти.

Поведение разлитой нефти

Как только нефть проливается в морскую среду, она подвергается воздействию ряда природных процессов, известных как «выветривание». Эти процессы быстро и непрерывно меняют поведение нефти, распространяя большую ее часть в другие части окружающей среды. Значение каждого процесса на распространение нефти зависит от места разлива (т.е. экологических условий) и типа нефти (т.е. от химических и физических свойств, описанных на страницах 7–8). Распространение нефти оказывает огромное влияние на механизм и масштабы экологических последствий. Основные процессы выветривания описаны на страницах 10–14.

Рисунок 2 Процессы выветривания нефти

Взято из ИТОРФ, 2011а

Испарение

Большая часть видов свежей нефти содержит определенное количество низкомолекулярных углеводородов, которые имеют низкую температуру кипения (например алканы, у которых менее 12 атомов углерода, и ВТЕХ-соединения). Когда эти углеводороды попадают в море или на берег, они начинают сразу испаряться в атмосферу под влиянием движения воздуха и температуры окружающей среды. Этот процесс постепенно увеличивает вязкость разлитой нефти, а также уменьшает объем и токсичность остающейся нефти. Если нефть остается на поверхности в течение многих часов или дней, то в результате процесса выветривания может остаться липкий осадок с относительно низкой токсичностью. Доля остатков нефти может варьироваться от почти нулевой до почти полного объема первоначально разлитой нефти. Например, 10 тонн бензина, разлитого в тропическом море в спокойный летний день (25 °C), полностью испарится менее чем через три часа. В Северном Ледовитом океане в спокойной зимний день (5 °C) для этого потребуется около шести часов. Тем не менее, при аналогичных условиях тяжелое нефтяное топливо (например, Бункерное топливо С) потеряет только 20% и 15% своего объема, соответственно, за четыре дня испарения (источник: NOAA, 2015).

Распространение и перемещение

Пролитая на поверхность моря нефть будет распространяться даже без влияния приливов и ветра. Скорость распространения зависит от точки текучести и вязкости нефти: легкая нефть будет распространяться очень быстро вне зависимости от температуры моря, тяжелые масла будут распространяться медленнее, а толщина пленки будет оставаться большей дольше, особенно в холодных морях, где это может также привести к снижению скорости дисперсии (см. ниже). Вся жизнь на поверхности и животные, которым требуется выплывать на поверхность для дыхания, попадут под воздействие нефтяного пятна, а скорость и направление ветра и приливов будут влиять на продольное и поперечное распространение пятна.

Кроме распространения и движения пятна, начнутся процессы разделения, в результате чего появятся пятна и многочисленные пленки. Толщина нефти зачастую становится неравномерной, когда в отдельных районах остается нефть с большей толщиной пленки, а для других участков характерна очень тонкая пленка (блеск) или даже чистая вода.

Растворение

Хотя большинство углеводородов обладают настолько низкими свойствами растворимости в воде (включая морскую воду), что их можно точно назвать нерастворимыми, некоторые небольшие ароматические углеводороды, такие как бензол и толуол, являются относительно растворимыми. Таким образом, когда нефть проливается в море, небольшая ее часть растворяется, при этом объем и скорость растворения зависит от состава нефти и вязкости. *Эта растворимая в воде часть* характеризуется непропорциональным влиянием на морские организмы, будучи более биодоступной в сравнении с другими углеводородами и зачастую более токсичной. Высокая концентрация этих углеводородов обычно характерна для воды в непосредственной близости от места разлива, при этом наблюдается быстрое растворение в вертикальном и горизонтальном направлениях. Биоразложение растворимых в воде углеводородов, как правило, происходит достаточно быстро.



На этой фотографии показан нефтяной разлив в 1991 году во время войны в Персидском заливе, когда пятно распространялось к югу от кувейтских вод под воздействием ветра и приливов. Большая часть нефти добралась до берега Саудовской Аравии; некоторые пятна проплыли более 500 километров от источника. Процессы выветривания постепенно изменили свойства нефти.

Дисперсия

Волны и другие причины колебания нефти на (или в) воде ведут к формированию капель нефти, которые смешиваются с толщей воды, при этом чем больше колебания, тем больше смешивания. Большинство типов нефти при разливе на поверхности моря, под водой или на береговой линии, в конечном итоге рассеивается. Более крупные капли, смешанные с толщей воды, быстро возвращаются обратно на поверхность, однако небольшие капли обладают меньшей плавучестью и могут не возвращаться на поверхность; они смешиваются с толщей воды в горизонтальном и вертикальном направлении. Масштабы и глубина перемешивания зависят от волнового действия и течения воды. Этот процесс потенциально может привести к воздействию загрязнения на подповерхностную морскую жизнь. Тем не менее, как и с растворенными углеводородами, самая большая концентрация растворенной нефти будет в непосредственной близости от разлива, будь это поверхностная нефтяная пленка или подповерхностная восходящая струя, а по мере увеличения расстояния до источника нефть будет растворяться и ее концентрация будет значительно уменьшаться. В случае с поверхностными пятнами плавучесть капель означает, что вертикальное смешивание с глубокими водами происходит медленнее, чем продольное, а повышенные концентрации обычно ограничиваются несколькими верхними метрами. Растворенные капли нефти обладают большей площадью поверхности, благодаря чему микроорганизмы ускоряют процесс биоразложения (см. стр. 14). Эффективность биоразложения нефтяных капель является ключевым преимуществом использования химических диспергентов для повышения скорости естественного процесса дисперсии.

Эмульгирование

Более крупные капли растворенной нефти возвращаются на поверхность. Однако в этом случае внутри пятна могут попасть и капли воды, образуя эмульсию воды в нефти. В условиях турбулентных потоков (то есть в море с умеренным и беспокойным волнением) для большинства типов нефти характерно

быстрое смешивание с водой. Чем больше степень смешивания, тем больше воды включается в состав эмульсии, и тем больше объем эмульсии. В некоторых случаях объем воды, эмульгированной в нефти, может в пять раз превышать объем первоначально разлитой нефти.

Эмульсии могут быть стабильными или нестабильными; их физические свойства могут значительно отличаться от свойств исходной нефти. Стабильные эмульсии обычно имеют высокое содержание воды (иногда больше 70%) и, как правило, отличаются вязкостью. Они могут оставаться стабильными в течение нескольких недель и их зачастую называют «шоколадным муссом» (или иногда просто «муссом») из-за их однородности и чаще всего красновато-коричневого цвета. Образование стабильного мусса может значительно снизить скорость рассеяния и других процессов распространения. В спокойных теплых условиях (например при достижении пляжа) мусс может разделиться на составляющие (нефть и воду), но некоторые виды эмульсий являются весьма стойкими. Нестабильные эмульсии могут разлагаться после нескольких дней, сохраняя свою форму всего лишь в течение 24 часов. Нестабильные эмульсии обычно сохраняют цвет исходной нефти (темно-коричневый или черный).

Заиление

На характер распространения и результаты растворения нефти значительное влияние оказывает количество взвешенных веществ (легких отложений и других частиц) в толще воды. Растворенные капли нефти могут связываться с взвешенными твердыми частицами и изменять свои физические характеристики. До начала биоразложения диспергента химически-растворенные капли обычно менее склонны к связыванию по сравнению с физически-растворенными каплями. Может произойти отложение этих взвешенных веществ на морское дно, где они могут соединиться с илом на загрязненных участках дна в процессе активного заиления. Также возможно более широкое распространение в виде рыхлых агрегатов (хлопьев) маслянистых частиц. Кроме того, возможно сочетание этих двух типов. В худшем случае, когда концентрация нефтяных капель и взвешенных отложений высока, тяжелый осадок загрязненных частиц может привести к сильному смазыванию донных отложений, которые могут сохраняться в таком виде в течение многих лет, вызывая долгосрочные последствия. В качестве яркого примера можно привести два лимана на северо-западном побережье Франции после нефтяного разлива в 1978 году из танкера *Amoco Cadiz* (см. стр. 25). К счастью, такое происходит редко и большая часть растворенной нефти еще больше растворяется и биоразлагается до соединения с донным илом. Тем не менее, наличие отдельных хлопьев нефтяных частиц (хлопьевидный материал, образованный при соединении взвешенных частиц нефти и отложений) может привести к поражению высокими концентрациями углеводородов фильтрующих организмов морского дна.

Осаждение

Осаждение зачастую рассматривается вместе с заилением (описано выше), однако с экологической точки зрения эти понятия разнятся, так как при осаждении не образуются нефтяные перья или хлопья.

Осаждение возникает, когда плотность разлитой нефти больше плотности морской воды, что может стать причиной образования крупных скоплений на дне, которые иногда могут остаться захороненными в таком состоянии. Такой участок морского дна обычно меньше, чем при заилении растворенной нефти, но опустившаяся нефть может привести к длительному удушению и гибели места обитания. Такой плотностью обладают немногие виды нефти, даже после сильного выветривания. Однако существует несколько видов нефти с очень высокой плотностью, в том числе виды нефти группы 5 (см. вставку 1) и некоторые другие, способные

На некоторых берегах Луизианы во время разлива *Mascondo*, произошедшего в Мексиканском заливе в 2010 году, нефть смешалась с песком в зоне прибоя, в результате чего она утонула и образовала нефтяные маты в мелководных низнеприливных и нижних прибрежных зонах.



выветриваться до высокой плотности, а также осаждаться при определенных условиях. Например, приносимый ветром песок иногда может опускаться на плавающую нефть, что ведет к ее осаждению, а слои пресной воды на поверхности моря рядом с реками или льдинами могут снижать плотность морской воды, опять же создавая условия осаждения нефти. Сжигаемые остатки нефти могут быть тяжелее морской воды, поэтому они склонны к осаждению. Хотя такие обстоятельства не относятся к обычным явлениям, разлитая нефть часто достигает берега песчаных пляжей и смешивается с песком в зоне прибоя, образуя нефтяные шарики и маты, которые могут опуститься в прибрежной нижнеприливной зоне у пляжа. Опять же, нефть может остаться и служить источником долгосрочного (хронического) загрязнения, хотя токсичные вещества по большей части могут оказаться внутри нефтяной матрицы, где биодоступность будет очень ограниченной.

Обмеление береговой линии

В описанных выше процессах количество нефти на поверхности пятна постепенно уменьшается, поэтому при разливе существует вероятность, что до берега нефть не дойдет или дойдет только небольшое ее количество. Однако при средних или крупных разливах до берега обязательно доходит некоторое количество нефти, что может повлиять на все виды и места обитания ниже (а иногда и выше) уровня прилива.

Естественные физические и химические процессы будут продолжать выветривать нефть и постепенно удалять ее, однако скорость удаления сильно разнится и зависит от целого ряда факторов. Стойкость нефти будет больше в местах, защищенных от волнового воздействия и движения воды, однако для удаления нефти потребуются лишь небольшие волновые колебания. Остатки, сохраняющиеся более 1–2 лет, обычно встречаются в очень защищенных зонах или в местах глубокого захоронения нефти. Дополнительные сведения о прибрежном распространении нефти приведены в практических рекомендациях IPIECA-IOGP по воздействию разливов нефти на береговую линию (IPIECA-IOGP, 2015a).



В некоторых ситуациях прибрежная нефть может быть удалена очень быстро благодаря естественным процессам. На фотографии выше показан берег Milford Haven (Уэльс) с большими волнами, где в результате разлива из танкера Sea Empress толщина нефтяной пленки на песке и камнях составляла несколько сантиметров. В течение двух месяцев (справа сверху) большая часть нефти была смыта волнами и удалена в результате проведения операций по ручной очистке; в течение года видимых следов нефти не осталось. В других ситуациях (справа) следы нефти могут оставаться на берегу на протяжении многих лет, как, например, этот толстый смолистый остаток от разлива нефти в Персидском заливе.



Фотоокисление

Углеводороды, подверженные воздействию ультрафиолета, могут фотохимически окисляться, образуя другие соединения. Как правило, фотоокисление — это второстепенное составляющее процесса выветривания, но ПАУ особенно чувствительны к нему. Лабораторные исследования некоторых соединений показали, что получаемые продукты могут быть более токсичными, чем базовые соединения. Связано это главным образом с тем, что новые соединения более растворимы в воде. В результате повышается биодоступность, что также увеличивает потенциал биоразложения. В настоящее время проводятся исследования, которые изучают масштабы влияния ультрафиолета на нефть и ее токсичность в природной среде.

Биоразложение

Эволюция морских бактерий позволила им вырабатывать ферменты, благодаря которым углеводороды из сырой нефти могут использоваться в качестве источника пищи. Метаболизируя углеводороды, бактерии растут и размножаются, становясь в свою очередь источником пищи для других организмов. Именно благодаря этому естественному процессу большая часть разлитой нефти может биоразлагаться. При этом энергия и содержащиеся в нефти материалы возвращаются в пищевую цепь. Разложение требует достаточного количества кислорода, питательных веществ и микроэлементов, а его скорость зависит в первую очередь от отношения площади поверхности к объему нефти, т.е. мелкие растворенные капли будут разлагаться довольно быстро, тогда как крупные пятна у береговой линии будут разлагаться медленно. Большие молекулы углеводородов разлагаются медленно; они могут оставаться в среде в течение многих лет. К ним относятся некоторые потенциально токсичные ПАУ, которые обладают крайне низкой растворимостью в воде и поэтому их биодоступность ограничена. Некоторые из крупнейших углеводородов, такие как асфальтены (используются для дорожных битумов), настолько устойчивы к биоразложению, что смолянистые пятна могут оставаться в течение сотен лет, но при этом они практически инертны. Бактерии, которые могут разлагать нефть, присутствуют повсюду, хотя и не всегда в больших количествах. Поэтому может потребоваться время, чтобы бактерии размножились и их деятельность стала заметной. Скорость биоразложения может быть ограничена концентрацией доступных питательных веществ, необходимых для размножения и роста микроорганизмов. В некоторых ситуациях ограничивающим фактором может быть недостаток кислорода, особенно в случае илистых отложений. Низкие температуры снижают скорость биоразложения, но не всегда это снижение значительно. Недавние исследования в условиях глубоких вод Мексиканского залива показали, что бактерии адаптировались к условиям постоянной температуры (5°C) и могут быстро разлагать нефть, если она в рассеянном капельно-жидком (диспергированном) состоянии.

Экологические последствия и восстановление

Воздействие нефти и его механизмы

Как описано в предыдущем разделе, разлитая нефть может разделяться на части, оказывая разнообразное воздействие на различные места обитания. В некоторых редких и особо трудных случаях наличие тяжелых отложений у береговой линии или на дне может привести к долгосрочной потере природной среды обитания, однако существует ряд других возможных последствий воздействия нефти. В зависимости от места и образа жизни организма, воздействие нефти на него может принимать разные формы. Способ воздействия также может меняться. Для животных и растений, которые живут или проводят время на поверхности моря или береговой линии, наибольший вред вероятнее всего будет связан с физическим удушением, однако существуют и другие формы воздействия нефти. Например, дышащие воздухом животные могут вдыхать летучие углеводороды или проглатывать нефть вместе с пищей или во время чистки; некоторые животные и растения могут вбирать углеводороды через кожу и другие поверхностные покровы; многие животные обладают чувствительными слизистыми оболочками, которые будут реагировать на прямой контакт с нефтью. В толще воды растворенные углеводороды могут всасываться через жабры или другие открытые ткани, а рассеянные (диспергированные) нефтяные капли могут проглатываться фильтрующими организмами. Животные и растения, которые живут на поверхности морского дна (эпибионт) также могут подвергаться воздействию растворенной нефти, однако если нефть включается в отложения, она становится доступной для гораздо более широкого спектра животных, обитающих в осадках на дне.

Среди последствий физического удушения организмов можно выделить снижение способности кормиться, двигаться, дышать или воспроизводить потомство, а также потерю терморегуляции. При вдыхании, проглатывании, поглощении или попадании углеводородов в организм иным образом они вступают в контакт с внутренними тканями организма, что может стать причиной целого ряда других последствий. Химическая токсичность углеводородов может привести к повреждению и разрушению стенок клеток и клеточных функций на молекулярном уровне. Если дозы (объем или концентрация) и длительность воздействия токсичных углеводородов будут достаточно высокими, организм может погибнуть. В ином случае возможны сублетальные последствия, а иногда организм может остаться невредимым. Самый частый результат воздействия нефти на многих морских беспозвоночных — это временное наркотическое действие, при котором они перестают питаться и не реагируют на раздражители. Это может привести к смерти, если животное отдалится от родной среды обитания, или его поедают хищники. К сублетальным последствиям нефтяных разливов, которые наблюдались у некоторых животных, относятся снижение темпов роста, репродуктивной способности (например, подвижность сперматозоидов, успех высиживания яиц), физиологической активности (например, частота питания и реакция на раздражители), повреждение тканей (например, язвы кожи, личиночное уродство) и генетические повреждения (например, изменение формы ДНК).

