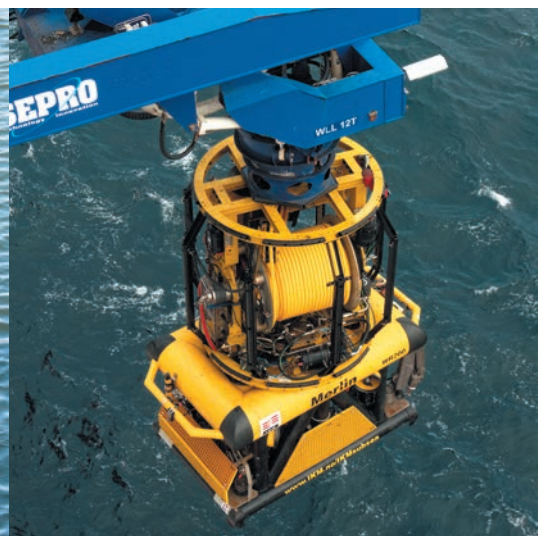


Подводное наблюдение за разливами нефти в море

Методическое руководство для персонала,
отвечающего за управление и ликвидацию
чрезвычайных ситуаций



ИПЕСА

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

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



Международная ассоциация производителей нефти и газа

Юридический адрес

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

Офис в Брюсселе

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

Офис в Хьюстоне

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

Отчет IOGP № 550

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

Подводное наблюдение за разливами нефти в море

Методическое руководство для персонала,
отвечающего за управление и ликвидацию
чрезвычайных ситуаций

Предисловие

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

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

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

Примечание о методических руководствах

«Методическое руководство» 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.

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

Содержание

Предисловие	2	Применение технологий в ходе ликвидационной операции под водой	37
Об этом руководстве	4	Мониторинг применения диспергентов под водой	37
Введение	5	Этап 1: Оценка эффективности использования диспергентов под водой	38
Подводные аппараты	7	Этап 2: Характеристика поведения и площади охвата шлейфа диспергированных углеводородов в толще воды	39
Поверхностные аппараты и суда	8	Этап 3: Первоначальная оценка возможных экологических последствий	40
Датчики	13	Планирование обеспечения качества	41
Протоколы SMART	15	Использование и передача данных и информации	42
Использование подводного и поверхностного наблюдения за нефтяными разливами	17	Общая оперативная картина реагирования (ООК)	42
Роль наблюдения в ходе реагирования на нефтяной разлив	17	Моделирование нефтяных разливов	43
Инструменты и подходы к наблюдению в ходе реагирования	19	Инновации и будущие технологические разработки	44
Измерение эффективности программы наблюдения за нефтяным разливом	21	Опорные платформы	44
Определение соответствующих технологий	22	Коммуникации и аккумуляторы	45
Надводные суда	22	Датчики	46
Автономные океанографические аппараты (АОА)	22	Моделирование	47
Сенсорные системы и совместимость с различными платформами для зондирования	23	Список сокращений	48
Вопросы материально-технического обеспечения и развертывания	24	Литература	49
Рекомендации для различных сценариев разлива	26	Полезные веб-сайты и ресурсы	51
Подготовка ресурсов для подводного и поверхностного наблюдения за нефтяным разливом	33	От авторов	53
Роль наблюдения в системе управления инцидентами	33		
Ресурсы для подводного наблюдения в многоуровневой системе реагирования	34		
Подводное наблюдение и мониторинг закачивания диспергента под водой	35		

О данном руководстве

В основе данного руководства по международной передовой практике (GPG) лежат два технических отчета, подготовленных для IPIECA и IOGP в рамках межотраслевого проекта по ликвидации аварийных разливов нефти. Первый из этих докладов был подготовлен Battelle (2014) и называется *Возможности и области использования морских аппаратов, оснащенных датчиками, для подводного и поверхностного определения и отслеживания разливов нефти*. Второй был подготовлен Oceaneering (2015) и называется *Возможности и области использования ПТСДУ, оснащенных датчиками и средствами видеосъемки, для подводного и поверхностного определения и отслеживания разливов нефти*.

Кроме того, были рассмотрены работы американского института нефти (API), включая:

- API (2013a) — *Рекомендуемый промышленностью план мониторинга подводного применения диспергентов*;
- Arthur и др. (2013), *Мониторинг выбросов углеводородов в глубоководных средах: обзор новых и новейших технологий* (доклад API 13-01).

Также было рассмотрено руководство национальной группы реагирования США по операциям, связанным с применением диспергентов (NRT, 2013).

Целью данного методического руководства является соединение и обобщение содержимого данных докладов и предоставление обзора стратегических и оперативных возможностей использования подводного наблюдения. Кроме того, здесь приведены рекомендации по включению данных наблюдения в общую картину ситуационной осведомленности в рамках системы управления инцидентами (СУИ), как часть общей оперативной картины (ООК).

По мере возможности, приведены ссылки на другие методические руководства, разработанные в рамках проекта JIP, в том числе:

- Система управления инцидентами для нефтегазовой отрасли (IPIECA-IOGP, 2016a);
- Многоуровневая готовность к разливам и их ликвидации (IPIECA-IOGP, 2015a);
- Диспергенты: подводное применение (IPIECA-IOGP, 2015b);
- Разработка стратегии реагирования с помощью анализа суммарной экологической выгоды (АСЭВ) (IPIECA-IOGP, 2015c).

Для заинтересованных сторон, таких как ликвидаторы, государственные органы, консультируемые, промышленные предприятия, НПО, организации по ликвидации нефтяных разливов и научные круги, это руководство послужит источником базовой информации и рекомендаций по передовой практике в отношении основополагающих принципов, лежащих в основе подводного наблюдения. Тем не менее, следует отметить, что подводное наблюдение нефтяных разливов в море является быстро развивающейся технологией, в отношении которой понятие передовой практики будет со временем меняться. В связи с этим, рекомендации, содержащиеся в настоящем документе, не следует рассматривать как исключительные в отношении описанной ситуации, и в конечном счете выбор технологии и принимаемых мер будет зависеть от обстоятельств на момент разлива.

В этом руководстве акцент сделан на определении и наблюдении за разливами при помощи датчиков и уходе, насколько это возможно, от применения процедур физического погружения людей, которые не рассматриваются в настоящем документе. Если по какой-либо причине погружение неизбежно, оно должно выполняться согласно сложившейся передовой практике с использованием оперативных процедур, созданных для этих целей, в соответствии с местными нормами и под наблюдением квалифицированного персонала.

Подкомитет IOGP по водолажным работам опубликовал материал, содержащий дополнительные ссылки по этому вопросу.

Введение

Подводное наблюдение имеет важнейшее значение для эффективного мониторинга подводных выбросов углеводородов. В ходе ликвидации разлива на месторождении Макондо в Мексиканском заливе в апреле 2010 года был впервые применен метод закачивания диспергентов под водой (ЗДПВ). Этот метод реагирования заключается в подаче диспергентов непосредственно на шлейф нефти у точки выброса с помощью дистанционно управляемого подводного аппарата либо фиксированной системы впрыска, связанной с аварийной заглушкой.

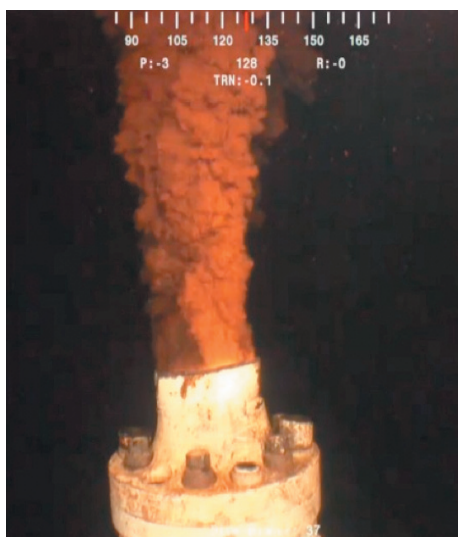
Наблюдение за нефтяным шлейфом и закачиванием диспергентов имеет важнейшее значение для оценки:

- характера, поведения и масштабов шлейфа углеводородов в толще воды;
- эффективности применения диспергентов;
- возможных экологических последствий и их связи с принятием оперативных решений;
- скорости потока углеводородов, попадающих в толщу воды;
- условий окружающей среды и присутствующих компонентов.

Наблюдение может также помочь в определении других возможных источников углеводородов, например естественного просачивания, которые могут ошибочно приниматься за случайный выброс, в отношении которого начато изучение.

