



# ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ДОКУМЕНТ

13





# Введение

Разливы нефти могут оказать существенное влияние на морскую среду в связи с гибелью организмов от физического удушья и в результате токсического воздействия. Степень негативного воздействия, как правило, зависит от количества и вида разлитой нефти, окружающих условий и восприимчивости организмов и мест их обитания к воздействию нефти.

В настоящем документе описываются последствия разливов нефти с морских судов и последующих мероприятий по очистке для флоры, фауны и среды их обитания. Особое внимание уделяется сложному взаимодействию между нефтью и биологическими системами, которое уже много лет является объектом различных исследований. Отдельные документы ITOPI посвящены последствиям нефтяных разливов для рыболовства, морского фермерства и других областей человеческой деятельности.

## Обзор

Воздействие разливов нефти на морскую среду может носить самый разнообразный характер. В СМИ их часто называют «экологическими катастрофами» и сообщают об устрашающих прогнозах о выживании морской флоры и фауны. Крупная авария может оказать серьезное краткосрочное воздействие на окружающую среду и стать тяжелым бедствием для экосистем и людей, живущих вдоль загрязненного побережья, в т. ч. повлиять на возможности их заработка и снизить качество жизни (Рис. 1). Впечатления о широте распространения и долговременности ущерба окружающей среде, а также о неизбежной потере морских ресурсов усиливаются при публикации фотографий покрытых нефтью птиц. Учитывая бурную и высокоэмоциональную реакцию, которую, как правило, вызывают разливы нефти, объективно оценить реальные последствия разлива и мер по его ликвидации представляется довольно сложным.

Исследования последствий нефтяных разливов проводятся уже несколько десятилетий и отражены в научной и технической литературе. Эти последствия изучены в достаточной мере, чтобы определить масштабы и длительность ущерба в случае каждой конкретной аварии. Научная оценка типичных последствий нефтяного разлива показывает, что хотя на уровне отдельных живых организмов наносимый вред может быть достаточно весомым, для популяций в целом характерна более высокая устойчивость. С течением времени в результате работы естественных процессов восстановления вред нейтрализуется, и биологическая система возвращается к нормальной жизнедеятельности. Содействие процессу восстановления оказывает сбор нефти в рамках тщательно спланированных операций по очистке. В некоторых случаях этот процесс можно ускорить за счет дополнительных тщательно продуманных мер по восстановлению. Практика показывает, что лишь в редких случаях имел место долгосрочный ущерб, в основном же, даже после обширных нефтяных разливов можно предполагать, что загрязненные места обитания организмов и морская жизнь восстановятся в течение нескольких сезонных циклов.

## Механизмы причинения ущерба разливами нефти

К механизмам воздействия нефти на окружающую среду относятся следующие:

- физическое удушье, сказывающееся на физиологических функциях организмов;
- химическая токсичность, приводящая к гибели организмов или близкому к смертельному состоянию либо к нарушениям функций клеток;



▲ Рис. 1: Нефть, прибитая к берегу возле рыболовной деревни.

- экологические изменения, заключающиеся в основном в гибели ключевых организмов в популяции и захвате среды обитания оппортунистическими видами;
- косвенные последствия, например потеря мест обитания или укрытий и, как следствие, гибель экологически важных видов.

Характер и длительность последствий разлива нефти зависят от многих факторов. К ним относятся количество и вид разлитой нефти, ее поведение в морской среде, окружающие условия и физические характеристики в месте разлива нефти, а также фактор времени, особенно важными при оценке которого являются время года и преобладающие погодные условия. Другие ключевые факторы включают в себя биологический состав пострадавшей от загрязнения среды, экологическую значимость входящих в него видов и их восприимчивость к нефтяному загрязнению. Последствия разлива также в существенной мере определяются выбором методов очистки и эффективностью проведения соответствующих операций.

Кроме того, возможные последствия разлива нефти зависят от скорости растворения и рассеивания загрязняющего вещества в воде в результате естественных процессов. Эти параметры определяют территорию распространения загрязнения и вероятность длительного воздействия повышенных концентраций нефти или ее токсичных компонентов на уязвимые природные ресурсы. Настолько же важным фактором является степень уязвимости и восприимчивости организмов к нефтяному загрязнению. К уязвимым относятся организмы, которые, как правило, обитают у поверхности воды или у береговой линии, вследствие чего возрастает вероятность их контакта с нефтью. К восприимчивым относятся те организмы,



▲ Рис. 2: Типичные последствия воздействия нефти на морские организмы включают в себя, в числе других, интоксикацию (в особенности в случае легкой нефти и нефтепродуктов) и удушение (средняя и тяжелая топливная нефть (IFO и HFO), а также выветрелый остаток).

которые наиболее сильно страдают при контакте с нефтью или ее химическими компонентами. Менее восприимчивые организмы с большей вероятностью могут выдержать кратковременное воздействие нефти. В некоторых странах разработаны карты береговых линий и индексы, соответствующие ареалам с различной степенью восприимчивости. Например, индексы восприимчивости мангровых зарослей и солончаковых болот, отражаемых на таких картах, более высоки, а песчаным пляжам присваивается более низкий индекс.

Для определения масштаба ущерба очень важны характеристики разлитой нефти (Рис. 2). Разлив большого объема стойкой нефти, например, тяжелой топливной нефти, может нанести обширный ущерб в виде удушения организмов в межприливных береговых зонах. Тяжелая топливная нефть и иные виды высоковязкой нефти, характеризующиеся низкой растворимостью в воде, оказывают меньшее токсическое воздействие вследствие низкой биологической доступности своих химических компонентов. Также менее биодоступной является нефть, образовавшая так называемую «асфальтовую мостовую» (масса из щебня и сильно выветрелой нефти) вне зависимости от продолжительности ее нахождения на береговой линии, однако при этом может возникнуть косвенный ущерб в виде изменения среды обитания.

