

Последствия разливов нефти на береговой линии

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



IPIECA

Международная ассоциация представителей нефтегазовой промышленности по экологическим и социальным вопросам

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



Международная ассоциация производителей нефти и газа

Юридический адрес

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

Офис в Брюсселе

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

Офис в Хьюстоне

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

Отчет IOGP № 534

Дата публикации: 2016

© IPIECA-IOGP 2016. Все права защищены.

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

Заявление об ограничении ответственности

Несмотря на все усилия, предпринятые для обеспечения точности информации, содержащейся в данной публикации, ни IPIECA, ни IOGP, ни их прошлые, настоящие или будущие члены не гарантируют ее точность и не несут ответственности за любое предполагаемое или не предполагаемое использование данной публикации, вне зависимости от возможных случаев небрежности. В соответствии с вышеизложенным, пользователь принимает на себя весь риск за любое такое использование данной информации и признает заявление об ограничении ответственности издателя. 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 на береговой линии

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

Предисловие

Эта публикация является частью серии методических руководств IECA-IOGP, в которой обобщаются текущие представления в части действующих подходов к предотвращению разливов нефти и их ликвидации. Эта серия содействует объединению и согласованию имеющихся в отрасли практических подходов и процессов, информированию заинтересованных сторон и является средством повышения осведомленности и знаний.

Серия представляет собой обновленный вариант известной «Серии отчетов по разливам нефти» IECA, 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-IECA (JIP). Проект JIP был создан в 2011 году для того, чтобы предоставить знания и информацию об обеспечении готовности к разливам нефти и их ликвидации, полученные по итогам ликвидации инцидента на Мексиканском заливе в апреле 2010 года.

Примечание о практических рекомендациях

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

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

Содержание

Предисловие	2	Очистка и восстановление береговой линии	36
Введение	4	Анализ суммарной экологической выгоды	36
Экосистемы береговой линии и экосистемные услуги	4	Стандартные методы очистки	38
Цель этого документа	4	Восстановление береговой линии	43
Нефть на береговой линии: поведение, стойкость и естественное очищение	6	Оценка и мониторинг нефтяного загрязнения береговой линии	45
Индекс экологической чувствительности	12	Распределение и количественная оценка нефти на береговой линии	45
Экологическое воздействие нефти на береговую линию	14	Оценка и мониторинг воздействия на сообщества и биоту	46
Флора и фауна береговой линии и их подверженность воздействию нефти	14	Библиография и рекомендуемая литература	48
<i>Растения и беспозвоночные, обитающие на береговой линии</i>	15	Пособия и методические документы	48
<i>Позвоночные, обитающие на береговой линии</i>	17	Fate and effects literature	
Скалистые берега	19	Полезные веб-сайты	53
Берега с отложениями	22	От авторов	53
Солончаки	26		
Мангровые заросли	33		
Коралловые рифы	35		

Введение

Экосистемы береговой линии и экосистемные услуги

Экосистемы береговой линии охватывают большое количество разнообразных мест обитания, начиная от крутых скал, подвижной гальки и чистого песка открытого побережья и заканчивая мягким илом, солоноватыми болотами и густыми мангровыми зарослями в эстуариях и других защищенных заливах. Их населяют многие виды растений и животных, а для многих других это место для укрытия. Они также приносят разного рода пользу соседним экосистемам и окружающей среде в более широком масштабе. Множество выгод, которые получают люди от этих мест обитания и сообществ, называется экосистемными услугами.

Места обитания на береговой линии часто являются областями высокой биологической продуктивности (то есть большого количества производимого растениями и животными органического материала). Эта продуктивность может быть такой высокой, что может распространяться в находящиеся по соседству морские экосистемы. Обычно это разлагающийся растительный материал, а также икра, споры и личинки.

Кроме разнообразных растений, водорослей (морских) и беспозвоночных, постоянно обитающих на береговой линии, на ресурсы береговой линии также полагаются многие позвоночные. Многие птицы, рыбы, млекопитающие и рептилии ищут на береговой линии пищу среди огромного количества разнообразных обитающих там организмов. Некоторые виды, например черепахи и различные рыбы, откладывают яйца (мечут икру) на береговой линии. Другие, например тюлени, моржи и многие птицы устраивают там лежбища и места отдыха. Некоторые типы береговой линии, в частности мангровые заросли и солончаки, являются важными питомниками многих видов рыбы, в том числе промысловых. Они обеспечивают рыбам укрытие, защиту и пищу на ранней стадии развития перед тем, как они присоединятся к взрослым стаям.

Береговая линия обеспечивает естественную защиту побережья от воздействия моря. В частности, мангровые заросли и солончаки образуют динамическую буферную зону между сушей и морем, что обеспечивает защиту от наводнений и эрозии. Береговая линия выполняет такие важные для населения функции, как очищение воды, служит базой для рыбного хозяйства (в частности, моллюсков и ракообразных), объектов аквакультуры (моллюсков, ракообразных и морских водорослей), отдыха и развлечений, культуры и эстетической медицины.

Нефтяные разливы, возникающие в результате морских перевозок, разведки, добычи и транспортировки по трубопроводам, а также разливы с наземных источников, могут угрожать береговым линиям. Поскольку почти вся нефть плавает на поверхности, а нефтяные пятна перемещаются под действием ветра и течений, разлитая нефть часто достигает берега. Загрязнение береговых линий нефтью может в дальнейшем повлиять на различные функции и услуги, которые предоставляют эти места обитания, а также на численность видов, связанных с пострадавшей береговой линией.

Цель этого документа

В этом документе содержится обзор характера воздействия нефтяных разливов на ресурсы и функции береговой линии, а также способов быстрого восстановления этих ресурсов и функций. В документе описаны места обитания и виды, характерные для приливо-отливной зоны (например, области над водой при отливе и под водой при приливе) морских и эстуарных берегов. Он основан на существующих научных доказательствах и включает ссылки на конкретные исследования. Данный документ предназначен для широкого круга участников операции реагирования, включая операторов, правительственные организации, предприятия и общественность.

В первом разделе, озаглавленном «*Нефть на береговой линии: поведение, стойкость и естественное очищение*», рассматривается поведение нефти на береговой линии разного типа, а также характеристики, относящиеся к воздействию нефти и восстановлению. Особое внимание обращается на те характеристики и процессы, которые влияют на дальнейшее присутствие нефти, так как оно является наиболее вероятной причиной долгосрочных последствий.

В разделе «*Экологическое воздействие нефти на береговую линию*» дается общее описание уязвимости различных организмов береговой линии при воздействии нефти, а также описание типичных последствий, устойчивости, ожидаемых сроков восстановления и главных определяющих их факторов для различных типов мест обитания.

В третьем разделе, озаглавленном «*Очистка и восстановление береговой линии*» рассматривается современная передовая практика очистки береговой линии и способы получения максимальной суммарной экологической выгоды. В этом разделе приведены описания возможных преимуществ и недостатков основных способов очистки, а также примеры предыдущих проектов по восстановлению.

Четвертый раздел под названием «*Оценка и мониторинг загрязненной нефтью береговой линии*» подытоживает некоторые фундаментальные подходы и требования к оценке воздействия, уделяя особое внимание методам очистки и оценки состояния береговой линии (SCAT).

Последний раздел «*Библиография и рекомендуемая литература*» содержит список упоминаемой литературы и соответствующих публикаций.

Серия методических руководств IPIECA-IOGP включает ряд других документов. В частности, документ *Воздействие разливов нефти на морскую экологию* (IPIECA-IOGP, 2015a) содержит более подробные сведения о последствиях морских нефтяных разливов. Другие документы, имеющие непосредственное отношение к теме данного руководства, охватывают такие вопросы, как анализ суммарной экологической выгоды (IPIECA-IOGP, 2015b), составление карт экологически чувствительных районов для реагирования на нефтяной разлив (IPIECA/IMO/IOGP, 2012) и обследование для оценки нефтяного загрязнения береговой линии (по методу SCAT, IPIECA-IOGP, 2014). Вопросы, касающиеся последствий разливов нефти для внутренней/пресноводной береговой линии рек и озер, приведены в методическом руководстве по ликвидации последствий на суше (IPIECA-IOGP, 2015c).

Нефть на береговой линии: поведение, стойкость и естественное очищение

Сырая нефть и большинство нефтепродуктов являются сложными смесями углеводородов (для целей настоящего документа термин углеводороды включает все эти органические соединения), которые отличаются по молекулярному весу, физическим и химическим характеристикам. Нефть, разлитая в морской среде, подвергается воздействию ряда процессов, которые быстро и необратимо изменяют ее характер и перераспределяют большее ее количество в другие части этой среды. Характеристики различных видов нефти и ее поведение в море описаны в методическом руководстве под названием *Воздействие нефтяных разливов на морскую экологию* (IPIECA-IOGP, 2015a). Со временем оставшаяся на поверхности моря нефть обычно становится более вязкой и менее токсичной. Этот процесс называется выветриванием. При определенных обстоятельствах нефть может остаться в море и никогда не достичь берега. В очень холодных климатических районах, где в зимние месяцы вдоль побережья образуется лед, этот лед может стать барьером, который защищает береговую линию от нефтяного загрязнения. Однако в других обстоятельствах нефть может достичь берега, и при этом в самых разнообразных формах. Например: тонкая радужная или блестящая пленка; невыветренная легкая нефть с потенциально сильным токсическим эффектом; сильно выветренная нефть и эмульсия (часто называемая муссом) с обволакивающим эффектом; маленькие комочки выветренной нефти, называемые нефтяными сгустками. Кроме этого, организмы береговой линии также могут подвергаться воздействию растворенных или рассеянных в воде углеводородов. Процесс рассеяния усиливается волнами, накатывающими на береговую линию.

Если нефть достигает береговой линии, ее поведение зависит от ряда дополнительных факторов, в том числе топографических характеристик берега, состава нефти и ее защищенности от воздействия энергии волн и приливов, а также от характеристик нефти в момент достижения берега. На рисунке 1 показаны

некоторые из этих факторов. Ярким примером является вертикальная скальная стена на берегу, открытом для волн, которая с большой вероятностью не подвергнется загрязнению, если нефтяное пятно будет сдерживаться отраженными волнами. А большинство мангровых зарослей и солончаков настолько укрыты от волн и приливных течений, что осевшая там нефть может остаться на многие годы.

В некоторых условиях достигающие пляжа волны могут смешать плавающую нефть с взвешенным осадком в прибойной зоне. Загрязненный нефтью осадок тяжелее воды, поэтому он опускается на дно, что может привести к образованию нефтяных сгустков и смолистых слоев в мелководной нижнеприливной зоне неподалеку от пляжа. Так случилось в некоторых районах при загрязнении нефтью береговой линии после инцидента на месторождении Макондо в Мексиканском заливе в 2010 г.

В некоторых условиях достигающие пляжа волны могут смешать плавающую нефть с взвешенным осадком в прибойной зоне. Загрязненный нефтью осадок тяжелее воды, поэтому он опускается на дно, что может привести к образованию нефтяных сгустков и смолистых слоев в мелководной нижнеприливной зоне неподалеку от пляжа.

Загрязненный нефтью берег и выполнение работ по очистке (видны только земляные работы и подвоз воды) на верхнем берегу Энгл Бэй в Милфорд Хейвен, Уэльс. На фотографии показано неравномерное распределение разлитой нефти при аварии танкера «Sea Empress» в 1996 году.



Слои нефти, смешанные с песком, залегающие в мелководной нижнеприливной зоне в Гранд Айл, Луизиана, США, во время инцидента на месторождении Макондо в Мексиканском заливе, 2010 г.



Так случилось в некоторых районах при загрязнении нефтью береговой линии после инцидента на месторождении Макондо в Мексиканском заливе в 2010 г. и отделившихся водорослей. Подобным образом в этих местах скапливается нефть. Распределение различных субстратов, а также такие природные и антропогенные объекты, как возвышенные мысы, рифы, горные хребты, гравийные банки, ручьи, айсберги, волнорезы и морские дамбы, также в значительной степени влияют на возможное место концентрации нефти на берегу. Обычно нефтяное загрязнение неравномерно даже на сравнительно однородном побережье. Большая часть нефти обычно скапливается на относительно небольшом участке загрязненной береговой линии, а большая часть береговой линии подвергается воздействию более легкого загрязнения или покрывается нефтяной пленкой.

Обычно нефть не удерживается на постоянно мокрых поверхностях, в том числе, на большинстве водорослей, но может крепко прилипнуть, если субстрат высохнет во время отлива. Среднеприливная и нижнеприливная зоны подвержены влиянию плавающей нефти и растворенных углеводородов, но менее вероятно, что выброшенная на берег нефть останется в нижних береговых районах. Однако вдоль отметки уровня полной воды и в верхнеприливной зоне отложения зачастую менее насыщены водой. Нефть при этом становится более вязкой на теплых неровных поверхностях, что снижает возможность повторного всплытия залегающей нефти под действием очередных волн и приливов. Покрытые льдом берега обеспечивают некоторую защиту от нефти и могут ограничивать ее стойкость, но нефть также может задерживаться льдом на берегу.

Возможность проникновения некоторых видов нефти в отложения береговой линии зависит от таких факторов, как пористость (по отношению к типу и размеру отложения), глубина уровня грунтовых вод, вязкость нефти и наличие нор животных или пустот от сгнивших корней. На приливно-отливных отмелях проникновение нефти маловероятно из-за малого размера частиц и их частого насыщения водой. Однако маловязкая нефть может проникать в хорошо просушенный песок, гравийную береговую линию или в норы крабов на глубину около одного метра. Самый высокий потенциал проникновения нефти имеют пляжи с галькой и булыжниками. Чаще всего такие пляжи можно встретить в высоких широтах, особенно там, где на пляжах есть ледниковые наносы и не хватает мелкодисперсных материалов для заполнения пустот. Нефть, проникнувшая в эти крупные отложения, может сформировать чрезвычайно стойкий поверхностный или подповерхностный слой. Это было продемонстрировано во время реализации проекта нефтяного разлива на острове Баффинова Земля (BIOS) (1980–1983) в восточном арктическом районе Канады.

Выброшенная на берег нефть может оказаться захороненной вследствие различных процессов, особенно во время шторма. Она также может застрять в болотах и оказаться погребенными под поступающими осадками. При нефтяном разливе во время войны в Персидском



Питер Тейлор (Peter Taylor)

Вязкая нефть разлива Worthy в 1989 г. не проникла в песчаные отложения в Саутгемптон Уотер, Англия.



Из-за разлива нефти во время военных действий в районе Персидского залива в 1991 г. произошло загрязнение нор крабов в солончаках верхнего побережья Саудовской Аравии, что привело к глубокому проникновению нефти в эти тонкие отложения.

Слой нефти, погребенной под песком в районе месторождения Манифа, Саудовская Аравия, при нефтяном разливе во время войны 1991 г. в Персидском заливе. Эта фотография сделана 11 лет спустя после разлива (масштаб можно определить по размеру карандаша).



заливе 1991 г. и при аварии танкера *Prestige* в 2002 г. на многих песчаных берегах происходило погребение нефти. В некоторых местах слой нефти проникали в песок на глубину до одного метра. Также существует вероятность повторного выхода отложений погребенной нефти из-за имеющих противоположный характер процессов эрозии.

После того, как нефть достигла берега, те же волны и приливы, которые принесли ее на берег, постепенно выносят ее обратно со скоростью, которая зависит от многих факторов. При этом важное значение имеет ряд факторов, в том числе воздействие на нефть волн, приливных течений, погоды и климата, а также характеристики берега.

Пятно нефти под воздействием сильных волн, с большой вероятностью долго не останется на берегу, особенно если перемещение отложений оказывает дополнительное размывающее действие. На арктическом побережье остатки нефти также могут удаляться вследствие ледовой эрозии. Однако, если нефть оказалась в защищенном заливе, например, болоте или мангровых зарослях, могут потребоваться многие годы для того, чтобы удалить эту нефть при ограниченном перемещении воды. Даже на относительно открытом побережье мелкие топографические особенности и устойчивые породы создают отдельные защищенные места, в которых нефтяные остатки могут оставаться надолго. Такие погодные условия, как стоки дождевой или ливневой воды, тепло и солнечный свет, способствуют процессу выветривания нефти, лежащей на береговой линии, а присутствие глинистых частиц в воде помогает удалить нефть из субстратов берега благодаря процессу флокуляции.

В конце концов происходит биоразложение большей части разлитой нефти на углекислый газ и воду, но скорость разложения зависит от ряда факторов, особенно от типа и молекулярного веса углеводородов, а также от площади поверхности, которую могут атаковать микробы. Если нефть поднимется с берега в виде маленьких капель, фрагментов, или залипнет к глинистым частицам, такая нефть может подвергаться относительно быстрому биоразложению бактериями в водном столбе. Более крупные фрагменты могут оседать на морское дно.

Если нефть проникнет в отложения или заляжет под поверхностью, она будет обладать большей стойкостью, поскольку меньше подвержена воздействию движения воды, которая в противном случае

могла бы удалить ее, а также потому, что ограниченный доступ кислорода и питательной среды замедляет микробиологическое разложение.

В илистых отложениях с плохим дренажом проницаемость для кислорода может быть настолько низка, что вероятно развитие анаэробных условий. Бактерии, живущие в анаэробных условиях, могут разлагать углеводороды, но делают это медленнее, чем бактерии в насыщенных кислородом отложениях. В зависимости от местных условий, разложение погребенных отложений нефти может проходить настолько медленно, что они могут сохранять распознаваемые характеристики своего первоначального химического состава на протяжении многих



В этом илистом песке на глубине 1–2 см под насыщенным кислородом верхним слоем виден естественный анаэробный «черный слой». Анаэробные илистые отложения имеют естественный черный цвет из-за образования сульфидов железа, когда кислорода недостаточно для образования оксида железа. При этом их иногда ошибочно принимают за нефть. Они также могут иметь запах сероводорода (запах «тухлых яиц»), который также можно ошибочно принять за запах нефти.

лет. Та же нефть, погребенная в насыщенных кислородом отложениях, разлагается быстрее, но в некоторых конкретных условиях береговой линии стойкий подповерхностный слой может сохраняться. Со временем биоразложение снижает токсичность отложений, что позволяет все большему количеству животных и растений снова заселить территорию.