В последние годы экотоксикологические исследования клеток и биохимических систем животных и растений выявили ряд показателей сублетального воздействия, которые собирательно называются *биомаркерами*. Они могут свидетельствовать о воздействии на животное отдельных вредных веществ, включая ПАУ. Примеры включают: уровень активности клеточных ферментных систем, которые защищают клетки путем расщепления потенциально опасных химических веществ (широко изученный индикатор); наличие продуктов распада ПАУ в желчи; а также уровень стабильности определенных клеточных органелл, которые также участвуют в детоксикации. За счет способности



Эти морские блюдца были подвержены наркотическому действию высокотоксичной нефти при разливе из танкера Sea Empress в 1996 году в Milford Haven, Уэльс. Их значительно сниженная популяция оказала эффект домино на все сообщество каменистого берега. Дополнительные сведения о воздействии разливов нефти на побережье можно получить из документа IPIECA-IUGP номер 2015a.

определять воздействия эти биомаркеры можно использовать для повышения качества экологического мониторинга в части системы раннего предупреждения потенциального урона экологии. В рамках исследований нефтяных разливов эти методы могут предоставить дополнительные доказательства для других экологических и экотоксикологических исследований, описывая степень и масштабы последствий. Тем не менее, необходимо учитывать, что появление этих биомаркеров может быть вызвано другими условиями, поэтому сами по себе уровни биомаркеров не являются надежным доказательством воздействия нефти. Кроме того, наличие доказательств воздействия не всегда является подтверждением урона.

Большая часть наших знаний в области токсикологического воздействия (летального и сублетального) базируется на лабораторных исследованиях, где животные и растения могут содержаться в контролируемых условиях с использованием нефти различных типов и концентраций. Хотя ценность таких исследований высока, важно учитывать тот факт, что полностью имитировать реальные полевые условия, включая место обитания, экологические процессы и непрерывное растворение нефти со временем, практически невозможно. Поэтому определение истинных масштабов токсикологических эффектов весьма затруднительно, и интерпретация их экологической значимости является еще более сложной задачей. На основании набора полевых и лабораторных данных было разработано несколько компьютерных моделей, которые призваны описать степень и географический масштаб токсикологических эффектов в морской среде. Результаты проверки иногда совпадают с эмпирическими данными, однако при подготовке выводов важно учитывать и понимать ограничения моделей.

Степень поражения животных, растений или среды обитания в результате физического удушения будет зависеть от количества нефти, а также других факторов, описанных ниже. Точно также, важнейшими факторами являются доза и длительность воздействия углеводородов, которые влияют на степень возможного токсического воздействия углеводородов на организм. Концентрация диспергированной нефти чуть ниже поверхности пятна в открытой воде может подняться до уровней, которые могут быть весьма токсичными, если будут оставаться такими в течение некоторого времени. Однако продолжительность воздействия обычно небольшая, так как пятно движется и нефть растворяется. Высокая концентрация нефти в илие загрязненной береговой линии на некоторых участках может оставаться в течение очень длительного времени. Концентрации нефти в литорали верхнего берега при постоянном пятне смолы может быть низкой, однако возможны долгосрочные хронические последствия на протяжении многих лет. Для каждой ситуации характерны разные последствия для различных организмов и, в зависимости от масштаба и распространения загрязнения, каждое последствие может оказать влияние (а может и не оказать) на уровень популяции или утрату экосистемных услуг. Подобные последствия также являются функцией характеристики популяции, поведения и связанности. Все эти факторы определяют устойчивость популяции. Дополнительные сведения по этой теме см. в документе IPIECA-IOGP номер 2015a.

Помимо прямого воздействия нефти, описанного выше, имеется множество потенциальных косвенных последствий. Если нефтяной разлив приводит к сокращению популяции определенного вида, то вполне возможно, что это будет иметь последствия для популяции других видов по вертикали той же пищевой цепи. Точно также, физическое пространство, освободившееся от определенного вида, может быть занято другим противоборствующим видом, а трупы животных будут служить краткосрочным источником пищи для других видов. Сложные экологические взаимодействия в рамках сообществ могут приводить к самым разнообразным последствиям (см. примеры в разделе *Воздействие разливов нефти на морскую жизнь и дикую природу* на страницах 20-38). Также возможно, что нефтяные разливы окажут косвенное воздействие на более широком уровне экосистем, хотя эти возможности все еще анализируются.

Факторы, влияющие на воздействие нефти

Ясно, что последствия разлива нефти в значительной степени зависят от обстоятельств. Объем разлива является лишь одним из факторов, и не всегда самым важным. Источник и тип нефти, волны, глубина воды, количество ила в воде, ветер и приливы, температура и близость разлива от берега — все это обуславливает разницу между минимальным и сильным воздействием на многие ресурсы. Сочетание этих физических и химических факторов также будет определять места обитания, которые подвергаются воздействию нефти, и форму воздействия. Например, это может быть пятно нефти на поверхности воды, облако нефтяных капель в нескольких метрах водной толщи под поверхностью, хлопья нефтяных частиц на морском дне, шлейф нефти с подводным освобождением, пленка нефти на береговой линии.

Морская среда обладает такой особенностью, что многие виды, как правило, обитают в местах физического сопряжения, например между землей и морем (побережья), воздуха и воды (поверхность моря) или в месте встречи льда с водой. Нефть также стремится концентрироваться в местах этих сопряжений. Если нефть достигает берега, то важное значение играют другие экологические факторы, такие как волны, угол уклона, тип субстрата и наличие особенностей, способствующих изоляции нефти. Их влияние на сохранение нефти на берегу будет одним из наиболее важных факторов долгосрочного воздействия. Эти факторы более подробно описаны в документе IPECA-IOGP номер 2015a.

Помимо описанных природных факторов, на чувствительность, гибкость и возможность восстановления отдельных видов влияют многие другие экологические и биологические факторы. Многие из них могут иметь воздействие на сообщества и экосистемы. Примеры приведены в разделе *Воздействие разливов нефти на морскую жизнь и дикую природу* на страницах 20-38.

Сезонность

На поведение или биологию (например, миграцию, разведение и нерест) большинства видов влияет сезонность, особенно в умеренных и полярных регионах. Эти этапы могут оказывать сильное влияние на их уязвимость при нефтяных разливах. Сезонность часто определяет присутствие или повышенную концентрацию определенных видов или жизни в конкретной области или места обитания в определенное время года. Поскольку яйца и мальки, как правило, более чувствительны, чем взрослые особи (отчасти потому, что они обладают увеличенным соотношением поверхности к объему), сезонные концентрации могут быть уязвимы перед разливами.



©Michael Haferkamp, 2002
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AlleAlle_2.jpg

Ниже: биология и поведение малой гагарки, как и большинства арктических птиц, сильно зависит от сезона. Они мигрируют с севера к высоким широтам Арктики весной для размножения в больших колониях и питаются мелкими ракообразными с морского льда. Зимой они мигрируют на юг к Северной Атлантике.

Экологическая роль ключевых видов

Как было сказано во *введении*, некоторые виды играют важную роль в экологии своих сообществ. Некоторые виды (например, мангровые леса, болотные растения и кораллы) создают среду обитания, от которой зависят многие другие виды. Другие виды могут играть определенную роль, например хищники, травоядные, мусорщики и биотурбаторы (организмы, переворачивающие донные осадки). Относительно небольшое влияние на один из этих видов (иногда называются ключевыми видами) может иметь последствия для остальной части сообщества.

Жизненные факторы

Существует ряд биологических признаков, которые могут влиять на способность вида восстанавливаться после разлива нефти. Сюда относится долговечность (срок жизни), репродуктивные стратегии и потенциал (особенно количество потомства), мобильность/потенциал рассредоточения (например, мальки планктона), темпы роста, метод питания и географическое распределение. Таким образом, если разлив влияет на совокупность видов с длительным сроком жизни, медленным ростом при малом ежегодном потомстве и ограниченном пространстве, о это может стать причиной медленного восстановления. С другой стороны, популяция видов с противоположными чертами будет восстанавливаться быстрее, даже в случае гибели большого числа особей из-за разлива. Такие виды считаются устойчивыми. Некоторые виды с такими чертами могут быть конкурирующими, и они воспользуются преимуществом условий, которые являются тяжелыми для менее устойчивых видов, в результате чего они быстро колонизируют место обитания и будут там доминировать. В действительности, значительное увеличение таких видов является индикатором влияния разлива. По мере уменьшения загрязнения и повторной колонизации подверженных воздействию видов сообщество постепенно восстановит естественный баланс, иногда в результате ряда сукцессионных стадий. Примеры конкурентов (рассматриваются в следующем разделе): однолетние зеленые водоросли на скалистых берегах и некоторые виды многощетинковых червей в субстрате.

Здоровье и состояние

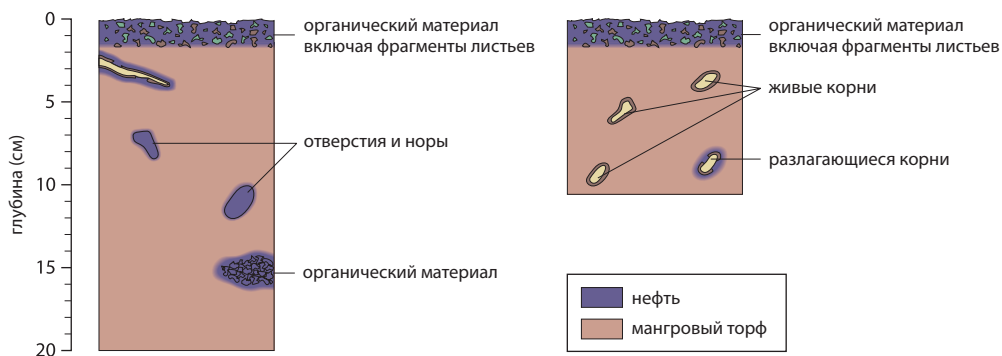
Индивидуальные организмы, популяции и целые сообщества и экосистемы, которые уже были подвержены внешнему воздействию, могут особо сильно пострадать при разливе нефти. Это понятие называется «кумулятивным воздействием». Мигрирующие птицы, например, будут более чувствительны к воздействию нефти, если они не оправились от суровых погодных условий во время их путешествия. Множественные разливы нефти в одном месте также могут постепенно ухудшать состояние и устойчивость сообществ и экосистем, что приводит к более долгосрочным последствиям.

В дополнение к сказанному выше, некоторые виды просто более устойчивы к воздействию нефтяных загрязнений, чем другие. Это определяется анатомией, физиологией, поведением и другими аспектами их индивидуальной комплексной биологии. Примеры см. на страницах 20-38.

Долгосрочные экологические последствия и восстановление

Несмотря на последствия нескольких разливов в одном месте (примечание выше, в разделе *Здоровье и состояние*), для большинства нефтяных разливов характерны небольшие объемы и ограниченные последствия. Кроме того, для большинства крупнейших нефтяных разливов масштабы и продолжительность экологических последствий ограничены, а на срок более одного года или двух лет распространяются только основные факторы влияния. Даже в случае воздействия крупных разливов большинство морских мест обитания и популяций быстро восстанавливаются, а относительно долгосрочные последствия наблюдаются лишь в относительно небольших районах. Согласно описаниям долгосрочных последствий, основной причиной является наличие нефти, обычно в виде тяжелых отложений или включений в илистые отложения, и чаще всего они наблюдаются в среде обитания с ограниченным водообменом. Если нефть убирается или уходит, т.е. в большинстве районов разливов, восстановление обычно происходит быстро и ограничено исключительно скоростью естественных процессов. Среди других причин потенциальных долгосрочных последствий называются чрезмерно интрузивная реакция (например, физическое повреждение места обитания при очистке), повышенная смертность долгоживущих видов (то есть видов, которым требуется много времени на воспроизводство и возврат к численности популяции, предшествующей разливу) и другие факторы, которые ведут к медленному приросту затронутой популяции (например, географически изолированные популяции). В следующем разделе приводятся примеры каждой из названных причин.

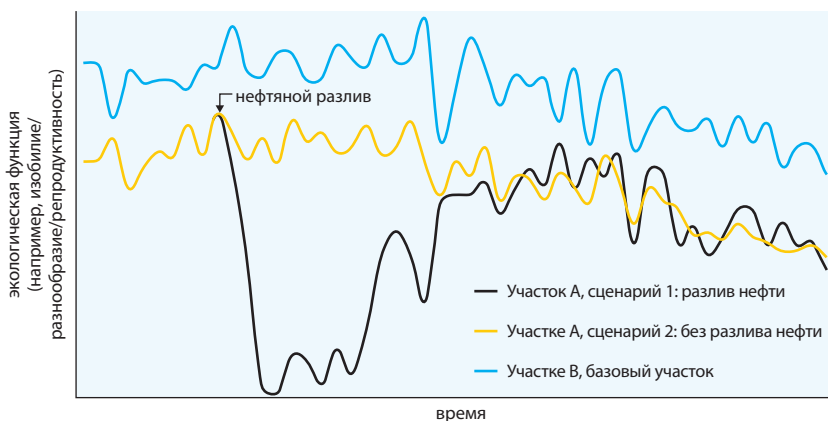
Рисунок 3 Два образца корня, взятых из мангровых болот после нефтяного разлива в Панаме в 1986 году



Oil from a refinery spill in Panama impacted mangroves and penetrated sediments. This persistent contamination became a source of chronic oiling that impacted a neighbouring coral reef for some years afterwards.

Независимо от степени или масштаба воздействия, процесс естественного восстановления начнется в любом случае, хотя в настоящее время ведутся споры о времени, необходимом для этого процесса в различных ситуациях. Определить ранние этапы восстановления обычно легко, в то время как поздние этапы данного процесса зачастую сложно описать с необходимой точностью. В большинстве случаев трудно определить, когда восстановление завершено, и ученые, как правило, консервативны в своем анализе. Серьезной проблемой является то, что нет общепринятого определения для терминов *восстановление* или *восстановлено*. Традиционно, а по большей части и сегодня, популяции и сообщества описывались с точки зрения изобилия и/или биомассы каждого узнаваемого вида. Поэтому логика подсказывает, что *восстановление* можно охарактеризовать лишь как возвращение ранее существовавшей популяции или уровней биомассы для каждого вида. Однако считается, что многие экологические факторы, которые характеризуют биологические среды обитания и биологические ресурсы, находятся в состоянии непрерывного и в основном непредсказуемого изменения. По этой причине поврежденные ресурсы не обязательно должны вернуться непосредственно к состоянию до разлива; аналогично, невозможно предсказать, каким был бы этот ресурс, если бы не было воздействия разлива. Текущие определения восстановления часто относятся к экологической функции и/или экосистемной функции, которые выполняют виды/популяции/сообщество в более обширной окружающей среде. Двумя такими функциями, которые признаются как важные для сообществ и экосистем, являются биоразнообразие (разнообразие жизни) и репродуктивность (количество биологического вещества, создаваемого за единицу времени).

Рисунок 4 Пример естественных колебаний в экологической функции на двух соседних участках и возможное воздействие нефтяного разлива с последующим восстановлением на одном из них



Участки А и В имеют различные экологические характеристики, поэтому показатели экологической функции нельзя сравнивать напрямую в любой момент времени. Тем не менее, общее поведение функций схоже, что дает возможность давать восстановлению некоторые оценки.

Воздействие разливов нефти на морскую жизнь и дикую природу

Планктон

Планктон включает микроорганизмы (бактерии и т.д.), фитопланктон (маленькие, часто одноклеточные водоросли) и зоопланктон (главным образом это мелкие ракообразные, а также медузы и других животные), плюс споры, яйца и личинки других растений и животных (водорослей, беспозвоночных и рыб). Самая большая плотность планктона наблюдается в прибрежных водах, где концентрация биогенных веществ достаточно высока для их выживания, и неподалеку от популяции взрослых особей. Эта огромная диффузная биомасса является основой большинства пищевых цепей в море.