Химические компоненты керосина или другой легкой нефти, напротив, отличаются более высокой биологической доступностью и с большей вероятностью могут причинять токсические повреждения. С другой стороны, нефть этого вида быстро рассеивается в результате испарения и дисперсии, поэтому в целом легкая нефть может нанести меньше вреда при условии, что уязвимые природные ресурсы в достаточной мере удалены от места разлива. С другой стороны, самые существенные и продолжительные последствия вероятны в обстоятельствах, когда растворение нефти замедляется, например, если загрязняющий агент остается захваченным в илистых отложениях или на защищенных территориях (в мелководных лагунах с низкой интенсивностью водообмена и т. п.). Даже если интенсивность воздействия ниже уровня, вызывающего гибель организмов, наличие токсичных компонентов может привести к состоянию, близкому к смертельному, например, к нарушениям функций питания или размножения.

Морская среда крайне сложна, и естественные колебания видового состава, численности популяций и их распространения в пространстве и времени — это базовые показатели ее нормальной жизнедеятельности. Морские животные и растения в этой среде обладают естественной устойчивостью различной степени к изменениям в пределах своей среды обитания. Такие механизмы как естественное приспособление организмов к воздействию окружающей среды, а также пути и стратегии размножения очень важны для выживания при ежедневных и сезонных изменениях

окружающих условий. Врожденная устойчивость означает, что некоторые растения и животные могут выдержать определенный уровень нефтяного загрязнения нефтью. Тем не менее, разливы — это не единственный вид антропогенного воздействия на морскую среду. Широко распространено чрезмерное использование природных ресурсов, хроническое загрязнение окружающей среды в городах, промышленное загрязнение окружающей среды. Все это значительно повышает изменчивость в рамках морских экосистем. На фоне высокой естественной изменчивости становится сложнее обнаружить более слабовыраженный ущерб от разлива нефти, например, снижение успешного размножения, продуктивности и биологического разнообразия.

## Восстановление морской среды

Способность морской среды восстанавливаться после серьезных нарушений связана с ее сложностью и устойчивостью. Восстановление после разрушительных природных событий, таких как ураганы или цунами, демонстрирует, что с течением времени экосистемы воссоздаются даже после серьезного урона, сопровождающегося масштабной гибелью организмов. Мнения относительно определения термина «восстановление» и состояния, в котором экосистему можно считать восстановленной, значительно расходятся. Тем не менее, широко признается тот факт, что в результате естественной изменчивости экосистем возврат к тому же состоянию, в котором система пребывала до разлива нефти, является маловероятным. Большинство определений понятия «восстановление» сводятся к повторному образованию сообщества флоры и фауны, присущего данной среде обитания и нормально функционирующего с точки зрения биологического разнообразия и продуктивности.

Этот принцип можно проиллюстрировать на примере неправильно проведенных операций по очистке после крушения танкера TORREY CANYON у побережья Англии в 1967 году, когда значительный вред окружающей среде был нанесен в результате использования токсичных чистящих средств на каменистых берегах. И хотя последствия нанесенного вреда прослеживались еще в течение двух десятилетий, общее функционирование экосистемы, ее биологическое разнообразие и продуктивность восстановились в течение периода от одного до двух лет. Согласно приведенному выше определению, сообщество организмов на каменистом берегу восстановилось в течение двух лет. Тем не менее, если рассматривать возрастное распределение в экосистеме, то становятся очевидными ограничения, вытекающие из этого определения. До аварии в экосистеме присутствовали организмы всех возрастов:

от молодняка до взрослых особей. Вновь появившиеся растения и животные относятся к узкому возрастному диапазону, поэтому такое сообщество изначально является менее устойчивым.

Аналогичная ситуация складывается при повреждении мангровых зарослей как в результате разлива нефти, так и под действием природных факторов, например, тропического шторма. Со временем поврежденные участки будут колонизированы молодыми растениями с близлежащих участков. Однако все пришедшие на смену растения будут примерно одного возраста и не смогут обеспечить полноценной экологической функциональности до достижения ими зрелости. Эти наблюдения вынуждают провести разграничение между последствиями и ущербом, ведь в некоторых случаях менее значимые с точки зрения нормального функционирования экосистемы последствия могут быть обнаружены уже после того, как экосистема восстановится после ущерба от загрязнения.

В ходе эволюции сформировались механизмы восстановления, позволяющие организмам избежать истребления хищниками или вымирания по другим причинам. Например, одной из самых важных стратегий размножения морских организмов является нерест на обширных территориях, когда огромное число икринок и личинок откладывается в планктон и разносится течениями. В большинстве случаев из миллионов зрелости достигают только единичные особи. Высокая плодовитость обеспечивает избыточное число особей молодняка, и, соответственно, создается значительный резерв не только для образования колоний на новых территориях и заселения загрязненных после нефтяного разлива территорий, но и для замены погибших особей популяции. Однако для более долгоживущих видов, которым требуется несколько лет для достижения половой зрелости и у которых рождается всего несколько детенышей, восстановление после загрязнения займет намного более длительный период.

Как правило, в большинстве случаев восстановление занимает несколько сезонных циклов, и для многих сред обитания организмов составляет от одного до трех лет. Известное исключение — мангровые заросли (Табл. 1).