Быстрое развертывание оборудования для подводного наблюдения, а также постоянный оперативный мониторинг углеводородов в толще воды, могут иметь основополагающее значение для успеха применения метода закачивания диспергента под водой. Выбор, развертывание и использование соответствующих инструментов для подводного наблюдения должны быть основаны на принципах анализа суммарной экологической выгоды (АСЭВ), сведения о котором можно найти в руководстве IPIECA-IOGP, 2015с.

Для обеспечения максимальной полезности данных, полученных в ходе подводного наблюдения, их потребуются включить в общую оперативную картину (ООК) реагирования. После включения в ООК эти данные могут быть превращены в полезную информацию, которая может быть использована группой реагирования для планирования будущих операций и мероприятий по наблюдению. Предоставление этой информации в требуемые сроки имеет решающее значение в подготовке точной ситуационной осведомленности, а



Фотографии подготовлены на основании видео, предоставленного компанией BP и снятого ПТСДУ.

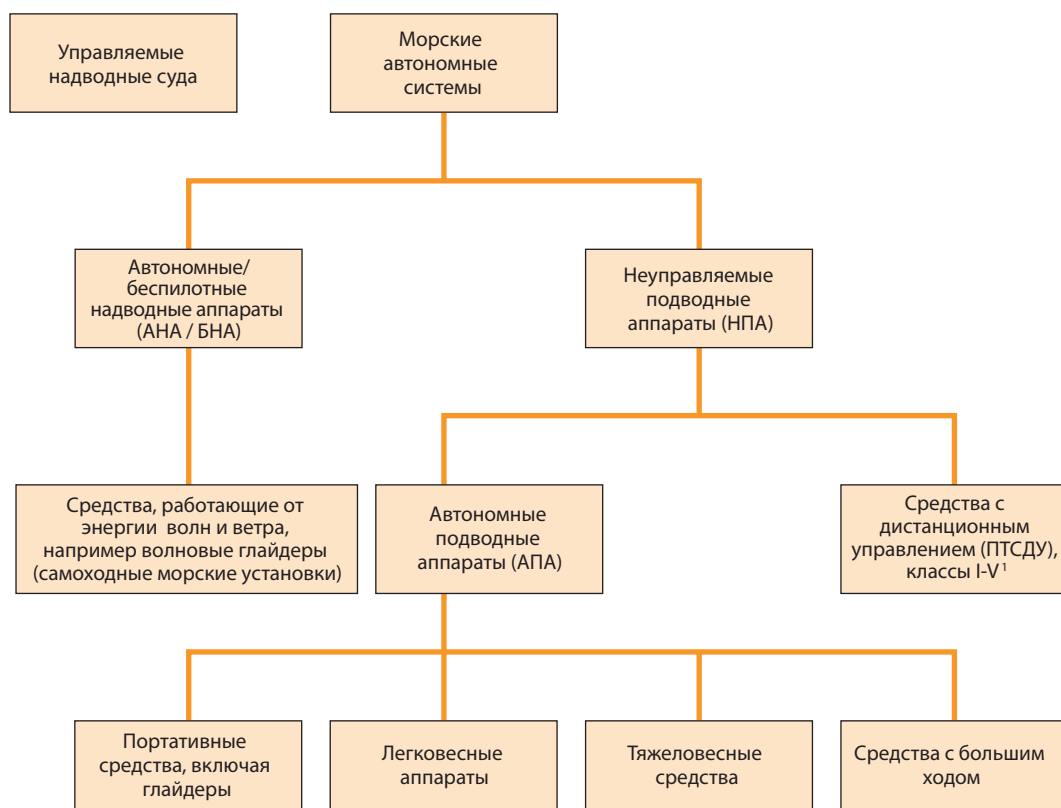
Эти снимки, полученные из подводных транспортных средств с дистанционным управлением (ПТСДУ), показывают выброс углеводородов (нефти и природного газа) из сломанного стояка в ходе инцидента Масондо в Мексиканском заливе в 2010 году. Данные наблюдения, собранные в ходе операции реагирования, оказали решающее значение для успеха всей миссии.

также в оперативном планировании и ведении коммуникаций. Также важным моментом является получение информации для сверки числовых моделей шлейфа и его траектории.

Подводное наблюдение, которое в целях данного руководства включает использование систем, развернутых на поверхности моря и в толще воды, может осуществляться с использованием разнообразных средств и платформ, служащих основой для размещения систем зондирования. Это и управляемые надводные суда, и автономные океанографические аппараты (АОА), и средства с дистанционным управлением (ПТСДУ).

Иерархическая схема различных классов океанографических аппаратов показана на рисунке 1.

Рисунок 1 Аппараты и платформы для размещения оборудования для подводного наблюдения



¹ Термин ПТСДУ включает различное автономное погружное оборудование, и ни одно средство не может быть названо «типовым» согласно этой классификации. Международной ассоциацией морских подрядчиков (IMCA, 2016) определено пять следующих типов аппаратов, относящихся к подводным транспортным средствам с дистанционным управлением:

- Класс I — ПТСДУ для наблюдения
- Класс II — ПТСДУ для наблюдения с возможностью несения комплекта датчиков
- Класс III — Аппараты рабочего класса
- Класс IV — Буксируемые и донные аппараты
- Класс V — Прототипы и новые разработки

Подводные аппараты

Автономные подводные аппараты

Автономный подводный аппарат (АПА) представляет собой роботизированный аппарат, который может перемещаться в воде без необходимости постоянного управления оператором. АПА могут быть различных размеров: от небольших портативных аппаратов до агрегатов большого диаметра, достигающих 10 м в длину. АПА может оснащаться разнообразными датчиками, включая компасы, датчики глубины, боковые гидролокаторы, магнитометры, термисторы и зонды проводимости, которые обеспечивают возможность самостоятельного перемещения и создания карты океана.

В таблице 1 приведены сведения о размерах АПА по различным классификациям, используемым в этом руководстве.

Таблица 1 Классификация АПА

Классификация	Диаметр (м)	Вес (кг)	Автономность (часы)	Место для сенсорного оборудования (м³)
Портативные	0,15–0,3	80	<10–20	0,007
Легковесные	0,3	225	10–40	0,03–0,08
Тяжеловесные	0,5	1 350	20–80	0,11–0,17
С большим ходом	0,55 +	до 9 000	100 +	0,4–0,8

Класс портативных средств включает глайдеры. В них для создания небольших изменений в плавучести используется двигатель или насос в сочетании с крыльями, которые преобразуют вертикальное движение в горизонтальное. Это отличие от большинства АПА, в которых применяются пропеллерные системы. Некоторые ключевые характеристики глайдеров:

- они медленнее, чем пропеллерные АПА (0,2 - 0,35 м/с против 1,5 - 2,5 м/с);
- их преимущество состоит в повышенной выносливости и дальности хода (от часов и недель до месяцев, с возможностью пройти тысячи километров);
- они способны проходить по холмистой и волнистой местности;
- находясь на поверхности, они могут передавать данные по спутниковой связи в навигационных и коммуникационных целях;
- нет необходимости в контролирующем судне на поверхности.

Как правило, используются четыре основных режима отбора проб (на основании Davis и др., 2002):

- Для противодействия течениям и поддержания положения глайдера используется движение вперед, что позволяет собирать данные с одновременным скольжением между поверхностью и дном моря в определенной области, эффективно заменяя условный массив вертикально прикрепленных инструментов.
- Перемещение с места на место обеспечивает весьма подробный анализ участка, но небольшая скорость продвижения может привести к временной и пространственной изменчивости данных.
- Для ускорения процесса и описания временного и пространственного контекста может быть сформирован массив из нескольких дистанционно управляемых глайдеров с судна или берега.
- Благодаря возможности длительных периодов работы и способности проведения плотной выборки глайдеры подходят для

Ниже:
развертывание
портативного
подводного
глайдера, широко
известного как
«Слокум глайдер»,
который
использует
бортной
аккумулятор для
связи, работы
датчиков и
навигационных
компьютеров.



Suzanne Long/Alamy Stock Photo

определения необычных параметров (таких как границы шлейфа нефти) за счет постоянного изменения пути следования глайдера для сбора широкого спектра полезных данных (адаптивная выборка).

АПА могут управляться с близлежащего судна или с берега, а во многих случаях они могут работать полностью автономно. В таблице 2 приводится описание различных режимов работы; в некоторых миссиях с привлечением АПА для облегчения выполнения поставленных задач может использоваться сочетание этих режимов.