Стойкость нефти также зависит от температуры воды и климата, поскольку в холодных условиях повышается вязкость нефти, и биологически опосредованные процессы происходят медленнее. Бактерии могут осуществлять быстрое биоразложение нефти в воде и отложениях в любом климате, но в приполярных районах в зимний период переработка загрязненных отложений растениями и животными происходит медленнее. В местах с возможным замерзанием береговых отложений проникновение нефти может быть ограничено.



Остатки нефти, разлитой при аварии супертанкера Metula 1974 г. в Тьерра-дель-Фуэго, Чили, до сих пор можно найти в районах солончаков. В более теплом климате, благодаря более активному заселению и росту растений и микроорганизмов, нефть распадается и разлагается намного быстрее.

По мере выветривания нефти она становится более вязкой и менее токсичной и иногда сохраняется в форме смолистого остатка на верхнем берегу. Такие остатки обычно состоят из углеводородов, большая часть которых с высокой молекулярной массой склонна только к медленному биоразложению. Стойкость нефтяных остатков также зависит от их толщины, поскольку выветривание и жизнедеятельность бактерий происходят только на поверхности нефти. Если нефть смешалась с насыпным гравием на верхнем берегу, она может образовать «асфальтовое покрытие». Такие остатки и покрытие могут сохраняться многие годы, сильно меняя места обитания и блокируя заселение. В Милфорд Хейвен, Уэльс,

Блок 1 Терминология

Уязвимость и чувствительность 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 свойственный материалу потенциал или возможность материала оказывать неблагоприятное воздействие на живые организмы; токсичность в водной среде — это потенциал токсического воздействия химических веществ на водные организмы.

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

Путь воздействия — это путь попадания вещества в организм, в том числе проглатывание (непосредственно или с пищей), 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 определяется вредным воздействием на организм при одиночном или кратковременном воздействии. Хроническая токсичность — это способность вещества или смеси веществ оказывать вредное воздействие в течение длительного времени, обычно при многократном или непрерывном воздействии, которое иногда длится в течение всей жизни организма.

Биодоступность — это объем доступного химического вещества, который может попасть в организм, и определяет способность химического вещества проявлять свою токсичность и скорость биоразложения.

Остаточная нефть, разлитая при аварии танкера Exxon Valdez в 1989 г., остается на некоторых валунах на берегу пролива Принца Вильгельма, Аляска в местах, где сильное загрязнение проникло в слои пористых отложений, защищенных от процессов выветривания вышележащей структурой горной породы и гальки.

нефтяные остатки, образовавшиеся после бомбардировки резервуара для хранения нефти в августе 1940 г. во время Второй мировой войны, до сих пор сохранились на соседнем скалистом берегу. После затвердевания поверхности этих нефтяных пятен вследствие выветривания, оставшиеся токсические вещества эффективно удерживаются внутри. Постепенное выщелачивание углеводородов из нефтяных остатков может привести к длительному вялотекущему (хроническому) воздействию на находящиеся поблизости морских организмов. Однако, чем выше стойкость нефти, тем медленнее будет происходить выщелачивание. В результате, концентрация углеводородов в окружающей воде может стать такой низкой, что они не будут оказывать значительного токсического эффекта. Полагают, что эта ситуация



IPIECA

аналогична ситуации, сложившейся в некоторых приливных зонах пролива Принца Вильгельма, Аляска, где под валунами остается относительно небольшое количество нефтяных остатков от разлива в результате аварии танкера Exxon Valdez в 1989 г. Некоторые ученые связывали данные исследований биомаркеров постоянного воздействия углеводородов на выдр и некоторых птиц, которое наблюдалось в течение девяти лет после разлива, с постоянным воздействием остатков нефти. Другие ученые пришли к выводу, что эти остатки не оказывают значительного экологического воздействия. Подробную информацию об острой и хронической токсичности см. в методическом руководстве IPIECA-IOGP по влиянию нефтяных разливов на морскую экологию (IPIECA-IOGP, 2015a).

Восстановление загрязненных мест обитания обычно происходит в процессе постепенной сукцессии. По мере уменьшения токсичности, благодаря биоразложению и выветриванию, пострадавшие территории снова заселяются все большим количеством животных и растений. Некоторые виды могут выдерживать воздействие высокой концентрации нефти и длительного периода ее воздействия, не страдая от токсических эффектов. Как правило, такие виды первыми с выгодой для себя снова заселяют место обитания. Эти приспособленцы могут в дальнейшем способствовать распаду нефти и интенсифицировать биоразложение, прокладывая путь переселения другим более чувствительным видам.

Покрытая вязкими остаточными нефтепродуктами береговая порода на египетском побережье Красного моря. Некоторым видам, которые адаптировались к жизни на этих берегах, требуются тенистые места для укрытия от солнца. Нефтяные остатки обволакивают эти пустоты и ухудшают условия обитания.



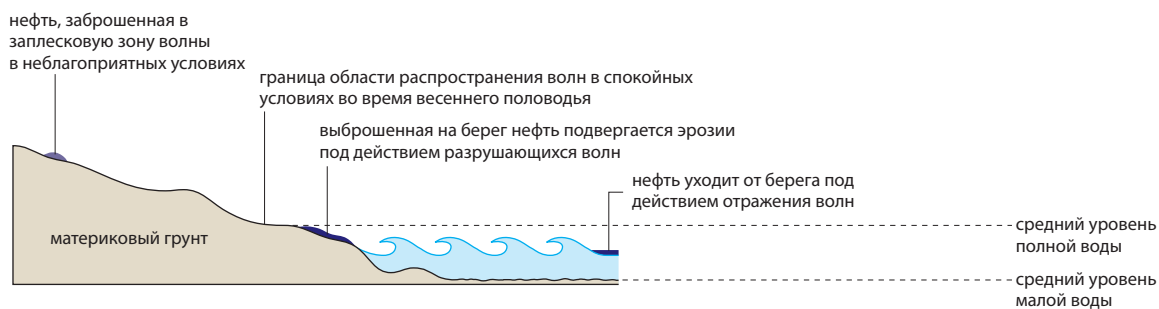
Современная интерпретация экологического восстановления акцентирует внимание на функциях, предоставляемых загрязненным местом обитания, а не на самом загрязнении. Однако долгосрочное воздействие нефтяных разливов чаще всего происходит из-за стойкого загрязнения. Следовательно, правильная оценка стойкости нефти в различных ситуациях является ключом к оценке сроков восстановления. Однако при определении экологической значимости загрязнения, выяснении уровней естественного фона углеводородов, а также сопутствующих факторов других природных и антропогенных источников экологического стресса важно учесть масштаб и форму стойкого загрязнения. Как правило, большинство пострадавших районов быстро восстанавливается после нефтяных разливов. Медленное восстановление обычно проходит на небольшом участке береговой линии с более стойкой нефтью. Первоначальная задача реагирования на нефтяной разлив — ограничить риск достижения

нефтью береговых линий, предрасположенных к долгосрочной стойкости. Приведенные ниже данные о разливах нефти иллюстрируют, какое важное влияние оказывают тип нефти и воздействие волн на стойкость нефти и эффективность восстановления:

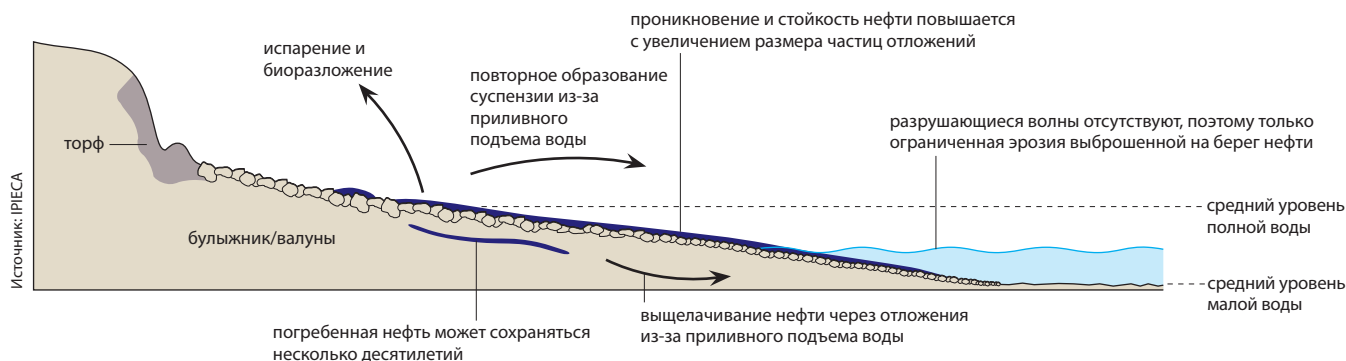
- Тяжелое дизельное топливо, разлитое при аварии танкера *Arrow* в 1970 г., загрязнило более 300 км береговой линии залива Чедабукто, Новая Шотландия, Канада. В большинстве загрязненных районов очищение происходило естественным путем. Подробное исследование в 1992 г. показало, что остаточная нефть сохранилась на 13,3 км береговой линии, а сильное загрязнение осталось на 1,3 км берега с самой низкой энергией. Исследования пострадавших сообществ, живущих в приливной зоне, проведенные во время разлива, показали значительную смертность среди многих видов, включая песчаную мию в поселке Блэк Дак Ков. Стойкое загрязнение существенно повлияло на пополнение популяции этого моллюска, но по мере выветривания нефти и снижения токсичности ситуация улучшалась. Спустя шесть лет после разлива уровень токсичности нефти в отложениях Блэк Дак Ков до сих пор сохраняется, и скорость роста популяции моллюсков значительно снизилась. Более поздние исследования, проведенные 23 и 27 лет спустя после разлива, обнаружили, что в отложениях тех мест по-прежнему высока концентрация углеводородов, но их токсичность значительно снизилась.
- В этих исследованиях токсичность измерялась по показателям воздействия на камбаловых и с помощью других токсикологических тестов. Легкая сырая нефть, разлитая в Северном море при аварии танкера *Sea Empress* в 1996 г., загрязнила около 200 км береговой линии в графстве Пембрукшир, Уэльс. В результате проведения операций по очистке нефть была удалена с некоторых участков побережья. При этом основное внимание было сосредоточено на туристических пляжах, а очистка большей части береговой линии происходила естественным путем. Исследования зафиксировали весьма сильное воздействие на береговую флору и фауну, но менее чем через три года осталось лишь незначительное количество нефти в виде нескольких небольших пятен и асфальтового покрытия в хорошо защищенных местах. Почти все обнаруженные виды воздействия на дикую природу и прибрежные места обитания исчезли через пять лет.

Рисунок 1 Пример поведения нефти на береговой линии

Поперечный разрез загрязненного материкового грунта



Защищенные пляжи с булыжниками/валунами



Источник: IPESA

Индекс экологической чувствительности

Индекс экологической чувствительности (ESI) — это оценка по 10-балльной шкале, которая интегрирует все вышеописанные факторы, а также классифицирует береговую линию по вероятной стойкости нефти. Чем больше значение ESI, тем выше потенциальная стойкость нефти. Поскольку стойкость нефти является главной причиной ее долгосрочного воздействия, эту шкалу можно использовать для оценки потенциала восстановления. Однако, первоначально индекс ESI был предназначен для распределения по категориям типов береговой линии на картах экологически чувствительных районов, используемых в ходе ликвидации чрезвычайных ситуаций для принятия решений по реагированию, расстановки приоритетов и выбора наиболее подходящих методов очистки береговой линии. Дополнительная информация приведена в методическом руководстве IPIECA-IOGP по составлению карт экологически чувствительных районов для реагирования на разливы нефти (IPIECA/IMO/IOGP, 2012).

В таблице 1 приведены сводные данные об общих характеристиках шкалы ESI. Для некоторых региональных видов береговой линии эта шкала адаптирована путем установления подкатегорий специально для этих регионов, но в данную таблицу они не включены.

Таблица 1 Общие характеристики шкалы ESI

ESI	Описание береговой линии
1	a) Открытые скалистые берега. Увалистые. Нефть обычно уносится от берега отражающимися волнами. Любые отложения нефти быстро удаляются под действием волн. Воздействие на живущие в приливной зоне сообщества обычно кратковременное, кроме случаев, когда сильное воздействие свежего легкого нефтепродукта вызывает высокую смертность. b) Открытые непроницаемые искусственные сооружения. Включает морские дамбы, пирсы и т. д. Аналогично вышеуказанному.
2	a) Открытые волноприбойные платформы на материковом грунте. Шельф или платформа различной ширины и пологий склон. Часто поддерживаются крутыми откосами, иногда с отложениями в основе. Встречаются небольшие водоемы и трещины, возможно с некоторым количеством насыпного гравия. Нефть не прилипает к платформе, но может скапливаться на гравии на уровне полной воды. Стойкость обычно является краткосрочной. b) Открытые уступы и крутые склоны в глине. Обычно находятся вдоль каналов на заболоченных землях, где течения намыли крутой берег. Нефть не прилипает к поверхности глины, но при полной воде это возможно. Любые отложения нефти быстро удаляются вследствие перемещения воды.
3	a) Мелко- и среднезернистые песчаные пляжи. Откосы пологие или средней крутизны, плотно слежавшийся грунт. Выброшенная на берег нефть скапливается вдоль береговой черты. Нефть может покрывать обширные области, но уходит с нижней части пляжа и концентрируется в верхней приливной зоне. Нефть может проникнуть в песок или оказаться погребенной, что может повлечь снижение численности фауны в отложениях. Такие пляжи легче всего поддаются очистке. b) Уступы и крутые подверженные эрозии склоны в песке или торфе. В отдельных местах вода подмывает песчаные утесы. Могут иметь узкий пляж вдоль основания, но его использование фауной ограничено. Могут иметь сезонную важность для птиц. Выброшенная на берег нефть скапливается на уровне полной воды и может проникнуть в песок. Пребывание нефти обычно кратковременное.
4	Крупнозернистые песчаные пляжи Склоны умеренной крутизны с мягкими отложениями. Фауна в отложениях ограничена. Нефть может покрывать обширные области, но уходит с нижней части пляжа и концентрируется в верхней приливной зоне. Нефть может проникнуть в песок или оказаться погребенной на глубине более 1 м, что повлечет снижение численности фауны в отложениях. Отложения слишком мягкие и не подходят для применения транспортных средств.

продолжение...

Таблица 1 Общие характеристики шкалы ESI (продолжение)

ESI	Описание береговой линии
5	Смешанные песчано-гравийные пляжи Могут образовываться зоны подвижных песков, гальки или булыжника, при этом их распределение может меняться. Как правило, фауна и флора ограничены, кроме мест с относительно стабильными субстратами. Нефть может покрывать весь пляж, но уходит с нижней части пляжа вверх и концентрируется в верхней приливной зоне. Нефть может проникнуть в песок или оказаться погребенной. В защищенных местах может образовываться асфальтовое покрытие.
6	а) Гравийные пляжи: от гальки до валунов. Могут быть крутыми с намытыми волнами уступами. Как правило, фауна и флора ограничены, кроме мест с относительно стабильными субстратами в нижней части пляжа. Скорее всего, выброшенная на берег нефть проникнет глубоко, может быть вытолкнута за отметку уровня полной воды и может оказаться очень стойкой. В защищенных местах может образовываться асфальтовое покрытие. Возможно хроническое загрязнение. б) Каменная насыпь. Глыбы горных пород или бетона для защиты берега. Нефть может проникать глубоко и прилипать к неровным поверхностям. Возможно хроническое загрязнение.
7	Незащищенные приливо-отливные отмели Широкие плоские области песка, смешанного с некоторым количеством ракушек или ила. Обычно находятся в приливных протоках. Насыщаются водой, кроме высоких гряд гор. Могут иметь высокую плотность флоры и фауны и представлять важность для птиц, обитающих в болотистой местности. Нефть не прилипает к мокрым отложениям, но скапливается на отметке уровня полной воды и может попасть на вершины гряд. Численность фауны в отложениях может значительно сократиться.
8	а) Защищенные скалистые берега Проницаемость меняется в зависимости от субстрата. Могут иметь высокую плотность фауны и флоры, привязанной к данной местности. Нефть прилипает к неровным поверхностям на отметке уровня полной воды, но не прилипает к мокрым поверхностям нижнего берега. Нефть проникает в неплотно слежавшиеся угловатые валуны и приобретает потенциал долгосрочной стойкости. б) Защищенные непроницаемые искусственные сооружения. Включает морские дамбы, пирсы и т. д. Аналогично вышеуказанному.
9	а) Защищенные приливо-отливные отмели. Мягкий ил с некоторым количеством песка и ракушек. Часто переходят в болота. Могут иметь высокую плотность флоры и фауны и представлять важность для птиц, обитающих в болотистой местности. Нефть не прилипает к мокрым отложениям, но скапливается на отметке уровня полной воды и может попасть в норы. Возможно залегание загрязненных отложений. Численность фауны в отложениях может значительно сократиться. б) Защищенные луговые берега с растительностью. Луговые берега каналов с незащищенной травой или корнями деревьев. Нефть может покрывать траву и деревья при полной воде.
10	а) Болота с соленой и солоноватой водой. Умеренные и субтропические заболоченные земли с преобладанием болотных растений. Отложения представляют собой богатый органическими веществами ил, кроме краев приливо-отливных каналов, где преобладает песок. Богатая флора и фауна. Нефть прилипает к надводной растительности. Для тяжелой нефти проникновение ограничено верхней границей болота, но более легкие виды нефти могут проникать глубже. Средняя и тяжелая нефть не проникает в мокрые отложения, но может залегать во впадинах. Более легкие виды нефти могут проникнуть на несколько сантиметров выше. Флора и фауна могут значительно сократиться. б) Мангровые заросли. Тропические и субтропические заболоченные земли с соленой водой и низкорослым кустарником. Различные субстраты, обычно илистые. Богатая флора и фауна. Нефть прилипает к надводной растительности и обычно скапливается на возвышающихся уступах или береговой линии в местах, куда она может проникнуть. Возможно хроническое загрязнение. Флора и фауна могут значительно сократиться.