## Морская среда

В следующих разделах рассматриваются разнообразные виды ущерба, возникающего в различных средах при разливе нефти с судов.

| Среда обитания              | Срок восстановления      |
|-----------------------------|--------------------------|
| Планктон                    | Несколько недель/месяцев |
| Песчаные пляжи              | 1–2 года                 |
| Открытые каменистые пляжи   | 1–3 года                 |
| Защищенные каменистые пляжи | 1–5 лет                  |
| Солончаковые болота         | 3–5 лет                  |
| Мангровые заросли           | 10 и более лет           |

▲ Таблица 1. Справочные данные о сроках восстановления различных сред обитания после загрязнения нефтью. Срок зависит от многих факторов, в т. ч. от количества и вида разлитой нефти. Под восстановлением здесь понимается возврат среды к нормальной жизнедеятельности.

## Открытое море и прибрежные воды

Большая часть нефти держится на поверхности моря и разносится волнами, ветром и течениями на большие расстояния. Некоторые виды нефти малой вязкости естественным образом рассеиваются в верхних слоях водной толщи (глубиной до нескольких метров), особенно в условиях прибойных волн, и быстро растворяются. Если выброс нефти продолжается некоторое время, то концентрация взвешенной нефти в верхних слоях водной толщи может поддерживаться на уровне, близком к уровню выброса. Несмотря на это, воздействие разлившейся нефти на виды, обитающие в более низких слоях водной толщи или на дне моря, оказывается малым, но ущерб может быть нанесен затонувшими обломками, разливом очень тяжелой нефти (или нефтью с низким показателем АНИ)\* или смолистыми остатками, образовавшимися при горении нефти.

## Планктон

В пелагических слоях морей и океанов обитают мириады простых планктонных организмов, к которым относятся бактерии, растения (фитопланктон) и животные (зоопланктон). К планктону относятся икра и личинки рыбы и беспозвоночные, в т. ч. организмы, которые в дальнейшем живут на морском дне или у береговой линии. Для планктона характерен высокий естественный уровень смертности, в основном, от хищников, а также в результате изменений окружающей среды и переноса в районы, выживание в которых невозможно. И наоборот, особо благоприятные условия и обилие питательных веществ могут привести к так называемому «цветению воды», вызванному значительным увеличением популяций планктона, особенно весной в умеренном климате. Когда поступление питательных веществ сокращается или после того, как все питательные вещества поглощены, сокращаются и популяции, а погибшие организмы разлагаются и опадают на морское дно. В процессе эволюции на эти крайние проявления в экосистеме выработалась реакция в виде обильного воспроизводства за короткий срок жизни одного поколения. Как следствие, распространение планктона во времени и пространстве обычно носит неоднородный характер, что делает его одним из самых изменчивых из всех морских сообществ.

Восприимчивость планктонных организмов к воздействию нефти хорошо известна, и, казалось бы, последствия должны быть довольно серьезными. Но свойственное этим видам массовое избыточное воспроизводство молодняка создает резерв для восстановления сообщества за счет соседних популяций, не затронутых при разливе нефти. Этого резерва достаточно для восполнения потерь икры и личинок, в результате чего после разлива не наблюдается значительного сокращения количества взрослых особей.

## Рыба

Несмотря на то, что мальки очень восприимчивы к относительно низким концентрациям нефти в водной толще, взрослые особи намного более устойчивы. Последствия в виде сокращения численности популяции были отмечены лишь в редких случаях. Считается, что свободноплавающая рыба самостоятельно уходит от нефти. В исключительных случаях было зафиксировано сокращение одной возрастной группы отдельного вида, но массовая гибель является чрезвычайно редким явлением. Зафиксированные случаи гибели рыб были связаны с очень высокой, локализованной концентрацией взвешенной нефти в водной толще в штормовых условиях при выбросе значительных объемов нефти легких фракций на линию прибоя вдоль берега или при разливах на реках. Воздействие разливов нефти на популяции рыб или морепродуктов, разводимых человеком, подробно рассматриваются в отдельном документе ИТОРФ «Последствия нефтяного загрязнения для рыбного промысла и морского фермерства».

\* Плотность по формуле Американского нефтяного института.





▲ Рис. 3: Загонка покрытых нефтью африканских пингвинов (*Spheniscus demersus*).



▲ Рис. 4: Пингвины лучше других видов птиц переносят процедуру очистки. Здесь проводится реабилитация пингвинов Рокхоппера (*Eudyptes moseleyi*).

## Морские птицы

Из всех существ, обитающих в открытом море, наиболее уязвимы именно морские птицы. При крупных авариях они гибнут в больших количествах. Наибольшему риску подвержены морские утки, гагарки и прочие виды, которые собираются в стаи на поверхности моря. Однако значительные уровни смертности среди морских птиц могут быть вызваны и не связанными с разливом причинами, такими как штормы, исчезновение источника пищи или потеря среды обитания. Для определения причин гибели и установления их связи с конкретной аварией может потребоваться некропсическое исследование.

Одним из самых явных свидетельств воздействия нефти на птиц является загрязнение оперения. Оперение задерживает теплый воздух у поверхности кожи, обеспечивая плавучесть и теплоизоляцию. Если оперение покрыто нефтью, то тонкая структура защитного слоя пера и изолирующего пуха нарушается, и морская вода напрямую поступает к коже, приводя к потере создаваемого телом тепла. В результате птица гибнет от переохлаждения. В холодном климате всего лишь одно небольшое пятно нефти на оперении может повлечь за собой гибель птицы. У большинства видов птиц под кожей есть дополнительный слой жира, служащий как теплоизолятор и накопитель энергии. Этот запас энергии быстро истощается, когда птица пытается согреться. Птица, страдающая от переохлаждения, выбившаяся из сил и потерявшая плавучесть, может утонуть. Более того, нефть на оперении влияет на способность птицы взлететь и собственно летать в поисках пищи или спасаясь от хищников.