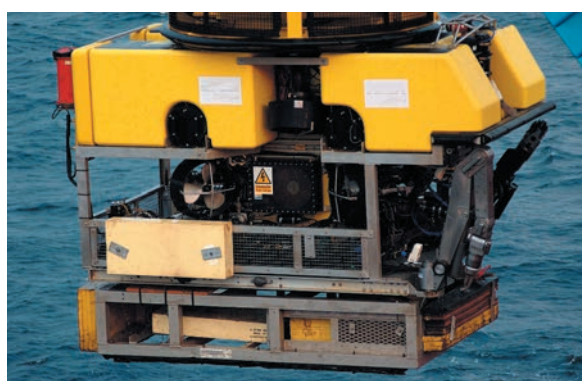
Таблица 2 Варианты мониторинга для различных типов АПА

Тип АПА	Modo de operación
Портативные	Миссия АПА выполняется без взаимодействия
Легковесные	АПА вступает в кратковременный контакт со вспомогательным судном, которое может выполнять другие задачи
Тяжеловесные	АПА находится в режиме почти постоянного контакта
С большим ходом	В АПА используется акустическая система подводного позиционирования для навигации

Аппараты с дистанционным управлением

ПТСДУ (средства с дистанционным управлением) представляют собой привязные подводные аппараты. Они состоят из высокопрочной рамы, плавучего материала, двигательных установок, систем питания и телеметрии, а также интерфейса для датчиков, который включает электрические, гидравлические и механические системы для выполнения различных задач. В зависимости от размеров, глубины, объема, мощности и способности нести сенсорное оборудование выделяют пять классов ПТСДУ (IMCA, 2016). ПТСДУ обычно питаются и управляются с поверхности оператором/пилотом через гибкий подводный кабель.

Примеры двух различных типов ПТСДУ, запущенных со вспомогательного судна для подводного сбора данных наблюдения.



Ingvar Tjostheim/Shutterstock.com



Navin Misty/Shutterstock.com

Поверхностные аппараты и суда

В операциях по ликвидации нефтяных разливов могут использоваться как пилотируемые, так и беспилотные поверхностные аппараты и суда. Пилотируемые суда включают небольшие лодки, надувные лодки с жестким каркасом (РИБы), рыболовные и научно-исследовательские суда, а также корабли для перевозки нефти и вспомогательные суда. Автономные надводные аппараты (АНА) могут быть различных размеров (веса): от 100 кг и меньше до нескольких тысяч килограммов. Информация, приведенная в таблицах 3, 4 и 5 на следующих страницах, составлена на основании доклада Battelle о возможностях и способах использования аппаратов, оборудованных датчиками (Battelle, 2014), в котором рассматриваются параметры и состояние различных типов автономных поверхностных аппаратов. АНА весом менее 100 кг считаются «малыми» и могут быть запущены и собраны вручную.

Таблица 3 Параметры небольших автономных аппаратов

Параметры аппарата										
Производитель/ платформа	Длина (м)	Ширина (м)	Сухой вес (кг)	Макс. продолжитель- ность миссии (часы)	Доступная мощность для сенсорного оборудования	Место для сенсорного оборудования (м³)	Вес сенсорного оборудования (кг)	Источник питания	Сроки выполнения миссии	Коммуникации
Беспилотное океаническое плавучее средство «Sailbuoy»	2		60	1 год		0,06	10			Iridium
Атономный беспилотный поверхностное плавучее средство SonoBot от EvoLogics	0,45	0,92	30	10 (2 узла)						Wifi
Надводное судно для океанографических и подводных исследований (Scout) от Robotic Marine Systems	3			8						РЧ Wifi
Sea Robotics БНА Высокоскоростной тримаран USV-1000	3	1,2	40	12 (2,4 узла) 6 (4,37 узла)			80	Никель-металл- гибридные батареи Литий-полимерные батареи	Замена батарей в полевых условиях	2402 МГц Сеть Ethernet
Sea Robotics БНА с возможностью переконфигурации USV-2600 (катамаран)	3,25	1	75-100	8 (2,4 узла) 3 (4,37 узла)				Никель-металл- гибридные батареи Литий-полимерные батареи	Замена батарей в полевых условиях	2403 МГц Сеть Ethernet
Sea Robotics Катамаран с большой грузоподъемностью USV-450	1,9	1,2	40	8 (2,4 узла) 2 (4,37 узла)			80	Никель-металл- гибридные батареи Литий-полимерные	Замена батарей в полевых условиях	2400 МГц Сеть Ethernet
Sea Robotics БНА Саморегулируемый однокорпусный аппарат USV-5000	4,25	0,5	60	12 (2,4 узла) 6 (4,37 узла)			50	Никель-металл- гибридные батареи Литий-полимерные	Замена батарей в полевых условиях	2404 МГц Сеть Ethernet
Sea Robotics БНА с возможностью переконфигурации USV-600	1,25	0,66	15	8 (2,4 узла) 3 (4,37 узла)			8	Никель-металл- гибридные батареи Литий-полимерные	Замена батарей в полевых условиях	2401 МГц Сеть Ethernet

Таблица 4. Параметры крупных автономных аппаратов

Производитель/ платформа	Параметры аппарата									
	Длина (м)	Ширина (м)	Сухой вес (кг)	Макс. продолжительность миссии (часы)	Доступная мощность для сенсорного оборудования	Место для сенсорного оборудования (м ³)	Вес сенсорного оборудования (кг)	Источник питания	Сроки выполнения миссии	Коммуникации
ANA C-Enduro	4,2		350–500	3 месяца				Солнце и ветер		Радио при потере сигнала Спутник
SIEL Advanced Sea Systems БНА UAPS 20: РИБы 500	5,05		320	12, непрерывно			810	4-тактный подвесной мотор, от 60 до 110 л.с.		
АНА C-Cat 5	5		650– 1 000	Дизель генераторная установка: 48 Аккумулятор индивидуально: 8			500	2 электродвигателя пост. тока (3,6 кВт каждый), дизельный генератор или прямой привод дизельного топлива		УВЧ S-диапазон L-диапазон Опция Xbee
АНА C-Hunter	6,3		2 000	50+ (6 узлов) 96+ (4 узла)			300	1 дизельный двигатель Yanmar 3UM30 (30 л.с.)		УВЧ до 8 км или варианты спутниковой/ GSM-связи
АНА C-Worker	5,85		3 500– 5 000	720 (4 узла) 240 (6 узлов)				2 дизельные генераторные установки по 13 кВт каждая		Радио при потере сигнала Спутник
C&C Technologies ASV 6300, аппарат для гидрографических исследований (полупогружной)	6,3		2 000	96 (4 узла) 50+ (6 узлов)			300	Дизельный двигатель Yanmar, 30 л.с.		
АНА C&C Technologies ASV 9500 Multi Role (полупогружной)	9,5			720				Дизельный двигатель		
АНА C&C Technologies ASV (полупогружной)	6						200			

Таблица 4 Параметры крупных автономных аппаратов (продолжение)

Производитель/ платформа	Параметры аппарата									
	Длина (м)	Ширина (м)	Сухой вес (кг)	Макс. продолжительност ь миссии (часы)	Доступная мощность для сенсорного оборудования	Место для сенсорного оборудования (м³)	Вес сенсорного оборудования (кг)	Источник питания	Сроки выполнения миссии	Коммуникации
ECA Robotics INSPECTOR MK2, для фото и батиметрической съемки	8,4		4 700	20 (6 узлов)			1 000	2 дизельных гидроаппарата (2 x 170-215 кВт)		
ISE Dorado (полупогружной)	8,23	2,28	6 600	28		0,6	210	Морской дизельный двигатель	1-2 часа (дозаправка)	РЧ-сеть Ethernet
БНА Maritime Robotics USV Mariner	5,8	2	1 700	50 (5 узлов)		1		Двигатель Volvo Penta D3		СВЧ/УВЧ GPRS/Iridium доп.
QinetiQ Blackfish	3,2		470	1			150			СВЧ/УВЧ WiFi Iridium
SIEL Advanced Sea Systems БНА UAPS 20: РИБы 750	7,5		850				2 160	4-тактный подвесной мотор, от 110 до 250 л.с.		
SIEL Advanced Sea Systems БНА UAPS 20: РИБы 900	8,8		1 500				2 160	4-тактный подвесной мотор, 500 л.с.		
ZyCraft Vigilant	16,5		6 000– 13 000	720		18	2 700			

Среди последних дополнений к классу АНА: «Автонавт» и «волновой глайдер». Это устройства, приводимые в движение волнами, могут поддерживать непрерывную спутниковую связь, обеспечивая удаленное управление в режиме реального времени.