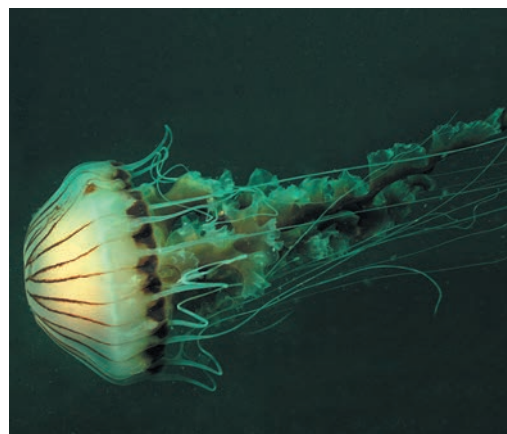
Планктонные организмы относительно чувствительны к токсическим эффектам углеводородов, особенно к водорастворимым фракциям и небольшим каплям нефти. Лабораторные исследования описывают широкий спектр острых, хронических и сублетальных последствий для различных видов и жизненных этапов. Тем не менее, большинство исследований сообществ природного планктона показывают, что он достаточно быстро возвращается к нормальной плотности и составу сообщества после того, как концентрация нефти в воде возвращается к нормальному уровню. Их способность к такому быстрому восстановлению объясняется коротким временем смены поколений, большим количеством яиц и личинок, распределением на больших площадях и быстрым водообменом. В нескольких исследованиях описывается поведение видов планктона при воздействии, длящемся более нескольких дней или недель. Например, исследования после посадки на мель советского танкера *Цесис* в 1977 году, когда в Балтийское море попало около 1000 тонн топлива, показали, что в первые дни после разлива биомасса зоопланктона существенно сократилась рядом с местом крушения, но в течение последующих пяти дней она восстановилась. В течение более чем трех недель фиксировалось загрязнение зоопланктона, в результате чего был сделан вывод, что кратковременное увеличение биомассы фитопланктона и первичной продукции в пострадавшем районе было вызвано скоростью выедания зоопланктона.

Потенциальные проблемы для некоторых уязвимых видов и этапов жизни никуда не уходят. Для некоторых видов рыб характерна изолированная популяция. Они откладывают икру в определенных местах, содержащих планктонные яйца или личинки, которые могут быть уязвимыми перед воздействием. Если во время нереста или сразу после нереста в этом районе происходит большой разлив, то вероятность гибели яиц или личинок становится достаточно высокой. Учитывая большое количество яиц, откладываемых большинством видов рыб, и небольшую часть, которая должна выжить для сохранения взрослой популяции, влияние разлива на популяцию рыбы будет маловероятным. В качестве последнего примера можно привести западно-атлантического голубого тунца в Мексиканском заливе. Известно, что они нерестятся в области, частично совмещенной с участком моря, где произошел выброс на скважине Macondo в 2010 году, и откладывают яйца, которые плавают на поверхности.

Планктон может быть разным по размеру. Виды вблизи поверхности являются уязвимыми и чувствительными к повышенной концентрации углеводородов под нефтяным пятном. Однако при большинстве разливов в открытую воду планктон подвергается лишь кратковременному воздействию и быстро восстанавливается.



Изображения Wellcome



Лабораторные исследования в Австралии показали, что углеводороды могут влиять на развитие зародышей южного голубого тунца, и была предпринята попытка определения вероятного механизма такого воздействия. Тем не менее, опубликованные результаты полевых исследований атлантического голубого тунца в Мексиканском заливе не представили никаких доказательств воздействия разлива.

Жизнь на морском дне

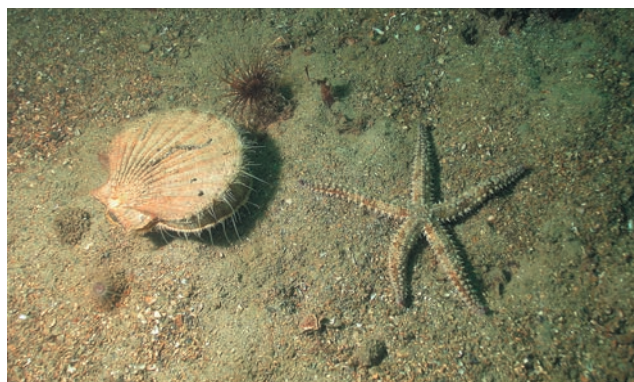
Отложения, включающие смеси ила, песка и гравия, составляют основную часть среды обитания морского дна в морских зонах, в то время как в прибрежной части основным местом жизни являются подстилающая порода и валуны. Разнообразие сред обитания в воде также велико, как и на земле. В некоторых местах обитания доминируют определенные виды или группы видов, которые иногда даже являются источниками образования этих сред. Примеры: леса ламинарии, водоросли, мидиевые банки и коралловые рифы. Водоросли и морские травы можно найти только в относительно мелкой воде с достаточным количеством света (т.е. на глубине максимум несколько десятков метров), однако сообщества животных распространены на всех глубинах.

Уязвимость сообществ морского дна от поверхностных разливов нефти главным образом зависит от глубины, так как экологически-значительные концентрации растворенной нефти из поверхностных пятен редко опускаются более чем на 10 метров. Кроме того, высокие концентрации обычно не остаются над определенным участком морского дна в течение длительного времени. По мере движения пятна и его выветривания вероятность концентрации углеводородов с возможным токсическим эффектом, который мог бы достигнуть морского дна, уменьшается. Например, во время войны в Персидском заливе в 1991 году разлив нефти на севере залива переместился в воды Саудовской Аравии и прошел непосредственно над поверхностными коралловыми рифами, не причинив заметного вреда.

Подводные выбросы могут иметь значительно большее воздействие на большой глубине, в зависимости от обстоятельств. Во время разлива Mascondo в Мексиканском заливе были применены химические диспергенты на забое скважины, чтобы увеличить дисперсию и биоразложение нефти. Исследования показали, что глубоководные течения унесли нефтяные капли над морским дном на многие километры. Тем не менее, концентрация нефти была низкой. Последующий мониторинг подводных струй мантии показал, что максимальный уровень летучих углеводородов составлял 1,2 части на миллион на участке протяженностью чуть более 1 км от забоя скважины, а на расстоянии более 20 км уровень составлял

Леса ламинарии и морская трава также растут на мелководье и характеризуются высоким уровнем биологического разнообразия и продуктивности. Растения не особенно чувствительны к повышенной концентрации углеводородов, в отличие от многих животных, которые живут в этих местах обитания, включая молодь.





Среды обитания морского дна на глубине ниже 10–20 м слабо чувствительны или нечувствительны к разбавленной нефти из поверхностных разливов.

В глубоком море также представлено широкое разнообразие морской жизни. Она не уязвима для поверхностных пятен, но существует вероятность воздействия углеводородов из разливов под поверхностью воды.

менее 0,1 части на миллион. Аналогичные показатели для полувolatile веществ (органических соединений, которые могут испаряться при температурах окружающего воздуха, но только очень медленно) составляли максимум <0,5 части на миллион и <0,01 части на миллион на расстоянии более 10 км. Возможно, рыбы и сообщества морского дна также были подвержены воздействию повышенных концентраций, однако имеется мало свидетельств загрязнения донного ила растворенной нефтью. Лабораторные исследования и эмпирические данные показывают, что если диспергенты не используются, то к поверхности поднимается больше нефти и воздействие на морское дно уменьшается, однако воздействие на поверхность и береговые ресурсы возрастает. Анализ суммарной экологической выгоды (см. раздел *Управление разливами нефти и потенциальное воздействие* на стр. 39–43) показал, что этот компромисс уместен, хотя это мнение не получило повсеместного признания. Другие обстоятельства, способные привести к загрязнению на большой глубине, включают разливы нефти высокой плотности, для которых характерны выветривание и оседание, что описано на страницах 12–13.

Достижение дна повышенными концентрациями нефти в воде является маловероятным случаем, однако тогда все организмы в толще воды окажутся уязвимыми, включая растения и животных, которые живут на поверхности морского дна (вместе называются *эпибионтом*), и все землеройные животные, которые активно забирают воду в свои норы или ткани для питания или ирригации. Большинство других животных, которые живут в илистой среде, будет частично защищено, если только нефть не станет частью ила, что происходит только в определенных обстоятельствах (см. *осаждение* на странице 12).



NOAA/MBARI

Эпибионт морского дна на мелководье может быть уязвимым перед повышенными концентрациями нефти вблизи дна, но большая часть видов будет относительно нечувствительна даже к высоким концентрациям, так как продолжительность воздействия обычно невелика. Воздействие нефти на морские водоросли, такие как заросли ламинарии и другие виды, доминирующие в твердом субстрате на мелководье, также будет невелико из-за клейкого покрытия, которое препятствует поглощению нефти. Многие сессильные беспозвоночные, даже те, которые питаются способом фильтрации или поглощения частиц из толщ воды (с которой в организм попадают капли нефти), например губки и асцидии, также выживут, не подвергшись воздействию высоких концентраций. Возможно, что на эти животные будет оказано кратковременное влияние высокой дозы углеводородов

(о чем сказано в разделе *Экологические последствия и восстановление* на страницах 15-19), но исход не будет летальным. В качестве еще одного примера можно привести мидии: они охотно подбирают нефть из толщи воды, накапливая ее в своих тканях, но при этом они устойчивы к токсичному воздействию. Объем сублетального воздействия на рост мидий, их размножение и другие последствия для тканей описаны в исследованиях, однако после ухода нефти и очистки тканей (этот процесс называется очищением, которое может занять несколько месяцев) они продолжили жить без признаков влияния на популяцию.

Тем не менее, некоторые группы донных животных чувствительны даже к кратковременному воздействию относительно низких концентраций углеводородов, в том числе роющие двустворчатые моллюски и мелкие ракообразные, называемые бокоплавными.

Некоторые моллюски-фильтраторы, которые живут в прибрежном иле, будут реагировать на дозы нефти в воде выходом из ила. После нескольких прибрежных разливов большая часть пострадавших двустворчатых моллюсков, таких как морские черенки и мидии, выбрасывается водой на берег, распределяясь вдоль береговой линии. Некоторые двустворчатые моллюски могут жить в течение многих лет или десятилетий, а в случае гибели значительной части популяции восстановление может занять некоторое время. Среди других животных, живущих в иле и втягивающих воду в свои норы, которые были найдены выброшенными на берег после разливов, можно выделить сердцевидных морских ежей и маскированных крабов.



Некоторые амфиподы (среди которых есть множество видов, адаптированных к различным средам обитания) также являются фильтраторами, и многие исследования показывают воздействие разливов на их популяцию. Некоторые амфиподы часто используются в качестве испытательных организмов в исследованиях токсичности ила, так как было обнаружено, что они являются хорошими показателем загрязнения. Для амфиподов мелководья в умеренной и тропической зонах обычно характерна короткая продолжительность жизни и смена нескольких поколений в год, поэтому восстановление популяции этого вида происходит достаточно быстро. Тем не менее, в 1978 году при разливе *Amoco Cadiz* наблюдалось относительно локализованное резкое падение плотности живущих в трубках амфиподов (*Ampelisca*) с последующими изменениями в остальной части сообщества. Понадобилось 15 лет, чтобы плотность амфиподов и структура сообщества вернулись к уровням, близким к уровням до разлива.

Воздействие на амфиподов и двустворчатых моллюсков из прибрежной популяции изучено по результатам множества прибрежных разливов, но зачастую воздействие на прибрежные сообщества проявлялось в виде нескольких других эффектов. В определенной степени это может быть связано с материально-техническими трудностями выборки и получения сравнительных данных до разлива, однако случай 1996 года при разливе *Sea Empress* в юго-западном Уэльсе (Великобритания) является исключением, так как программы мониторинга постоянно проводились на протяжении многих лет до происшествия. Примерно половина из 72 000 тонн разлитой нефти была рассеяна (диспергирована) естественным и химическим способом, а исследования дна показали заметное сокращение плотности мелких ракообразных (амфиподов и кумовых) вблизи крушения, однако ощутимого влияния на

Большое количество моллюсков и других землеройных животных покинули илистое дно после воздействия повышенных концентраций нефти, наблюдавшихся в течение 1996 года после разлива *Sea Empress*. Некоторые из них оказались на близлежащих пляжах.

Большое количество мелководной жизни погибло от естественной диспергированной нефти при разливе мазута в 1996 году на Северном Мысе.

сообщество морского дна замечено не было. Мониторинговые исследования выявили четкую модель восстановления амфиподов в течение пяти лет до плотности, близкой к уровням до разлива в 2000 году. Большое количество двустворчатых моллюсков и сердцевидных ежей было выброшено на пляжи, но исследования после разлива показали, что значительная часть популяции выжила. Нет никаких свидетельств остатков следов загрязнения сырой нефти, однако недавние экспертные исследования донных осадков в Milford Haven показали наличие обнаруживаемых концентраций тяжелого нефтяного топлива, вылившегося из танкера. До настоящего времени не проводилось исследований, которые дали бы оценку хронической токсичности этих концентраций.



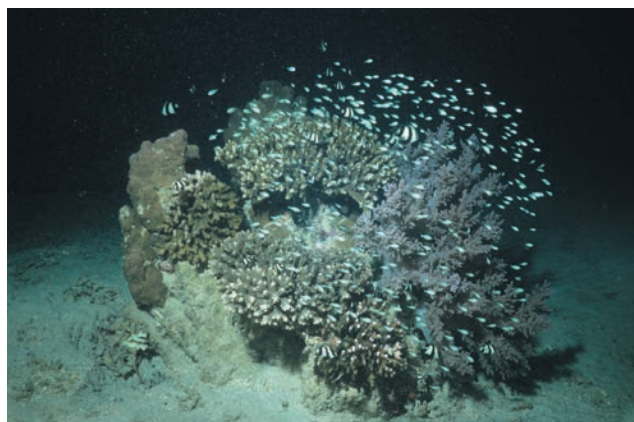
Dr. Erich Gundlach, E-Tech

После некоторых разливов, когда сочетание дозы и продолжительности было достаточно велико, чтобы привести к гибели организмов, наблюдалось заметное влияние концентрации нефти в воде на другие организмы морского дна. Одним из примеров может служить происшествие 1996 года, когда баржа *North Cape* села на мель у побережья Род-Айленд, США, в результате чего вылилось около 3100 кубических метров мазута, относительно легкого продукта. Большое количество молодых омаров, моллюсков и других видов погибло из-за воздействия высоких концентраций рассеянной (диспергированной) нефти. Большая часть последствий наблюдалась в прибрежных районах на глубине не более нескольких метров. Взрослые омары не получили значительных повреждений, так как перед разливом они мигрировали на зиму в более глубокие воды. Поэтому ожидалось, что количество молодых особей омаров,

необходимое для восстановления популяции, не изменится. Несмотря на это, на берег было выброшено почти три миллиона молодых омаров, возраст пятой части из которых составлял от двух до семи лет, поэтому на восстановление, по оценкам, потребовалось несколько лет. Была запущена программа восстановления, однако исследования показали, что восстановления не произошло из-за больших объемов рыболовства и по другим причинам. Восстановление моллюсков, как ожидалось, также могло занять несколько лет, поэтому была проведена программа восстановления различных видов.

Тропические коралловые рифы могут формировать обширные районы с широким биоразнообразием в мелкой воде, где уязвимость и чувствительность к нефтяным разливам будет высока.

Разливы нефти также оказали воздействие на тропические коралловые рифы, и среди долгосрочных последствий имела место гибель самих кораллов. Однако различные виды кораллов обладают различной чувствительностью и, опять же, большинство видов не является остро чувствительным к краткосрочному воздействию повышенных концентраций нефти. Воздействие нефти, способное вызвать серьезные последствия, на рифы глубже 10 метров при поверхностном разливе маловероятно. Иногда воздействие на другие беспозвоночные, живущие на рифе, будет больше, чем на кораллы, а иногда заметное



воздействие и вовсе отсутствует. Один из наиболее изученных тропических разливов произошел на нефтеперерабатывающем заводе в Панаме в 1986 году, когда из разорвавшегося бака вылилось около 38 000 тонн сырой нефти средней плотности, что оказало влияние на коралловые рифы в приливной зоне и на мелководье. Это стало причиной значительных повреждений кораллов на глубине до шести метров, а из-за хронического попадания нефти из нефтяных отложений в близлежащих мангровых зарослях восстановление было медленным.