Экологическое воздействие нефти на береговую линию

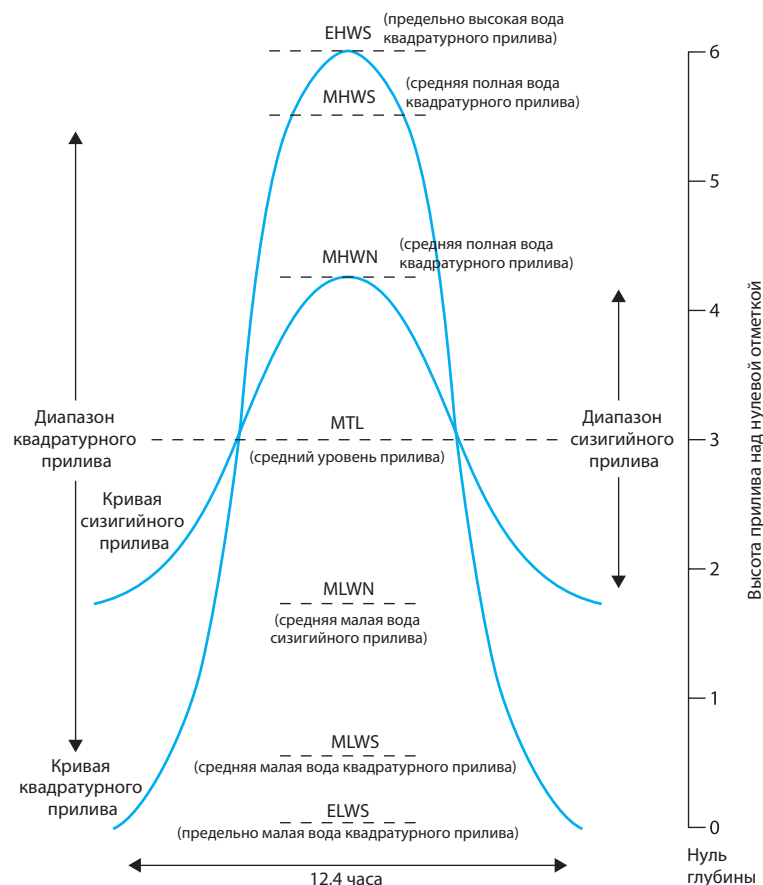
Флора и фауна береговой линии и их подверженность воздействию нефти

Виды растений и животных, живущих на береговой линии, которая предоставляет им пищу, кров и субстрат, также подвергаются различному воздействию окружающей среды. К таким видам воздействия можно отнести действие волн, движение отложений и приливные изменения (см. рисунок 2), которые выражаются в ежедневных и сезонных колебаниях температуры, солености, высыхании, хищническом истреблении, а также в доступности еды и кислорода. Поскольку береговая линия очень динамична, каждый вид может найти свою оптимальную нишу. Наличие преимуществ и негативного воздействия приводит к четкому разделению на зоны по вертикали между верхней частью берега, где многие организмы отличаются высокой устойчивостью, и нижней частью с богатым биологическим разнообразием. Сообщества береговой линии также структурированы и по другим экологическим факторам, относящимся к месту обитания, включая тип субстрата, эрозию, осаждение, ориентацию (по отношению к солнцу) и биогеографическую зону. В приполярных районах на берега сильно влияет ледовая эрозия. Все эти физические факторы значительно влияют на воздействие нефтяного загрязнения на виды и сообщества, как и биологическая чувствительность, которая меняется от вида к виду.

Экология мелководной нижеприливной зоны тесно связана с прилегающей береговой линией и, как описано в предыдущем разделе, некоторые физические процессы, влияющие на береговую линию, могут привести к усилению воздействия нефти в мелководной нижеприливной зоне. Эти районы часто

Рисунок 2 Стандартный суточный цикл прилива

Цикл приливов контролируется силой гравитации луны и солнца. Таким образом приблизительно в течение четырех недель лунный цикл проходит от квадратурного прилива (полнолуние) до сизигийного прилива (полумесяц, убывающая луна) и от квадратурного прилива (новолуние) до сизигийного прилива (полумесяц, прибывающая луна), после чего опять наступает полнолуние.



характеризуются высоким биологическим разнообразием и продуктивностью. Подробную информацию об обитателях мелководья и их сообществах см. в методическом руководстве IPIECA-IOGP по влиянию нефтяных разливов на морскую экологию (IPIECA-IOGP, 2015a).

Прибрежные лагуны также тесно связаны с близлежащей береговой линией, а в некоторых частях света, например, в Арктике, представляют особую важность. Лагуны подвергаются колебаниям условий окружающей среды, которые стремятся ограничить их биологическое разнообразие, но могут иметь высокую продуктивность, и часто характеризуются видами, приспособленными к определенным условиям обитания. Водообмен с морем по определению ограничен, поэтому значительное проникновение нефти также может быть ограничено. Однако нефть, которая все-таки проникает туда, скорее всего сохранится и повлияет на экологию.

Большинство видов проходит через сезонные периоды поведения или биологические периоды (например, перелет, размножение, нерест и линька), которые могут существенно повлиять на степень чувствительности вида к нефтяному разливу. На береговой линии это наиболее ярко прослеживается в поведении птиц, обитающих в болотистой местности, при миграции; поведении черепах при гнездовании, а также в сезонном развитии и отмирании растений на солончаках. Эти и другие модели поведения рассматриваются ниже.

Растения и беспозвоночные, обитающие на береговой линии

Теоретически от нефтяного загрязнения могут пострадать все виды, живущие в приливной зоне, прямо или косвенно, но некоторые из них могут быть более уязвимы или чувствительны. К примеру, большинство морских водорослей имеют естественную защиту в виде слизистой оболочки, которая устойчива к воздействию нефти. Во многих случаях наблюдалось, что сильно загрязненные нефтью морские водоросли очистились самостоятельно без помощи людей и по всей видимости не пострадали. Однако, любая вязкая нефть может уничтожить мангровые заросли. Она обволакивает дышащие поры на опорных корнях. Жизнь мангров зависит от пор, поскольку именно они доставляют кислород этим



Дэвид Левелл (David Levell)

На этой фотографии показана прямоугольная область камня (в центре), которую оставили неочищенной. Рядом с ней находится еще одна область, с которой нефть смыли под давлением после разлива в результате аварии танкера Sea Empress в 1996 г. При смывании нефти под давлением также смыли морские водоросли и другие виды прибрежной природы, для повторного заселения которых понадобилось как минимум два года. Оказалось, что морские водоросли, которые были загрязнены, но не очищены, не были поражены загрязнением.

растениям. В зависимости от места и образа жизни организма? загрязнение береговой линии может влиять на него по-разному. Механизм воздействия также может изменяться. Прямое физическое загрязнение нефтью растений и животных на поверхности берега может вызывать их обволакивание и нарушать питание. Кроме того, продолжительное воздействие высоких концентраций нефти может привести к токсическим эффектам. В тех местах обитания, в которых нефть не проникает в отложения, животные могут пострадать значительно меньше. Аналогичным образом, самому сильному воздействию диспергированной нефти в воде выше мест обитания приливной и прибрежной нижеприливной зон подвергаются фильтраторы, а многие животные, зарывающиеся в отложениях, относительно защищены.



Двустворчатые моллюски, съедобные моллюски и устрицы являются моллюсками-фильтраторами, которые активно пропускают огромные объемы воды через свои тела для поглощения частиц органического материала. Поэтому они могут накопить такую концентрацию углеводородов в своих тканях, которые не смогут быстро метаболизировать. Возможно, потребуются несколько недель или месяцев, чтобы очистить их организмы (этот процесс называется очищением). Зачастую двустворчатые моллюски используются в качестве индикаторов воздействия углеводородов и восстановления экосистемы. Двустворчатые моллюски могут выжить при высокой концентрации нефти в тканях, но исследования воздействия токсичности показали, что оно может оказаться сублетальным, включая снижение роста численности, репродуктивных возможностей и иное влияние на их ткани.

Моллюски-фильтраторы под водой при приливе. Большой вводной сифон (сложной формы) забирает воду из меньшего выводного сифона. Также тело может забрать нефть, поглотить ее, а затем постепенно вывести.

Многие морские улитки потребляют растительную пищу, они уязвимы и чувствительны к нефти с высокой токсичностью, покрывающей поверхности, на которых они добывают пищу. После многочисленных инцидентов с нефтяными разливами было описано воздействие нефти на популяции этих видов и ее влияние на обилие растений и водорослей, которыми они питаются.

У рачков, в частности бокоплавов (чрезвычайно разнообразная группа небольших животных, похожих на креветок), проявляется сильный токсический эффект при воздействии свежей нефти. Исследования отложений приливной зоны или сообществ водорослевого торфа, которые обычно густо населены бокоплавами, показали, что их популяции часто сокращаются, если места обитания подвержены длительному воздействию значительных концентраций водорастворимых или диспергированных углеводородов.

Многие другие беспозвоночные, в том числе губки, кораллы и асцидии, физически прикрепляются к камням, растениям и другим неподвижным субстратам. Даже если они подвергнутся воздействию углеводородов и проявится токсический эффект от такого воздействия, такие беспозвоночные не смываются водой. Большинство таких видов предпочитают места обитания, которые не высыхают при отливе, например, на нижней части берега, а также в мокрых или тенистых местах, например небольшие заводи и нависающие выступы. Большая часть этих видов обычно выживает даже при относительно высоких концентрациях углеводородов кроме случаев, когда воздействие имеет локализованный долгосрочный характер или присутствует эффект обволакивания стойкой нефтью. Многие исследования, проведенные после разливов, показали, что эти sessильные беспозвоночные подвержены ограниченному воздействию нефти, кроме случаев, когда загрязнен субстрат, на котором они живут.

Как указано в предыдущем разделе, медленное восстановление сообщества береговой линии происходит вследствие стойкости нефти, а восстановление загрязненного места обитания, как правило, проходит через этапы сукцессии. Однако восстановление также может проходить медленно, если нефть не является стойкой. Скорость восстановления в таком случае определяется скоростью экологических процессов, в том числе пополнением новых колоний, межвидовой борьбой и ростом численности. Повторное заселение посредством распространения спор и личинок планктона. Обычно эти процессы

происходят один раз в год или чаще. Таким образом, скорость повторного заселения зависит от многих биологических и экологических факторов. Однако, если стойких нефтяных остатков нет, то нефтяной разлив существенно на него не повлияет. Другие виды беспозвоночных не имеют планктонной стадии личинки, поэтому они осуществляют повторное заселение путем миграции из соседних районов береговой линии. Следует повторить, что скорость восстановления зависит от многих факторов, но может замедлиться, если на обширной области произошло сокращение популяций.



Место обитания в нижней части берега, густо заселенное разнообразными видами – прочно прикрепленными бурыми водорослями, губками, асцидиями, покрытыми коркой кораллиновыми водорослями и икрой рыбы.

Одной из причин медленного

восстановления некоторых сообществ скалистых берегов после разлива 1967 г. в результате аварии танкера *Torrey Canyon* было медленное повторное заселение блюдечка (вида моллюсков) на границе его географического распространения. Низкая скорость роста также может привести к долгосрочному воздействию, особенно если пострадавший вид играет ключевую организационную роль в сообществе, которое увеличивается с размером отдельных организмов. Лучший пример — это мангровые заросли, которые по мере своего роста создали большие связанные сообщества. Однако размер также важен для экологической роли других медленно растущих организмов. К примеру, большой моллюск может фильтровать и выводить намного больше воды, а также производить больше икры и семенной жидкости по сравнению с любым количеством молодых моллюсков, заселяющих ту же область морского дна. И наконец, к медленному восстановлению также может привести выбор мероприятий по очистке. Такая ситуация рассматривается в следующем разделе этого документа.

Позвоночные, обитающие на береговой линии

Береговая линия является важным местом питания, размножения и выращивания многих видов рыбы при приливе. При отливе многие мальки и некоторые половозрелые рыбы уплывают в небольшие водоемы или в места нижней части берега. Некоторые мигрирующие виды, например, лосось и угорь, могут пересекать приливные зоны при перемещении в пресноводные места обитания или из них. Загрязнение нефтью мест обитания на береговой линии может оказывать воздействие на эти виды. Исследования, проведенные после разливов, описали воздействие нефти на популяции рыб, обитающих на береговой линии. Тихоокеанская сельдь откладывает и прикрепляет икру к бурым водорослям в нижней части берега и прибрежной нижеприливной зоне, где она может подвергнуться воздействию диспергированной или растворенной в воде нефти. Было обнаружено, что эмбрионы сельди подверглись токсическому воздействию нефти из разлива при аварии танкера *Cosco Busan* в 2007 г. Данный факт был связан с высокими показателями смертности эмбрионов в заливе Сан-Франциско. На личиночной и молодой стадиях рыба чувствительна к углеводородам, но репродуктивные стратегии большинства видов допускают большие потери мальков, которые обычно происходят из-за истребления хищниками и по другим причинам. Для поддержания взрослой популяции необходимо очень маленькое количество рыб.



Икра сельди на нижней части берега.

Чернозобик
питается во
время отлива.



Участки береговой линии, в частности приливно-отливные отмели и илистые берега защищенных заливов, также предоставляют важные площадки для питания, насестов и гнездования для многих видов голенастых, пернатой дичи и других птиц. Многие виды являются перелетными, и могут объединяться в большие стаи непосредственно перед и во время сезонных перемещений. В этот период такие виды наиболее уязвимы к воздействию нефтяных разливов. Однако их уязвимость к нефтяным разливам определяется главным образом количеством времени, проведенным на поверхности моря. Поскольку большинство перелетных видов не проводит большого количества времени на поверхности, потенциал

загрязнения таких видов намного ниже, чем многих других береговых птиц. Поэтому уровень смертности обычно низок по отношению к региональным популяциям во время разлива. Пернатая дичь, обитающая в эстуариях и защищенных заливах, более чувствительна, поскольку она садится на воду, хотя больше предпочитает пресную воду. Полагают, что при некоторых разливах на популяции некоторых береговых видов может косвенно повлиять доступность пищи. В самом худшем случае это может повлиять на энергетические потребности популяции болотных птиц. Тем не менее, многочисленные мероприятия по устранению разливов могут влиять на поведение источников пищи для береговых птиц, а значит и на способности птиц эффективно питаться. Они особенно уязвимы сразу после долгих миграционных перелетов, когда их энергетические резервы истощены. Мероприятия по очистке также могут повлиять на активность гнездования некоторых видов, в том числе крачек и чаек, которые гнездятся на песчаных косах, галечных грядах и других местах непосредственно над уровнем полной воды рядом с песчаными пляжами.

Южный морской
котик на лежбище
на берегу.



Тюлени, морские львы и моржи (обобщенное название «ластоногие») проводят разное количество времени на лежбищах на берегу. Это зависит от вида, пола, возраста и времени года. Большие сезонные скопления ластоногих обычно образуют постоянные лежбища, где они отдыхают после еды, размножения и линьки. Хотя их тела относительно нечувствительны к токсическому воздействию нефти, слизистая оболочка глаз и носа может воспаляться. Ластоногие наиболее уязвимы, когда они находятся на лежбище или возле него. Большинство видов также рождает на берегу, а сеголетки некоторых видов, которые могут

быть уязвимы к обволакиванию нефтью, могут оставаться на берегу в течение долгого времени. После некоторых разливов появлялась информация о гибели от удушья нескольких тюленей, особенно детенышей, однако количество смертей было небольшим, и оно не могло оказать значительного влияния на популяцию.

В некоторых частях света самки черепах гнездятся на песчаных пляжах выше отметки уровня полной воды, каждый год возвращаясь на одно и то же место в одно и то же время. Их яйца и только что вылупившиеся из яйца молодые особи будут уязвимы к воздействию нефти, если она попадет туда в период гнездования. Гнезда закапывают, поэтому яйца как правило защищены, но только что

вылупившиеся черепахи более уязвимы, когда они вместе пересекают пляж. Молодые особи гораздо более чувствительны к токсичности нефти, чем взрослые. После некоторых нефтяных разливов были обнаружены смертельные случаи среди молодых черепах. Воздействие на уровень локальной популяции возможно, если имело место серьезное воздействие нефти на район гнездования, однако до настоящего времени такое воздействие ни разу не наблюдалось. Подробную информацию по этому вопросу см. в методическом руководстве IPIECA-IOGP по влиянию нефтяных разливов на морскую экологию (IPIECA-IOGP, 2015a).



©Rainer von Brandis/Stockphoto

Черепаха на песчаном пляже гнездится выше отметки уровня полной воды.

Скалистые берега

Скалистые берега предоставляют собой разнообразие мест обитания. Обычно они классифицируются по воздействию волн и приливной зоне, но и другие факторы также важны для их экологии и потенциального воздействия нефтяного разлива. Беспозвоночные и растения, живущие на открытых поверхностях камней, не защищены от воздействия погодных условий и энергии моря. Однако, скалистые берега обычно совершенно по-разному изрезаны и могут иметь ломаные откосы, нависающие уступы, расщелины, трещины, впадины, небольшие водоемы, поверхности под валунами и различную текстуру поверхности. Основное разнообразие видов скалистых берегов связано с этими особенностями, поскольку они предоставляют широкий ряд мест и микросред обитания с различной степенью защиты от солнца и энергии моря.

Воздействие волн и сила движения воды являются ключевыми факторами, поскольку многие растения и животные не адаптированы для противостояния сильным волнам и течениям, которые могут оторвать их от камней. Стойкость нефти также в основном зависит от воздействия этих сил. Поэтому на скалистых поверхностях, незащищенных от воздействия волн, обычно преобладают крепко прикрепляющиеся усоногие и блюдечки, а также маленькие подвижные улитки, которые могут спрятаться в небольших трещинах. Если разлитая нефть окажется на этих поверхностях, это может привести к смерти этих животных. Однако, как правило, нефть не сохраняется, и процессы естественного восстановления могут начинаться сразу после того, как концентрация нефти упадет до уровня, который не препятствует повторному заселению. Скалистые берега Арктики подвергаются ледовой эрозии, которая аналогичным образом ограничивает разнообразие, а также стойкость нефти и потенциал воздействия. Водоросли и многие другие беспозвоночные лучше адаптируются к тем поверхностям скалистых берегов, которые более надежно защищены от воздействия волн. Таким образом, на защищенных от воздействия волн скалистых берегах в эстуариях и других морских заливах преобладает ряд бурых, зеленых и красных макро-водорослей, над которыми и под



Крутой скалистый берег, на котором видна зональность и микросреды обитания.

которыми живут различные беспозвоночные. Нефть, отложившаяся в этих местах обитания, быстро не смывается, поэтому восстановление после любого воздействия может занять больше времени. Искусственные конструкции, в том числе сваи пирсов, морские дамбы и другие защитные элементы береговой линии, населены аналогичными сообществами и имеют схожие особенности, которые могут увеличивать или снижать потенциал стойкости нефти.