Когда на птицу попадает нефть, природный инстинкт заставляет птицу очищать оперение клювом, однако при этом нефть может попасть на чистые участки оперения. Также высока вероятность проглатывания нефти, что может привести к серьезным последствиям, например к застою в легких, кишечному или легочному кровотечению, пневмонии, а также нарушениям работы печени и почек. По возвращении птицы в гнездо нефть с оперения может попасть на птенцов или на высиживаемые яйца. Попадание нефти на яйца может привести к истончению скорлупы, невылуплению птенца или нарушениям в его развитии.

Четкая взаимосвязь между количеством разлитой нефти и вероятными последствиями для морских птиц не установлена. Небольшой разлив в период размножения или в местах скопления крупных популяций морских птиц может оказаться более вредоносным, чем более крупный разлив в другое время года и в других условиях. Некоторые виды птиц при сокращении численности колонии начинают откладывать больше яиц или делают это чаще, либо молодые особи начинают размножаться раньше. Эти процессы могут

способствовать восстановлению, которое обычно длится несколько лет и зависит от многих факторов, например, от обильности пищевых ресурсов, доступности среды обитания и прочих факторов. Как правило, регистрируются кратко- и долгосрочные потери, однако вышеописанные механизмы восстановления могут с успехом предотвратить долгосрочные последствия на уровне популяций. Тем не менее, в определенных обстоятельствах возникает риск стремительного сокращения численности особей обособленных колоний в долгосрочном периоде.

Можно предпринять попытки по очистке и реабилитации загрязненных нефтью птиц, однако для большинства видов характерен лишь малый процент выживания особей, прошедших обработку. И еще меньше птиц, выпущенных на волю, смогут выжить в природе и успешно размножиться. Распространенным исключением являются пингвины, которые в целом более устойчивы, чем многие другие виды. При правильном обращении большинство из них может пережить процесс очистки и вернуться к популяции способными к размножению (Рис. 3 и 4). Однако замечено, что даже среди пингвинов особи, прошедшие процедуру очистки, размножаются менее успешно, чем те, которые избежали загрязнения нефтью. Тем не менее, развитие и распространение наработанных методов очистки птиц способствует повышению общих результатов.

## Морские млекопитающие и рептилии

Киты, дельфины и прочие китообразные подвержены риску загрязнения плавающей нефтью в моменты выхода на поверхность для дыхания или прыжков. Предполагается, что нефть может повредить носовые ткани и глаза животных. Однако в тех случаях, когда была зафиксирована гибель этих животных, некропсическое исследование, как правило, показывало, что смерть наступила по причинам, не связанным с загрязнением нефтью. Казалось бы, уязвимыми должны быть и крупные тропические морские млекопитающие, например травоядные представители отряда сирены (ламантины и дюгоны), однако случаи нанесения вреда этим животным в результате загрязнения нефтью крайне редки. При этом большей опасности подвержены тюлени, выдры и прочие морские млекопитающие, которые охотятся на берегу или просто выходят из воды на берег и могут при этом пострадать от последствий разлива нефти. Наиболее уязвимыми считаются виды, теплообмен которых регулируется за счет меха. Если мех этих животных покрыт нефтью, то они могут погибнуть от переохлаждения или перегрева, в зависимости от времени года (Рис. 5).

Плавающая нефть может представлять угрозу и для морских рептилий, например, черепах, морских игуан и



▲ Рис. 5: Нефть может негативно сказаться на способности млекопитающих, как, например, этого детеныша тюленя, поддерживать ключевые физиологические функции.

змей. Особенно уязвимы черепахи в период гнездования. Яйца и вылупившиеся детеныши гибнут после загрязнения выброшенной на песчаные пляжи нефтью или в результате повреждения кладок при проведении мероприятий по очистке. Взрослые особи страдают от воспаления слизистых оболочек, что повышает восприимчивость к инфекциям. Тем не менее, практика показывает, что во многих случаях черепах удается очистить и вернуть в море (Рис. 6). Деятельность человека представляет собой угрозу для всех видов морских черепах, в основном в результате ненамеренного прилова в рыболовстве, намеренной охоты с целью добычи мяса и панцирей, а также потери черепахами мест обитания.

## Мелкие прибрежные воды

Ущерб на мелководье наиболее часто возникает в результате проникновения нефти в водную толщу под действием сильных волн, а также вследствие некорректного применения диспергентов слишком близко от берега. В большинстве случаев растворение нефти под действием, например, приливно-отливных волн, оказывается достаточным для достижения безопасной концентрации нефти в воде. С другой стороны, обитающие на дне (бентосные) и в иле животные гибнут в тех случаях, когда в мелких водах рассеиваются продукты нефтепереработки легких фракций или легкая сырая нефть, поскольку это приводит к высоким концентрациям токсичных компонентов.

## Водоросли

В умеренных и тропических водах встречаются различные виды водорослей. На их основе функционирует в высшей степени многообразная и продуктивная экосистема, в которой обитает множество организмов. Заросли водорослей сдерживают водные течения, тем самым способствуя процессу заиления, а их корневая система оказывает стабилизирующее воздействие на морское дно, защищая прибрежные зоны от эрозии. Чаще всего плавающая нефть проходит над зарослями водорослей, не оказывая на них никакого негативного воздействия. Однако смещение нефти или ее токсичных компонентов с мелкими прибрежными водами в высоких концентрациях может повлиять на водоросли и связанные с ними организмы. Мероприятия по очистке вблизи таких зарослей следует проводить особенно аккуратно, чтобы растения не оказались вырванными из грунта судовыми винтами или якорями для бонов.

## Кораллы

Коралловые рифы представляют собой чрезвычайно богатую и разнообразную морскую экосистему, характеризующуюся



▲ Рис. 6: Очистка молодой особи биссы (*Eretmochelys imbricate*) (любезно предоставлено Береговая охрана США).