В рамках исследования тропиков 1984 года был проведен крупный полевой эксперимент, который позволил сравнить последствия от воздействия химически диспергированной и не диспергированной нефти. Результаты показали краткосрочное (один год) снижение покрытия кораллов, а также популяций других коралловых беспозвоночных и рыбы, обитающих в районе диспергированной нефти. Также наблюдалось снижение кораллового покрытия в районах, где не было диспергированной нефти, однако впоследствии в обоих районах покрытие начало увеличиваться. Это поведение в корне отличается от более очевидного и долгосрочного воздействия диспергированной нефти на мангровые заросли.

Когда значительное количество нефти смешивается с илистыми отложениями или когда фракции опускающейся нефти образуют новый слой на морском дне, нефть может оставаться там в течение многих лет, так как биоразложение замедляется из-за недостатка кислорода. Токсичность нефти может повлиять на сообщество морского дна, а слой опустившейся нефти может стать препятствием для колонизации. Со временем токсичность уменьшается, так как нефть выветривается, однако токсичные вещества могут оставаться под поверхностным слоем. Наиболее ярким примером этому служит разлив *Amoco Cadiz* в 1978 году. Концентрации нефти в глинистых отложениях двух устьев достигла высокого уровня, и конкурирующие многощетинковые черви стали доминировать в течение нескольких лет, до снижения токсичности ила. Нефть также стала причиной повреждения тканей и других сублетальных последствий для видов камбалы, которые наблюдались даже спустя восемь лет после происшествия. Среди других примеров, для которых характерна более низкая концентрация отложений и менее серьезные последствия, можно выделить воздействие на водоросли мелководья в 1989 году при разливе *Exxon Valdez*, а также влияние на относительно глубокие (30 метров) отложения при разливе *Cecis* в 1977 году в Балтийском море. Примеры воздействия затонувшей нефти включают разлив *Haven* в 1991 году в Генуи, Италия, когда большое количество сгоревших остатков от взрывов и пожара на судне опустились на морское дно и образовали твердый слой, который затем частично был колонизирован эпибионтом. Исследования также выявили ряд свидетельств сублетальных токсических эффектов в тканях камбалы в этом районе. Тем не менее, это не является показательным примером воздействия отложений, оставшихся после контролируемого сжигания разлитой нефти, когда плавающая нефть сжигалась на большой площади, что привело к низкой концентрации рассеянного осадка, способного достигнуть донных отложений.

Сообщества морского дна в полярных морях обладают заметными отличиями от обитателей теплых морей, так как большая часть видов отличается повышенной продолжительностью жизни и медленным ростом. Отсутствие исследований означает, что уверенные прогнозы относительно воздействия нефти при достижении этих мест обитания сделать трудно, однако исследования сообществ морского дна во время экспериментального разлива на Баффиновой Земле (см. стр. 42) показали весьма ограниченное воздействие диспергированной и не диспергированной нефти. За два года на самом чувствительном участке не было обнаружено никаких заметных последствий. Некоторые авторы предполагают, что сообщества морского дна в полярных морях могут быть не более чувствительны к нефти, чем виды умеренного климата. Тем не менее, при реальном воздействии время восстановления может увеличиться за счет более медленных экологических процессов. Исследование 1987 года после разлива дизельного топлива *Nella Dan* в австралийском секторе Антарктики показали, что это происшествие привело к высокой смертности в сообществах беспозвоночных приливной зоны и на каменистом дне ниже приливо-отливной зоны. Сообщества приливной зоны быстро восстановились, однако в сообществах животных, живущих в зоне роста бурых водорослей, наблюдались долгосрочные последствия. Через семь лет после разлива структура корневого сообщества в пробах из сильно загрязненных участков показала умеренные уровни восстановления, включая популяции чувствительных видов.

Точно также для сообществ глубоководного морского дна характерны виды с длительным сроком жизни, поэтому восстановление от последствий разлива может занять длительное время. Исследования в Мексиканском заливе после разлива на скважине Macondo в 2010 году выявили области илистого загрязнения вблизи скважины в первый год после происшествия, с одновременным сокращением разнообразия в сообществах морского дна. Также было обнаружено плохое состояние небольшого количества холодноводных кораллов. Однако большинство холодноводных кораллов выглядели неповрежденными, и в настоящее время недостаточно доказательств, чтобы сделать твердые выводы о долгосрочных последствиях разлива или воздействии подводных выбросов на морском дне.

Рыба и рыбные запасы

В этом разделе основное внимание уделяется плавниковым, а также обсуждаются некоторые ракообразные и моллюски, которые являются одной из составляющих рыбного промысла. Большинство ракообразных и моллюсков важны для сообществ морского дна, о чем говорилось выше. Относительно небольшое число видов рыб вносит свой вклад в промысловый лов, но все они играют определенную роль в одной или нескольких пищевых цепях. Большинство, но не все, могут быть отнесены к одной из трех экологических групп: пелагической, донной или бентической.

- *Пелагическая* рыба включает анчоусы, сельдь, тунец и кальмары; она живет в открытой воде, обычно питается планктоном и другой мелкой рыбой, склонна к высокой мобильности. Многие виды мигрируют, в зависимости от сезона и части жизненного цикла перемещаясь в другие районы.
- *Придонная* рыба — треска, морской окунь, губан и многие виды акул; проводит большую часть своей жизни вблизи морского дна — основного источника пищи. Также может смещаться вверх на среднюю глубину. Они не так мобильны, как пелагические виды, и хотя некоторые виды могут мигрировать, большинство находится в одном районе в течение длительных периодов.
- *Бентическая* рыба — камбала, сом, морской петух и большинство моллюсков; живет на морском дне, редко поднимаясь наверх. Они, как правило, гораздо менее активны, чем пелагические и придонные рыбы. Многие обладают сильной поведенческой связью с определенным местом.

К другим важным экологическим группам относятся анадромные и катадромные рыбы, включая лосося, осетровых и угря. Для метания икры они мигрируют в пресную воду или в море. Эти группы имеют большое значение при рассмотрении уязвимости в различных ситуациях нефтяных разливов.



Как говорилось выше при описании жизни морского дна, вероятность воздействия растворимых углеводородов или капель диспергированной нефти с поверхностного нефтяного разлива на рыбу или моллюсков в значительной степени зависит от глубины воды, в которой они живут. Именно по этой причине во многих странах разрешается распылять химические диспергенты на поверхностные пятна только при глубине более 10–20 метров без необходимости проведения подробного анализа имеющихся морских ресурсов. В основе этого лежит тот факт, что увеличение рассеивания нефти на глубину вряд ли повлияет на популяцию рыбы или другие важные ресурсы в этих областях. Например, бентические и придонные виды будут обитать ниже уровней, которых достигнет повышенная концентрация нефти, в то время как пелагические рыбы избегают плавания на поверхности для защиты от птиц, а некоторые виды настолько мобильны, что они вряд ли будут подвергаться воздействию высоких концентраций нефти в течение длительных периодов. Кроме того, некоторые исследования хода загрязненного лосося и лабораторные эксперименты показали, что рыба может чувствовать (с использованием чувствительных рецепторов на боковой линии) нефть и избегать ее. Тем не менее, имеются также доказательства того, что другие импульсы могут подавлять такое поведение. Независимо от причин, становится ясно, что вероятность гибели рыбы при разливах нефти в открытой воде достаточно мала, вне зависимости от использования химических диспергентов. На данный момент не существует опубликованных данных о высокой смертности рыбы в открытом море, а для прибрежных районов количество таких данных минимально.

Как говорилось в разделе, посвященном жизни на морском дне (страницы 21–26), подводные выбросы могут привести к воздействию концентраций углеводородов на глубоководную рыбу, однако потенциал токсического эффекта неизвестен. О биологии глубоководных рыб и их реакции на углеводородное загрязнение известно очень мало. Мониторинг при глубоководном разливе Macondo в 2010 году показал, что подводные шлейфы нефти разбавлялись до высоты 300 метров над уровнем морского дна, а концентрация нефти снизилась до 1 части на миллион на расстоянии более 1 км от скважины, а на расстоянии 20 км этот показатель составлял менее 0,1 части на миллион. При этом по мере продолжения выбросов эти уровни сохранялись постоянными. Объем данных о воздействии арктических нефтяных разливов на рыбу слишком мал, чтобы получить больше информации об относительной уязвимости и потенциале восстановления. Токсикологические исследования показывают, что арктическим видам требуется больше времени на восстановление после воздействия нефти, однако их чувствительность схожа с чувствительностью видов из умеренных вод.

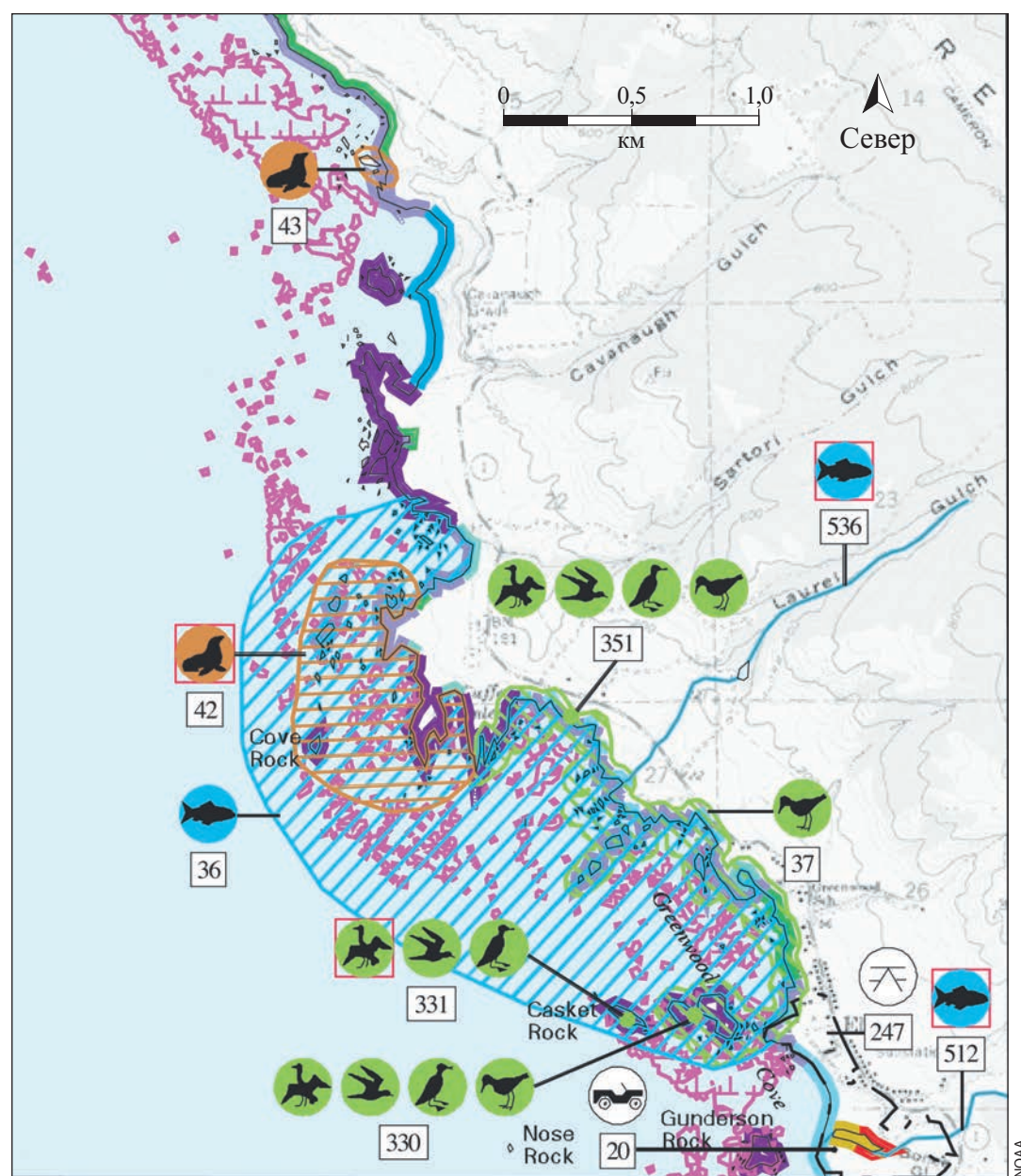
Риск воздействия увеличивается при разливах на мелководье и в любой другой ситуации, когда могут быть препятствия разбавлению концентраций нефти, например в лагунах, устьях рек и заливах. На концентрацию растворенной и диспергированной нефти оказывают влияние и другие факторы, описанные в разделе о распространении нефти (страницы 9–14). Многие виды донных и придонных рыб приспособлены к жизни на мелководье, тогда как многие другие виды перемещаются на мелководье только для размножения и метания икры. Некоторые виды являются территориальными, особенно в сезон размножения, и их уход маловероятен даже при возникновении такой необходимости. Некоторые мигрирующие виды будут в большом количестве пересекать мелководные прибрежные места обитания в определенное время года, что делает их гораздо более уязвимыми для разлива, если он совпадает со временем миграции. Этапы развития большинства видов рыб, в том числе многих промысловых видов, сосредоточены на мелководье среди водорослей, бурых водорослей и мангровых лесов, где в изобилии доступна еда и где можно прятаться от хищников. Эти питомники зачастую отмечаются на картах чувствительности к нефтяным разливам, помогая лицам, принимающим решения, планировать свои действия. Лабораторные испытания на токсичность показали, что яйца, личинки и молодая рыба, также как и в случае с животными, как правило, гораздо более чувствительны к углеводородам, чем взрослые особи.

У большинства видов рыб каждый этап жизни проходит в разной среде обитания. Мальки многих видов проводят свои первые месяцы на мелководье (глубина <10 метров), где много растительности и можно прятаться от хищников. Эти области потенциально подвержены воздействию углеводородов при поверхностных разливах.



Прибрежные разливы, которые приводят к постоянно- высокой концентрации углеводородов в прибрежных водах, представляют большой риск токсического воздействия на рыбу. Такие разливы имели место, например, в 1969 году при разливе из баржи *Florida* в заливе Buzzards Bay, штат Массачусетс, произошедшем в штормовую погоду, в результате чего вылилось около 570 тонн мазута №2, который смешался с прибрежными водами и привел к гибели большого количества мелкой рыбы (непромысловой) и беспозвоночных морского дна. Танкер *Amoco Cadiz*, севший на мель в 1978 году

Рисунок 5 Карта экологической чувствительности из Северной Калифорнии. Синяя заштрихованная область показывает известный питомник мальков морского окуня. Подробные сведения см. на картах индекса экологической чувствительности (ESI) на веб-сайте NOAA



в Бретани, Франция, потерял около 221 000 тонн легкой нефти в прибрежных водах, что привело к смерти большого числа губановых и песчанковых. Исследования популяции рыбы показали гибель годового количества

Ни один из выше перечисленных разливов, как и ни один из описанных в литературе, не привел к доказанному воздействию на популяцию промысловых плавниковых рыб. Это не удивительно; даже в худшем случае большого разлива, который произойдет во время нереста в изолированной среде, пагубное влияние углеводородов на популяцию взрослых особей будет крайне маловероятным. Хотя гибель яиц, личинок и мальков будет больше, репродуктивные стратегии рыбы допускают огромные потери молодняка, потому сокращение мальков не будет критическим в сравнении с естественным уровнем колебания популяции.

Однако поведение тихоокеанской сельди на Аляске в 1989 году после разлива *Exxon Valdez* изначально уверило некоторых людей, что нефтяные разливы могут оказывать серьезное воздействие на рыболовство. Тихоокеанская сельдь откладывает икру в водорослях мелководных прибрежных районов, и некоторые из этих участков подверглись воздействию нефти при разливе *Exxon Valdez*. Четыре года спустя, когда выводок года происшествия должен был прибавиться к взрослым особям, популяция сельди снизилась и многие приняли это за очевидные последствия разлива. Многие годы последующих исследований однозначно показали, что причиной сокращения популяции были болезни и плохое питание сельди, и почти наверняка нефтяные разливы не оказали существенного влияния.