Таблица 5 АНА с приводом от энергии волн и ветра

Параметры аппарата										
Производитель/ платформа	Длина (м)	Ширина (м)	Сухой вес (кг)	Резервная плавучесть	Макс. продолжительность миссии (часы)	Доступная мощность для сенсорного оборудования	Место для сенсорного оборудования (м ³)	Вес сенсорного оборудования (кг)	Типичная круизная скорость в узлах	Коммуникации
Liquid Robotics Wave Glider SV2	Опора: 2,1 Глайдер: 1,9	1,07 (крыло)	90	Вытеснение 150 кг	До 1 года	10 Вт Порты для сенсорного оборудования (3): 3 А/13,2 В Порт РЕР: 5 А/13,2 В Порт глайдера: 1 А/13,2 В Макс. системные параметры: 10 А/13,2 В	0,04	18	0,5-1,6	Iridium Спутник РЧ-модем WiFi
БНА Liquid Robotics Wave Glider SV3	Опора: 2,9 Глайдер: 1,9	1,4 (крыло)	90	Вытеснение 150 кг	До 1 года	10 Вт Порты для сенсорного оборудования (3): 3 А/13,2 В Порт РЕР: 5 А/13,2 В Порт глайдера: 1 А/13,2 В Макс. системные параметры: 10 А/13,2 В	0,09	45	1–2 без подруливающего устройства 1,5–2,3 без подруливающего устройства	Iridium Спутник РЧ-модем WiFi
MOST БНА AutoNaut	3,5			3 месяца (2-3 узла)	20 Вт при 50% рабочем цикле в течение 90 дней			Аккумулятор: 720 Вт*ч, свинцовый гель Солнечные батареи: 125 Вт*ч Генератор: 45 Ватт, топливные элементы на метаноле, 20 л топлива (22 кВт*ч мощности)		УВЧ XBEE PRO Iridium
БНА Saildrone Saildrone	5,8	2,1			5 000 часов	5 – 10 Вт		100	5	Спутник

Датчики

Углеводороды, присутствующие в морской воде, могут принимать форму различных смесей, состоящих из жидкости, растворенных, газообразных или твердых частиц. К жидким компонентам относятся большинство полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), тогда как газовые компоненты в основном включают легкие алканы, такие как метан.

Углеводороды могут быть непосредственно обнаружены при помощи соответствующих датчиков для измерения газообразных веществ, растворенного метана и ПАУ. Также они могут быть обнаружены косвенно путем измерения связанных аномалий в исходном состоянии окружающей среды, например при изменениях температуры, солёности и других параметров. Некоторые системы зондирования также могут контролировать поток жидкостей под водой. Это погружные системы, в основе которых лежит принцип контакта или близости к углеводородам.

Ниже приводится описание систем прямого и косвенного обнаружения. Следует отметить, что хотя системы прямого обнаружения могут быстрее предоставлять информацию для операции реагирования, системы косвенного обнаружения могут, с некоторой задержкой, предоставлять подходящие образцы для калибровки и проверки других методов и моделей обнаружения.

Системы прямого обнаружения

В основе систем прямого обнаружения углеводородов лежит один или несколько из следующих методов:

- Недисперсионная инфракрасная спектроскопия (НДИК) метана (CH₄), с использованием высокоточной оптической системы анализа НДИК.
- Флуорометрическое измерение ПАУ с помощью флуорометра для измерения распределения интенсивности и длины волны эмитируемого спектра после возбуждения светом известного спектра.
- Флуорометрическое измерение переработанных и сырых углеводородов с помощью флуорометра хромофорных растворенных органических веществ (CDOM) для измерения концентрации переработанных углеводородов (360 Нм) или сырых углеводородов (440 Нм).
- Измерение распределения размеров частиц на месте с помощью лазерного инструмента для измерения рассеяния и прозрачности (LISST) или других приборов для измерения размеров частиц.
- Использование акустических доплеровских профилографов скорости течения (ADCP), которые измеряют скорость движения воды в толще.
- Использование погружных технологий коммуникации и сбора геопространственных данных.
- Использование подводных камер и приборов видеосъемки, включая недавно разработанные силуэтные камеры SINTEF (SilCam), для оценки растворенных углеводородов в толще воды.

Многие из этих датчиков могут быть настроены для условий подачи воды под давлением или под естественной скоростью путем установки в нужном месте на базовом аппарате, в зависимости от способа контакта с толщей воды.

Ниже: (выше) развертывание погружного лазерного датчика LISST-100 X; (ниже) развертывание акустического доплеровского профилографа скорости течения (ADCP), закрепленного на треноге.



Sequoia Scientific



Woods Hole Oceanographic Institution

Системы косвенного обнаружения

В основе систем косвенного обнаружения углеводородов лежит принцип определения изменений в основных свойствах местной морской среды, которые могут быть обусловлены присутствием углеводородов. Метод косвенного обнаружения включает измерение и анализ следующих свойств:

- Проводимость, температура, глубина (ПТГ): для мониторинга отдельных параметров используются отдельные датчики. Соленость является производной от проводимости, а глубина — от гидростатического давления.
- Мутность: измеряется на основании рассеяния оптического света.
- Концентрация растворенного кислорода: измерения могут выполняться электродами, электромеханическими датчиками или оптодами (оптическими датчиками).
- Концентрация растворенного CO_2 : измеряется при помощи недисперсионной инфракрасной спектроскопии.

Датчики оценки потока позволяют контролировать поток воды и зачастую присутствующие в потоке составляющие. Такая информация может использоваться как вспомогательная при принятии решений по использованию и возможной эффективности методов подводного закачивания диспергентов. Параметры, представляющие интерес:

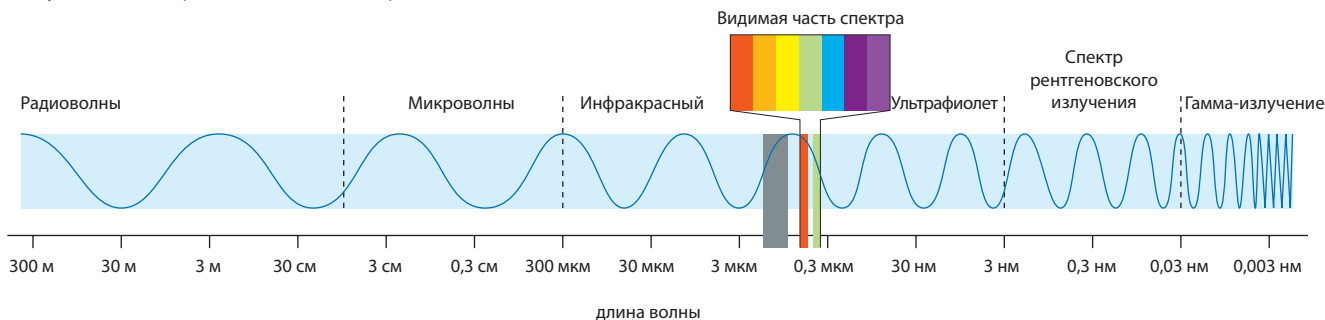
- общий объем потока;
- состав потока;
- размер частиц;
- плотность частиц.

Чтобы определить объем всего потока, потребуются датчики макро- и микрообластей. Датчики макрообластей, такие как гидролокатор переднего обзора высокого разрешения и параллельные лазерные системы, измеряют весь объем потока в точке интереса. Датчики микрообластей предоставляют конкретные детали, связанные с размерами и количеством взвешенных частиц в толще воды. Используются подводные системы микроскопии и дифракции оптического спектра.

Поверхностные системы зондирования

В дополнение к погружным системам зондирования, рассмотренным выше, существует множество поверхностных систем зондирования, которые помогают в удаленном обнаружении углеводородов на поверхности моря или вблизи нее. Такие системы обычно разворачиваются из пилотируемых или беспилотных надводных аппаратов. Используется четыре основных типа технологий, которые классифицируются в соответствии с частью электромагнитного спектра, на основании которого осуществляется зондирование. На рисунке 2 (ниже) показан электромагнитный спектр.

Рисунок 2 Электромагнитный спектр



Системы зондирования бывают «пассивными» или «активными». Пассивные системы обнаруживают излучение, рассеиваемого целевым объектом, тогда как активные системы излучают собственную энергию и измеряют сигнал, отраженный от целевого объекта.

Таблица 6 Датчики и электромагнитный спектр

Тип датчика	Активный / пассивный	Длина волны	Что он измеряет?	Стандартные системы зондирования
Ультрафиолет	Пассивный	100–400 нм	Отражаемый солнечный свет	УФ-камеры и линейные сканеры
Видимый	Пассивный	400–700 нм	Отражаемый солнечный свет	Фото- и видеокамеры
Инфракрасный	Пассивный	0,74–14,0 мкм	Естественное испускаемое излучение и температура поверхности	Тепловизионные камеры и сканеры
Радиолокатор	Активный	2,5–3,75 см	Обратное рассеяние радиолокационных сигналов	Морской радар (Х-диапазон)

Существует множество систем поверхностного зондирования. Начиная от человеческого глаза, который с помощью бинокля может находить нефтяной блеск, до сложных радарных систем.