высокой продуктивностью. Это прибрежная линия защиты для береговой линии. Кораллы в высшей степени восприимчивы к загрязнению нефтью, и их восстановление может занимать продолжительное время. Наибольшую угрозу для коралловых рифов создает взвешенная в воде нефть. Эта угроза наиболее серьезна в случаях применения диспергентов и в условиях турбулентности прибойной волны, которая способствует естественной дисперсии разливаемой нефти. Помимо собственно кораллов уязвимы и сообщества обитающих в них организмов, следовательно, вблизи коралловых рифов применение диспергентов недопустимо. В редких случаях коралловые рифы могут обмелеть во время сизигийного отлива, что сопровождается опасностью их удушения плавающей нефтью.

Однако больший ущерб коралловым рифам наносит не загрязнение нефтью, а севшие на мель суда. Воздействие на кораллы оказывает и другая деятельность человека, например, чрезмерный вылов рыбы или деструктивное рыболовство, загрязнение воды питательными веществами и повышенная интенсивность заиления в результате вырубки лесов и прибрежного строительства.

## Береговые линии

Из всех составляющих морской среды воздействию нефти наиболее подвержены береговые линии. Однако многие обитающие на берегу представители флоры и фауны устойчивы по своей природе, поскольку должны выдерживать приливно-отливной цикл, а также периодическое воздействие разбивающихся о берег волн, иссушающих ветров, перепадов температур, изменения солёности воды при выпадении осадков и другую серьезную нагрузку. Эта устойчивость дает многим обитающим на береговой линии организмам способность хорошо переносить последствия разливов нефти и восстанавливаться после них.

## Каменистые и песчаные берега

Каменистые и песчаные берега промываются волнами и приливно-отливными течениями и поэтому считаются самыми устойчивыми к последствиям разливов нефти (Рис. 7). Такая промывка, как правило, способствует быстрой естественной самоочистке. Типичным примером последствий для каменистого берега в умеренном климате является временное исчезновение морского блюдечка (*Patella vulgata*) — ключевого вида морских моллюсков. Ключевые виды — это растения и животные, оказывающие наиболее сильное влияние на экосистему, несоизмерное своей биомассе. Исчезновение этих видов может привести к существенным изменениям в экосистеме. Блюдечки питаются микроскопическими водорослями, растущими на поверхности камня, тем



самым ограничивая рост водорослей и распространение другой фауны. Исчезновение моллюсков обычно приводит к стремительному росту оппортунистических зеленых водорослей (врезка на Рис. 7). Со временем эти водоросли вытесняются другими видами водорослей, а когда появляется достаточно пространства для колонизации поверхности камней блюдечками, постепенно восстанавливается и экологическое равновесие. На песчаных берегах тропиков и субтропиков сходную с морскими блюдечками экологическую нишу занимают крабы-привидения (Осурода), которые также гибнут в больших количествах при загрязнении береговой линии нефтью. Несмотря на это, уже через несколько недель после очистки береговой линии колонии крабов на пляжах восстанавливаются в той же численности, что и до аварии.

## Илистые берега

Мелкий песок и ил встречаются на защищенных от волн берегах, например, в устьях рек. Эти среды биологически очень продуктивны (Рис. 8). На этих берегах часто встречаются крупные популяции мигрирующих птиц и автохтонные обитающие в иле беспозвоночные, в т. ч. двусторчатые моллюски. Множество видов выводят здесь потомство.

Мелкозернистый грунт не так подвержен воздействию нефти, как другие виды грунта, однако нефть может в виде хлопьев смешиваться с поднятыми штормом грунтом или проникать в ходы червей и открытые стебли растений. Загрязняющие вещества, которым удалось проникнуть в мелкозернистый грунт, остаются там на многие годы, что повышает вероятность более долгосрочных последствий.

## Солончаковые болота

Верхние границы мягких илистых берегов часто покрыты растительностью, характерной для солончаковых болот,

которая состоит из многолетних растений, суккулентных однолетних растений и трав. Солончаковые болота, как правило, образуются в зонах умеренного климата, но встречаются и в других зонах: от приполярных регионов до тропических широт. На тропических берегах солончаковые болота часто ассоциируются с мангровыми зарослями, занимающими, соответственно, верхнюю и нижнюю межприливные зоны. Видовой состав в большой мере определяется соленостью воды. Например, в малосоленой или солоноватой воде верхних зон устьев рек болотная растительность уступает место тростниковым зарослям. Пищевую сеть в устьях рек и прибрежных водах также дополняет поступающий из болот растительный детрит. Многие солончаковые болота являются важным местом обитания птиц, особенно мигрирующих видов, и потому имеют статус особо охраняемых территорий в соответствии с Рамсарской конвенцией о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение.

Воздействие разлива нефти на солончаковые болота зависит от времени года и, соответственно, периода роста растений. Болота в умеренных и холодных зонах находятся в состоянии покоя в зимние месяцы, тогда как растения средиземноморских болот замедляют рост при повышении температур до высоких отметок летом. Единичный разлив, как правило, вызывает только временные последствия, в то время как неоднократное, постоянное воздействие нефти или агрессивные операции по очистке, например вытаптывание, использование тяжелого оборудования или удаление загрязненного грунта, наносят долгосрочный ущерб, который может исчисляться годами. Очистка солончаковых болот влечет за собой риск нанесения дополнительного вреда, поэтому чаще рекомендуется дожидаться естественного очищения этих болот. Если все же рассматривается вопрос о сжигании или обрезке растительности, то эти операции лучше всего проводить с отмершими растениями. В целом, если корни и луковицы серьезно не пострадали от попадания нефти или



▲ Рис. 7: Для каменистых берегов характерно быстрая естественная очистка под воздействием ветра и волн. Последствия нефтяного разлива в таких районах могут затронуть местную флору и фауну, включая морское блюдечко. Значительный уровень смертности может привести к последующему изобилию оппортунистической флоры (водорослей), распространение которых в нормальных условиях контролируется животными. С течением времени виды возвращаются, и экологический баланс восстанавливается.