Существуют редкие подтверждения влияния нефтяных разливов на локальную популяцию менее мобильных рыб и моллюсков, однако восстановление обычно происходит быстро, если только пополнение не происходит слишком медленно, виды не относятся к долгоживущим или имеются остатки нефтяного загрязнения. Например, высокая концентрация нефти в воде после разлива *Braer* в 1993 году привела к полной потере территориальной прибрежной рыбы (морской налим и бельдюга) вблизи разлива, однако через год началась повторная колонизация. После разлива в 1991 году во время войны в Персидском заливе запасы креветок из-за несостоявшегося нереста в Саудовской Аравии резко упали до 25% от довоенного уровня. Вероятной причиной считается разлив, однако причину установить не удалось, хотя существовало множество теорий. Эффект был локальным, поскольку рыбный промысел Кувейта в 1992 и 1993 годах сообщал об относительно хорошем улове. Напротив, в Мексиканском заливе после разлива *Macondo* в 2010 году исследования мелководных прибрежных водорослей не обнаружили никаких последствий воздействия нефти на количество мальков, за исключением некоторых показателей, которые улучшились благодаря запрету рыболовства. В ходе подводных и надводных мероприятий после происшествия был внесен значительный вклад в защиту популяций рыбы в мелких прибрежных водах.



Смертность губана связана с чрезмерно высокими концентрациями нефти в воде вблизи крушения *Braer* в 1993 году.

По результатам лабораторных экспериментов и анализа проб из районов, где произошла авария, выявлено сублетальное воздействие нефти на рыбу и моллюсков. Экспериментально описанные эффекты включают в себя различные виды воздействия на размножение (например, выведение яиц, выживание личинок и аномалии развития личинок), физиологические функции (например, плавание и интенсивность питания), повреждение тканей (например, заболевания кожи и клеток крови), биомаркеры воздействия и многие другие. Однако стоит отметить, что лабораторные исследования не могут точно имитировать концентрации нефти и длительность воздействия при реальных условиях, и лишь некоторые из упомянутых здесь последствий наблюдаются после реальных разливов. Биохимические (в виде биомаркеров) доказательства воздействия нефти наблюдались у многих видов после многочисленных разливов, но доказательства значительного ущерба плавниковым в основном ограничивались гистопатологиями (повреждение тканей) камбалы и других бентических видов, которые хронически подвергались воздействию стойких нефтяных остатков. Например, недавние исследования карпозубых в солончаках, покрытых нефтью после разлива Macondo в 2010 году, продемонстрировали некоторые доказательства воздействия нефти на морфологию тканей, однако другие исследования не выявили различия в составе видов, изобилии или размере рыб в загрязненных и чистых солончаках Луизианы по истечении двух-трех лет после разлива.

Еще одной проблемой является косвенное воздействие на популяцию рыбы из-за снижения доступности корма, особенно если разлив затронул основную пищу (например, бокоплавных) или стадию жизни. В настоящее время не описано и не обнаружено таких последствий на фоне естественной изменчивости, а следовательно, они будут относительно незначительными, даже если и произойдут.

С точки зрения рыболовства одной из основных проблем нефтяных разливов является потенциал загрязнения, когда углеводороды, впитанные тканями рыбы или моллюсков, могут чувствоваться на вкус или запах. Порча происходит даже при очень низких уровнях углеводородов в тканях. Это создает весьма неприятный вкус, из-за которого рыба становится несъедобной и тем самым непригодной для рынка. Это может привести к экономическим потерям рыбного промысла, но не влияет на популяцию или экологические функции. В плавниковых углеводороды обычно метаболизируются в течение нескольких дней или недель, и рыба опять становится чистой. Лишь для жирной рыбы, такой как лосось, обычно требуется больше времени для восстановления. У ракообразных и моллюсков, которые не могут быстро перерабатывать углеводороды, этот процесс проходит намного медленнее, и зараженность может сохраняться в течение месяцев или даже лет.

Морские млекопитающие

Морские млекопитающие, в том числе китообразные (киты и дельфины), тюлени, ламантины и выдры, относятся к сложным для изучения видам, что связано с нежеланием исследователей ловить их или наносить вред каким-либо иным образом с целью получения нужной информации. Поэтому эмпирические данные о воздействии нефтяных разливов ограничены, и многое основано на дистанционном наблюдении и анализе мертвых животных. Однако имеются данные, что для большинства морских млекопитающих количество погибших особей не сильно связано с воздействием разливов нефти. Наиболее подробные исследования морских млекопитающих были проведены на Аляске в 1989 году после разлива *Exxon Valdez*.

Воздействие жидкой нефти на поверхность моря или береговой линии является основным риском, и наиболее уязвимыми морскими млекопитающими при разливе нефти в районе обитания являются морские выдры и, в меньшей степени, тюлени. Даже небольшое количество нефти будет быстро загрязнять мех выдры и влиять на свойства изоляции и водоотталкивающую способность. При попытке отчиститься животное может проглотить нефть, что может привести к повреждению внутренних тканей. После разлива *Exxon Valdez* воздействию нефти подверглась, по крайней мере, тысяча морских выдр, после чего была



The sensitivity of orca, dolphins and other cetaceans to oil spills appears to be small.

обнаружена 871 погибшая особь. Восстановление популяции было затруднено, как например с млекопитающими, так как региональная структура включает множество местных популяций, каждая из которых обладает собственной социальной динамикой и динамикой популяции и зависит от местных экологических факторов. Некоторые местные виды восстановились за несколько лет, в то время как другим потребовалось больше времени или вообще не восстановились, по крайней мере в одной области, по неясным причинам и, возможно несвязанным напрямую с разливом. Некоторые ученые связали данные исследований биомаркеров постоянного воздействия ПАУ на выдры, которое наблюдалось в течение девяти лет после разлива, с постоянным воздействием остатков нефти в приливной зоне, однако токсическая биодоступность этих остатков была мала для оказания значительных экологических последствий. Выдры также становились источником беспокойства при других разливах, например после разлива *Braer* в 1993 году у Шетландских островов, хотя документально последствия от этого разлива были относительно ограниченными. Популяция европейских выдр может быть менее уязвима к морским разливам, так как они по большей части обитают в пресной воде.



Слева: многие выдры живут на побережье, и их мех легко смазывается нефтью в воде или на берегу.

Тюленям, морским львам и другим ластоногим не требуется длинный мех для теплоизоляции, хотя короткий мех большинства тюленей также может быть загрязнен нефтью. Поэтому их тела относительно менее чувствительны к нефти, особенно у тех видов, которые проводят большую часть своего времени в воде. Тем не менее, все ластоногие проводят определенное время на берегу, часто собираясь на устоявшихся лежбищах, где они будут более уязвимы перед нефтью, выходящей на берег. Сильное загрязнение вязкой нефтью может поразить любую особь, которой не повезло оказаться в определенном месте. После некоторых разливов была информация об удушении нескольких тюленей, особенно детенышей, однако количество смертей было небольшим и оно не могло оказать влияния



Снизу: ластоногие, как эти новозеландские морские котики, выходят на берег для отдыха между периодами кормления.



Детеныши некоторых видов тюленей проводят много дней или недель в воде, прежде чем начать плавать, поэтому они потенциально уязвимы к воздействию нефти в этом регионе.

на популяцию. В некоторых случаях вскрытие показывало, что животные уже были мертвы по иным причинам в момент воздействия на них нефти. Наиболее частым сублетальным воздействием нефти на ластоногих выражается в воздействии свежих углеводородов, находящихся на поверхности воды, на чувствительные участки кожи (слизистые оболочки). После ряда разливов были обнаружены животные с воспаленными или слезящимися глазами и носами, хотя природная распространенность респираторных заболеваний может усложнить толкование. Разлив *San Jorge* в 1997 году в Уругвае привел к попаданию нефти на важные лежбища морских котиков, что вызвало опасения по поводу последствий и потенциальных опасностей от агрессивных методов очистки берега. Хотя нефтяной разлив привел к гибели около 5000 детенышей, этот уровень смертности находился в допустимых природных рамках. Использование несложных технологий очистки позволило минимизировать риск дальнейшего воздействия нефти на животных и их бегства (когда взрослые особи могут затоптывать детенышей до смерти) из-за присутствия человека (Mearns *et al.*, 1999).

Проводились многочисленные наблюдения китов и дельфинов в непосредственной близости от нефтяных разливов, но доказательств воздействия на отдельных животных весьма ограничены и в основном косвенные. Это не означает отсутствие воздействия, однако если оно и имело место, то масштаб влияния слишком мал, чтобы его можно было легко определить. Потенциальные пути воздействия нефти аналогичны и для ластоногих, т.е. это контакт с кожей, слизистыми (глаза и органы дыхания), вдыхание углеводородов, удушение органов питания (у усатых китов), проглатывание нефти во время кормления и употребление в пищу зараженной добычи. Хотя можно представить сценарии сильного воздействия через эти каналы воздействия, вероятность такого сценария крайне мала. Эксперименты показали, что кожа китообразных нечувствительна к контакту с нефтью и естественный процесс заживления порезов на коже также не зависит от такого контакта. Выводы экспериментов также свидетельствуют о том, что в худшем случае возможно закупоривание усов у китов, однако они очень быстро самоочищаются. Вероятность того, что корм китообразных (даже некоторых усатых китов) поглотит достаточное количество нефти, которое способно будет нанести сублетальный ущерб пищеварительной системе или создать источник токсического воздействия, низка, и при вскрытии китообразных в их кишечнике не было обнаружено никаких доказательств подобного воздействия. Аналогично, уровень содержания углеводородов в добыче вряд ли будет таким высоким, чтобы быть токсичным для китообразных, и большая часть быстро метаболизируется. Некоторые ПАУ могут накапливаться в тканях китов, как и всех позвоночных, прежде чем они метаболизируются. И наконец, поблизости от источника разлива возможны вдыхание паров углеводородов и их контакт со слизистыми оболочками, если нефть свежая и концентрация летучих углеводородов временно высока, однако вероятность получения китообразными достаточной токсической дозы очень низка.

Самое убедительное доказательство гибели морских млекопитающих из-за разлива были опубликованы после разлива *Exxon Valdez* 1989 года. Исследователи, изучая стаи касаток, сообщили о заметном сокращении (33% и 41%) в количестве двух стай, обитающих вблизи разлива. Последующее наблюдение показало, что в этих двух стаях рост популяции не соответствовал другим стаям, обитающим на Аляске. Однако другие исследователи высказали сомнения относительно вероятности прямого влияния нефтяного разлива и предположили, что более вероятной причиной этому стало сочетание других причин, включая деятельность рыбаков, старость и другие виды загрязнения. К однозначному выводу этот спор не привел. Недавние исследования в штате Луизиана показали плохое состояние здоровья в популяции дельфинов, живущих в одном из заливов, который был подвергнут воздействию нефтяного разлива на скважине *Macondo* в 2010 году, и было предложено, что причинным фактором стал именно

разлив. Однако на момент написания этого документа доказательства этому были весьма ограничены. Аналитики подчеркнули ряд смешанных факторов, наряду с отсутствием убедительных доказательств воздействия и описания механизмов, посредством которых разлившаяся нефть могла стать причиной описанных эффектов.

К другим млекопитающим, которые потенциально подвержены воздействию разливов, относятся дюгонь, ламантины и полярные медведи. Эмпирических данных об их уязвимости, чувствительности и потенциале восстановления почти нет, хотя ограниченные доказательства воздействия создают определенный повод для беспокойства. Дюгони и ламантины живут на мелководье и медленно передвигаются, поэтому они будут уязвимы и для них может быть характерна некоторая чувствительность.

Шумные мероприятия по устранению нефтяного разлива, особенно движение морских судов, могут повлиять на поведение некоторых морских млекопитающих. Также может увеличиться вероятность получения животными травм, особенно если работы проводятся в месте, где животные питаются или отдыхают.

Морские рептилии

Черепашки потенциально уязвимы перед воздействием нефти, когда они контактируют с ней на поверхности моря или на берегу. Вне сезона гнездования взрослые и молодые особи проводят относительно мало времени на поверхности, но так как дышат воздухом, им нужно иногда подниматься на поверхность. Воздействие нефти возможно, когда они находятся на поверхности и, в худшем случае, они могут задохнуться. Тем не менее, имеется мало свидетельств чувствительности их кожи. Черепашки не собираются в группы и распределяются по большой территории, поэтому любое воздействие вряд ли примет масштабы популяции. Самый большой риск возникает во время гнездования, когда самки выходят на берег (обычно ночью) и поднимаются к верхней части пляжа, где они откладывают яйца. Это исключительно сезонная активность, которая характеризуется возвратом самок на один и тот же пляж в одно и то же время. Гнезда закапываются глубоко в песок, поэтому яйца в значительной степени



U.S. Fish and Wildlife Service

Вylупившиеся черепахи будут уязвимы к нефти, которая выходит на берег, так как они покидают гнезда и переползают в море.

защищены от загрязнения, если это не сильное загрязнение свежей легкой нефтью, однако вылупившиеся детеныши будут гораздо более уязвимы. Выведение и перемещение детенышей по берегу обычно происходит одновременно для уменьшения потерь от нападения хищников, однако это делает их более уязвимыми перед нефтяным загрязнением, особенно если это происходит одновременно с разливом. Молодые особи гораздо более чувствительны к токсичности нефти, чем взрослые, и они проводят больше времени на поверхности моря, а значит могут проглотить больше нефтяных капель. После нескольких разливов было подготовлено несколько отчетов о смертности молодняка черепах, и вскрытие зачастую показывало присутствие нефти и смолистых шариков в их кишечнике. Воздействие на уровень локальной популяции теоретически возможно, если имело место серьезное воздействие нефти на район гнездования, однако до настоящего времени такое воздействие ни разу не наблюдалось.

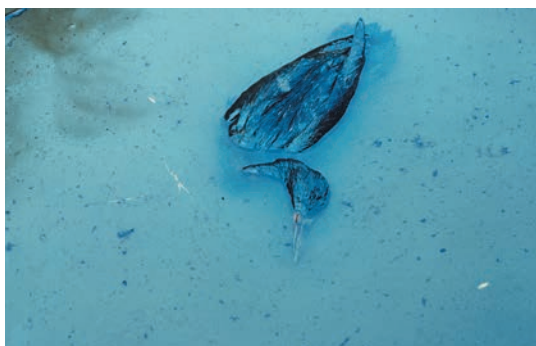
После происшествия на скважине Macondo в 2010 году в море было выловлено около 450 живых черепах, особенно атлантических ридлей, хотя возможно, что воздействию подверглось большее количество. Большая часть была отправлена в центры очистки для реабилитации и позднее была выпущена на волю. На момент написания этого документа все еще неизвестно, оказал ли разлив значительное долгосрочное воздействие на популяцию черепах в Мексиканском заливе.

К другим пресмыкающимся относятся морские игуаны, крокодилы, аллигаторы и морские змеи, которые обитают на поверхности моря, на мелководье и береговых линиях. Существуют потенциальные пути воздействия нефти, однако из-за недостатка исследований информация о воздействии нефти крайне ограничена.

Птицы

Птицы, садящиеся на воду, уязвимы перед нефтяными пятнами. Иногда возникают скопления птиц, особенно в период размножения, и даже небольшой разлив может привести к высокой смертности, если эти события совпадают.

Нефть может влиять на птиц тремя способами: через физический контакт с перьями, что может привести к гипотермии и снижению возможности перемещения, питания и т.д.; через проглатывание нефти при чистке или употреблении загрязненных продуктов питания; через попадание нефти в яйца и внутрь птенцов, что может сократить уровень выживания. Множество нефтяных разливов оставляли после себя ужасающие картины погибших и искалеченных птиц, покрытых нефтью, а в некоторых случаях число подтвержденных жертв среди птиц достигало десятков тысяч. Так как зарегистрированное число погибших особей и живых птиц, покрытых нефтью, неизбежно будет занижено, особенно при разливах в отдаленных местах, то фактическое воздействие будет отличаться от описанного. Однако в некоторых районах проводятся программы контроля популяций, предоставляя дополнительные данные. В последние годы исследования позволили получить дополнительную информацию о неясном сублетальном воздействии нефти, включая хроническое воздействие.