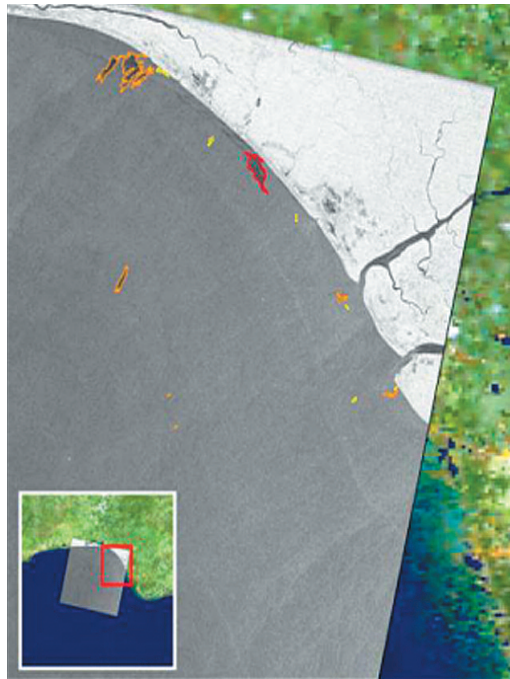
Подробное описание поверхностных систем и аппаратов, используемых для их развертывания, приведено в обзоре новых и развивающихся технологий API (Arthur и др., 2013), а также докладах JIP по ликвидации нефтяных разливов, подготовленных Battelle (2014) и Oceaneering (2015).

Протоколы SMART

В конце 1990-х представители ряда американских организаций здравоохранения и охраны природы совместно разработали специальный протокол мониторинга применяемых технологий ликвидации (SMART) (NOAA, 2006). Протокол SMART содержит руководящие принципы по созданию системы мониторинга для быстрого сбора научно обоснованной информации и подготовки отчетов в реальном времени, которые помогут ликвидаторам в принятии решений во время операций по контролируемому сжиганию нефти на месте разлива и/или применения диспергентов.

Если на поверхности присутствуют углеводороды, ликвидаторам доступно больше вариантов реагирования, включая воздушные и спутниковые системы. Однако технологии подводного наблюдения, рассматриваемые в этом методическом руководстве, также имеют важное значение для оценки и мониторинга углеводородов на поверхности моря. Использование беспилотных поверхностных аппаратов может значительно повысить уровень безопасности и сократить стоимость операции, по сравнению с пилотируемыми системами, за счет устранения или минимизации воздействия на ликвидаторов летучих органических соединений (ЛОС) из разлитых углеводородов. В частности, это относится к закачиванию диспергентов под водой и на поверхности, особенно при распылении диспергентов с воздушных платформ, таких как вертолеты и самолеты. Как отмечено Американским институтом нефти (API, 2013а), в процессе поверхностного распыления диспергентов был использован многоуровневый протокол SMART для мониторинга эффективности диспергентов. При использовании протоколов SMART мониторинг начинается с визуальных наблюдений для определения эффективности диспергентов и последующего принятия решений об активации более высоких уровней плана мониторинга на основании оперативных потребностей и времени, доступного для реализации дополнительных систем мониторинга, включая подводный мониторинг.

Протокол SMART содержит руководящие принципы по созданию всех типов систем мониторинга, таких как спутниковые (рядом справа), воздушные (справа) и подводные, для быстрого сбора научно обоснованной информации и подготовки отчетов в реальном времени, которые помогут ликвидаторам в принятии решений во время операций.



MacDonald Dettwiler and Associates



OSRL

Как отмечено во введении к этому методическому руководству, подводное наблюдение является важнейшим подходом, опирающимся на технологии, к мониторингу подводных выбросов углеводородов. Оно позволяет собирать подходящие образцы воды, которые необходимы для оценки эффективности диспергентов при подводных разливах и контроля скорости потока углеводородов, выбрасываемых в толщу воды.

Наблюдение (все типы, включая спутниковое, воздушное и подводное) имеет важное значение для оказания эффективной поддержки группе реагирования и другим заинтересованным сторонам во время ликвидационной операции. Оно дает представление о состоянии загрязнения, позволяет оценить принимаемые меры реагирования и облегчает планирование будущих мероприятий. Наблюдение, наряду с соответствующим прогнозным моделированием, отчетностью, отображением и документированием данных и собранной информации, признается жизненно важным инструментом обеспечения «ситуационной осведомленности», т.е. получения знаний о том, что происходит во время разлива нефти (см. вставку 1 на стр. 18).

Использование подводного и поверхностного наблюдения за нефтяными разливами

Роль наблюдения в ходе реагирования на нефтяной разлив может быть различной. В частности, ответственные за организацию операций реагирования могут применять наблюдение для улучшения их ситуационной осведомленности о разливе. Кроме того, результаты наблюдения, включая снимки и видео, карты, электронные таблицы и расчеты, можно использовать для планирования операций, контроля и оценки воздействия методов ликвидации разлива нефти, проверки численных моделей разлива, а также в качестве средства коммуникации на пресс-конференциях с участием сторонних организаций, например, СМИ и общественности. Кроме того, наблюдение в реальном времени предоставляет тактическую поддержку в ходе реагирования, например, с помощью самолета можно обнаружить нефтяные пятна и направить судна, распыляющие диспергент, в соответствующие районы.

Записанные и задокументированные результаты наблюдения могут использоваться после разлива для различных иных целей, например, в качестве вспомогательных материалов для учебных курсов и учений, а также в качестве образовательной и научной справки. Данная информация также может использоваться для оказания помощи в решении правовых вопросов и выполнении нормативных требований, которые возникли в результате разлива.

Кроме того, что наблюдение может использоваться в ходе операций ликвидации аварийных разливов нефти, оно также может выступать в качестве меры готовности для контроля областей с риском потенциального воздействия нефтяного разлива (например, области рядом с сооружениями, морские пути, трубопроводы) в рабочем порядке или на постоянной основе.

Роль наблюдения в ходе реагирования на нефтяной разлив

Наблюдение — неотъемлемая часть набора средств ликвидации нефтяных разливов. Оно предоставляет ценную информацию о развивающемся сценарии в ходе операции реагирования. Наблюдение за нефтяным разливом должно выполнять следующие задачи для команды реагирования:

- изначальное обнаружение (или подтверждение) и оценка (определение параметров и количества) нефтяного разлива *в определенные сроки*;
- постоянную оценку и *регулярный* метеорологический мониторинг нефтяного разлива и операций реагирования;
- тактическую поддержку (постоянный визуальный мониторинг) операций и миссий *в требуемое время и в нужном месте*.

Передача информации в требуемые сроки критична для обеспечения должного уровня ситуационной осведомленности, а также для содействия планированию операции и коммуникационным процессам.



Собранные в ходе операции реагирования данные наблюдения загружаются в общую оперативную картину на основе ГИС (см. страницу 42). Таким образом, все заинтересованные лица будут действовать исходя из общей позиции ситуационной осведомленности.

Вставка 1 *Что такое ситуационная осведомленность?*

Ситуационная осведомленность — «знать то, что происходит вокруг». Для реагирования на нефтяной разлив ситуационная осведомленность требует целостного, но детального понимания сценария разлива; это достигается благодаря обнаружению, обработке и осмыслению критических элементов предоставленной информации. Таким образом, получение надлежащих типов информации и обеспечение их правильности и актуальности важны для обретения точной ситуационной осведомленности о нефтяном разливе. В таблице 7 (см. ниже) приведено описание основных видов информации и данных, необходимых для обеспечения ситуационной осведомленности о нефтяном разливе.

Каким образом наблюдение содействует ситуационной осведомленности?

Главным образом, наблюдение используется для обнаружения, описания и (желательно) определения количества разлитой нефти, которая может находиться на воде, в воде или на берегу. Кроме того, наблюдение может использоваться для сбора информации об окружающей среде в непосредственной близости с нефтяным разливом. Таким образом, наблюдение может предоставить основной объем ключевой информации, необходимый для информирования ликвидационной операции о развивающемся сценарии разлива, например, о местах разлитой нефти (абсолютные и относительные), предполагаемом количестве разлитой нефти, о характере нефти и даже об условиях работы (прогнозы погоды, местная территория или гидрография, экологически чувствительные районы), — все это имеет особую важность для ситуационной осведомленности.