Шкала ESI включает четыре категории и две подкатегории скалистых берегов и искусственных берегов с твердым субстратом (ESI 1, 2, 6 и 8, см. таблицу 1 на стр. 12 и 13), которые описывают вероятное поведение и стойкость нефти, выброшенной на эти типы береговой линии. До некоторой степени они учитывают влияние склона, небольших водоемов и других особенностей, но неоднородность мест обитания на скалистых берегах зачастую усложняет прогнозирование воздействия нефти и ее стойкости. Многие открытые для воздействия волн берега имеют защищенные места, где нефть может сохраняться, а многие защищенные берега имеют открытые вертикальные поверхности, с которых нефть быстро смывается.

Блюдца, литориновые улитки и другие моллюски, питающиеся водорослями, являются одной из групп беспозвоночных на скалистых берегах, которые наиболее чувствительны к сильному токсическому воздействию нефти. После разливов особенно часто поступали сообщения о смертности блюдцев. Блюдца играют важную экологическую роль во многих местах обитания на скалистых берегах по всему миру и зачастую являются объектами внимания программ мониторинга скалистых берегов, расположенных рядом с объектами нефтяной промышленности. Исследования показали, что даже небольшое количество свежей нефти, попадающее на ноги улиток, оказывает наркотическое воздействие, в результате которого они падают с камней туда, где они вряд ли выживут. Этот эффект был ярко продемонстрирован во время нефтяного разлива вследствие аварии танкера *Sea Empress* в 1996 г. в Уэльсе, когда заметно возросла смертность блюдцев (всего более 50%, на некоторых участках поверхности – 100%) на сильно загрязненных нефтью берегах рядом с источником разлива. Однако, спустя восемь дней нахождения в море, когда большое количество выветренной нефти из того же разлива достигло более далеких скалистых берегов, попавшие под воздействие нефти блюдца на тех берегах пострадали меньше. Это связано со значительно сниженной токсичностью нефти.

В открытых для воздействия волн местах, где популяции блюдцев сильно пострадали от разлива вследствие аварии танкера *Sea Empress*, последние остатки нефти были удалены во время зимних штормов. Сообщество восстановилось, пройдя через серию этапов сукцессии, похожих на те, которые наблюдались после других разливов. Без нормального режима потребления со стороны блюдцев зеленые водоросли быстро разрослись и покрыли породу густым ковром. Бурые фукоидные водоросли, которые обычно не растут на открытых для воздействия волн берегах, населили берег, а через год стали преобладающим видом. Примерно через три года, когда водоросли выросли, волны смыли их. Тем временем, в первую зиму молодые блюдца прошли через стадию планктонической личинки и быстро выросли, питаясь водорослями, которых было в изобилии. Спустя два года плотность их популяции вернулась к высокому уровню, спустя пять лет возрастная структура вернулась к состоянию, которое было до разлива.

Как говорилось ранее в этом разделе, бокоплавы — еще одна группа видов, которые чувствительны к токсичности нефти. Некоторые их виды распространены в плотном торфе морских водорослей на скалистых берегах и в прикрепляющихся частях бурых водорослей. Некоторые исследования, проведенные после разливов, показывают почти полную потерю популяций бокоплавов на скалистых берегах, подверженных кратковременному воздействию высоких концентраций нефти. После возвращения концентрации нефти к прежнему фоновому уровню, для восстановления пострадавших популяций требуется менее двух лет, но зачастую этот процесс может занимать всего несколько месяцев.

В местах, где вязкая нефть прилипает и высыхает на неровных поверхностях или скапливается в карманах, некоторые беспозвоночные могут пострадать от обволакивания. Усоногие — это фильтраторы,



(a) Спустя неделю: умирающие блюдца падают с камней от наркотического опьянения свежей нефтью.



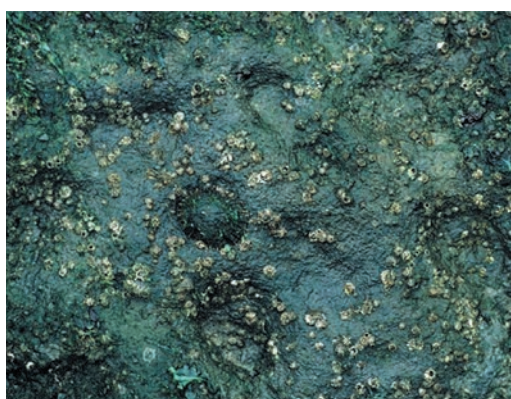
(b) Спустя три месяца: одно выжившее блюдце в месте, где обычно плотность этого вида была высока, находится в окружении зеленых водорослей, бурно растущих в результате нарушения интенсивности их выедания.



(c) Спустя три месяца: бурный рост зеленых водорослей во всем заливе Уэст Энгл и на прилегающем побережье.



(d) Спустя год: следующая стадия колонизации — рост фукоидных водорослей в местах, где рассеянные споры обычно уничтожались блюдцами.



(e) Спустя год: выжившие усоногие и блюдца до сих пор покрыты зелеными водорослями.



(f) Пять лет спустя после разлива: повторное заселение характерного для этого места сообщества с преобладанием усоногих и блюдцев.

Слева: примеры воздействия нефти и восстановления мест обитания в заливе Уэст Энгл, Милфорд Хейвен, Уэльс, после нефтяного разлива при аварии танкера Sea Empress в 1996 г.

которые густо населяют скалистые берега. У них может наблюдаться высокая смертность, когда нефть прилипает к ним и мешает или препятствует способности питаться. После того, как раковины мертвых усоногих и оставшиеся залежи нефти смывает водой, породы могут быть повторно заселены, поскольку усоногие откладывают икру ежегодно. Восстановление в таких условиях как правило проходит быстро.

Хотя большинство водорослей устойчиво к токсическому воздействию углеводородов, некоторые красные водоросли обладают относительно высокой чувствительностью. В частности, кораллиновые водоросли, зачастую обитающие в нижней части скалистых берегов и литоралях, могут обесцветиться и погибнуть из-за контакта с нефтью. Лишайники на верхней части скалистых берегов выше уровня полной воды могут быть чувствительны к нефти, которая при сложных метеоусловиях забрызгивается наверх. Эти медленно растущие растения, каждое из которых является особой симбиотической смесью водорослей и грибка, могут быть чувствительны к физическому обволакиванию и высокой концентрации растворенной нефти. Смертность и медленное восстановление скоплений лишайников описаны после ряда разливов, в том числе после разлива *Erika* 1999 г. в Бретани, Франция.

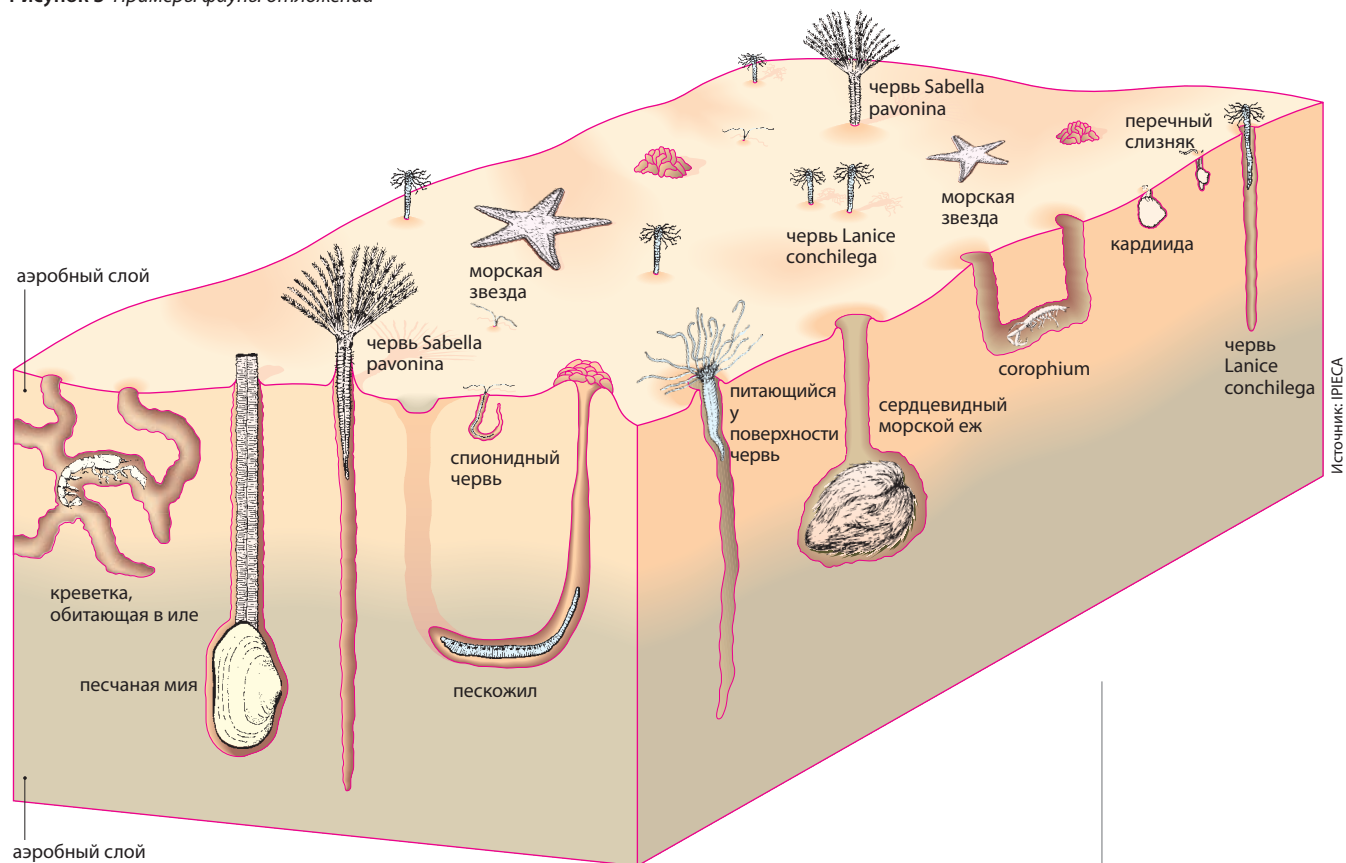
Сравнительные исследования сообществ морских водорослей скалистых берегов, проведенные за два года до нефтяного разлива при аварии танкера *Prestige* в 2002 г. на галисийском побережье Испании и менее чем через год после него, не обнаружили ощутимых изменений даже в сильно загрязненных местах.

На скалистых берегах вязкая нефть может сохраняться в таких местах, как расщелины и пустоты в верхней части берега, защищенные скалистой грядой, вмятины в скалистых платформах, защищенных от воздействия волн берегов, и в щелях между валунами и булыжниками или под ними. Как описано в предыдущем разделе, такие остатки обычно выветриваются до состояния смолы и имеют чрезвычайно малую биологическую доступность, но могут препятствовать заселению их поверхностей. При чрезвычайно сильном загрязнении смола может обволакивать береговые места обитания и сокращать их разнообразие. Яркий пример такой ситуации произошел на Кюрасао после разлива *Vivita* в 1986 г., когда значительное количество смолы зацементировало берега с булыжниками и до такой степени сократило тенистую микросреду обитания улиток и других моллюсков, что через семь лет разнообразие этих видов оставалось сниженным на 35%.

Берега с отложениями

Отложения в приливной зоне могут быть разными – от подвижных гряд с булыжниками до пляжей с мягким песком, отмелей с твердой глиной и сложных составов мелко- и крупнозернистых минеральных частиц. Как правило, в состав берегов с отложениями входят по крайней мере некоторые органические остатки. Они могут значительно различаться по рыхлости, мягкости, проникновению кислорода, содержанию воды и другим физическим и химическим характеристикам, влияющим на морскую экологию. Большая часть флоры и фауны берегов с отложениям спрятана под поверхностью (см. рисунок 3 на стр. 23), но некоторые виды имеют такие показатели разнообразия и продуктивности, которые могут конкурировать с любым наземным сообществом. В зависимости от характера отложений и других факторов окружающей среды, в сообщества обитающих в отложениях животных может входить большое количество червей, крабов, бокоплавов и других ракообразных, съедобных моллюсков, анемонов, морских огурцов и ежей. Размер этих организмов меняется в широких пределах. Он может быть микроскопическим, а некоторые долгоживущие виды моллюсков могут достигать веса более 1 кг. Биологи, исследующие отложения, в основном разделяют животных на крупных (размером более 0,5 мм – их называют макрофауной), которые зарываются в отложения, и мелких (их называют мейофауной), которые живут в поровых пространствах между частицами отложений.

Рисунок 3 Примеры фауны отложений



Шкала ESI включает шесть категорий берегов с отложениями (ESI 3, 4, 5, 6, 7 и 9, см. таблицу 1 на стр. 12 и 13) из-за широкого диапазона характеристик берегов с отложениями и их влияния на вероятное поведение и стойкость выброшенной на берег нефти. Экология берегов с отложениями и возможное влияние на них нефти значительно варьируется. Главными факторами, от которых это зависит, являются подверженность воздействию волн, состав отложений, характеристики подвижности и дренажа, привнос органических материалов, соленость воды и климат. Многие из этих факторов тесно связаны.

Арктические берега — это среда с жесткими условиями. Обычно они негусто заселены.

Подвижность отложений значительно влияет на сообщества растений и животных, которые обитают в них. Сравнительно немногие виды адаптируются к нестабильности песка и гравия, незащищенных от воздействия сильных волн и течений. Воздействие морского льда также может создавать суровые условия, поэтому многие арктические берега почти не заселены. Биомасса, продуктивность и видовое богатство сообществ на берегах с отложениями увеличиваются по мере повышения стабильности. Кроме того, сравнительно немногие водные виды приспособлены жить в сложных условиях верхних областей берега, не считая случаев, когда отложения имеют такое количество ила и воды, которое защищает их от высыхания. Поэтому количество и разнообразие видов живой природы в свободно дренируемых отложениях обычно сокращается, если вид перебирается жить в верхнюю часть берега.



Важное исключение к вышеописанному обобщению касается ситуации, когда отделившиеся морские водоросли и другие органические остатки осаждаются на уровне полной воды. Этот материал береговой черты в какой-то мере недолговечен, и его количество меняется в зависимости от сезона. Тем не менее, он решает важную временную задачу – предоставляет ценный источник питательных веществ для экосистем пляжа, вследствие чего он быстро населяется особыми видами разнообразных, в том числе бокоплавами (морские блохи), насекомыми, пауками и жуками. Эти животные являются оппортунистическими, и их популяции значительно колеблются, но они играют важную роль в разложении материала береговой черты. Для некоторых птиц они также являются важным пищевым объектом. Поскольку нефть, достигшая пляжа, обычно скапливается в одной и той же области, эти сообщества береговой черты особенно чувствительны, но восстановление обычно происходит быстро из-за их природной способности к быстрой реколонизации.

Сообщества берегов с подвижным крупнозернистым песком и гравием (ESI 4, 5 и 6а) обычно состоят из негусто населенных популяций оппортунистических животных малого размера (мейофауны) и переменной продолжительности жизни. Если нефть проникнет внутрь отложения или окажется погребенной под ним, эти сообщества могут сильно пострадать из-за сильного токсического воздействия. Однако, восстановление от воздействия нефти или последствий очистительных мероприятий обычно происходит быстро, кроме случаев, когда стойкая нефть образует хронический источник загрязнения.

Сообщества более стабильных берегов с отложениями, особенно с мелким песком и илистыми отложениями (ESI 3а, 7 и 9а), значительно разнятся по составу видов, образу жизни, размерам и распространенности на разных берегах. Они могут быть неравномерно распределены, что не так очевидно, как на скалистых берегах, поскольку животные находятся под поверхностью. Чувствительность животных к любой нефти, которая достигла берега, зависит главным образом от способа их питания. Многие беспозвоночные, живущие в отложениях, в том числе большинство многощетинковых червей, питаются органическими веществами, которые находятся в отложениях, и почти не контактируют с поверхностью. Они относительно защищены от нефти на поверхности отложений, кроме случаев, когда нефть проникает внутрь отложений или оказывается захороненной. Однако фильтраторы, в том числе двустворчатые моллюски и бокоплавы, и другие виды, орошающие свои норы постоянным потоком насыщенной кислородом воды (например, некоторые зарывающиеся ежи, креветки и крабы), особенно уязвимы к сильному токсическому воздействию углеводородов. Они могут пострадать, даже если нефть не проникнет внутрь отложений и не окажется захороненной. Иногда подверженность воздействию диспергированных углеводородов приводит к тому, что животные выползают из отложений, вследствие чего наверху они могут быть смыты на верхнюю часть берега или оказаться на мели.

Моллюски и нефтяные сгустки выброшены на пляж в Пембрукшире, Уэльс, во время нефтяного разлива после аварии танкера *Sea Empress* в 1996 г. Анализ тканей моллюсков подтвердил загрязнение разлитой нефтью.



Во время разлива при аварии танкера *Sea Empress* в 1996 г. большое количество каридид, съедобных моллюсков и сердцевидных морских ежей было выброшено на песчаные берега юго-западной части Уэльса, хотя загрязнение отложений было незначительным. Многие съедобные моллюски и ежи, обитающие непосредственно под отметкой уровня малой воды в прибрежной нижнеприливной зоне, которую они обычно густо населяют, чувствительны к диспергированной нефти с моря или береговой линии. Поскольку стойкой нефти обнаружено не было, процесс восстановления происходил путем естественного пополнения и роста. Большинство пострадавших видов имело все условия для повторного заселения благодаря планктонным личинкам незатронутых соседних популяций. Восстановление большинства видов завершилось через два года, но многие двустворчатые моллюски оказались более возрастными, и популяции некоторых видов за то время не достигли уровня, который был до разлива.

Подобно двусторчатым моллюскам и устрицам, съедобные моллюски приливных зон также могут накопить такую концентрацию углеводов в своих тканях, которую не смогут быстро метаболизировать. В зависимости от концентрации и токсичности углеводов, съедобные моллюски могут не проявлять заметных признаков вредного воздействия. Однако, исследования по воздействию загрязнения стойкой нефтью илистых отложений после разлива при аварии танкера *Arrow* в 1970 г. показали значительное снижение скорости роста популяции съедобных моллюсков за 6 лет.