Уязвимость и чувствительность птиц и популяций при разливах нефти зависит от видов и этапов жизни; в значительной степени уязвимость связана с количеством времени, проводимом птицами на поверхности воды. Многие виды птиц, такие как крачки, бакланы и буревестники, а также береговые птицы, такие как кулики-сороки, кроншнепы и ржанки, проводят немного времени или вовсе не бывают на воде. Число жертв этих видов при разливах нефти мало относительно локальной популяции. Однако чистиковые (из семейства Alcidae, к которому относятся кайры и гагарки), морские утки и поганки, которые проводят большую часть своей жизни на воде, гораздо больше подвержены воздействию нефти, если поверхностное пятно появляется в районе их обитания. Поэтому популяции видов, собирающихся в определенных



Чистиковые, как эти тупики и кайры (слева и по центру), проводят много времени на воде, поэтому они уязвимы перед воздействием. Они также чувствительны к нефтяным пятнам. Некоторые чистиковые гнездятся в больших колониях и собираются на воде в определенное время года. Колонии пингвинов (справа) весьма уязвимы перед нефтяными разливами.

районах на воде в определенное время года, наносятся на карты чувствительности к нефтяным разливам. Среди известных примеров: сборища чистиковых рядом с гнездовыми колониями, особенно ранней весной, перед возвращением взрослых птиц на свои гнездовья, а также в конце сезона размножения, когда не умеющие летать птенцы и линяющие взрослые птицы готовятся к миграции на берег. Некоторые морские утки и поганки собираются перед началом дальних перелетов из летних гнездовых высоких широт в более теплые зимние районы, а также в определенных местах для пополнения запасов вдоль их маршрута. Большое количество синьг, морских уток, весной и осенью останавливаются в заливе Кармартен на южном побережье Уэльса. Этот залив серьезно пострадал во время разлива *Sea Empress* в феврале 1996 года, когда начинался период миграции. В результате было обнаружено около 4700 особей обмазанных нефтью синьг. Той зимой это составило примерно половину популяции синьг в заливе, и примерно 5% популяции в Великобритании. Ежегодный мониторинг синьг, проводимый в ноябре, показывал значительное снижение популяции в течение двух лет, однако по истечении трех лет уровень вернулся к тому, что наблюдался до разлива. Также оказалось, что птицы питаются в областях, подверженных воздействию разлива, что означает наличие хороших запасов придонных двустворчатых и червей, которыми они питаются.

Большинство исследований, проводимых после разлива, подтверждали восстановление региональных популяций птиц до предразливного уровня в течение пяти лет после серьезного воздействия нефти, однако также сообщалось о долгосрочных последствиях. У любых видов, количество птенцов на пару которых составляет один или два в год, время восстановления после большой смертности будет

Внизу слева: болотные птицы, как этот кулик-сорока, не садятся на воду, поэтому они менее уязвимы перед прямым контактом с нефтью. Число жертв обычно относительно невелико, а восстановление происходит достаточно быстро.

Внизу справа: белые цапли и другие птицы, устроившиеся на ночлег на ловушке для загрязненной рыбы в заливе Гуанабара, рядом с Рио-де-Жанейро.





Некоторые птицы, такие как эта белолобая крачка, гнездятся и ночуют в местах, уязвимых во время проведения операций по устранению нефтяных разливов.

достаточно длительным, при том что экологические условия (среда обитания, наличие продовольствия, давление хищников и т.д.) будут идеальными. Особые опасения вызывают долгосрочные перспективы развития пострадавшей от нефти популяции, уже находящейся под угрозой вымирания. Два вида пыжиков (короткоклювый пыжик и мраморный пыжик) пострадали при разливе *Exxon Valdez* в 1989 году, когда было выловлено около 1100 тушек. К моменту разлива короткоклювый пыжик уже был включен в красный список Международного союза охраны природы (МСОП), и незадолго до происшествия оба вида были отнесены к группе видов, находящихся под угрозой вымирания, поскольку наблюдалось уменьшение популяции в большинстве зон обитания. Хотя разлив был небольшим, он оказал значительное экологическое влияние на региональную популяцию обоих видов, но вскоре стало очевидно, что существуют другие факторы, которые оказывают еще большее воздействие и неясно, стала ли смертность после разлива основным фактором происходящего.

На восстановление популяций птиц оказывает большое влияние сложное видоспецифическое поведение. К числу важных факторов относятся группы субпопуляций, территории, птицы, каждый год возвращающиеся на одно место, а также гнездящиеся птицы. Это может привести к медленному восстановлению популяции в одной области и освобождению мест для гнездования, тогда как популяция в соседних регионах будет восстанавливаться и места для гнездования будут быстро занимать. Это может не оказать заметного влияния на потомство, так как освобождающиеся места сразу занимают ожидающими птицами.

Эксперименты показали, что загрязнение яиц нефтью может сокращать выживаемость эмбрионов и инкубационный успех. Возникло предположение, что это может привести к последствиям для популяции птиц, но полевые наблюдения позволили предположить, что экологическое значение достаточно ограничено. Другие исследования показали, что попадание небольшого количества нефти, даже нефтяной пленки, на перья птиц может повредить тонкую структуру перьев и их функции, включая гидроизоляционные. Прямое воздействие небольшого количества нефти на оперение вряд ли приведет к смертности, но птицы могут потратить много дополнительного времени на очистку. Это ведет к потере времени, которое могло быть потрачено на другие виды деятельности, а также ведет к попаданию нефти в организм. Некоторые виды, такие как большинство видов чаек, обладают весьма крепкой пищеварительной системой, но другие могут быть чувствительны даже к небольшому количеству нефти. Существует множество потенциальных последствий воздействия нефти при его попадании в организм. Иногда это может приводить к гибели, однако многое зависит от объема и токсичности. Ряд исследований показали, что нефть приводит к нарушениям пищеварительной системы, влияет на внутренние органы, вызывает анемию и действует на репродуктивную функцию, включая откладывание яиц и инкубационный успех. Хотя птицы со временем метаболизируют и расщепляют углеводородные элементы, ПАУ могут накапливаться в их тканях в течение определенного времени, что может привести к иммунологическим последствиям. Тем не менее, сублетальное воздействие проглатывания продолжается обычно не более одного сезона.

Восстанавливающиеся после очистки коричневые пеликаны во время проведения работ по устранению разлива нефти в Коацакоалькосе, Мексика, в 2005 году.



Попадание нефти внутрь организма также может происходить во время кормления, особенно у птиц, питающихся моллюсками и другими двусторчатными моллюсками, которые накапливают углеводородные загрязнения в своих тканях, а также у падальщиков и хищников, привлекаемых мертвыми или умирающими животными на берегу. Это является потенциально важной причиной смертности у некоторых видов. Тем не менее, сублетальное действие обычно не сохраняется, если нет крупных источников хронического загрязнения. Если следы нефти остаются на берегу, который часто посещают птицы, то возникает некоторая вероятность хронического воздействия через загрязненную добычу. Некоторые исследования после разлива *Exxon Valdez* в 1989 году связали факты биохимического наличия углеводородов (биомаркеров) в некоторых птицах с наличием нефтяных остатков на

каменистых береговых линиях. Черный кулик-сорока и каменуха, которые добывают продовольствие среди камней в приливной зоне, были скорее всего подвержены воздействию нефти через загрязненную добычу. Однако другие исследования показали, что в течение двух или трех лет влияние этих источников значительно сократилось, а риски экологически значительных последствий оказались малы. Региональная популяция каменухи в 1993 году вернулась к уровню, предшествующему разливу, и хотя популяция черного кулика-сороки снижалась, разницы между репродуктивным успехом в чистых (до 1991 года) и загрязненных областях не наблюдалось.

По результатам некоторых разливов было выдвинуто предположение о косвенном воздействии на популяцию некоторых видов птиц через доступность пищи, но это скорее относится к наихудшим теоретическим возможным сценариям. Хотя значительное сокращение пищи для птиц и возможно в некоторых районах, ограниченная степень и мозаичный характер воздействия обуславливают низкую вероятность влияния на значительную часть источников ежедневной пищи для птиц. Тем не менее, множественные мероприятия по устранению разливов могут влиять на поведение источников пищи для птиц, а значит и на способности птиц эффективно питаться. В холодную погоду энергетические запасы некоторых птиц, особенно мигрирующих видов, могут значительно падать.



© Peter Massas, 2010
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Historicus_historicus_drake_barnege.jpg

Каменуха ест мидий и других беспозвоночных на береговой линии. Если добыча загрязнена нефтью, возможны хронические последствия. Степень влияния разлива Exxon Valdez в 1989 году на популяцию каменухи в проливе Принца Вильгельма до сих пор не известна.

Береговые и прибрежные места обитания

Воздействие разливов нефти на береговые линии более подробно рассматриваются в соответствующих практических рекомендациях IPIECA-IOPG (2015a). Ниже кратко излагаются основные выдержки.

На береговой линии обитает большое разнообразие видов, каждый из которых относится к различным сообществам растений и животных. На многих из самых укрытых мутных берегов преобладают растения, особенно солончаки, галофиты или мангровые заросли в зависимости от климата. Водоросли, как правило, доминируют на укрытых скалистых берегах, тогда как беспозвоночные животные доминируют на берегах, доступных для волн. В полярных регионах многие берега обеднены по сравнению с берегами умеренных регионов вследствие физического воздействия морского льда, хотя некоторые открытые берега тропических берегов окаймлены коралловыми рифами. Многие птицы, рыбы и млекопитающие также используют береговые места обитания как источник продовольствия, субстрата, питательных веществ и места для жизни.

Береговые места обитания и виды будут уязвимы перед всеми прибрежными нефтяными разливами, но, как упоминалось ранее, масштабы воздействия и скорость восстановления будут во многом зависеть от наличия и состояния нефти, поведение которой зависит от воздействия волн (см. стр. 17). Таким образом, воздействие на открытые побережья обычно является краткосрочным, так как нефть быстро уходит под воздействием воды, а восстановление затронутых видов напрямую зависит от естественных экологических процессов. Тем не менее, в случае с закрытыми береговыми линиями естественное удаление нефти будет более медленным, а в местах с мутным субстратом приливной зоны, где доминируют болотные растения или мангровые леса, нефть может оставаться годами, вызывая долгосрочное воздействие. Примеры долгосрочного пребывания нефти: солончаковые и мутные берега бухты Buzzards, штат Массачусетс, куда нефть попала в результате разлива из баржи *Florida* в 1969 году; солончаки в Магеллановом проливе, Чили, после разлива *Metula* в 1974 году; и укрытая приливо-отливная полоса и галофитный заросший берег на берегу залива в Саудовской Аравии, после разлива 1991 году во время войны в Персидском заливе. В некоторых местах до сих пор имеются остатки нефти, особенно в Саудовской Аравии. Эти остатки представляют собой небольшую часть от разлитого объема, а площадь этих районов значительно меньше тех, что были первоначально подвергнуты разливам. Кроме того, остатки нефти обычно превращаются в выветренную корку,

Примеры загрязнен-
ных береговых линий
(по часовой стрелке,
начиная слева
сверху): скалистые;
илистые; мангровые
леса; солончаки.



которая обладает весьма ограниченной токсичностью или практически недоступна для большинства организмов, которые живут в этих районах, а также устойчива к биоразложению.

Тогда как все виды из приливно-отливной зоны могут быть затронуты при нефтяном загрязнении, некоторые гораздо более чувствительны, чем другие. Например, большинство водорослей имеют природную защиту от нефти в виде слизистого покрытия, тогда как солончаки подвержены удушью, а мангровые заросли могут погибнуть от вязкой нефти, которая закрывает большую часть дыхательных пор на открытых корнях. Чувствительность многих животных приливно-отливной зоны аналогична чувствительности животных морского дна к нефти, растворенной в воде (см. Жизнь на морском дне на страницах 21–26), однако прямое физическое воздействие нефти является дополнительным путем воздействия, что может вызывать удушье механизмов кормления, блокирование нор и воздействие высоких концентраций углеводородов в течение относительно длительного времени с вероятностью сублетальных и летальных последствий. Последнее утверждение можно продемонстрировать на примере морских блюдечек и группы улиток, которые обитают на скалистых берегах большинства регионов: исследования показали, что даже небольшое количество свежей нефти, попадающее на ноги улиток, оказывает наркотическое воздействие, в результате чего они падают с камней и впоследствии умирают из-за высыхания или истребления. После некоторых разливов это привело к резкому сокращению локальной популяции с последующим быстрым ростом конкурирующих зеленых водорослей (см. примеры в IPIECA-IOGP, номер 2015a). Повторная колонизация блюдечек из личинок планктона происходит быстро, однако полное восстановление сообщества обычно требует двух-трех лет, а в некоторых случаях, когда воздействие нефти было особо сильным, может потребоваться пять лет или более.

Землеройные крабы являются частыми обитателями многих тропических и субтропических илистых берегов. Особенно часто они встречаются в мангровых зарослях. Нефтяные разливы могут иметь серьезное воздействие на эти популяции, а норы создают дополнительные пути проникновения нефти под поверхность, где она может оставаться очень долго.

Управление разливами нефти и потенциальным воздействием

Мероприятия по устранению разливов представляют собой комплексные операции, которые могут включать крупномасштабные операции с множественными потенциальными источниками воздействия на морскую среду. Меры реагирования могут включать существенные изменения в управлении многими морскими ресурсами. Например, возможно введение временного запрета на рыболовство и другие виды деятельности, что оказывает продолжительное воздействие на эти ресурсы. Опыт предыдущих разливов показал, что при несоответствующем подходе к очистке можно нанести вред (здесь термин «очистка» включает все методы очистки), и многие виды потенциального воздействия могут быть связаны с развертыванием большого числа работников, транспортных средств и судов. Тем не менее, за долгое время было извлечено множество тяжелых уроков, выработаны современные подходы, методы, технологии, способы управления и планирования работ по устранению нефтяных разливов. Учитываются также требования к квалификации и опыту персонала, и важным моментом современных планов устранения нефтяных разливов является соответствующая подготовка людей. Методические документы, включая документы этой серии, содержат информацию о планировании, управлении разливами и надлежащем применении различных методов реагирования. Хотя решены еще не все проблемы, соответствующие меры реагирования могут значительно сократить последствия от разлива нефти.

Многие из наиболее серьезных последствий, связанных с разливами, возникли из-за неправильных методов очистки береговой линии. Хотя удаление нефти является важной задачей, некоторые методы могут вызывать долгосрочные последствия, и применять их следует только после тщательного рассмотрения. Потенциальный ущерб может включать физическое удаление или нарушение структуры субстрата, повреждение корневой системы растений, попадание нефти в ил, распространение нефти на другие места обитания и урон расположенным неподалеку местам обитания, которые используются для доступа к месту происшествия. Основными факторами, определяющими масштаб воздействия, являются тип среды обитания, масштабы операций по очистке и время жизни затрагиваемых видов. Наиболее чувствительными к физическому повреждению средами обитания являются закрытые илистые участки, где преобладают растения, т.е. болотистая местность и мангровые леса. Эти и другие потенциальные последствия очистки береговой линии более подробно рассматриваются в методическом руководстве IPIECA-IOPG по влиянию нефтяных разливов на береговую линию (IPIECA-IOPG, 2015a).



Многие сообщества болотистой местности, такие как солончаки, загрязненные при разливе трубопровода в 1989 году, растут на мягких илистых отложениях и могут быть вытоптаны во время очистных работ.



Пример управляемого сжигания на месте. Дополнительные сведения по этой теме см. в документе IPIECA-IOGP номер 2015f.

Методы очистки на море с вероятностью воздействия на морскую экологию включают в себя использование диспергентов (см. стр. 41–42) и управляемое сжигание. Последнее применяется при сжигании нефтяных пятен на воде и на льду, когда толщину пленки можно поддерживать на таком уровне, чтобы горение не прекращалось. В этом случае образуются большие клубы дыма, что влияет на качество воздуха, который быстро рассеивается и не должен приводить к значительным последствиям, если сжигание осуществляется должным образом. Остатки горения могут плавать или тонуть, в зависимости от характеристик нефти. Исследования показали, что остатки горения менее токсичны, чем выветрившееся в море нефть, но если они тонут (например, как рассказано на странице 25 при описании последствий разлива *Haven* в 1991 году), то это может привести к удушью бентических организмов, которые вступают в непосредственный контакт с остатками. Тяжелые металлы и ПАУ с высокой молекулярной массой, которые остаются в этих отложениях, могут быть источниками хронической токсичности, однако доступные свидетельства

предполагают, что большая их часть будет закрыта илом и будет иметь низкую биодоступность. Более подробная информация доступна в методическом руководстве IPIECA-IOGP по управляемому сжиганию (IPIECA-IOGP, 2015f).