Таблица 7 *Информация, необходимая для ситуационной осведомленности*

Тип информации	Примеры
Измерения и характеристики нефтяного разлива	<ul style="list-style-type: none"> ● Географическое местоположение нефтяного разлива и отдельных пятен ● Масштаб нефтяного разлива ● Количество пятен ● Количество разлитой нефти (оценка) ● Тип разлитой нефти
Место нефтяного разлива	<ul style="list-style-type: none"> ● Физическое расположение (на воде, под водой, на берегу, на суше) ● Сопутствующие физические характеристики (течения океана, тип поверхности, ледовитость) ● Экологически чувствительные ресурсы в районе (мангровые леса, районы гнездования)
Условия работы	<ul style="list-style-type: none"> ● Погодные условия ● Сопутствующие физические характеристики, способные помешать осуществлению операций
Социально-экономические факторы	<ul style="list-style-type: none"> ● Близлежащие населенные зоны/зоны урбанизации ● Зоны экономической уязвимости (рыболовные зоны, районы фермерских хозяйств)
Политические факторы	<ul style="list-style-type: none"> ● Заинтересованные стороны, вовлеченные в ликвидационную операцию (кто за что несет ответственность) ● Нормы и законы, которые могут влиять на ликвидационную операцию ● Границы/зоны, если ликвидационная операция затрагивает несколько стран
Текущие операции	<ul style="list-style-type: none"> ● Ликвидационные операции и методы, текущие и запланированные ● Места расположения развернутых ресурсов и средств, а также их количество
Влияние ликвидационной операции	<ul style="list-style-type: none"> ● Объемы и проценты собранной нефти ● Текущие меры по предотвращению последующих разливов (при необходимости) ● Масштабы очистки береговой линии, суши и т.д.

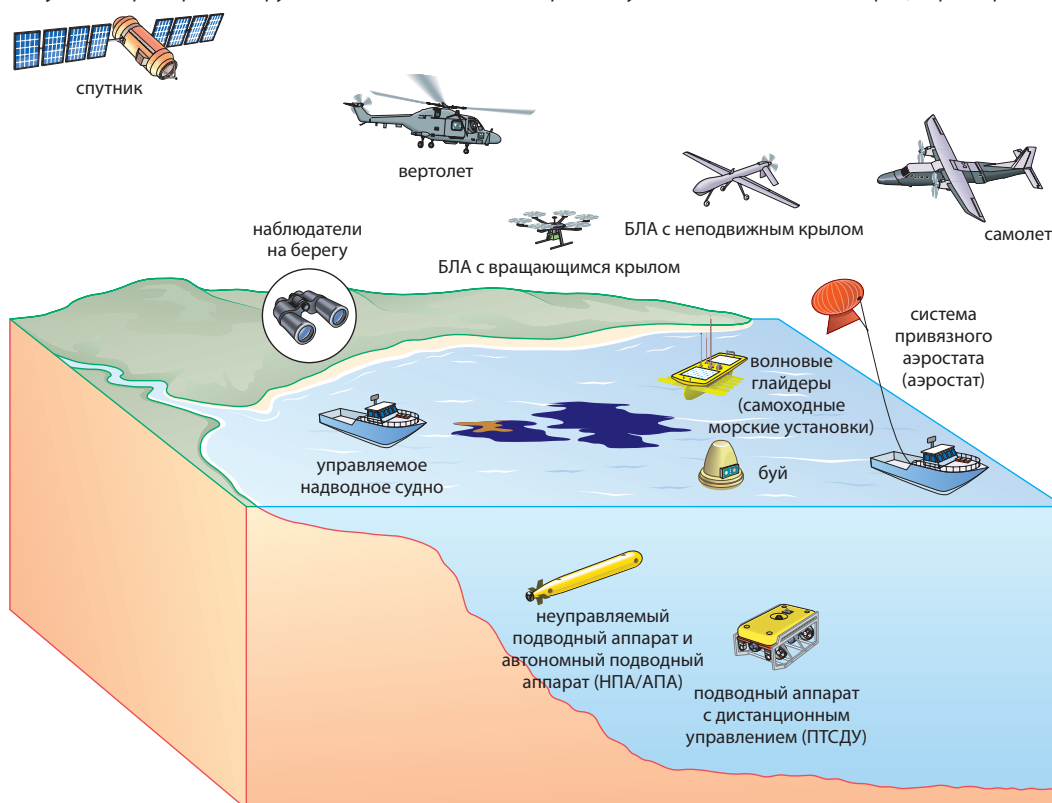
Инструменты и подходы к наблюдению в ходе ликвидационной операции

Для эффективного предоставления самой важной информации в ходе реагирования необходимо внедрить программу наблюдения и мониторинга нефтяного разлива, которая использует различные подходы и инструменты наблюдения, чтобы собрать необходимую информацию и оказать необходимую помощь текущей ликвидационной операции (рис. 3).

Инструментами наблюдения могут являться:

- неуправляемые подводные аппараты (НПА), включая автономные подводные аппараты (АПА) (например, глайдеры) и аппараты с дистанционным управлением (ПТСДУ);
- беспилотные надводные аппараты (БНА), включая автономные надводные аппараты (АНА) (например, AutoNaut, волновые глайдеры);
- надводные суда (использующие оптические и радиолокационные методы, фотографии и видео, а также визуальный контроль);
- буи, следящие системы, смонтированные системы (например, инструменты, установленные на буровых установках или независимо пришвартованные);
- наблюдатели на берегу (с помощью человеческого глаза, фотографий и видео);
- воздушные платформы, например, самолет с крылом неизменяемой геометрии и вертолеты (с помощью человеческого глаза, оптического и радиолокационного обнаружения, фотографий и видео);
- беспилотные летательные аппараты (БЛА, использующие оптические и радиолокационные методы);
- системы привязного аэростата (например, аэростаты, использующие оптические и инфракрасные методы);
- спутники (использующие оптические, инфракрасные и радиолокационные методы).

Рисунок 3 Примеры инструментов наблюдения, которые могут использоваться в операции реагирования



При сборе информации для реагирования на нефтяной разлив каждый инструмент имеет свои преимущества и ограничения; данные особенности рассматриваются в отчете API о дистанционном зондировании (API, 2013b). Информацию о других инструментах наблюдения, кроме технологий подводного наблюдения, см. в IPIECA-IMO-IOGP, 2015 и IPIECA-IOGP, 2016b.

Преимущества и недостатки технологий подводного наблюдения необходимо рассматривать совместно со сценарием нефтяного разлива, поскольку ряд различных факторов может повлиять на общую целесообразность отдельного инструмента. Необходимо принимать во внимание следующие факторы:

- размер разлива (и прогнозируемая длительность);
- место разлива (географическая позиция и тип, например, вдали от берега или на суше);
- условия окружающей среды;
- условия работы;
- тип разлитой нефти и ее поведение в процессе выветривания (например, тенденция распространения);
- логистические проблемы (например, доступ для развертывания технологии);
- нормативные и политические ограничения (включая управление и регулирование воздушного пространства и океана, а также местные требования к технологиям);
- тип операций реагирования;
- условия и время, когда понадобится информация;
- легкость внедрения и организации различных ресурсов и типов информации.

Например, при небольшом локализованном разливе могут потребоваться только люди-наблюдатели; а при плохих погодных условиях использование воздушных судов может быть ограничено. Как правило, для сбора всей необходимой информации программа наблюдения должна использовать комбинацию инструментов наблюдения, подходящих для операции реагирования.

По мере развития инцидента потребность в программе наблюдения обычно увеличивается, и программу часто разделяют на стратегические (ситуационная осведомленность, планирование операций и мониторинг воздействия) и тактические (поддержка операций) функции. Все инструменты должны соответствовать по крайней мере одной из этих функций и их требований.

Как правило, для сбора всей необходимой информации программа наблюдения должна использовать комбинацию инструментов наблюдения, подходящих для операции реагирования.



Andrei Polivanov/Shutterstock.com

Как было отмечено во введении к этому методическому руководству, подводное наблюдение очень важно для мониторинга подводных выбросов углеводородов, оценки природы и масштабов диспергированных подводных шлейфов, а также определения эффективности операций по применению диспергентов. Такой мониторинг помогает решить вопрос применения диспергентов, а также позволяет принимать обоснованные решения по продолжению использования диспергентов и условиям прекращения их распыления. В ходе инцидента Macondo в 2010 году был получен огромный опыт, и в последующих разделах этого руководства приводятся рекомендации, основанные на выводах, сделанных после этого инцидента. Эти рекомендации были включены в другие отраслевые документы с рекомендациями, включая доклад API номер 1152 по мониторингу подводного применения диспергентов (API, 2013a) и методическое руководство IPIECA-IOGP по подводному применению диспергентов (IPIECA-IOGP, 2015b).