Как упоминалось на стр. 16, бокоплавы чувствительны к токсическому воздействию нефти, и некоторые приливные отложения характеризуются высокой плотностью бокоплавов. Популяции бокоплавов могут сократиться, если их места обитания хотя бы кратковременно пострадали от высокой концентрации водорастворимых или диспергированных углеводов. Однако, восстановление пострадавших популяций, как правило, происходит быстро.

В тропических и субтропических регионах крабы, в том числе живущие в норах, играют важную роль для многих приливных берегов с отложениями, а в некоторых местах обитания могут быть преобладающим видом. Норы могут создавать дополнительные пути проникновения нефти под поверхность, которая может привести к смерти крабов и очень долго сохраняться. Во время разлива при военных действиях в районе Персидского залива в 1991 г. подверглись загрязнению огромные площади приливо-отливных отмелей, а популяции краба-привидения и других зарывающихся крабов серьезно пострадали. Восстановление прошло быстро в тех местах, где не было стойкой нефти или она оказалась захороненной на глубине ниже уровня их нор, но во многих районах даже 20 лет спустя после разлива нефть препятствовала повторному заселению крабов.

Важность берегов с отложениями для птиц, обитающих в болотистой местности, черепах и некоторых других беспозвоночных описана на стр. 17-19.



Слева: защищенная приливо-отливная отмель в Дохат ад-Дафи на побережье залива Саудовской Аравии, пострадавшая от нефтяного разлива во время военных действий в районе Персидского залива в 1991 г. На фотографии 2002 г. изображен Дон Оран (Don Aurand), который проводил приливные исследования в 1992 г. Дон стоит рядом с ямой, которую он выкопал 10 лет назад для станции отбора проб. Сохранившаяся так долго яма свидетельствует о стабильности места обитания, поскольку оно максимально защищено от движения воды, а биологическая активность отсутствует. Это объясняет медленное естественное удаление загрязнения.

Справа: норы крабов, показанные на фотографии, никем не заняты и до сих пор загрязнены нефтяными остатками. Последующие эксперименты показали, что крабы могут жить в таких загрязненных отложениях, но повторное заселение проходит очень медленно.

Разлив нарушил естественные процессы этой экосистемы до такой степени, что чрезмерно интенсивное разрастание водорослевых ковров заблокировало каналы и сократило поступление воды в верхние приливо-отливные отмели. Ведущиеся попытки восстановления показали, что тщательное выскабливание заблокированных каналов может увеличить приток воды и улучшить процесс повторного заселения крабов.

В результате разлива после аварии танкера *Prestige* в 2002 г. открытые для воздействия нефти песчаные пляжи на побережье Галисии, Испания, пострадали от тяжелой топливной нефти, которая оказалась захороненной под слоем песка во многих местах на различной глубине. Низкая концентрация нефти сохранялась в течение семи лет после разлива. Воздействие на сообщества фауны пляжа, в том числе сокращение видового разнообразия и плотности популяции, проявилось через шесть месяцев, а через семь лет заметного влияния обнаружено не было.

Анализ отложений берегов, пострадавших во время разлива при аварии танкера *Hebei Spirit* в 2007 г., Тхэан, Южная Корея, показал снижение концентрации углеводородов и их токсичности на пострадавших песчаных берегах за пять лет. Однако на защищенных приливно-отливных отмелях в отложениях сохранилась значительная токсическая концентрация.

Солончаки

Солончаки (также называемые галофитовыми болотами) распространены в верхнеприливных зонах защищенных илистых берегов, куда в периоды прилива попадает морская вода. В связи с этим, солончаки также подвержены воздействию плавающей нефти. Они могут занимать обширные площади, и обычно разделяются по зонам в зависимости от высоты прилива. Поэтому в низких районах ниже отметки уровня полной воды сизигийного прилива может преобладать один вид растений, а верхнюю часть берега населяют другие растения, которые имеют конкурентное преимущество. Самое большое количество видов растений обычно находится в верхней части болот, которая, как правило, более стабильна и реже подвергается воздействию прилива, а также объединяется с наземными сообществами. Сообщества болотных растений также разнятся в зависимости от солёности, региона и климата. Зачастую они предоставляют важное место обитания для птиц, включая немигрирующих гнездящихся птиц и видов, мигрирующих весной и осенью. Мелкие млекопитающие, земноводные и рептилии могут быть распространены в верхней части болота, а маленькие и молодые рыбы ищут пищу и укрытие в приливных каналах водотока. В некоторых регионах болота часто посещают крупные млекопитающие,

Большой солончак.



а фермеры могут использовать болота в качестве пастбищ для овец и прочего скота. Маленькие беспозвоночные, особенно черви, крабы и двустворчатые моллюски, могут быть широко распространены в илистых отложениях, а маленькие улитки часто ищут корм на стеблях, листьях и поверхности отложений. Также широко представлены различные виды водорослей.

На солончаках листья, которые часто приобретают изрезанную форму, имеют большую площадь, к которой может прилипать нефть (см. рисунок 4). Стебли и листья растений могут пострадать от обволакивания и химической токсичности. Свежие легкие переработанные виды нефти обычно оказывают более сильный токсический эффект, а выветренные и более тяжелые темные виды склонны к эффекту обволакивания. Если нефть попадет на илистое отложение, она может проникнуть внутрь через норы крабов и червей, а также через полости, образовавшиеся при разложении стеблей и корней мертвых растений, и нанести вред живым корням. Однако, степень проникновения и его воздействие сильно разнятся в зависимости от острой токсичности и вязкости нефти, а также плотности и размеров нор и ям. Как и в случае с воздействием большинства нефтяных разливов, чем больше загрязнение растения, тем сильнее воздействие.

Рисунок 4 Поперечный разрез листа спартины, иллюстрирующий большую площадь поверхности верхнего эпидермиса



Источник: IPESA

Относительно легкое загрязнение темной нефтью может охватывать большие площади болотных растений, но если нефть не проникнет в отложения, скорее всего корни выживут, и с большой вероятностью растение восстановится. Такое обычно происходит с многолетними видами, которые имеют мощную подземную корневую систему, обеспечивающую постоянный запас питательных веществ (углеводов и др.) для растения. В умеренных зонах зимой многолетние растения солончаков проходят через природный цикл увядания (отмирания), а затем весной через порослевое возобновление. Осенью они пополняют запасы, а питаются этими запасами, когда начинают снова расти. Таким образом, если сильное загрязнение произойдет зимой, оно незначительно повлияет на выживание растения, но если такой же разлив случится поздней весной, когда подземные запасы питательных веществ истощены, воздействие может иметь более серьезные последствия. Сопrotивляемость многолетних видов также зависит от глубины и размера корневой системы.

Однолетние виды, в том числе многие из пионерных видов, заселяющих нижнюю часть болота и другие районы голой земли в верхней части берега, менее устойчивы, потому что не имеют подземных запасов питательных веществ и полагаются на ежегодное пополнение с помощью семян. Если запасы семян



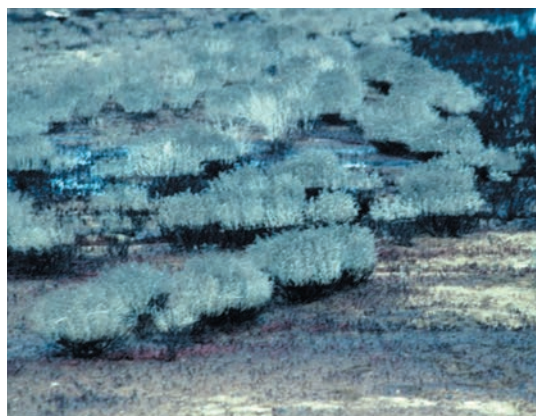
Michel et al., 2008

Легкое дистиллятное топливо (смесь №№ 6 и 2) из разлива на трубопроводе Chalk Point, Мэриленд, в 2000 г. проникло на глубину более 30 см в отложения солоноватого болота и скопилось в углублениях, оставленных корнями болотных растений и ризомами (видны на фото). Спустя семь лет поверхностные отложения в 25% проб по-прежнему оставались токсичными для бокоплавов. Кроме того нефть оказывала умеренное, но статически значимое продолжающееся воздействие на биомассу болотных растений (надземных и подземных). Авторы исследования прогнозировали, что в тех болотных отложениях нефть сохранится еще многие десятилетия.

соседних районов малы, или семена попадают на все еще загрязненную поверхность отложений, восстановление может быть медленным. Однако, на следующий год после разлива многие предметные исследования показали хорошее пополнение однолетних видов.

Пример ограниченного воздействия и быстрого восстановления описан в исследованиях нефтяного загрязнения солончаков во время разлива при аварии танкера *Sea Empress* в 1996 г. Легкая сырая нефть сильно покрыла болотные растения в нескольких районах Милфорд Хейвен, Уэльс, но в результате

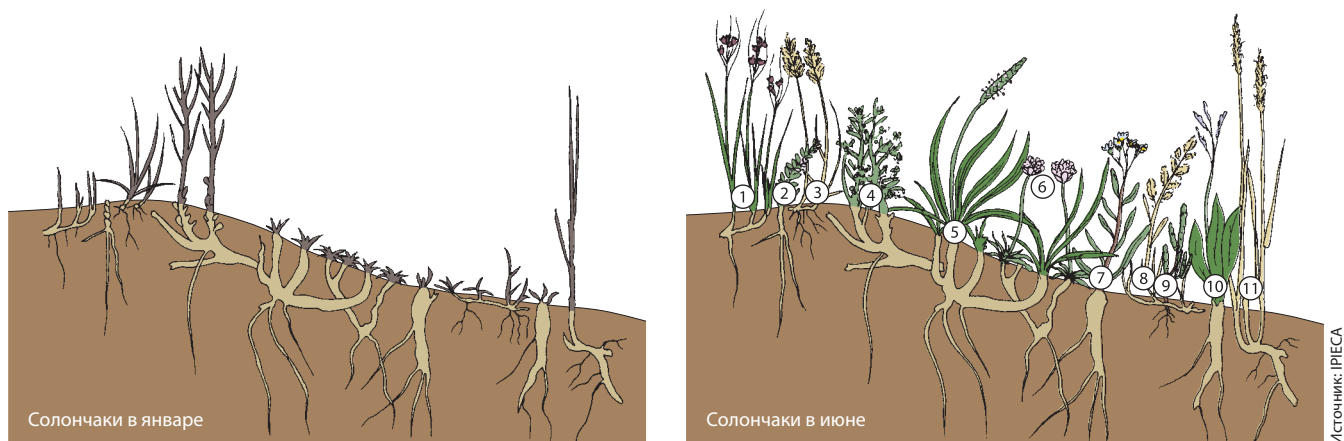
исследований солончаков было обнаружено несколько ощутимых последствий, при этом большинство загрязненных растений выжили и значительного загрязнения отложений обнаружено не было. Спустя год наблюдалось небольшое сокращение двух видов.



Однако, умеренное и сильное загрязнение дистиллятным топливом № 6 в Баззардс Бэй, Массачусетс, от разлива 2003 г. с баржи *Bouchard B-120* нанесло значительный ущерб болотам и оставило стойкие остатки. Первоначальные попытки пересадки некоторых пострадавших участков имели неоднозначные результаты. Спустя более двух

Загрязненное нефтью галофитовое болото на побережье залива Саудовской Аравии, которое пострадало от нефтяного разлива во время военных действий в районе Персидского залива в 1991 году.

Рисунок 5 Растения на британском солончаке в январе и июне иллюстрируют различия между многолетними и однолетними растениями



- (a) Растения на британском солончаке в январе: видны части растения, защищенные почвой и естественно отмершей растительностью (мертвая растительность отмечена серым).
- (b) Растения в июне: видны части, восприимчивые к воздействию нефти: листья, стебли и цветы. Однолетние растения, например, *Salicornia*, особенно чувствительны, поскольку в отличие от большинства многолетних они не имеют большой подземной корневой системы с защищенными почками и запасами питательных веществ. Кроме того, *Salicornia* не имеет постоянного запаса семян в почве, и если растения будут уничтожены до образования семян, повторное заселение будет зависеть от распространения семян из других мест.

Обозначения

1. Juncus
2. Glaux
3. Festuca
4. Artemisia
5. Plantago
6. Armeria
7. Aster
8. Puccinellia
9. Salicornia
10. Limonium
11. Spartina

лет до сих пор сохраняются значительные пролысины. Срок восстановления оценивался более чем 10 годами.

Несмотря на то, что исследования воздействия нефтяного разлива на солончаки в основном направлены на оценку влияния на растительность, после некоторых разливов были проведены исследования по влиянию разлива на болотную фауну, в частности крабов и двустворчатых моллюсков. Описание воздействия приливных отложений на флору и фауну см. в разделе «Берега с отложениями» (стр. 22-26).

Солончаки, как правило, распространены в местах, защищенных от воздействия волн и приливных течений, поэтому удаление нефти может проходить медленно, особенно если она вязкая или проникла внутрь отложений. На некоторых болотах нефть также может оказаться погребенной из-за осадения отложений. Под поверхностью отложений нефть не просто защищена от вымывания водой, при этом обычно замедляется биоразложение, потому что отложения солончаков обычно аноксичны (лишены кислорода). В одном исследовании нефть, которая погребена в болоте на протяжении 22 лет, по-прежнему классифицируется как тяжелое дизельное топливо, хотя и сильно разложившееся (см. фотографию справа). Исследования болотных отложений, загрязненных в результате инцидента на месторождении Mascondo в 2010 г., показали стойкость фракций тяжелой нефти, быстрое



Д-р Дженифер М. Бейкер (Jennifer M. Baker)

Фотография нефти на солончаке *Spartina* в Милфорд Хейвен, Уэльс, 22 года спустя после того, как разлив топливной нефти загрязнил болото. Углеводородный анализ установил, что эта нефть до сих пор является тяжелым дизельным топливом, хотя и сильно разложившимся.

разложение легких фракций сульфатовосстанавливающими бактериями, которые присутствуют в анаэробических условиях, а также грибами, разлагающими нефть. Стойкость обычно выше в отложениях с более высоким содержанием органических веществ.

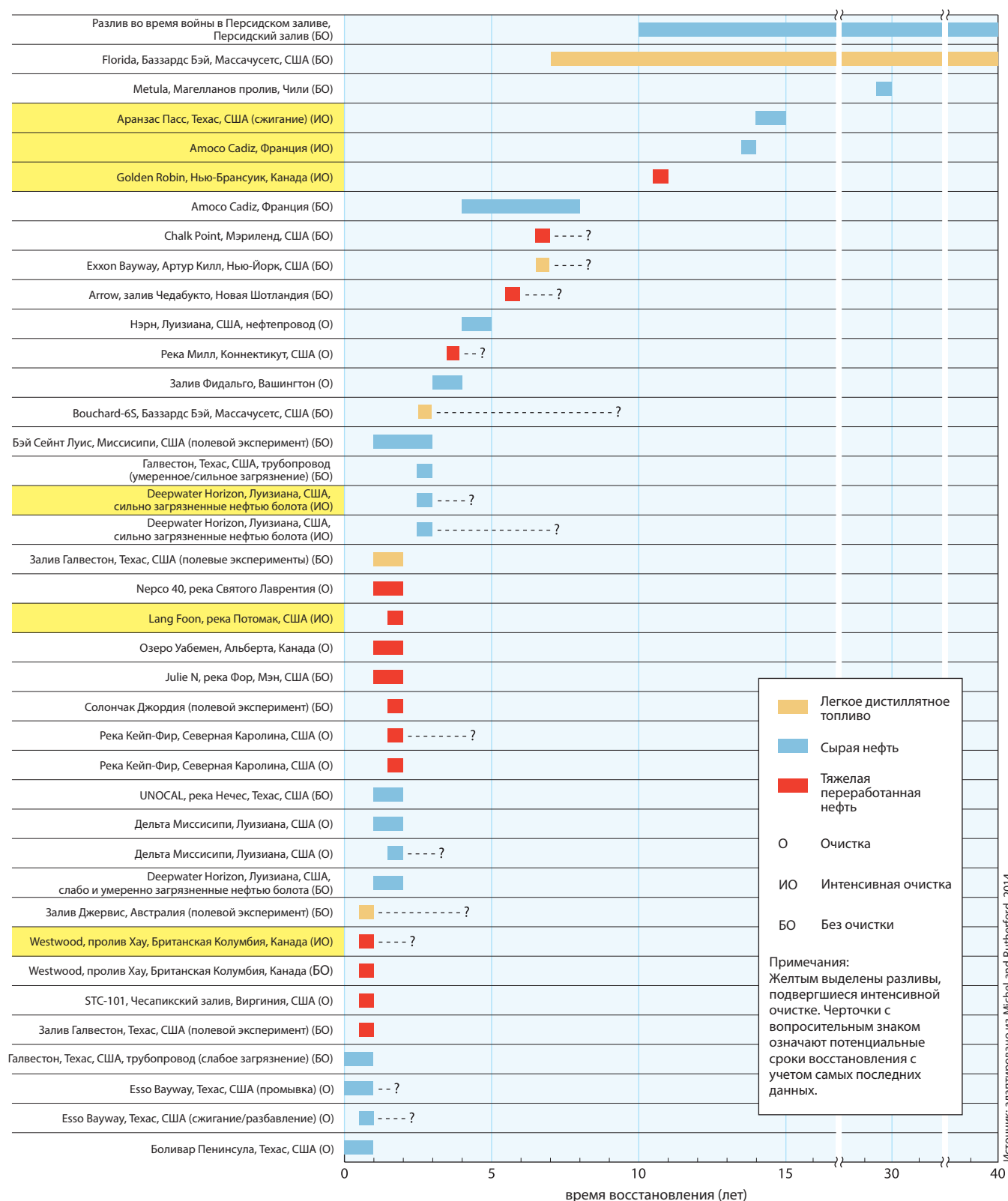
В связи с этим по шкале ESI солончакам присвоен наивысший балл (ESI 10). Несмотря на то, что все болота относят к этому классу, природные процессы удаления могут различаться в зависимости от болота. Болота вдоль берегов эстуарных каналов подвергаются воздействию движения воды, которая может способствовать удалению нефти, а болота в материковой части приливно-отливных отмелей лишены этой возможности. Стойкость нефти является ключевым фактором, оказывающим долгосрочное воздействие на болота. Другими факторами являются интенсивная обработка или виды с низким потенциалом повторного переселения.