Мероприятия по восстановлению могут считаться последними стадиями устранения нефтяного разлива. Хотя в конечном итоге восстановление сильно поврежденных сред обитания происходит естественным образом, может понадобиться ускорение этих процессов, если природные процессы протекают слишком медленно. Для некоторых сред обитания с доминирующим видом удалось разработать ряд методов прямого восстановления, особенно это касается сред с преобладанием солончаков и мангровых зарослей. Более подробно об этом рассказывается в документе IPIECA-IOGP, 2015a. Также некоторого успеха удалось достичь в восстановлении коралловых рифов и водорослей.

Другие мероприятия по ликвидации разливов, которые имеют отношение к морской экологии, рассматриваются в методическом руководстве IPIECA-IOGP по готовности к восстановлению дикой природы (IPIECA-IOGP, 2014a) и протоколе оценке береговой линии (IPIECA-IOGP, 2014b).

Анализ чистой экологической пользы

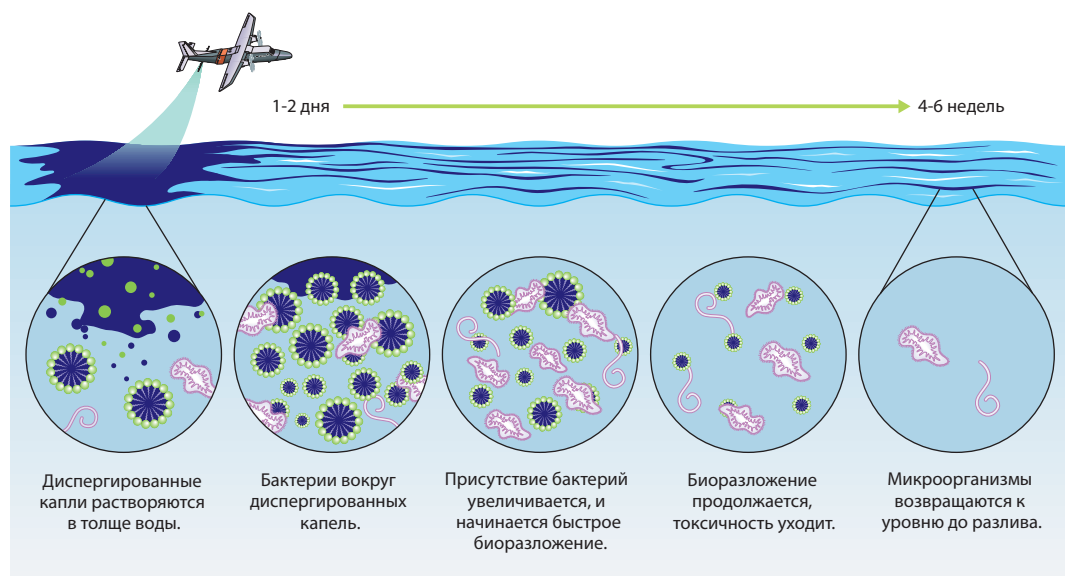
Во время ликвидации разлива персонал управления происшествием принимает множество оперативных решений, выбирая способы удаления или обработки нефти, снижения общего ущерба или угрозы нанесения вреда затронутым ресурсам. Некоторые из этих действий могут иметь значительные последствия для окружающей среды и социально-экономических ресурсов. Анализ чистой экологической выгоды (NEBA) представляет собой процесс объективного изучения потенциальных преимуществ и недостатков возможных вариантов очистки/обработки, и сравнения с вариантом «оставить все как есть». Иногда в результате приходится принимать решения, требующие поиска компромисса между различными экологическими и социально-экономическими проблемами. Тем не менее, основной задачей является минимизация долгосрочных последствий путем выявления ситуаций, которые могут привести к сохранению остатков нефти, а также мер реагирования для уменьшения этих рисков. Не существует единого инструмента или методики для проведения анализа NEBA, которые могли бы подойти в любой ситуации, однако можно выделить основные шаги оценки, которые приведены в таблице 1, в соответствии с методическим руководством IPIECA-IOGP по использованию NEBA при разработке стратегии реагирования (IPIECA-IOGP, 2015b).

Таблица 1 Стандартные этапы анализа NEBA в процессе аварийного планирования

Этап NEBA	Описание
Оценка данных	Первый этап — анализ вероятного места разлива и возможных направлений дрейфа под влиянием течения и ветра — для этого существуют различные модели траектории разлива нефти. Также полезной будет оценка выветривания нефти при перемещении пятна. Это только часть оценки имеющихся данных.
Прогнозирование результатов	Второй этап заключается в оценке вероятных объектов влияния при разливе в случае отсутствия мер реагирования. Сюда могут включаться экологические морские ресурсы, прибрежные и береговые линии, а также социально-экономические ресурсы. Следует также оценить эффективность и осуществимость мер реагирования. Здесь рассматриваются методы ликвидации, целесообразность применения и объем нефти, который может быть возвращен или переработан. Если подлежащие обработке области включают прибрежные места обитания, чувствительные к нефти, меры ликвидации на море должны предотвратить или ограничить доступ разлитой нефти к этим средам обитания. В оценке наиболее эффективных методов ликвидации нефтяного пятна может помочь предыдущий опыт. Важную часть процесса NEBA должны составлять прагматичные, оперативные соображения, применяемые ко всем возможным методикам.
Выбор компромисса	С целью понимания результатов и выбора компромисса преимущества и недостатки возможных мер реагирования рассматриваются и соизмеряются в сравнении с экологическими и социально-экономическими последствиями.
Выбор наилучших вариантов	Этот процесс завершается принятием методики или методик реагирования на нефтяной разлив, которые сведут к минимуму влияние возможных разливов на окружающую среду и обеспечат наиболее быстрое восстановление пострадавшего района.

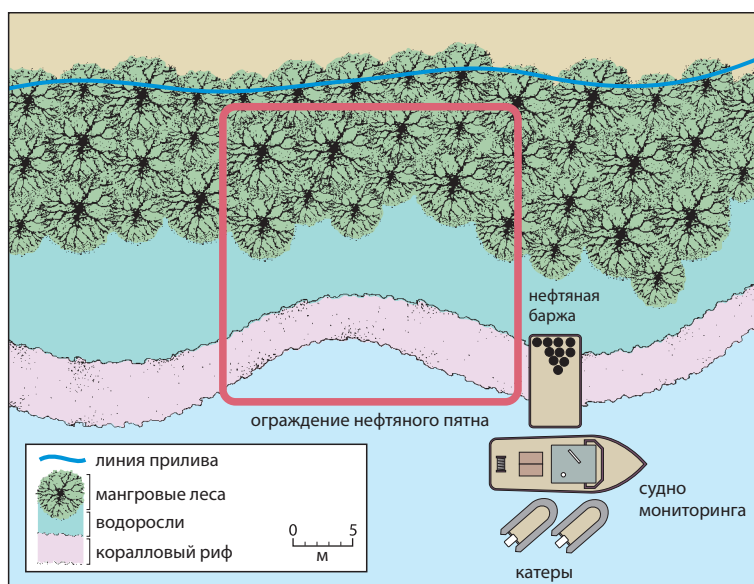
Преимущества и последствия применения диспергентов

Диспергенты — это химические вещества, которые в случае правильного распыления на плавающую нефть ускоряют ее рассеивание в верхней толще воды в виде маленьких капель, тем самым уменьшая количество нефти на поверхности. Диспергированная нефть быстро разбавляется до уровней, характеризующихся низким уровнем токсичности и ускоренным биоразложением (см. *Поведение разлитой нефти* на страницах 9–14). Исследования также показали, что диспергенты снижают адгезию нефти с отложениями, камнями и биотой. Значительное уменьшение количества нефти на поверхности, как правило, снижает риск физического воздействия нефти на обитателей поверхности воды и береговые линии, а что самое главное во многих ситуациях, снижает стойкость нефтяных остатков. Оба этих эффекта, особенно последний, позволят уменьшить потенциал долгосрочного воздействия. Тем не менее, увеличение диспергации и разбавления нефти в верхней толще воды временно приведет к повышению концентрации углеводородов. Поэтому анализ NEBA для предлагаемого применения диспергентов поможет оценить, смогут ли подобные меры значительно уменьшить количество поверхностной нефти, повлияет ли это сокращение на стойкость нефти и ее воздействие на поверхностных обитателей, береговую линию и места обитания, и приведет ли увеличение концентрации нефти в воде к рискам для рыб, моллюсков и других водных организмов. Для повышенной глубины (10–20 м) правила использования диспергентов обычно требуют получения предварительного разрешения на использование утвержденных продуктов. Специальное разрешение для использования в мелкой воде требуется в том случае, если считается, что преимущества могут перевесить последствия.

Рисунок 6 Стандартный процесс биоразложения разлива после применения диспергентов

На рисунке 6 показан процесс биоразложения разлитой нефти после применения диспергентов на поверхности пятна.

В 1980-х годах было проведено три крупных полевых эксперимента, в ходе которых сравнили воздействие диспергированной и не диспергированной нефти на прибрежные районы Арктики, умеренного и тропического климата. Первый эксперимент назывался Baffin Island Oil Spill (BIOS, разлив у Баффиновой Земли). Он проводился в 1980-1983 годах в восточной Арктике Канады. Второй

Рисунок 7 Исследование TROPICS 1984 года показало ряд преимуществ использования диспергентов

— эксперимент Searsport (1981), штат Мэн, был на северо-восточном побережье США. И третий — исследование TROPICS (1984), проводилось на Карибском побережье Панамы (показано на рис. 7). Каждое исследование включало анализы сред обитания и сообществ до и после разлива, а также концентрацию углеводородов в воде, отложениях и биоте. Помимо отличий в средах обитания (от ледяных берегов и морского дна до мангровых зарослей и коралловых рифов), существуют различия в целях и способах проведения трех экспериментов. Тем не менее, все они пришли к выводу, что применение диспергентов может сократить степень загрязнения береговой линии, и влияние на приливную зону и загрязнение отложений будет небольшим. В течение нескольких лет после исследований проводился постоянный мониторинг, особенно в рамках проекта TROPICS, который в течение 25 лет показывал сохранение нефти и соответствующее ее воздействие на мангровые заросли в районах, которые пострадали от недиспергированной нефти.



ИТОРФ

Использование диспергентов является важным фактором сокращения объема и географического распространения нефти на береговой линии после того, как Sea Empress сел на мель в 1996 году.

В ходе разлива *Sea Empress* 1996 года широкомасштабные операции распыления диспергентов позволили значительно улучшить дисперсию 72 000 тонн легкой сырой нефти. Подсчитано, что приблизительно половина нефти растворилась в толще воды, тогда как без применения диспергентов растворилась бы только примерно пятая часть или меньше от объема разлитой нефти. Повышенные концентрации нефти в воде привели к воздействию на жизнь морского дна (см. стр. 21–26), но восстановление этих ресурсов было быстрым, без следов сублиторальных отложений. Было подсчитано, что сочетание естественной и химической дисперсии защитило берег от попадания 120 000 тонн эмульсии. Вместо этого до берега дошло всего 10 000–15 000 тонн. Применение диспергентов стало важнейшим фактором сокращения количества нефти у береговой линии и ее географического распространения.

Применение диспергентов под водой является относительно новой методикой, которая использовалась при разливе на скважине *Macondo* в Мексиканском заливе. Это обеспечило дисперсию большого количества нефти, которая в противном случае достигла бы поверхности и могла оказать огромное воздействие на поверхностную природу и береговые линии. Исследования распространения нефти в толще воды показали, что биоразложение бактериями происходит быстро, тем самым значительно уменьшая вероятность сохранения остатков нефти в воде или отложениях. В настоящее время проводятся исследования распространения нефти после разлива.

Дополнительная информация по этой теме представлена в методическом руководстве IPIECA-IOGP по применению диспергентов на поверхности и под водой; см. документы IPIECA-IOGP 2015c и 2015d, соответственно.

Оценка ущерба от нефтяных разливов — основные мероприятия

Морские нефтяные разливы могут быть крупнейшими событиями, которые ведут к экологическим последствиям и влияют на жизнь многих людей. Понятно, что и частные лица, и организации будут заинтересованы в информации об ущербе и сроках восстановления. В большинстве стран приняты правила и политики, требующие определенной оценки влияния на коммерческие рыбные запасы и рыболовство в целом, качество воздуха, воды и отложений, участки охраняемой природы, охраняемые виды и здоровье человека. Тем не менее, хотя в правительственных учреждениях могут действовать программы защиты окружающей среды для проведения стандартной оценки, они обычно не предназначена для случаев крупномасштабного загрязнения. Для некоторых стран и регионов имеются отдельные документы, описывающие порядок оценки ущерба от нефтяного разлива, а Международная морская организация и программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде совместно подготовили международный методический документ (IMO/UNEP, 2009). Ниже приводится описание некоторых основных требований.

Предварительные данные о морских сообществах, которые были затронуты во время разлива, зачастую ограничены или отсутствуют. Поэтому биологи, в рамках процедуры оценки воздействия, как можно раньше начинают процесс сбора информации из загрязненного района.



Получение качественных исходных данных может быть затруднительным как с материальной точки зрения, так и финансовой. Приоритетной задачей является сбор данных об уровне углеводородов до загрязнения. Во время многих разливов обычно имеется некоторая возможность получить образцы воды, отложений и биоты (особенно коммерческих видов) до воздействия на ожидаемом пути распространения разлива. Также важно получить образцы свежей исходной нефти в том состоянии, в котором она находилась на момент разлива, а также из различных мест обитания по мере рассеивания. Процедуры тщательного отбора проб чистой нефти, а также нефти из воды, отложений и биоты должны обеспечить отсутствие загрязнений из других источников. Кроме того, при последующей обработке и транспортировке проб в лабораторию для анализа необходимо соблюдать строгие процедуры хранения. Это будет важно для определения и доступа к предшествующим данным для рассматриваемой области. Экологические данные можно получить с помощью такие веб-инструментов, как «Геопространственная морская библиография IPIECA» (<http://mgb.ipieca.org>).

Биологические данные состояния береговой линии до разлива и до воздействия нефти также будут полезны, особенно если они были получены или обновлены менее чем за год до разлива. Тем не менее, уровень естественных колебаний для многих популяций и сообществ может быть достаточно большим, поэтому устаревшие данные могут иметь ограниченную ценность. Для видов, которые подвергаются долгосрочному влиянию, возможно, потребуется учитывать «подвижные» исходные условия. Также будут



Составление карты распространения нефти является неотъемлемой частью оценки ущерба. Большая часть этой работы осуществляется с помощью воздушной разведки. Аэрофотосъемка загрязненных сообществ также может стать источником ценной информации о масштабах присутствия и состоянии природы.

полезны фотографии определенных мест обитания и основных сообществ до разлива и до воздействия, особенно аэрофотоснимки болот и мангровых зарослей.

Информация о распределении и концентрации нефти на протяжении разлива будет иметь важное значение для любых процедур оценки воздействия и позволит предоставить доказательства воздействия. Эта информация обычно может быть получена по результатам воздушной разведки, в рамках программы взятия проб (о чем говорилось выше, пробы из толщи

воды, берега и дна) и исследований распространения нефти на береговой линии. Последние обычно проводятся с использованием техники оценки возможностей очистки береговой линии (SCAT), которая предназначена главным образом для обеспечения оперативной поддержки восстановительных работ на берегу, однако может также служить источником ценной информации о вероятном воздействии нефти на береговую жизнь. Дополнительные сведения по SCAT см. в документе IPIECA-IOPG номер 2014b. Так как большинство исследований экологических последствий ограничены небольшими районами, обширная информация о распределении нефти также может повысить ясность картины.

Некоторые из наиболее известных доказательств воздействия разливов нефти на животных и растения являются промежуточными и включают данные о погибших животных, выброшенных на берег двусторчатых моллюсках, почерневших или обесцвеченных растениях и колонизации конкурирующих видов. Сведения о подобных признаках сохраняются в виде записей и фотографий, до момента их исчезновения. Мертвые животные подбираются и сохраняются для возможного последующего анализа. Дополнительная информация о подготовке и реагировании на происшествия, связанные с воздействием нефти на дикую природу, приведена в методическом руководстве IPIECA-IOPG по подготовке к происшествиям в дикой природе (IPIECA-IOPG, 2014a).