Измерение эффективности программы наблюдения за нефтяным разливом

Общая эффективность программы наблюдения наиболее четко прослеживается в общей оперативной картине реагирования (ООК). ООК — общее понимание инцидента и его условий. Также этот термин определяется как *«компьютерная платформа на основе технологии географической информационной системы (ГИС), которая является единственным источником данных и информации для ситуационной осведомленности, координации, коммуникации и архивирования данных, выступая вспомогательным инструментом для управления чрезвычайной ситуацией и персонала реагирования, а также других вовлеченных или затронутых инцидентом заинтересованных сторон»* (IPIECA-IOGP, 2015d). ООК поддерживает принятие стратегических и тактических решений в Системе управления инцидентами (СУИ), которая используется для управления операцией реагирования.

ООК позволяет персоналу реагирования и другим заинтересованным лицам просмотреть все данные и информацию, полученные в ходе операции реагирования, в том числе и данные наблюдения. Большая часть информации ООК статична и, следовательно, ее можно разработать и предварительно заполнить на этапе планирования реагирования в рассматриваемом месте. Если в ООК «не хватает» какой-либо относящейся к наблюдению информации, необходимой пользователям, следует улучшить и обновить программу наблюдения, которая удовлетворила бы эти потребности. Подробные инструкции по обязательно включаемым элементам см. в IPIECA-IOGP, 2015d.

В ходе развития стратегий реагирования, технологий и передовых практик понятие «оперативная картина реагирования» и ее включение в СУИ (о чем говорилось выше) было разработано сравнительно недавно, и на сегодняшний день не существует единого мнения относительно ее места в иерархии СУИ, а также относительно обязательности ее включения в структуру СУИ в каждом случае (например, при небольших ликвидационных операциях). При использовании ООК в ней должна обязательно определяться подотчетность в работе функции наблюдения для обеспечения способности программы соответствующим образом ответить на ключевые оперативные вопросы (например, о поведении нефти) в сроки, приемлемые для лиц, принимающих решения относительно реагирования.

Определение соответствующих технологий

Выбор платформ и судов для подводного наблюдения, необходимых для размещения систем зондирования, будет зависеть от характера разлива. Если разлив выходит на поверхность, обычно достаточно стандартных пилотируемых и беспилотных надводных судов и аппаратов. Если же для разлива характерно подводное и поверхностное воздействие, то для обнаружения и отслеживания разлива рекомендуется использовать сочетание аппаратов, как надводных, так и подводных. Выбор может меняться по мере развития сценария разлива и распространения нефти и шлейфов.

Выбор и предпочтения в части соответствующих технологий зондирования требуют понимания и знания свойств углеводородов. Различные типы нефти имеют различные физические и химические свойства и характеристики выветривания, поэтому приоритетность технологий зондирования будет различной для газообразных и жидких углеводородов, сырой и переработанной нефти, восковой сырой нефти и нефти с высоким содержанием асфальтенов, и т.д.

Надводные суда

В ликвидационной операции могут участвовать самые разнообразные надводные суда. Среди особенностей, которые следует учитывать при решении вопроса о применимости того или иного судна для развертывания технологий наблюдения, можно выделить следующие:

- размер судна (т.е. соответствие судна весу, размерам и требованиям к питанию выбранной системы или систем зондирования);
- назначение и продолжительность работы судна;
- возможность использования в зоне операции с учетом преобладающих и прогнозируемых климатических и морских условий;
- вместимость персонала (для пилотируемых судов), т.е. экипажа и ликвидаторов;
- высоту развертывания датчиков — более высокие отметки требуют увеличения диапазона зондирования и проецируемой зоны покрытия; устройства могут располагаться на мостике, мачте, А-образной раме, стреле или кране;
- коммуникационные технологии (сотовая и/или спутниковая связь) для передачи информации в реальном времени в ООК через сеть Интернет;
- доступность судна: по контракту, по выборочному найму или в рамках предварительного взаимного соглашения с другим оператором.



Alan Smillie/Shutterstock.com



Michael Grant Travel/Alamy Stock Photo

Автономные океанографические аппараты (АОА)

При рассмотрении вопроса об использовании АОА любого типа следует учитывать тот факт, что в настоящее время не все доступные коммерческие системы имеют успешный опыт развертывания на учениях или операциях по ликвидации аварийных разливов нефти. Некоторые аппараты производятся исключительно в целях исследований и не могут быть изготовлены в достаточных количествах, что позволило бы использовать их в качестве коммерчески доступных ресурсов, тогда как другие применяются только для военных операций. Тем не менее, в настоящее время доступен ряд новых судов, которые обладают

рядом различных возможностей и могут соответствовать требованиям наблюдения за разливами нефти.

Вопросы совместимости аппаратов, которые должны быть учтены при их выборе (на основании доклада Battelle, 2014):

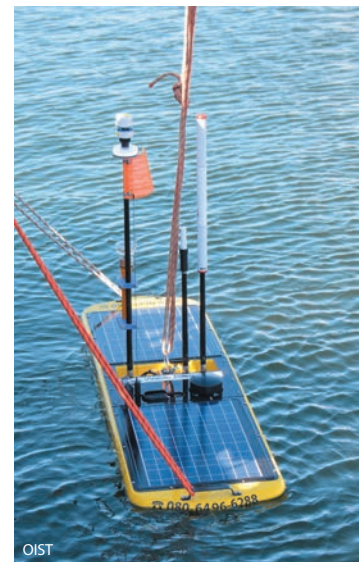
- В большинстве мест могут быть доступны различные пилотируемые аппараты, в то время как для развертывания АОА в районе инцидента скорее всего потребуется несколько дней или больше.
- В долгосрочных миссиях, когда разлив достаточно продолжителен или когда он смещается глубже и дальше от берега, предпочтение все больше отдается более крупным АОА.
- Портативные АОА становятся менее эффективны в глубоких водах из-за ограниченной продолжительности использования, глубины и маневренности.
- В сравнении с пилотируемыми судами предпочтение чаще отдается АОА, так как это позволяет снизить риски для персонала, связанные с опасностями, возникающими в процессе ликвидационной операции.
- Глайдеры обладают ограниченной мощностью, что может снизить продолжительность активного использования датчиков.
- Глайдеры представляют собой устройства типа «отпустил и забыл», которые могут быть полезны для мониторинга границ и масштабов разливов, особенно при наличии адаптивных систем отбора проб и контроля.
- Глайдеры могут работать только на минимальной глубине.
- АНА, использующие энергию ветра и волн, предназначены для использования в открытых водах, что ограничивает их применимость вблизи берега.
- Небольшие АНА могут работать на ограниченных участках, например в портах или гаванях, но в этом случае они предназначены для использования в открытой воде.
- Такие АНА, как волновые глайдеры, более полезны, чем АПА, если основная часть разлива расположена на поверхности воды или вблизи нее.
- Использование АПА вблизи берега со стоячей водой и высокой вероятностью доступности надводных судов, непрактично и неэкономично.



Free Wind 2014/Shutterstock.com



NOAA



OIST

Примеры различных типов АОА (по часовой стрелке, слева сверху): возвращение легкого портативного глайдера; волновой глайдер, развертываемый со вспомогательного судна; и подводный глайдер вблизи поверхности.

Сенсорные системы и совместимость с различными платформами для зондирования

По мере того как содержащиеся в толще воды углеводороды выходят в виде многофазной смеси, для надежного их обнаружения обычно требуется сочетание методов прямого и косвенного обнаружения. Преимущество методов прямого обнаружения состоит в том, что нефтяная фаза содержит значительное количество ПАУ, тогда как в газовой фазе содержится главным образом метан. Методы косвенного обнаружения основаны на определении соответствующих параметров в состоянии окружающей среды и различных аномалий.

К стандартным океанографическим параметрам, контролируемым в толще воды, относятся температура воды, содержание растворенного кислорода (РК), кислотность, соленость и мутность. Создание базового набора океанографических условий имеет важное значение, так как

Пример АПА, оснащенного датчиками для измерения солености, температуры, скорости течения, глубины и качества воды.



UHM/SOEST

Система отбора проб воды, установленная на середине корпуса АПА.



MBARI

он может впоследствии использоваться для выявления потенциальных изменений в толще воды, что может быть связано с присутствием шлейфов нефти. Измерение РК особенно важно, так как уровень кислорода ниже исходного или базового может указывать на наличие загрязняющих веществ (таких как углеводороды), подвергающихся процессам биологического разложения микроорганизмами в толще воды.

Для обнаружения различных фаз углеводородов могут использоваться различные методы, что также позволяет сократить ложные показания, которые могут быть характерны в случае применения одного метода. В качестве примера можно привести датчик РК и зонд ПТГ для косвенного обнаружения нефти в толще воды. Такой мониторинг также поможет группе реагирования при определении поведения и направления перемещения подводных шлейфов в ходе разлива. Это, в свою очередь, позволит

контролировать эффективность применения диспергентов и предоставит информацию для оценки потенциального воздействия на окружающую среду.