В обзоре исследований 32 разливов нефти (включая несколько экспериментов) оценка времени восстановления пострадавших болот составляла до двух лет примерно для половины исследований, до десяти лет – для трети, а в шести случаях – более десяти лет. В трех из указанных шести случаев восстановление проходило медленно главным образом из-за интенсивной очистки (см. «Очистка и восстановление береговой линии» на стр. 36-44), а три самых продолжительных случая воздействия, последствия которых видны до сих пор, связаны в первую очередь с высокой стойкостью нефти. См. рисунок 6.

Разлив при аварии танкера *Metula* в 1974 г. в Магеллановом проливе, Чили, привел к осаждению густой нефти на болоте, и эти отложения на некоторых участках видны до сих пор. Плотные остатки противостоят природным физическим процессам и биоразложению бактериями, но в некоторых трещинах солончака прорастают семена, и медленный рост растений в холодном климате способствует постепенному разложению.

В результате разлива с баржи *Florida* в 1969 г. в Баззардс Бэй, Массачусетс, США, печное топливо № 2 осело в болоте, в котором преобладали спартина (*Spartina alterniflora*), крабы-скрипачи и съедобные моллюски. В наиболее загрязненных участках наблюдалась высокая смертность среди всех трех видов. По мере снижения токсичности отложения происходило постепенное восстановление среды. Двадцать лет спустя после разлива солончак выглядит также, как и непострадавшие участки, но в некоторых местах в анаэробических болотных отложениях сохранилась высокая концентрация нефти. Недавние исследования показали, что в некоторых местах на глубине 8–20 см от поверхности до сих пор наблюдается высокая концентрация, а по поведению краба-скрипача, который не зарывается в слой загрязненных отложений, можно заключить, что он этого избегает.

Рисунок 6 Сводные данные о сроках восстановления болот для различных нефтяных разливов и полевых экспериментов



Слева: болото с солоноватой водой в Ла-Плата возле Буэнос-Айреса, Аргентина, в 1999 г. после загрязнения от аварийного разлива нефти с танкера Estrella Pampeana. Приведенные ниже фотографии показывают воздействие интенсивной физической очистки и быстрое возобновление роста болота с одной и той же точки наблюдения в январе, апреле и октябре 1999 г. и в ноябре 2000 г. (22 месяца спустя).

Однако, быстрый рост происходил главным образом благодаря оппортунистическим видам, а не естественному сообществу, которое при последнем наблюдении в 2003 г. еще не полностью вернулось в исходное состояние. В районах соседних болот с аналогичным загрязнением, которые не подвергались очистке, восстановление прошло быстро, и в 2002 г. эти участки не отличались от незагрязненных контрольных зон.



Январь 1999 г.



Апрель 1999 г.



Октябрь 1999 г.



Ноябрь 2000 г.

В результате разлива во время войны в Персидском заливе в 1991 г. пострадала значительная область сильно защищенных широких отмелей с отложениями, в которых обитали долгоживущие медленно растущие растения галофитовых болот, зарывающиеся крабы и водорослевые ковры. Нефть проникла в отложения через норы крабов, поэтому повторное заселение галофитов и крабов происходило медленно. Восстановление могло растянуться на десятилетия, поэтому работы по восстановлению продолжаются (см. стр. 44).

Исследования воздействия нефтяного разлива на месторождении Macondo в 2010 г. продолжаются до сих пор, но первоначальные исследования обнаружили несколько случаев смерти болотных растений в загрязненных нефтью районах. Некоторые из наиболее загрязненных болот подвергались обработке для удаления нефтяных остатков, которые в противном случае могли оказаться стойкими (см. стр. 40). Например, недавние исследования карпозубых в солончаках Луизианы продемонстрировали некоторые доказательства почти летального воздействия нефти на морфологию тканей, однако другие исследования не выявили разницы в составе видов, изобилии или размере рыб в загрязненных и чистых солончаках Луизианы по истечении двух-трех лет после разлива.

Мангровые заросли

Мангровые заросли являются биологически разнообразными и продуктивными местами обитания на защищенных от волн тропических и субтропических участках береговой линии. В мангровых экосистемах преобладают мангровые деревья (или кустарники). Они образуют основную физическую структуру, которую населяют многие другие виды. Мангровые деревья могут формировать узкие полосы по краям эстуариев и других защищенных морских заливов или обширные леса в низинах дельтовых систем. В морские сообщества мангровых зарослей обычно входят различные водоросли и беспозвоночные, прикрепляющиеся к корням и стволам деревьев и кустарников, другие беспозвоночные, зарывающиеся или живущие на поверхности илистых отложений, рыба, которая живет в каналах или перемещается туда с приливом, чтобы получить пищу, морские змеи и другие рептилии, а также многие виды болотных птиц, которые питаются живыми организмами, обитающими в отложениях и воде. Крона мангровых деревьев также является местом обитания для широкого ряда млекопитающих, птиц, других позвоночных, насекомых и растений. Кроме того, как упоминалось во введении, мангровые заросли выполняют в экосистеме многие другие важные функции, зависящие главным образом от стабильной структуры, созданной корневой системой.



Слева: густые заросли черных мангров в Омане с пневматофорами (дыхательными корнями).

Рядом справа: поперечный разрез пневматофора, демонстрирующий пористую насыщающую воздухом ткань.

Мангровые деревья и кустарники приспособлены к жизни в солончаках, и их корни соответственно приспособлены к анакисическим условиям, характерным для илистых отложений, в которых они растут. Поскольку для удовлетворения своих физиологических потребностей корни не могут получить достаточно кислорода через отложения, в них в результате эволюции развились структуры для насыщения воздухом над поверхностью отложений. Произошла эволюция ряда различных форм, в том числе опорных корней красных мангровых деревьев (*Rhizophora*), карандашеобразных дыхательных корней черных мангровых деревьев (*Avicennia*), а также увеличение конических дыхательных корней мангровых деревьев *Sonneratia*. Пористые насыщающие воздухом ткани в этих структурах соединяются с маленькими поверхностными порами, которые называют чечевичками. Если эти поры закупорены, корни могут испытывать нехватку кислорода, и растение пострадает. Если закупорена большая часть пор, растение может умереть. Ранний признак воздействия — потеря листвы (обезлиствление).

Если разлитая стойкая нефть проникнет в мангровые заросли, она вероятно будет обволакивать дышащие поры мангра, а корни кроме того пострадают от токсического воздействия. Эффект обволакивания более легкими нефтепродуктами выражен менее сильно, но они могут быть более токсичными. Это воздействие задокументировано при исследовании многочисленных случаев разливов в мангровых зарослях, и полагают, что загрязнение более 50% поверхности дышащих корней дерева скорее всего приведет к смерти растения. После потери листвы начинается процесс разложения,



Наверху слева: загрязненные нефтью опорные корни красных мангровых деревьев после разлива нефти из трубопровода в реку Коацакоалькос, Мексика.



Наверху в центре: через пять месяцев после загрязнения нефтью, разлитой в заливе Гуанабара, Бразилия, мангровые деревья сбросили листву.



Наверху справа: остатки мангровых зарослей в гавани Момбаса, Кения, в 1991 г. Мангровые деревья пострадали от загрязнения в результате разлива топливной нефти в 1988 г. и выросли снова.

который в жаркой влажной среде может произойти очень быстро. За ним последует падение пораженного дерева, которое лишит места обитания немигрирующих птиц. Кроме мангровых деревьев и кустарников, также могут пострадать беспозвоночные, живущие в поверхностных отложениях и на мангровых корнях. Особенно чувствительны крабы, другие ракообразные и улитки, поэтому их популяции могут сократиться.

Если нефть проникнет в защищенные места мангровых зарослей, а особенно внутрь, она с большой вероятностью останется там до тех пор, пока случайно не смоется в период прилива. Чаще всего нефть скапливается в мангровых зарослях на уступах или в верхнеприливных зонах, а также в небольших водоемах в мелководных пустотах на поверхности отложений. Нефть также с большой вероятностью может прилипать к неровным поверхностям мангровых корней, с которыми она контактирует. Отложения мангровых зарослей обычно являются домом для огромного количества крабов, илистых прыгунов и других видов, живущих в норах. Эти норы могут создавать пути проникновения нефти в отложения. Таким образом, в мангровых зарослях нефть скорее всего сохранится и может оставаться там многие годы, особенно в местах, где она оказалась захороненной в анаэробном иле. Однако в тропических условиях разложение нефти в поверхностных отложениях может происходить быстро, а в местах с отложениями относительно легкой нефти естественное повторное заселение мангровых всходов (называемых черенками) может начаться в течение года. Тем не менее, смертность всходов может быть относительно высокой, а рост может замедляться в местах, где подповерхностная токсичность еще остается высокой. Повторное заселение зависимых видов начнется вместе с заселением деревьев, но для выращивания деревьев до размера, который поддерживает разнообразие, связанное с развитой кроной (например, гнездящихся птиц и т. д.), может потребоваться много лет.

По шкале ESI мангровым зарослям, как и солончакам, присвоен наивысший балл (ESI 10). Несмотря на то, что все мангровые заросли относят к этой категории, их чувствительность к загрязнению и потенциал естественного очищения могут сильно отличаться. В некоторых мангровых зарослях субстраты содержат достаточно много песка с повышенной проницаемостью для кислорода, поэтому они меньше полагаются на свои воздушные корни, а мангры вдоль берегов каналов подвергаются воздействию движения воды, которая может способствовать удалению нефти. Самый высокий уровень смертности деревьев от разлива зачастую находился на внутренней стороне границы мангровых зарослей в местах скопления нефти, куда не могут добраться большие водные потоки.

В результате разлива в Баия Лас Минас, Панама, в 1986 г. сырая нефть загрязнила более 85 км побережья, в том числе зоны коралловых рифов (стр. 35), места произрастания морской травы и мангровые заросли. Нефть стала причиной потери большого количества красных мангровых деревьев на 27 км побережья и последующего сокращения популяций всех основных групп эбиоты, которые растут на опорных корнях красных мангровых деревьев. Запущенные работы по ускорению восстановления мангровых зарослей были относительно успешны, но для восстановления всех экологических услуг зрелого места обитания потребовалось много лет (см. *Восстановление береговой линии* на стр. 43)

В результате разлива с танкера *Solar* в 2006 г. в Гимарас, Филиппины, тяжелая топливная нефть (№ 6) загрязнила мангровые заросли. В связи с высокой смертностью мангровых деревьев значительные районы внутренних зон остались без леса, а в отложениях мангровых зарослей была обнаружена высокая концентрация нефти. Концентрации нефти в поверхностных пробах быстро снижались, а плотность всходов постепенно увеличивалась, кроме мест, где мертвые деревья были выкорчеваны.

Коралловые рифы

Коралловые рифы это главным образом нижнеприливные места обитания, но многие окаймляющие рифы включают обширные коралловые отмели, которые частично не защищены в периоды отлива. Обычно в них преобладают несколько жизнестойких видов жестких кораллов, которые могут переносить периоды чрезвычайных ситуаций, но сами они являются местами обитания для огромного количества других видов. Поэтому нефтяное пятно может временно обволакивать находящиеся над водой кораллы и оказывать острое токсическое действие, но маловероятно, что эта нефть сохранится в рифовых местах обитания. Мелководные нижнеприливные участки окаймляющих рифов имеют высокую продуктивность и биологическое разнообразие, они уязвимы и чувствительны к диспергированной нефти. На таком мелководье под воздействием прилива и загрязненной нефтью воды, смываемой с берега, возможно повышение концентрации нефти. Однако, в этих областях зачастую очень сложно проводить исследования.

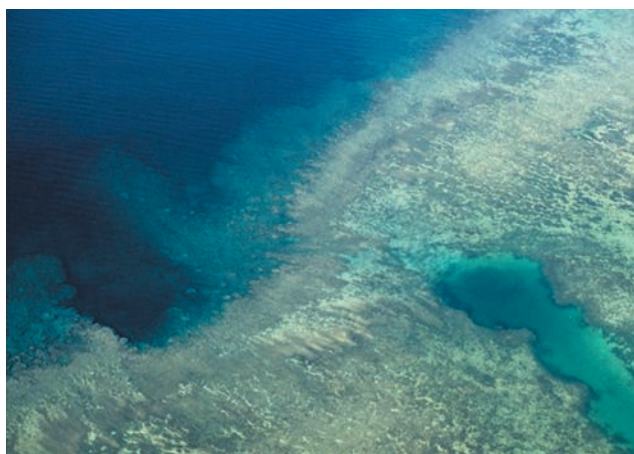
В 1986 г. на нефтяном терминале Баия Лас Минас, Панама, разлив огромного количества сырой нефти из резервуара для ее хранения загрязнил мангровые заросли, отмели окаймляющих рифов и связанные с ними места произрастания морской травы на отмелях. Жесткие и мягкие кораллы, кораллиновые водоросли и животные, живущие на водорослевом торфе, пострадали в основном от прямого физического контакта с нефтью на краю рифа. После этого увеличилось количество водорослевых ковров на мертвых кораллах. Восстановление кораллового и водорослевого покрытия до исходного состояния перед разливом произошло через год, но для восстановления некоторых зависимых животных потребовалось больше времени. Площадь водорослевых ковров и численность раков-богомолов уменьшились, и через пять лет эти показатели по-прежнему оставались на низком уровне. Установлено, что хроническое нефтяное загрязнение близлежащих мангровых зарослей стойкими остатками и через пять лет оказывает постоянное сублетальное воздействие на рост кораллов.

Подробную информацию о коралловых рифах см. в методическом руководстве IPIECA-IOGP по влиянию нефтяных разливов на морскую экологию (IPIECA-IOGP, 2015a).

Внизу справа: вид с воздуха на отмель кораллового рифа в Филиппинах.

Находящиеся над водой кораллы и крайне мелководное рифовое место обитания уязвимы и чувствительны к плавающей и диспергированной нефти.

Внизу справа: разлив нефти 1986 г. в Баия Лас Минас, Панама загрязнил окаймляющий риф и другие места обитания на береговой линии в районах, которые уже изучили исследователи из Смитсоновского исследовательского института.



Карл Хансен (Carl Hansen), Смитсоновский институт

Очистка и восстановление береговой линии

Стойкость нефти является основной причиной медленного восстановления. В связи с этим, нефтяное загрязнение желательно удалить с береговой линии как можно быстрее. Однако, опыт предыдущих ликвидационных операций показал, что неподходящими или чрезвычайно агрессивными методами обработки можно нанести дополнительный ущерб. К сожалению, часто случается, что участки береговой линии с самым высоким потенциалом сохранения нефти являются самыми чувствительными ко многим методам физической очистки. Однако из таких ситуаций извлечены соответствующие уроки, и современные подходы, включающие методы, технологию, организацию и планирование ликвидации нефтяного разлива, сделали большой шаг вперед. Также постоянно выдвигаются требования к использованию подготовленного и опытного персонала, поэтому важным компонентом плана действий при аварийном разливе нефти в настоящее время являются соответствующие режимы подготовки. Несмотря на то, что многие проблемы еще не решены, соответствующие меры реагирования могут значительно сгладить последствия разлива нефти.

В данном разделе подытоживаются некоторые проблемы окружающей среды, которые необходимо учитывать при ликвидации разлива на береговой линии, и описываются современные подходы к их решению. Каждый берег и разлив имеет различные особенности и проблемы, поэтому существует необходимость принятия объективных решений, на основании анализа суммарной экологической выгоды (АСЭВ) (см. ниже) и исследования методов очистки и оценки состояния береговой линии (SCAT) (см. стр. 45).

Анализ суммарной экологической выгоды

Во время ликвидации разлива центры реагирования принимают множество оперативных решений, выбирая способы удаления или обработки нефти, снижения ущерба, нанесенного поврежденным ресурсам. Некоторые из этих действий могут иметь серьезные последствия для экологических и социально-экономических ресурсов. Анализ суммарной экологической выгоды (АСЭВ, NEBA) — это широко используемый и упорядоченный процесс оценки, который объективно рассматривает потенциальные преимущества и воздействие на все ресурсы одного или нескольких вариантов очистки/обработки и сравнивает их с вероятным результатом в случае, если не будут приняты никакие меры. Стандартной методологии не существует, а процесс может распространяться только на экологические ресурсы. Но его можно расширить, включив широкий ряд инфраструктурных, социальных, экономических, археологических и других естественных ресурсов окружающей среды.

Иногда приходится принимать решения, требующие поиска компромисса между различными экологическими и социально-экономическими проблемами. Основной задачей является минимизация долгосрочных последствий путем выявления ситуаций, которые могут привести к сохранению остатков нефти, и определения мер реагирования для снижения этой опасности. В разделе, посвященном поведению, стойкости и естественному удалению нефти (стр. 6–13), подчеркивается тот факт, что хотя естественные процессы могут достаточно быстро удалить нефть с большей части береговой линии, руководители пострадавших экономических ресурсов не могут допустить сохранения нефти на столь долгий период. Другой стандартный метод оценки может сравнивать преимущества и недостатки методов ликвидации разлива нефти на загрязненном солончаке, который используется огромным количеством птиц. При такой оценке необходимо сбалансировать риск нанесения ущерба болоту и риск увеличения количества пострадавших птиц, а также найти вариант, который уменьшит и тот и другой риск в долгосрочной перспективе.

Осознание серьезности возможного воздействия и долгосрочного сохранения нефти в мангровых зарослях стимулировало разработку подхода к ликвидации разлива нефти, который иногда рекомендует подвергать нефть обработке химическими диспергентами при ее приближении к зарослям. В некоторых ситуациях, когда невозможно остановить движение нефти в мангровые заросли, предлагается использовать диспергирующие продукты, которые могут уменьшить общий уровень воздействия, даже если глубина воды меньше стандартно рекомендуемого ограничения 10 м, а также если в прибрежной низменности есть чувствительные ресурсы. Такой подход был проверен во время полевых

Рисунок 7 Два случая нефтяных разливов изучались в ходе эксперимента TROPICS (Исследование нефтяного загрязнения в тропических прибрежных системах) 1984 г. в Панаме

(а) Только нефть (нефть плавает на воде)

Плавающая необработанная нефть воздействует на поверхностные кораллы, морскую траву и мангровые заросли.



(а) Диспергированная нефть (нефть, рассеянная в толще воды)

Нефть обработана химическим диспергентом, благодаря чему ее воздействие на поверхностные живые организмы снизилось, а на глубоководные кораллы увеличилось.