▲ *Рис. 8: Мягкий грунт, часто встречающийся вдоль защищенных от волн, спокойных берегов, как правило, отличается высокой биологической продуктивностью. Для загрязненного нефтью болота рекомендуется выбрать естественный процесс очищения, поскольку операции по очистке потенциально могут стать причиной усугубления и увеличения длительности ущерба. Нефть, проникающая в грунт, как показано на поперечном разрезе образца (врезка), может сохраняться там годами.*

чрезмерного уплотнения во время операций по очистке, то можно ожидать, что с наступлением нового сезона роста растения восстановятся.

## Мангровые заросли

Мангровые заросли представляют собой деревья и кустарники, устойчивые к воздействию соли и произрастающие по краям защищенных от волн тропических и субтропических морских вод. Это крайне ценная среда обитания для крабов, устриц и прочих беспозвоночных, а также место выведения потомства рыб и креветок. Кроме того, сложная корневая структура этих зарослей задерживает илистые отложения и выступает стабилизирующим фактором, сдерживая, таким образом, процессы эрозии береговой линии и перенос осадочных частиц с берега на соседние заросли водорослей и коралловые рифы.

Места произрастания мангровых деревьев делают их в высшей степени уязвимыми при разливах нефти. Мангры также считаются чрезвычайно восприимчивыми к загрязнению нефтью, что в большой мере определяется почвой, на которой они растут. Как правило, эти виды произрастают в плотных анаэробных илистых отложениях и получают кислород через крошечные поры (чечевички) на дыхательных корнях (Рис. 9). Большие скопления нефти вокруг корневой системы приводят к блокированию доступа кислорода и возможной гибели растений. Однако в отложениях, открытых для доступа воздуха и с относительно свободным водным обменом, кислород поступает в корневую систему из морской воды, поэтому растения менее подвержены удушению нефтью. Второй механизм воздействия нефти означает, что токсичные компоненты нефти, особенно в легких нефтепродуктах, влияют на способность растения поддерживать солевой баланс и, соответственно, выживать в соленой воде. Согласно имеющимся данным, гибель мангровых

зарослей от удушения тяжелой нефтью менее вероятна, чем гибель в результате загрязнения вод более легкими нефтепродуктами, в т. ч. некоторыми чистящими средствами, вызывающими отслаивание коры деревьев.

Разлив нефти может непосредственно воздействовать на организмы, обитающие в мангровой экосистеме, либо приводить к потере среды обитания в долгосрочной перспективе. Естественное восстановление сложной мангровой экосистемы может занять длительное время, поэтому важное значение уделяется принятию специальных реабилитационных мер для ускорения этого процесса.

## Долгосрочный ущерб

Эффективные операции по очистке, как правило, включают в себя удаление разлитой нефти в целях уменьшения участка распространения и сокращения длительности ущерба от загрязнения, а также ускорения начала процесса восстановления. Однако агрессивные методы очистки могут нанести дополнительный ущерб, и более предпочтительными считаются естественные процессы очистки. Со временем токсичность нефти снижается под действием ряда факторов, и на загрязненном грунте вновь может начаться рост (Рис. 10). Например, происходит вымывание нефти дождями или приливами и отливами, а летучие фракции испаряются по мере выветривания, что снижает токсичность остаточной нефти.

Благодаря мощной способности морской среды восстанавливаться естественным путем, воздействие разлива нефти, как правило, является локальным и преходящим. Долгосрочный ущерб был зафиксирован всего в нескольких случаях. Тем не менее, в некоторых исключительных обстоятельствах последствия ущерба могут оказаться более стойкими, а нарушения в экосистеме могут носить более длительный характер, чем обычно





▲ Рис. 9: Мангровые заросли очень уязвимы к воздействию нефти. Покрытие нефтью ходульных корней или пневматофоров (дышащих структур, вертикально прорастающих через грунт) может привести к блокированию дыхательных пор (чечевичек), препятствуя газовому обмену и вызывая удушье.

ождается. Обстоятельства, влекущие за собой стойкий долгосрочный ущерб, связаны со стойкостью нефти, особенно если нефть оказывается занесенной в толщу грунта и не подвергается естественным процессам выветривания. В качестве примеров можно привести защищенные среды обитания, такие как болота, галечные пляжи и прибрежные воды, особенно в тех случаях, когда разлив нефти происходит в штормовых условиях. Затопление болот под натиском шторма и связанные с этим явления турбулентные условия приводят мелкозернистый грунт во взвешенное состояние, в котором и возникает взаимодействие с взвешенной нефтью. После окончания шторма нефть, смешанная с грунтом, оседает на дно болота. В аналогичных условиях при смешивании с мелкозернистым грунтом нефть оседает в прибрежных водах. В обоих случаях распад нефти замедляется ввиду отсутствия поступления кислорода. На галечных пляжах смешение нефти и гальки приводит к образованию так называемой «асфальтовой мостовой», которая сохраняется на достаточно долгий срок. Нефтепродукты, обладающие большей плотностью, чем морская вода, например, тяжелая нефть или остатки нефтепродуктов, образовавшиеся в результате горения, оседают на морское дно и могут оставаться в неизменном состоянии в течение неопределенно долгого периода времени, вызывая удушье бентосных организмов.