Записи наблюдений загрязненной нефтью природы являются важным аспектом оценки ущерба. Эта покрытая нефтью черепаха была найдена работниками после разлива Estrella Pampeana 1999 года в Аргентине.

Четко определенные цели имеют важное значение для организации оценки ущерба. Они должны включать определение объемов (географических, временных, масштабов исследования и конечных точек) и решения о концентрации оценки только на определенных пределах, сравнения с базовыми показателями, сравнения с контрольными участками или временные тенденции. Также важно рассмотреть реальные возможности, так как даже подробное исследование может не предоставить достаточных статистических подтверждений влияния. Если ущерб является очевидным, возникнет желание определить сроки восстановления, однако при отсутствии крайних сроков операции восстановления могут быть не ограничены временем. Основной целью многих исследований является оценка рисков о компенсации ущерба.

Логистические и бюджетные ограничения будут означать необходимость установки приоритетов между экологическими ресурсами, которые подлежат оценке. Когда выбор будет сделан, на основании определенных целей разрабатывается план исследования. Для любого ресурса можно выбирать из множества методов, измерений, участков и схем отбора проб.

Если исследование подтверждает воздействие, потребуется определить реалистичный механизм нанесения ущерба нефтяным разливом.

Так как зачастую программы отбора биологических и химических проб проводятся различными лабораториями или персоналом, важно, чтобы такие программы разрабатывались скоординировано. Эту задачу не всегда легко выполнить, однако для береговых линий подробную информацию о распространении нефти можно получить из программы SCAT, которая станет полезным источником данных для всех исследований и поможет в создании проектов.

Библиография и рекомендуемая литература

Пособия и методические документы

IMO (1998). *Manual on Oil Pollution*. Section VI: IMO Guidelines for Sampling and Identification of Oil Spills. 44 pp.

IMO/UNEP (2009). *IMO/UNEP Guidance Manual on the Assessment and Restoration of Environmental Damage following Marine Oil Spills*. 2009 Edition. London, UK, 104 pp.

IPIECA-IOGP (2014). *A guide to shoreline clean-up techniques*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 521. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2014a). *Wildlife response preparedness*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report Number 516. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2014b). *A guide to oiled shoreline assessment (SCAT) surveys*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report Number 504. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015). *Response strategy development using 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 (2015a). *Impacts of oil spills on shorelines*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report Number 534. <http://oilspillresponseproject.org>

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

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

IPIECA-IOGP (2015d). *Dispersants: subsea application*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 533. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015e). *Oil spills: inland response*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 514. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015f). *In-situ burning of spilled oil*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 523. <http://oilspillresponseproject.org>

ITOPF (2011). *Effects of Oil Pollution on the Marine Environment*. Technical Information Paper (TIP) No. 13, International Tanker Owners Pollution Federation.

ITOPF (2011a). *Fate of marine oil spills*. Technical Information Paper (TIP) No. 2, International Tanker Owners Pollution Federation.

NOAA (2010). *Characteristic Coastal Habitats: Choosing Spill Response Alternatives*. U.S. Dept. of Commerce. Seattle, WA: Emergency Response Division, Office of Response and Restoration, National Oceanic and Atmospheric Administration. 86 pp. Revised, 2010; reprinted 2013.

NOAA (2010). *Characteristics of Response Strategies: A Guide for Spill Response Planning in Marine Environments*. U.S. Dept. of Commerce. Seattle, WA: Emergency Response Division, Office of Response and Restoration, National Oceanic and Atmospheric Administration. 76 pp. Revised, 2010; reprinted 2013.

NOAA (2015). ADIOS (Automated Data Inquiry for Oil Spills). NOAA's oil weathering model—an oil spill response tool that models how different types of oil weather (undergo physical and chemical changes) in the marine environment. Website of the NOAA Office of Response and Restoration, US Department of Commerce. <http://response.restoration.noaa.gov/adios>

Литература по распространению разливов и последствиям

AMAP (2008). *Oil and Gas Activities in the Arctic: Effects and Potential Effects*. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, Norway. www.amap.no/documents/18/scientific/21

Anderson, J. W. and Lee, R. F. (2006). Use of biomarkers in oil spill risk assessment in the marine environment. In *Human and Ecological Risk Assessment*, Vol. 12, Issue 6, pp. 1192–1222.

ASM (2011). *FAQ: Microbes & Oil Spills*. Published for the American Society for Microbiology by the American Academy of Microbiology. 13 pp. <http://academy.asm.org/index.php/faq-series/436-faq-microbes-and-oil-spills>

Baker, J. M., Clark, R. B., Kingston, P. F. and Jenkins, R. H. (1990). *Natural Recovery of Cold Water Marine Environments After an Oil Spill*. Presented at the Thirteenth Annual Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar, June 1990, 111 pp.

Boehm, P. D., Page, D. S., Brown, J. S., Neff, J. M., Bragg, J. R. and Atlas R. M. (2008). Distribution and Weathering of Crude Oil Residues on Shorelines 18 Years After the *Exxon Valdez* Spill. In *Environmental Science and Technology*. Vol. 42, Issue 24, pp. 9210–9216.

Cosco Busan Oil Spill Trustees (2012). *Cosco Busan Oil Spill Final Damage Assessment and Restoration Plan/Environmental Assessment*. Prepared by California Department of Fish and Game, California State Lands Commission, National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Fish and Wildlife Service, National Park Service, Bureau of Land Management.

www.fws.gov/contaminants/Restorationplans/CoscoBusan/Cosco_Settlement/FinalCoscoBusanDARP.pdf

ESGOSS (1994). *The Environmental Impact of the Wreck of the Braer*. The Ecological Steering Group on the oil spill in Shetland. Published by The Scottish Office, Edinburgh, UK. 200 pp.

Exxon Valdez Oil Spill Trustee Council (2010). *Exxon Valdez Oil Spill Restoration Plan: 2010 Update. Injured Resources and Services*. Anchorage, AK. 46 pp.

Geraci, J. R. and St. Aubin, D. J. (1990). *Sea Mammals and Oil: Confronting the Risks*. Academic Press. 282 pp.

Gesteira, J. L. G. and Dauvin J. C. (2000). Amphipods are Good Bioindicators of the Impact of Oil Spills on Soft-Bottom Macrobenthic Communities. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 40, Issue 11, pp. 1017-1027.

Harwell, M. A. and Gentile, J. H. (2006). Ecological significance of residual exposures and effects from the Exxon Valdez oil spill. In *Integrated Environmental Assessment and Management*, Vol. 2, Issue 3, pp. 204-246.

Integral Consulting Inc. (2006). *Information Synthesis and Recovery Recommendations for Resources and Services Injured by the Exxon Valdez Oil Spill*. Restoration Project 060783, Final Report. Integral Consulting, Mercer Island, WA 98040. Anchorage, AK.

Jones, D. A., Plaza, J., Watt, I., Al Sanei, M. (1998). Long-term (1991–1995) monitoring of the intertidal biota of Saudi Arabia after the 1991 Gulf War oil spill. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 36, No. 6, pp. 472–489.

King, G. M., Kostka, J. E., Hazen, T. C., Sobecky, P. A. (2015). Microbial Responses to the Deepwater Horizon Oil Spill: From Coastal Wetlands to the Deep Sea. In *Annual Review of Marine Science*, Vol. 7, pp. 377–401.

Kingston, P. F. (1999). Recovery of the Marine Environment Following the *Braer* Spill, Shetland. *International Oil Spill Conference Proceedings*: March 1999, Vol. 1999, No. 1, pp. 103-109.

Kingston, P. F. (2002). Long-term environmental impact of oil spills. In *Spill Science and Technology Bulletin*, Vol. 7, No. 1-2, pp. 53–61.

Kirby, M. F., Lyons, B. P., Waldock, M. J., Woodhead, R. J., Goodsir, F., Law, R. J., Matthiessen, P., Neall, P., Stewart, C., Thain, J. E., Tylor, T. and Feist, S. W. (2000). *Biomarkers of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) exposure in fish and their application in marine monitoring*. Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science (CEFAS), Science Series Technical Report No. 110. 30 pp.

Lane, S. M., Smith, C. R., Mitchell, J., Balmer, B. C., Barry, K. P., McDonald, T., Mori, C. S., Rosel, P. E., Rowles, T. K., Speakman, T. R., Townsend, F. I., Tumlin, M. C., Wells, R. S., Zolman, E. S. and Schwacke, L. H. (2015). Reproductive outcome and survival of common bottlenose dolphins sampled in Barataria Bay, Louisiana, USA, following the Deepwater Horizon oil spill. In *Proceedings of the Royal Society B*. 282:1994-2001.

- Law, R. J. and Hellou, J. (1999). Contamination of fish and shellfish following oil spill incidents. In *Environmental Geosciences*, Vol. 6, Issue 2, pp. 90–98.
- Law, R. J., Kirby, M. F., Moore, J., Barry, J., Sapp, M. and Balaam, J. (2011). *PREMIAM – Pollution Response in Emergencies Marine Impact Assessment and Monitoring: Post-incident monitoring guidelines*. Science Series Technical Report No. 146, Cefas, Lowestoft, 164 pp.
- Lee, R. F. and Anderson, J. W. (2005). Significance of cytochrome P450 system responses and levels of bile fluorescent aromatic compounds in marine wildlife following oil spills. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 50, Issue 7, pp. 705–723.
- Lee, R. F. and Page, D. S. (1997). Petroleum hydrocarbons and their effects in subtidal regions after major oil spills. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 34, Issue 11, pp. 928–940.
- Leighton, F. A. (1993). The toxicity of petroleum oils to birds. In *Environmental Reviews*, Vol. 1, No. 2, pp. 92–103.
- Loughlin, T. R. (ed) (1994). *Marine Mammals and the Exxon Valdez*. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- McFarlin, K. M., Prince, R. C., Perkins, R. and Leigh, M. B. (2014). Biodegradation of dispersed oil in arctic seawater at -1°C. *PLoS ONE* 9(1): e84297. doi:10.1371/journal.pone.0084297
- Mearns, A. J., Levine, E., Yender, R., Helton, D. and Loughlin, T. (1999). Protecting Fur Seals During Spill Response: Lessons from the *San Jorge* (Uruguay) Oil Spill. In *International Oil Spill Conference Proceedings: March 1999*, Vol. 1999, No. 1, pp. 467–470.
doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1999-1-467>
- Michel J., Csulak F., French D. and Sperduto, M. (1997). Natural resource impacts from the *North Cape* oil spill. In *International Oil Spill Conference Proceedings: April 1997*, Vol. 1997, No. 1, pp. 841–850.
- Montagna, P. A., Baguley, J. G., Cooksey, C., Hartwell, I., Hyde, L. J. et al. (2013). *Deep-Sea Benthic Footprint of the Deepwater Horizon Blowout*. *PLoS ONE* 8(8): e70540. doi:10.1371/journal.pone.0070540
- Moore, J. (2006). *State of the marine environment in south west Wales 10 years after the Sea Empress oil spill*. A report to the Countryside Council for Wales from Coastal Assessment, Liaison & Monitoring, Coshaston, Pembrokeshire. CCW Marine Monitoring Report No. 21. 30 pp.
- Moore, J. (2006). Long term ecological impacts of marine oil spills. In: *Proceedings of the Interspill 2006 Conference*, held at London ExCeL, 2–23 March 2006.
- National Academy of Sciences (1985). *Oil in the Sea: Inputs, Fates and Effects*. National Academies Press, Washington D.C. 601 pp.

National Academy of Sciences (2003). *Oil in the Sea III: Inputs, fates and effects*. Washington: National Academies Press, Washington D.C. 280 pp.

National Research Council (2005). *Oil Spill Dispersants: Efficacy and Effects*. National Academies Press, Washington D.C. 378 pp.

NOAA (2010). *Oil and Sea Turtles: Biology, Planning, and Response*. US National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration. 116 pp.

NOAA (2010). *Oil Spills in Coral Reefs. Planning & Response Considerations*. National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration. 82 pp.

NOAA (2010). *Oil Spills in Mangroves. Planning & Response Considerations*. National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration. 70 pp.

NOAA (2013). *Oil Spills in Marshes. Planning & Response Considerations*. National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Response and Restoration. 125 pp.

O'Hara, P. D. and Morandin, L. A. (2010). Effects of sheens associated with offshore oil and gas development on the feather microstructure of pelagic seabirds. In *Marine Pollution Bulletin*, Volume 60, Issue 5, pp. 672-678.

Owens, E. H. and Sergy, G. A. 2005. Time Series Observations of Marsh Recovery and Pavement Persistence at Three Metula Spill Sites after 30½ Years. In: *Proceedings of the 28th Arctic and Marine Oilspill Programme (AMOP) Tech. Seminar, Environment*, pp. 463-472.

Peterson, C. H., Rice, S. D., Short, J. W., Esler, D., Bodkin, J. L., Ballachey, B. E. and Irons, D. B. (2003). Long-Term Ecosystem Response to the Exxon Valdez Oil Spill. In *Science*, Vol. 302, No. 5653, pp. 2082-2086. DOI: 10.1126/science.1084282

Price, A. R. G., Downing, N., Fowler, S. W., Hardy, J. T., Le Tissier, M., Mathews, C. P., McGlade, J. M., Medley, P. A. H., Oregioni, B., Readman, J. W., Roberts, C. M. and Wrathall, T. J. (1994). *The 1991 Gulf War: Environmental Assessments of IUCN and Collaborators*. A Marine Conservation and Development Report. IUCN, Gland, Switzerland. xii + 48 pp.

Rice, S. D., Spies, R. B., Wolfe, D. A., Wright, B. A. (editors). (1993). *Proceedings of the Exxon Valdez Oil Spill Symposium*. American Fisheries Society, Symposium 18, held on 2–5 February 1993 at Anchorage, Alaska. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA.

SEEEC (1998). *The environmental impact of the Sea Empress oil spill*. Final Report of the Sea Empress Environmental Evaluation Committee. Her Majesty's Stationery Office, London, UK.

Wells, P. G., Butler, J. N. and Hughes, J. S. (editors) (1995). *Exxon Valdez Oil Spill: Fate and Effects in Alaskan Waters*. Philadelphia (PA): American Society for Testing and Materials. ASTM Special Technical Report (STP) 1219.

Wiens, J. A. (ed.) (2013). *Oil in the Environment. Legacies and Lessons of the Exxon Valdez Oil Spill*. Cambridge University Press. 458 pp.

Yender, R., Michel J. and Lord C. (2002). *Managing Seafood Safety after an Oil Spill*. Seattle: Hazardous Materials Response Division, Office of Response and Restoration, National Oceanic and Atmospheric Administration. 72 pp.

Полезные веб-сайты

Deepwater Horizon, Bibliography of Published Research:

www.lib.noaa.gov/researchtools/subjectguides/dwh.html

Exxon Valdez Oil Spill Trustee Council: www.evostc.state.ak.us

Interspill: www.interspill.org/previous-events

IOSC: www.ioscproceedings.org/loi/iosc

IPIECA: www.ipieca.org/library

ITOPF: www.itopf.com/knowledge-resources

NOAA: <http://response.restoration.noaa.gov/publications>

PREMIAM: www.cefas.defra.gov.uk/premiam/publications.aspx

От авторов

Этот документ подготовлен Джоном Муром (Jon Moore, CALM) под эгидой Impacts Working Group (рабочая группа по оценке воздействий).



Эта страница намеренно оставлена незаполненной



IPIECA

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

www.ipieca.org



Международная ассоциация производителей нефти и газа (IOGP) представляет первичные нефтегазовые отрасли перед международными организациями, включая Международную морскую организацию, Конвенции региональных морей Программы ООН по окружающей среде (UNEP), а также другие группы под эгидой ООН. На региональном уровне IOGP является представителем промышленности в Европейской комиссии и парламенте, а также Комиссии OSPAR в Северо-восточной Атлантике (OSPAR). Такую же важную роль IOGP играет в продвижении лучших методов, в частности, в области здравоохранения, безопасности, окружающей среды и социальной ответственности.

www.iogp.org.uk