Источник: IPIECA

испытаний TROPICS в Панаме, где три участка (площадь каждого из которых составляла 1000 м²) с окаймляющими мангровыми зарослями и тесно связанными водорослевыми коврами и коралловыми рифами подвергались воздействию свежей нефти, диспергированной нефти и не подверглись воздействию нефти вообще, соответственно (см. рисунок 7). Были проведены углубленные исследования поведения нефти, воздействия на каждое место обитания и их восстановления. Результаты этого проведенного 30 лет назад исследования показали долгосрочную стойкость (до 25 лет) углеводородов на участке недиспергированной нефти, а на участке диспергированной нефти через три года загрязнение обнаружено не было. На участке недиспергированной нефти наблюдалась высокая смертность мангровых деревьев (10 лет спустя она по-прежнему оставалась заметной) и очевидное долгосрочное влияние на рост всходов (больше 25 лет), а в районе диспергированной нефти обнаружили лишь весьма ограниченное и кратковременное воздействие на мангровые заросли. Было отмечено краткосрочное (на один год) сокращение покрытия кораллов, а также популяций других коралловых беспозвоночных и рыбы, обитающих в районе диспергированной нефти, но затем популяции выросли на всех участках. Применив анализ АСЭВ, пришли к заключению, что химически диспергированная нефть может оказывать более краткосрочное воздействие на ресурсы мелководной нижнеприливной зоны, чем недиспергированная нефть в мангровых зарослях, но имеет меньшее общее воздействие на окружающую среду. Однако, диспергенты не следует применять в случаях недостаточного водообмена.

Полное описание этой методологии см. в методическом руководстве IPIECA-IOGP по использованию АСЭВ при разработке стратегии (методов) реагирования (IPIECA-IOGP, 2015b).

Стандартные методы очистки

Проверено, испытано и адаптировано к определенным обстоятельствам большое количество методов обработки береговой линии (под «обработкой» здесь понимаются все методы очистки). В разделе *Библиография и рекомендуемая литература* (стр. 48-53) перечислена информация о руководствах по очистке после нефтяных разливов, которая содержит более подробное описание имеющихся вариантов. Эффективность и последствия любого метода обработки береговой линии в значительной степени определяются способом его применения и масштабом операции. Многие виды потенциального воздействия связаны с доступом, утилизацией отходов и вмешательством в дикую природу. Эти виды воздействия актуальны для всех нижеперечисленных активных методов реагирования. Вытапывание и использование тяжеловесных транспортных средств, особенно в рыхлых отложениях, болотах и мангровых зарослях, могут стать причиной физического ущерба, уплотнения отложений и повреждения корней. В результате вытапывания нефть может глубже проникнуть в отложения и остаться там на более долгое время. Во многих исследованиях описаны такие эффекты, самым заметным из которых было долгосрочное физическое повреждение и эрозия в результате агрессивной очистки болот Иль-Гранд после разлива *Amoco Cadiz* в 1978 г., в это же время загрязненные, но не подвергавшиеся очистке болота восстановились намного быстрее. Не так давно из-за очистительных мероприятий после разлива 2006 г. в Британской Колумбии было вытоптанно эстуарное болото, и замедлился процесс восстановления. В различных руководствах по очистке содержатся указания по регулированию количества работников, средств передвижения, проходимости отложений, минимизации количества отходов и их удалению, минимизации вмешательства в дикую природу и другие методические рекомендации из передовой практики. Еще один важный аспект таких рекомендаций — определение момента прекращения очистки: определение ожидаемых результатов, которые обеспечивают эффективное удаление нефти без излишних усилий и способствуют ускорению естественного восстановления. Подробную информацию см. в методическом руководстве IPIECA-IOGP по методам очистки береговой линии (IPIECA-IOGP, 2015).

На приведенных ниже фотографиях показаны примеры ущерба, причиненного мангровым зарослям при ликвидации последствий двух нефтяных разливов из-за вытапывания (слева) и неправильной организации работы с тяжеловесным оборудованием на берегу реки (справа).



Затоптанные дышащие корни мангрового дерева во время нефтяного разлива 2005 г. на реке Коацакоалькос, Мексика. Личный состав группы, производившей очистку, удалил нефтесодержащие остатки, но при этом нанес дополнительный ущерб мангровым зарослям.



Неоправданное использование тяжелых транспортных средств во время очистки после разлива Worthy в 1989 г.

Питер Тейлор (Peter Taylor)

Примеры основных используемых методов очистки, их преимущества и потенциальное воздействие на экологические ресурсы приведены ниже:

- **Естественное выветривание без дополнительных мероприятий:** при таком методе очистительные мероприятия не проводятся, поскольку считается, что недостатки операции очистки нивелируют преимущества удаления нефти. Такой подход наиболее часто применяется для слабо загрязненной береговой линии. Естественное удаление нефти должно подвергаться мониторингу, чтобы не допустить неожиданного развития событий. Основное преимущество состоит в том, что такой подход не вызывает последствий, связанных с очисткой, а потенциальные недостатки заключаются в том, что нефть может загрязнять другие ресурсы (например, птиц), сохранить стойкость и помешать восстановлению природного сообщества. Не удивительно, что недостаточно очевидная цель операции реагирования может привести к проблемам во взаимоотношениях с общественностью, и потребовать поддержки ключевых заинтересованных сторон.
- **Боновые заграждения для защиты береговой линии:** боновые заграждения могут отводить нефть от чувствительных мест обитания на береговой линии или задерживать нефть на берегу для дальнейшего удаления. Существует много практических и рабочих проблем, которые могут ограничить эффективность этих методов и даже оказать некоторое воздействие. Сильные приливы и воздействие волн особенно осложняют использование боновых заграждений, но в некоторых случаях использование этих методов может привести к снижению загрязнения участков береговой линии.
- **Использование барьеров и бERM:** возможно возведение физических барьеров, в том числе плотин, ограждений и земляных бERM на берегу или в море для предотвращения загрязнения чувствительного источника (например, входа в лагуну) или для удерживания нефти перед ее удалением. В любом случае этот вариант причинит вред береговым местам обитания, на которых он строится, и повлияет на такие места обитания, которые зависят от обычных приливных перемещений. При блокировании узких каналов в ходе сбора нефти, плавающей на поверхности, можно реализовать систему, в которой вода будет течь на более низком уровне. Широко практикуется мониторинг условий в районах выше барьера и восстановление водного потока перед ухудшением условий до недопустимых пределов.
- **Неинвазивное удаление нефти и ничем не сдерживаемого загрязненного нефтью мусора:** удаление наливной нефти без удаления или причинения серьезного ущерба характерным для данного места обитания субстратам и биоте является главной целью всех операций ликвидации разливов нефти на береговых линиях. Для этого способа в самой простой форме требуется человек с пластиковым пакетом и в подходящей одежде, который вручную собирает смолистые шарики и загрязненный нефтью мусор. Однако, разработано большое количество изделий, инструментов и оборудования с ручным и механическим управлением, в том числе различные формы сорбентов, граблей, скребков, всасывающих (вакуумных) устройств и механизмов для очистки пляжа. Удаление наливной нефти снижает риск ремобилизации нефти и загрязнения других ресурсов, а также может улучшить восстановление пострадавшего места обитания. Во многих ситуациях эти преимущества значительно превосходят недостатки. Однако в других ситуациях существует потенциально значительное воздействие, которое связано с доступом к береговой линии и вмешательством в дикую природу. Использование сорбентов также повышает количество отходов, которые необходимо утилизировать.
- **Переработка и перемещение отложений:** эти методы улучшают естественное очищение отложений с помощью волн и течений, которые рыхлят, размывают или перемещают загрязненный песок, гальку или булыжники. Перемещение может происходить путем откапывания и переноса загрязненных нефтью отложений с верхней части берега в нижнюю с более высокой энергией волн (мытье пляжей). В дальнейшем действие волн ремобилизует отложение и изменяет форму пляжа, удаляя в ходе этого процесса нефть. Большая часть нефти не удаляется, а, как правило, рассеивается или выпадает в осадок в море, и маловероятно, что она сохранит стойкость. Нефть может повторно всплывать и загрязнять



Zengel, S. and Michel, J., 2013



Zengel, S. and Michel, J., 2013

На фото сверху: инцидент на месторождении Macondo в 2010 г. привел к загрязнению окаймляющих солончаков в некоторых районах залива Баратария, Луизиана. Была проведена серия полевых испытаний по обработке болот, и проводится мониторинг результатов. Благодаря близости к каналам и использованию барж с малой осадкой, надувных лодок и мостков доступ к пострадавшему болоту был обеспечен без причинения дополнительного ущерба илистым отложениям. Испытания показали, что комбинация ручного рыхления и срезания эффективна при удалении ковров загрязненной растительности и способствует восстановлению болота и популяции крабов-скрипачей. Пересаживание на обработанные участки болотных растений в дальнейшем ускорило процесс восстановления (см. стр. 43). Однако естественное восстановление, тем не менее, являлось предпочтительным подходом для большинства загрязненных при том разливе болот.

другие ресурсы. Если ликвидационная операция проводится надлежащим образом, то потенциальное воздействие вследствие вмешательства в место обитания, залегания организмов и временного увеличения заиливания ограничено, но оно зависит от присутствующего там сообщества.

- **Физическое удаление загрязненных субстратов или прикрепленной биоты:** сюда входят инвазивные методы выкапывания или выскабливания загрязненных отложений, а также срезание/выдергивание загрязненных водорослей или растений. Если удаление нефти снижает риск ремобилизации нефти и загрязнения других ресурсов, то удаление субстратов или растительности может оказывать значительного более серьезное воздействие на место обитания и может замедлить восстановление природного сообщества. Удаление отложений в некоторых случаях запускает процесс эрозии от бережья. Если принимается решение уменьшить загрязнение в более короткий срок, чем это произойдет в естественных условиях, применяемый метод должен использовать удаление минимально необходимого количества отложений или растительности. При восстановлении пляжа (иногда называется перезарядкой) пляжные отложения доставляются из других мест, обычно черпаются со дна моря. Такая процедура обычно проводится на некоторых популярных благоустроенных пляжах, но подходит не для всех пляжей.
- **Смывание и затопление:** эти методы очистки включают закачивание воды и наведение струи на загрязненные места обитания, чтобы удалить нефть. Существует множество способов, которые отличаются главным образом объемом и давлением закачиваемой воды, а иногда температурой и типом воды. Для удаления ремобилизованной нефти, в результате таких методов очистки, могут использоваться различные методы, но в основном нефть смывается обратно в воду, где ее легче собрать и удалить. Во многих случаях эти методы могут использоваться для мобилизации и удаления огромных объемов нефти без значительного воздействия на место обитания. Однако, высокое давление или большие объемы воды относительно агрессивны и могут стать причиной потери отложений, изменений характера отложений из-за потери тонких частиц, залегания организмов, эрозии поверхностей с мягкими породами, удаления прикрепленных растений и животных, а также временного увеличения заиливания. Использование горячей воды для мобилизации более вязкой нефти и пресной, а не морской, воды может привести к повышению смертности. Создание траншей, берм или барьеров для

скопления нефти также может оказывать дополнительное воздействие.

- Контролируемое сжигание загрязненной нефтью растительности на месте разлива:** иногда при загрязнении болот «контролируемое» сжигание может удалить огромное количество нефти и восстановление растительности пройдет намного быстрее, чем это происходит в результате естественных процессов. Однако эффективность сжигания и потенциальное воздействие на болотные сообщества может зависеть от многих факторов, в том числе времени года (наилучший сезон — зима), типа почвы (торфяной грунт может серьезно пострадать), уровня воды (наилучший уровень воды – более 10 см над отложениями) и типа нефти. Некоторые случаи сжигания привели к быстрому восстановлению, а в других случаях для восстановления мест обитания понадобилось много лет. Кроме того, контроль сжигания может представлять трудность. Во многих случаях сжигание переросло в пожар, который охватил районы, находящиеся за пределами загрязненных нефтью участков. Контролируемое сжигание также приводит к смерти всех обитающих в болотах животных, не защищенных достаточным количеством воды или отложений. Кроме того, в результате сжигания образуется большое количество черного дыма, от которого могут пострадать другие местные ресурсы. Примером эффективного сжигания на месте разлива, ускорившего очистку, является проведение сжигания после разлива более 5000 тонн нефти в результате повреждения объекта нефтяной отрасли во время урагана Катрина в Луизиане (см. верхнюю фотографию справа). В результате сжигания было удалено 80–90 % сильного загрязнения, а наземная и подземная продуктивность болота восстановилась за один вегетационный сезон.
- Промывка под давлением, очистка паром и пескоструйная очистка:** зачастую эти методы называются «полировочными», поскольку обычно используются для удаления относительно небольшого количества выветренной нефти, крепко прикрепленной к твердым субстратам, обычно на благоустроенных участках. Однако они также могут удалить биоту (например, водоросли, усоногих, лишайники), которые прикреплены к обрабатываемому участку, и могут иногда вызвать эрозию



Агентство по охране окружающей среды США, 2006



Агентство по охране окружающей среды США, 2006

Наверху: сжигание загрязненного нефтью болота на месте разлива в штате Луизиана, США, после урагана Катрина: (верхний снимок) через 1 час после начала сжигания; и (нижний снимок)



Промывка под давлением удаляет нефть, но также обладает потенциалом удаления живых организмов. Применимость этого метода по крайней мере частично зависит от ожидаемой скорости восстановления. В сообществах, показанных слева, где преобладают усоногие, восстановление произошло менее чем за два года из-за ежегодного пополнения личинок усоногих с помощью планктона. Спустя 10 лет оранжевые лишайники (см. справа) показали незначительное восстановление или его отсутствие из-за медленного роста и повторного заселения.

В некоторых случаях возможна обработка нефтяных остатков химическими реагентами, особенно в благоустроенных местах.



поверхности мягких или рыхлых субстратов. Передовыми методами обработки ремобилизованной нефти считают применение сорбентов и другие методы. Экологические преимущества достаточно ограничены, кроме случаев, когда потенциально стойкие смолистые остатки охватывают районы сухой защищенной от воздействия волн верхней береговой породы, которые могут препятствовать заселению биоты.

- **Обработка химическими веществами:** для очистки береговой линии предназначен целый ряд химических веществ, включая моющие средства для обработки поверхности, смеси диспергентов и отвердителей. Эти методы также являются «полировочными», поскольку обычно они используются для удаления относительно небольшого количества выветренной нефти с твердых субстратов на благоустроенных участках. В защищенных от воздействия волн районах верхней части берега при обработке пород они будут иметь аналогичные преимущества. В зависимости от реагента, мобилизованная нефть может раствориться или снова всплыть. Диспергированная нефть может создать всплывающие концентрации нефти в прибрежных водах и увеличить проникновение нефти в отложения пляжа, хотя такие последствия, скорее всего, будут иметь временный характер. Как правило, предпочтение отдается моющим средствам для обработки поверхности, благодаря которым нефтяные остатки поднимаются и всплывают.
- **Биовосстановление:** Основным подходом к биовосстановлению является биостимуляция, при которой применяются питательные вещества (удобрения, обычно состоящие из нитратов и фосфатов), ускоряющие естественные микробиальные процессы разложения. Если добавление нутриентов избыточно для пострадавшего района, существует потенциал эвтрофикации (сверхстимуляции роста растений). Также уместно провести токсикологическое исследование биовосстанавливающего продукта. В процессе биоаугментации происходит добавление микроорганизмов, разлагающих нефть, в загрязненный район, если считается, что природных популяций недостаточно. На некоторых загрязненных территориях такой способ используется на регулярной основе, но в местах обитания на береговой линии он оказался неэффективным.

Первый подробный и структурированный анализ суммарной экологической выгоды был проведен после разлива при аварии танкера *Exxon Valdez* в 1989 г. в проливе Принца Вильгельма, Аляска. В ходе анализа проводилась оценка пригодности интенсивных методов обработки береговой линии с целью удаления нефти, которая на некоторых берегах проникла в пористые отложения на глубину до 1 метра. Было предложено произвести выемку загрязненных отложений береговой линии (в основном гальки и булыжника), промыть их в плавучих системах обработки и снова вернуть их на пляж. Однако, в результате АСЭВ был сделан вывод, что процесс удаления отложений и их последующего возврата намного сильнее повлияет на окружающую среду, нежели естественные процессы восстановления береговой линии.

Выводы

С экологической точки зрения наилучший метод реагирования с точки зрения улучшения восстановления обычно заключается в удалении максимального количества наливной нефти без причинения значительного урона месту обитания и в последующей очистке оставшейся части нефти за счет естественных процессов. Однако этот подход может быть скорректирован, если в результате АСЭВ будет установлено, что другие проблемы имеют более высокий приоритет.

Стандартные методы очистки

В некоторых случаях урон, причиненный береговой линии нефтью и/или очисткой, может оправдывать определенную форму восстановления (например, дополнительные мероприятия, кроме очистки) для его ускорения. Опробованы, испытаны, отработаны и адаптированы многие восстановительные методы, которые можно разделить на прямые и косвенные. Прямые методы включают прямую обработку пострадавшего места обитания или популяции. Косвенные методы улучшают естественное восстановление пострадавшего места обитания, снижая стрессовые воздействия. Альтернативный подход к восстановлению заключается в отводе воздействия посредством переноса некоторых утраченных услуг, предоставляемых местом обитания, в другое место. Как правило, при этом подходе создаются новые или восстанавливаются уже затронутые места обитания на береговой линии (обычно заболоченные земли) в прибрежных районах в том же регионе, где находится загрязненное место обитания, которое считается малозначимым для экосистемы. Такая форма отвода применяется в некоторых странах для компенсации воздействия на природные экосистемы и предоставляемые ими услуги.

К наиболее успешным примерам прямого восстановления загрязненной нефтью береговой линии относятся работы на солончаках и мангровых зарослях. Во многих частях мира накоплен большой опыт по восстановлению заболоченных земель. Разработано большое количество методов восстановления приливной гидродинамики, стимулирования естественного повторного переселения, подсадки растений на обнаженных землях, предотвращения эрозии и защиты выживших растений. Подсадка растений на загрязненные участки не всегда является необходимой мерой, но часто выполняется в рамках общей программы пересадки саженцев из питомников. Это возможно, поскольку в обоих местах обитания значительно преобладает малое количество быстро размножающихся видов растений. Подсадка не является гарантией успешного результата, особенно если для снижения уровня токсичности отложений отводится недостаточно времени. В таком случае может потребоваться последовательная многомесячная программа поэтапной подсадки. Существует множество примеров восстановительных программ, проведенных на солончаках (например, при разливе *Amoco Cadiz*, Бретань, 1978 г.; при аварии на трубопроводе *Exxon Bayway*, Нью Йорк, США, 1990 г.; на трубопроводе *Chalk Point*, Мэриленд, США, 2000 г.) и в мангровых зарослях (например, при аварии на терминале Баия Лас Минас, Панама, 1986 г.; на нефтезаводе Картахены, Колумбия, 1990 г.; в заливе Гуанабара, Бразилия, 2000 г.), пострадавших от нефтяных разливов.