## Изучение последствий разливов

Исследования последствий загрязнения нефтью проводились по каждой крупной аварии, имевшей место после крушения танкера TORREY CANYON. В результате этих исследований накоплены обширные знания о возможных последствиях разливов для окружающей среды. С учетом такого наличия информации изучение последствий каждого разлива не является необходимым и уместным. Однако такие исследования могут потребоваться для определения масштаба, характера и длительности последствий, возникающих в конкретных обстоятельствах после разлива. Последствия загрязнения нефтью в большинстве своем хорошо изучены и предсказуемы,

поэтому важно направлять усилия на оценку явного ущерба, а не пытаться исследовать широкий диапазон гипотетического воздействия. Демонстрируемая морской средой изменчивость означает, что изучение широкого диапазона потенциальных последствий может привести к неопределенным результатам.

Методы химического анализа загрязняющих веществ постоянно совершенствуются. Концентрацию потенциально токсичных компонентов нефти сегодня можно измерить с точностью до триллионных долей (частей на триллион, нг/кг,  $1 \times 10^{-12}$ ). Одной из наиболее важных задач при оценке ущерба является выявление направлений развития наблюдаемого ущерба и качественное определение конкретного нефтесодержащего загрязняющего вещества, вызывающего этот ущерб, особенно в хронически загрязненных средах. Чаще всего такой анализ проводится методом газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией.

Для выявления воздействия на животных полициклических ароматических углеводородов, содержащихся в сырой нефти и нефтепродуктах, регулярно используются биомаркеры. Например, измерение этоксирезорусин-О-деэтилазной (ЭРОД) активности позволяет определить уровни ферментов в тканях печени, которые участвуют в обмене веществ, выведении токсинов и в развитии раковых опухолей. Данный метод позволяет с достаточной точностью выявлять воздействие полициклических ароматических углеводородов, даже если дозовая нагрузка не обнаружена, и следовательно является методом ранней диагностики возможного ущерба. Однако изменения уровней активности этого фермента могут быть вызваны и другими причинами, например, присутствием схожих токсичных веществ, не связанных с нефтью. Уровни активности также зависят от возраста и репродуктивного статуса животного и от изменений температуры. Поэтому при проведении исследования важно учитывать все эти влияющие на выводы факторы.





Рис. 10а: Агрессивная очистка болотистой местности стала причиной дополнительного ущерба, значительно превышающего вред, нанесенный разлитой нефтью.



Рис. 10б: Очищенное болото по истечении семи недель. Видно появление молодых растений.



Рис. 10в: По истечении двадцати двух месяцев болото полностью покрыто растительностью, хотя и оппортунистических видов.



Рис. 10г: По истечении трех лет видовое разнообразие восстановилось.

▲ Рис. 10: Естественное восстановление пострадавшего болота.

Первоочередность исследований определяется рядом факторов. В первую очередь важно определить шкалу, по которой будут оцениваться последствия разлива: относительно данных по состоянию до разлива (при наличии таковых), по результатам сравнения с аналогичными видами, сообществами или экосистемами на затронутых территориях или путем отслеживания процесса восстановления по определенному признаку очевидного ущерба (например, по уровню смертности морских птиц или ракообразных). Планктон не является показательным объектом изучения. Исследования в лабораториях и на местах разливов свидетельствуют о гибели и переходе планктона в близкое к смертельному состоянию при взаимодействии с нефтью, однако изменчивость планктона настолько высока, что сравнение состояний до и после разлива, вероятнее всего, не даст достоверных результатов. Среди прочих факторов следует учитывать географическую протяженность загрязненных территорий, степень загрязнения и соответствующие уровни воздействия (концентрация и длительность), а также степень важности затронутых ресурсов, т. е. распространенность вида и его экологические функции. И, наконец, следует учитывать практическую осуществимость исследований, которая может быть связана с наличием финансирования или возможностью доступа к изучаемым участкам, а также риском отрицательного воздействия на эти участки во время проведения исследования. Дополнительные рекомендации по проведению исследований после нефтяных разливов приведены в отдельном документе, посвященном отбору проб и мониторингу морских разливов нефти.

## Природовосстановление, реабилитация и ремедиация

Природовосстановление, иначе именуемое реабилитацией или ремедиацией, представляет собой процесс принятия мер по восстановлению пострадавшей среды до состояния нормальной жизнедеятельности в более короткие сроки, чем можно было бы ожидать в случае естественных процессов восстановления. В контексте экологического ущерба эти термины зачастую используются как взаимозаменяемые. Тем не менее, если сравнивать природоохранное законодательство в Соединенных Штатах и Европейском Союзе с Международной конвенцией о гражданской ответственности за ущерб от загрязнения нефтью 1992 года и Международной конвенцией о создании Международного фонда для компенсации ущерба от загрязнения нефтью, можно отметить различное толкование этих терминов. Согласно рекомендациям, представленным в руководстве Фонда «Claims Manual» 1992 года\*\*, в рамках международного режима меры по реабилитации должны обоснованно повлечь существенное ускорение естественного процесса восстановления при условии отсутствия неблагоприятных последствий для прочих физических или экономических ресурсов. Эти меры также должны быть пропорциональны масштабу и длительности ущерба и преимуществам, которые могут быть достигнуты. Под ущербом понимается нарушение морской среды, при этом нарушение в данном контексте рассматривается как нарушение жизнедеятельности или исчезновение организмов в биологическом сообществе в результате разлива.

Действующие в США нормативные документы, принятые в рамках Закона о запрете загрязнения прибрежных вод нефтью 1990 года, признают процесс естественного восстановления в качестве ключевого механизма природовосстановления, но также вводят два других понятия: первичное и компенсационное природовосстановление. Компенсационное природовосстановление призвано компенсировать экологическую функциональность, утраченную на период восстановления среды, тогда как первичное природовосстановление предполагает меры, принимаемые в целях восстановления или ускорения процесса восстановления, и соответствует реабилитации

\*\* <http://www.iopcfund.org/publications.htm>



в рамках международного режима. Директива ЕС «Об экологической ответственности» 2004 года также опирается на эти понятия с точки зрения ремедиации (ослабления воздействия). Тем не менее, международный режим не признает такие понятия, как компенсационное природовосстановление и ремедиация.