Подсадка растений в солончаки после разлива из трубопровода *Exxon Bayway* в 1990 г. производилась для остановки поверхностной эрозии, чреватой последующей потерей болотных растений. Выживание всходов и рассады *Spartina* зависит от места проведения работ. Спустя три месяца после подсадки надземная биомасса в двух местах из трех стала сопоставимой с биомассой фоновой территории, но в третьем месте подсадки уровень выживания был низок, по крайней мере частично из-за воздействия волн от проходящих судов.

Пересадка загрязненных мангровых деревьев в Панаме, пострадавших в результате разлива Баия Лас Минас 1986 г., изначально оказалась неудачной из-за высокой токсичности загрязненных отложений. Вторая программа пересадки была более успешной, но спустя шесть лет плотность деревьев была выше в областях, повторно заселенных естественным путем, и возможно, что эта пересадка была нецелесообразной. Эрозию пересаженных и реколонизированных естественным путем всходов возможно сократить, приняв некоторые защитные меры.

Восстановленные мангровые заросли, пострадавшие из-за нефтяного разлива Баия Лас Минас 1986 г., спустя 16 лет после подсадки



Рене Бернар (Rene Bernier), Chevron

Всходы мангровых деревьев возле Бангкока, Таиланд, выращенные в рамках программы восстановления после нефтяного разлива.



Продолжается восстановление галофитовых болот в Саудовской Аравии, которые серьезно пострадали от нефтяного разлива во время войны в Персидском заливе в 1991 г. Его целью является усиление водного потока в районы болот путем выемки грунта и очистки каналов, стимулирования естественного повторного заселения зарывающихся крабов путем устранения уплотненных отложений, а также создания условий для возобновления роста болотной растительности после подсадки многолетних галофитов. Эти восстановительные мероприятия имеют впечатляющие результаты, но для их проведения понадобятся многие годы.

На участках береговой линии, которые пострадали от мероприятий по ликвидации нефтяных разливов, иногда наблюдается усиленная эрозия. Существует большое количество восстановительных методов, которые предназначены для ослабления таких эффектов, в том числе на «живых участках береговой линии», которые, как правило, состоят в использовании природных и/или искусственных волнорезов для стабилизации состояния пострадавших участков береговой линии и снижения энергии волн. Некоторые из таких сооружений также являются местом обитания моллюсков и ракообразных.

Оценка и мониторинг нефтяного загрязнения береговой линии

Важная часть ликвидации разлива нефти состоит в описании поведения и распределения нефти, ее воздействия и потенциала восстановления пострадавших ресурсов. Эта информация используется для: планирования мер по обработке нефти; оценки уровня загрязнения в местах обитания и биоты (в особенности любой, потребляемой людьми); оценки воздействия на природные сообщества и популяции дикой природы; управления пострадавшими ресурсами; подготовки исков о компенсации ущерба; а также для взаимопонимания с общественными организациями.

Общие рекомендации по оценке ущерба от нефтяного разлива см. в методическом руководстве IPIECA-IOGP по влиянию нефтяных разливов на морскую экологию (IPIECA-IOGP, 2015a). Для некоторых стран и регионов имеются специальные руководящие документы, а кроме того Международной морской организацией в рамках программы ООН по окружающей среде разработан международный руководящий документ (IMO/UNEP, 2009). Некоторые мероприятия по оценке, актуальные для береговой линии, рассматриваются ниже.

Распределение и количественная оценка нефти на береговой линии

Распределение нефти на береговой линии обычно очень неравномерно. Некоторые ресурсы могут серьезно пострадать, а прилегающие или близлежащие ресурсы – не пострадать вообще. Поэтому информация о масштабе и распределении выброшенной на берег нефти является необходимой для планирования мероприятий по реагированию. Эти данные должны сформировать основу для проводящихся исследований воздействия и восстановления.

Методы наблюдений по очистке и оценке состояния береговой линии (SCAT) являются тщательными структурированными систематическими исследованиями толщины, характера и распределения нефти на участках береговой линии с использованием стандартизированных форм записи и подготовленного к проведению наблюдений персонала. Наблюдения обычно проводятся совместно с наблюдателями, которые вовлечены в процессы защиты окружающей среды и ликвидации нефтяных разливов, и могут быть использованы для мониторинга динамики обработки береговой линии или естественного восстановления. Кроме описания распределения нефти, наблюдения SCAT также предоставляют ценные данные очевидного, вероятно временного, воздействия, например, о погибших, апатичных или заметно загрязненных нефтью живых организмах и обесцвеченных водорослях. Наблюдения также должны предоставить информацию и рекомендации по выбору методов обработки конкретных пляжей и ресурсов. Получаемые в результате этого рекомендации могут стать важной частью АСЭВ. Более подробную информацию о SCAT см. в методическом руководстве IPIECA-IOGP по наблюдению и оценке загрязненной нефтью береговой линии (IPIECA-IOGP, 2014).

Количественный анализ воздействия углеводородов на сообщества береговой линии и дикой природы может



На картах SCAT показан статус загрязнения береговой линии: (на верхнем рисунке) загрязненная среда заболоченных земель (многоугольные сегменты) и среда береговой линии озера (линейные сегменты); (на нижнем рисунке) линейные сегменты береговой линии на водном пути.

проводиться посредством химического анализа воды, отложений и биоты с отбором проб, которое обычно выполняется через некоторые промежутки времени для предоставления информации о продолжительности воздействия и демонстрации динамики изменений. Обычно используется план районированной выборки, который предоставляет объективные репрезентативные данные по каждому ресурсу в диапазоне высоты прилива и по категориям загрязнения, которые могут основываться на данных SCAT. По мере возможности следует взять фоновые пробы с берегов по пути разлива до достижения нефтью берега. Если удалось сделать пробы до разлива, они имеют ценность только при надлежащем хранении. Строгий метод отбора проб необходим для недопущения загрязнения из других источников. При последующей обработке и транспортировке проб в лабораторию для анализа необходимо строго соблюдать установленные процедуры хранения.

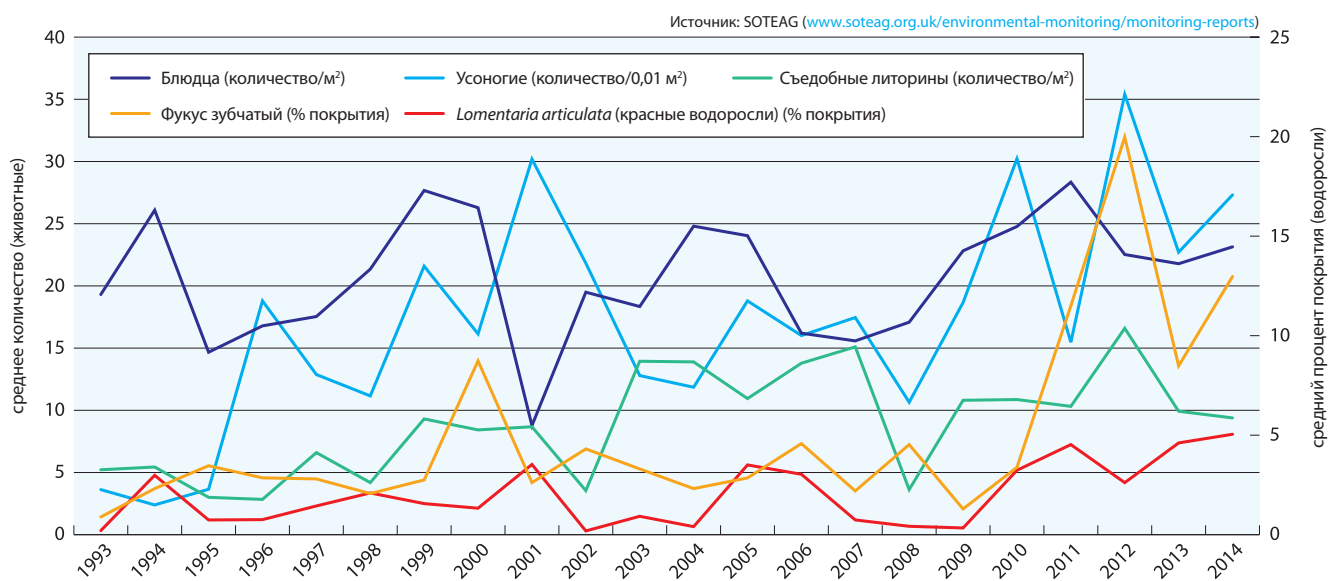
Выбор биоты береговой линии для анализа углеводородных концентраций в тканях зависит от места обитания и проблемных ресурсов. Однако, если двусторчатые моллюски, особенно мидии, присутствуют в достаточных и устойчивых количествах, то они обычно используются для отбора проб, поскольку являются сессильными фильтраторами и эффективными био-накопителями углеводородов. Мониторинг концентраций в их тканях является полезной мерой. Он выполняется в течение продолжительного периода и, следовательно, отражает влияние нефти во время разлива и последующего возвращения к фоновой концентрации.

Оценка и мониторинг воздействия на сообщества и биоту

Описание распределения и уровня нефтяного загрязнения может быть дорогостоящим и времязатратным, при этом может потребоваться контроль качества и интерпретация результатов, но их непосредственное отношение к нежелательным эффектам окружающей среды редко вызывает сомнение. То же самое нельзя сказать о многих исследованиях биологических и экологических ресурсов. Многие описания и предметные исследования, цитируемые в разделе по экологическому воздействию нефти на

Внизу: колебания численности пяти выбранных видов, зарегистрированные за 21-летний период, считаются закономерными и отражают сомнения, которые обычно возникают при определении масштаба и значения воздействия на биологические ресурсы.

Рисунок 8 Ежегодные колебания средней численности выбранных видов*



* Зарегистрированы в 15 точках мониторинга в окрестности нефтяного терминала Sullom Voe, Шетландские острова. Все зарегистрированные колебания считаются естественными.

береговую линию (стр. 14–35) используют выражения, которые отражают явную нехватку достоверности относительно масштаба и значимости воздействия, причиненного биологическому ресурсу или даже относительно наличия такого воздействия. Это обычно происходит из-за недостаточной определенности. Высокие уровни природной изменчивости (временные колебания и неравномерное распространение), а также многие другие потенциальные причины нагрузки на окружающую среду (усугубляющие факторы) зачастую усложняют интерпретацию биологических и экологических данных. Руководящие документы по оценке воздействия подчеркивают, что зачастую получить статистические доказательства практически невозможно, и в то же время есть реальная возможность неверной интерпретации данных, например, неправильного обнаружения воздействия или необнаружения его вообще.

Понимание биологии и экологии большинства морских видов ограничено, а случайная природа нефтяного разлива не позволяет провести обширный экспериментальный контроль. Поэтому при разработке программ оценки воздействия и мониторинга необходимо учитывать эти факторы и опыт предыдущих исследований. По мере возможности, исследования по оценке должны определять фоновое состояние и природные изменения экологии береговой линии до разлива. Независимо от того, можно ли этого достичь, исследования по оценке должны:

- определить уровень воздействия нефти на сообщества береговой линии;
- описать реалистичный механизм (путь) возникновения воздействия;
- описать воздействие с максимально возможным количеством наборов данных из пострадавших и не пострадавших районов, с учетом логистических возможностей;
- описать восстановительный процесс;
- предоставить несколько вариантов подтверждения данных для каждой вышеперечисленной процедуры.

Одного или двух свидетельств этого совершенно недостаточно. По вопросам восстановления, особенно долгосрочного, опубликовано мало литературы. Это один из нескольких аспектов влияния нефтяного разлива, который сравнительно мало изучен. Лишь очень немногие исследования проводились дольше года или двух лет.

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.

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

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

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

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 (2013). *NOAA Shoreline Assessment Manual. 4th Edition*. U.S. Dept. of Commerce. Seattle, WA: Emergency Response Division, Office of Response and Restoration, National Oceanic and Atmospheric Administration. 73 pp + appendices.

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>

Baca, B. J., Lankford, T. E., Gundlach, E. R. (1987). Recovery of Brittany coastal marshes in the eight years following the *Amoco Cadiz* incident. Proceedings of the 1987 International Oil Spill Conference. In *International Oil Spill Conference Proceedings: April 1987*, Vol. 1987, No. 1, pp. 459–464. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1987-1-459>

Baker, J. M. (1999) Ecological effectiveness of oil spill countermeasures: how clean is clean? In *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 71, No. 1, pp. 135–151.

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.

Boehm, P. D., Page, D. S., Brown, J. S., Neff, J. M. and Gundlach, E. (2014). Long-Term Fate and Persistence of Oil from the *Exxon Valdez* Oil Spill: Lessons Learned or History Repeated? In *International Oil Spill Conference Proceedings: May 2014*, Vol. 2014, No. 1, pp. 63–79. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2014.1.63>

DeMicco, E., Schuler, P. A., Omer, T. and Baca, B. (2011). Net Environmental Benefit Analysis (NEBA) of Dispersed Oil on Nearshore Tropical Ecosystems: Tropics – the 25th Year Research Visit. In *International Oil Spill Conference Proceedings: March 2011*, Vol. 2011, No. 1, pp. abs282. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2011-1-282>

Hale, J. A., Cormack, C. D., Cotsapas, L., Montello, T. M., Langman, O., Gabriel, J. J. and Michel, L. (2011). Relationships Between Key Indicators of Environmental Condition and Degrees of Oiling in Sediments in Salt Marsh Habitats: a Balance Between Contamination and Ecological Recovery by Natural Processes. In *International Oil Spill Conference Proceedings: March 2011*, Vol. 2011, No. 1, pp. abs213. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2011-1-213>

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

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.

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.

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.

Michel, J., Nixon, Z., Dahlin, J., Betenbaugh, D., White, M., Burton, D. and Turley, S. (2008). *Monitoring of Recovery of Marshes Impacted by the Chalk Point Oil Spill*. NOAA Office of Response & Restoration, Silver Spring, MD. 68 pp. + appendices.

Michel, J. and Rutherford, N. (2014). Impacts, recovery rates, and treatment options for spilled oil in marshes. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 82, Issues 1–2, pp. 19–25.
[doi:10.1016/j.marpolbul.2014.03.030](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.030)

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, Cosheston, 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.

Moore, J. (2013). *Sullom Voe rocky shore transects monitoring, 1976 to 2012: summary of survey methods and database*. A report to SOTEAG from Aquatic Survey & Monitoring Ltd., Cosheston, Pembrokeshire. 16 pp + iii.

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 (1992). *An Introduction to Coastal Habitats and Biological Resources*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Report No. HMRAD 92-4
<http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/Monterey.pdf>

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.

Owens, E. H. and Sergy, G. A. (2003). Treatment and Cleanup Standards: The Development of End-Point Criteria for Oil Spills. In *International Oil Spill Conference Proceedings*: April 2003, Vol. 2003, No. 1, pp. 1163–1169.
doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2003-1-1163>

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.

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., Oregoni, 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.

Reddy, C. M., Eglinton, T. I., Hounshell, A., White, H. K., Xu, L., Gaines, R. B. and Frysinger, G. S. (2002). The West Falmouth oil spill after thirty years: The persistence of petroleum hydrocarbons in marsh sediments. In *Environmental Science and Technology*, Vol. 36, Issue 22, pp. 4754–4760.

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.

Sell, D., Conway, L., Clark, T., Picken, G. B., Baker, J. M., Dunnet, G. M., McIntyre, A. D. and Clark, R. B. (1995). Scientific Criteria to Optimize oil spill Cleanup. In *International Oil Spill Conference Proceedings*: February–March 1995, Vol. 1995, No. 1, pp. 595–610.
doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-1995-1-595>

Shigenaka, G. (2014). *Twenty-Five Years after the Exxon Valdez Oil Spill: NOAA's Scientific Support, Monitoring, and Research*. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Office of Response and Restoration. 78 pp.
http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/Exxon_Valdez_25YearsAfter_508_0.pdf

US EPA (2006). *Cooperative Efforts to Use In-situ Burning in Empire, LA, in an Intermediate Marsh Following Hurricanes Katrina and Rita*. Amy Merten, Ph.D., NOAA Scientific Support/Biological Assessment. US Environmental Protection Agency Archive Document, Office of Solid Waste and Emergency Response (OSWER), Office of Emergency Management.

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.

Zengel, S. and Michel, J. (2013). *Deepwater Horizon Oil Spill: Salt Marsh Oiling Conditions, Treatment Testing, and Treatment History in Northern Barataria Bay, Louisiana (Interim Report October 2011)*. U.S. Dept. of Commerce, NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 42. Seattle, WA: Emergency Response Division, NOAA. 74 pp. http://response.restoration.noaa.gov/deepwater_horizon

Zengel, S., Bernik, B. M., Rutherford, N., Nixon, Z. and Michel, J. (2015). Heavily Oiled Salt Marsh following the *Deepwater Horizon* Oil Spill, Ecological Comparisons of Shoreline Cleanup Treatments and Recovery. In *PLoS ONE*, Vol. 10, No. 7: e0132324. doi:10.1371/journal.pone.0132324.

Полезные веб-сайты

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: <https://www.cefas.co.uk/premiam/publications>

От авторов

Этот документ подготовлен Джоном Муром (Jon Moore) (CALM) при содействии Рабочей группы.

IPIECA

IPIECA — международная ассоциация представителей нефтегазовой промышленности по экологическим и социальным вопросам. Она разрабатывает, распространяет и содействует распространению передовой практики и знаний для улучшения экологической и социальной эффективности отрасли. 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 отрасль разведки и добычи нефти и газа 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 отрасли в Европейской Комиссии и Европейском Парламенте, а также в Комиссии по защите морской среды Северо-восточной Атлантики (OSPAR). Немаловажна роль IOGP в распространении передового опыта, особенно в областях здоровья, безопасности, экологической и социальной ответственности.

www.iogp.org