После мероприятий по очистке могут потребоваться дальнейшие активные действия по восстановлению пострадавших ресурсов и ускорения процесса естественного восстановления, особенно в обстоятельствах, когда восстановление в противном случае заняло бы относительно долгое время. В качестве примера таких мер, принимаемых после разлива нефти, можно привести высаживание растений солончаковых болот или мангровых деревьев (Рис. 11). После того, как новые растения приживутся, вернуться и другие формы биологической жизни, и потенциальный риск эрозии почвы на этой территории будет сведен к минимуму.

Разработка комплексных стратегий реабилитации фауны представляет собой гораздо более сложную задачу. Можно принять меры по охране загрязненных мест обитания и стимулированию процесса восстановления экосистем. Это может быть ограничение доступа и деятельности человека на пострадавших территориях, внедрение контроля над рыболовством в целях сокращения конкурентной борьбы за скудные источники пищи, как, например, в случае песчанковых и тупиков, а также запрет пользования пляжами, занятыми черепахами в период гнездования. В ряде случаев рекомендуется принять меры по охране производителей из естественной популяции на близлежащих, не загрязненных нефтью территориях, например, организовать контроль численности хищников, чтобы создать резерв для повторного заселения пострадавших территорий. Однако на способность соседних популяций к заселению загрязненных территорий может повлиять множество биологических, экологических и природных факторов.



▲ Рис. 11: Территория с мангровыми зарослями, воссозданная в результате высаживания отдельных саженцев по схеме.

В реальных условиях сложность морской среды означает, что ряд возможностей по искусственному восстановлению нанесенного экологического ущерба ограничен. В большинстве случаев естественное восстановление протекает относительно быстро, и реабилитационные меры могут ускорить этот процесс лишь в редких случаях.

## Основные выводы:

- В морской среде существует огромное количество чрезвычайно сложных экосистем, и значительные колебания таких показателей, как избыточность и многообразие, характерны для их нормального функционирования.
- Морская среда обладает мощной способностью восстанавливаться естественным путем после серьезных бедствий, вызванных как природными явлениями, так и разливами нефти.
- Ключевыми механизмами негативного воздействия нефти на окружающую среду являются физическое удушение и токсичность, однако степень этого воздействия в значительной мере зависит от вида разлитой нефти и скорости ее рассеивания относительно местоположения ресурсов, восприимчивых к нефтяному загрязнению.
- Наиболее уязвимыми организмами являются обитатели морской поверхности и береговой линии.
- Солончаковые болота и мангровые заросли представляют собой наиболее уязвимые среды обитания на береговой линии.
- Особому риску подвергаются морские птицы. Некоторые виды, в частности, пингвины, хорошо переносят процедуру очистки, тогда как другие виды могут после мероприятий по очистке не выжить в природе или потерять способность успешно размножаться.
- Несмотря на то, что краткосрочное воздействие может быть значительным, длительный ущерб маловероятен даже в случае крупных аварий. По данным наблюдений, существенная длительность ущерба, как правило, обусловлена географической изолированностью территорий, где условия благоприятствуют сохранению скоплений нефти на долгое время.
- Эффективное планирование и реализация операций по ликвидации разливов нефти способствуют смягчению последствий, а также представляют собой первые шаги по восстановлению за счет сбора нефти.
- Тщательно подготовленные реабилитационные меры могут в некоторых случаях ускорить естественные процессы восстановления.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДОКУМЕНТЫ

- 1 Воздушное наблюдение морских разливов нефти
- 2 Поведение морских разливов нефти
- 3 Применение боновых заграждений при ликвидации разливов нефти
- 4 Применение диспергентов для обработки нефтяных разливов
- 5 Применение скиммеров при ликвидации разливов нефти
- 6 Установление наличия нефти на береговой линии
- 7 Очистка береговой линии от нефти
- 8 Применение сорбентов при ликвидации разливов нефти
- 9 Избавление от нефти и мусора
- 10 Лидерство, командование и управление при разливах нефти
- 11 Последствия нефтяного загрязнения для рыбного промысла и морского фермерства
- 12 Последствия нефтяного загрязнения для социальной и экономической деятельности
- 13 Последствия нефтяного загрязнения для окружающей среды
- 14 Отбор проб и мониторинг морских разливов нефти
- 15 Подготовка и предъявление исков о возмещении ущерба от нефтяного загрязнения
- 16 Разработка планов ликвидации аварий для морских разливов нефти
- 17 Ликвидация морских разливов химических продуктов

ITOPF - некоммерческая организация, созданная владельцами мирового танкерного флота и их страховщиками для эффективной ликвидации морских разливов нефти, химических продуктов и других вредных веществ. Технические услуги организации включают реагирование на аварийные ситуации, предоставление консультаций по методам очистки от загрязнения, оценку нанесенного ущерба, помощь в составлении планов ликвидации разливов и предоставление обучения. ITOPF является источником исчерпывающей информации о нефтяном загрязнении морской среды, и данный технический документ является одним из серии, документирующей опыт технического персонала ITOPF. Информация из данного документа может быть воспроизведена с предварительного получения согласия ITOPF. Для получения дополнительной информации, пожалуйста, свяжитесь с нашей организацией.



## THE INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED

1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1HQ, United Kingdom

Тел.: +44 (0)20 7566 6999

Факс: +44 (0)20 7566 6950

Круглосуточная связь:

+44 (0)7623 984 606

E-mail: [central@itopf.com](mailto:central@itopf.com)

Веб-сайт: [www.itopf.com](http://www.itopf.com)