Также для мониторинга реальной скорости потока рекомендуется рассмотреть вопрос включения акустического метода.

Подробная информация о совместимости различных типов АПА с доступными системами зондирования углеводородов приведены в виде серии таблиц в докладе Battelle, 2014. В таблице 8 на странице 25 этого методического руководства приведен пример одной такой таблицы.

Обзор технологий зондирования, подготовленный API (Arthur и др., 2013), содержит краткий обзор текущих, новых и новейших технологий мониторинга.

Вопросы материально-технического обеспечения и развертывания

Погода и другие условия (например, морские правила) могут ограничивать применение более традиционных технологий наблюдения, используемых на судах, что зависит от ряда факторов, включая:

- размер судна;
- тип судна, требуемого для осуществления операции;
- потребность в отдельной системе запуска и возвращения (СЗВ).

Портативные БНА и АПА можно перевозить на большинстве транспортных средств и они могут быть развернуты на надувных лодках или РИБы с привлечением небольшого количества персонала. Развертывание на небольших лодках в высокой степени будет зависеть от состояния моря. Для этих технологий потребуется должная упаковка (износоустойчивый полевой кожух), которая обычно может содержать дополнительные оперативные элементы, такие как ПК, съемные носители, кабели питания и передачи данных, а также запасные части. Подробная информация о различных типах АПА приведена в докладе Battelle, 2014.

Таблица 8 Глайдеры и матрица совместимости с датчиками прямого обнаружения

<div>1 Скорее всего, датчик не будет совместим.</div> <div>2 Датчик совместим, но может потребоваться наружный монтаж; или датчик может занять практически все доступное полезное место.</div> <div>3 Датчик легко устанавливается и позволяет устанавливать дополнительные элементы.</div> <div>NR = без рейтинга.</div>	Прямое обнаружение																							
	Аппарат	ASD SensorTech BackScat 1	Система обнаружения утечек Bowtech	Система обнаружения утечек в подводных трубопроводах Chelsea Technologies	Флуорометр Chelsea Technologies Unix	УФ-флуорометр Chelsea Technologies UV AquaTrack	Датчик углеводородов и метана Contros HydroC CH ₄	PAV-флуорометр Contros HydroC	Система обнаружения утечек Contros Mobile	Датчик нефти в воде Hach FP 360 SC	Neptune Oceanographic SNIFFIT	Система обнаружения утечек Ocean Tools OceanSENSE	Обнаружитель утечек Phase Hydrocarbon	УФ-флуорометр Sea & Sun Technology	УФ-флуорометр Seapoint	Лазерная система обнаружения утечек Smart Light Devices LDS3	Автоматический радиолокатор обнаружения утечек Sonardyne (ALDS)	Система Teledyne TSS MELDS	TriOS enviroflu-D5	TriOS enviroflu-HC	Погружной флуорометр Turner Designs C3	Turner Designs Cyclops 6K, настраиваемый	Turner Designs Cyclops 7K, настраиваемый	Пассивная акустическая система обнаружения утечек Weatherford BigBears
	ACSA SeaExplorer	NR	1	1	3	1	1	2	1	2	NR	1	NR	NR	2	2	1	NR	NR	1	2	2	NR	
	Глайдер для распыления Bluefin Robotics	NR	2	1	3	2	2	2	1	2	NR	2	NR	NR	2	2	2	NR	NR	2	2	3	3	NR
	Прибрежный глайдер Exocetus	NR	3	2	3	3	3	3	3	3	NR	3	NR	NR	3	3	3	NR	NR	3	3	3	3	NR
	Морской глайдер Kongsberg 1KA	NR	1	1	3	1	1	2	1	2	NR	1	NR	NR	2	2	1	NR	NR	1	2	2	2	NR
	Термальный глайдер Teledyne Webb Research	NR	1	1	3	1	1	2	1	2	NR	1	NR	NR	2	2	1	NR	NR	1	2	2	2	NR
	Глайдер Teledyne Webb Research Slocum G2	NR	1	1	3	1	1	2	1	2	NR	1	NR	NR	2	2	1	NR	NR	1	2	2	2	NR
	Электрический глайдер Teledyne Webb Research Slocum (глайдер на аккумуляторах)	NR	1	1	3	1	1	2	1	2	NR	1	NR	NR	2	2	1	NR	NR	1	2	2	2	NR

Легкие и тяжеловесные АПА (которые иногда называют ЛВА и ТВА, соответственно) обычно запускаются с крановой системы с А-образной рамой или стрелового крана, рампы для запуска и сбора или системы возвращения, разработанной непосредственно для конкретного типа АПА. Стандартная операция возвращения заключается в подъеме АПА, который плавает или дрейфует на поверхности. АПА, как правило, обладают точками подъема, к которым крепятся стропы, и/или носовая дужка для крепления крюковой системы, опускаемой с крана или кран-балки. Этот метод требует должного уровня обращения с оборудованием и соответствующих людских ресурсов. Поскольку многие из этих операций требуют нахождения персонала в непосредственной близости от АПА, для безопасного проведения операций развертывания и возвращения требуются условия относительно спокойного моря. Некоторые системы позволяют крепить систему возвращения с помощью длинного (около 10 м) каната из углеродного волокна.

Для большинства АПА могут использоваться отдельные системы развертывания и возвращения, которые исключают необходимость нахождения вблизи аппарата для крепления канатов. При запуске АПА аппарат открепляется от пусковой рамы и опускается в воду (хвостом вниз). Затем из АПА выпускается трос для возвращения и по команде аппарат уплывает (от носа), а трос затем подбирается экипажем с помощью грейфера. Такой метод доказал свою эффективность в операциях, проводимых в открытом океане.

БНА обычно запускаются с наклонной плоскости в близлежащем порту, после чего они самостоятельно отправляются к рабочей зоне. Также возможно развертывание со вспомогательного судна с помощью кран-балки, крана или А-образной мачты, аналогично АПА. В БНА имеются точки подъема, обычно на носу и корме (легкие суда могут иметь только одну точку подъема). Погодные ограничения на использование БНА аналогичны таковым для АПА. Крепления системы возвращения также схоже с АПА, хотя БНА гораздо более управляемы за счет режима локального управления при нахождении рядом со вспомогательным судном.

Рекомендации для различных сценариев разлива

В таблицах 9-14 приведены рекомендации по приоритетам применения сочетаний датчиков и аппаратов, которые могут использоваться в следующих пяти сценариях разлива:

1. Разлив на прибрежном терминале — небольшой поверхностный разлив.
2. Нефтяной танкер в пути — средний разлив в 25 км от берега на глубине до 10 м.
3. Разлив на морской платформе — небольшой разлив в 50 км от берега на поверхности и глубине до 300 метров.
4. Разрыв трубы в море — средний разлив в 50 км от берега на глубине до 50 м в течение 5 дней.
5. Разрыв скважины на большой глубине — крупный разлив в 100 км от берега на глубине до 2000 м.

Оценка совместимости приводится по следующей шкале:

3 = высокий приоритет сочетания аппарата и датчика для этого сценария.

2 = средний приоритет сочетания аппарата и датчика для этого сценария.

1 = низкий приоритет сочетания аппарата и датчика для этого сценария.

- = несовместимость сочетания аппарата и датчика.

Рейтинги со звездочкой (*) показывают, что датчики и аппараты совместимы, но не могут использоваться без усилий по установке и разработке программного обеспечения/алгоритмов.

Таблицы 9-14 взяты из доклада Battelle 2014 года.

Таблица 9 Рекомендации по сочетанию датчиков и аппаратов для разлива на прибрежном термине — небольшой поверхностный разлив

Сценарий 2. Разлив на прибрежном термине											
Группа датчиков	Датчик	Подводные аппараты				Надводные аппараты					
		Классы АПА			Глайдер	Классы АПА			Управляемые суда		
		Переносные АПА	Легко-/тяжеловесные АПА	АПА с большим ходом		АНА, работающие от энергии волн и ветра	Небольшие АНА	Крупные АНА	Привлекаемое судно	Крупное судно	
Подводные датчики прямого обнаружения	Флуорометр	1*	1*	1*	1*	1*	2	2	2	2	
	НДИК (CH ₄)	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1	
	ПТГ	1	1	1	1	1	2	2	2	2	
	РК (электрохимические)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	РК (оптические)	1	1	1	1	1	2	2	2	2	
Подводные датчики косвенного обнаружения	НДИК (CO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Измеритель мутности	1	1	1	1	1	2	2	2	2	
	Флуоресцентный лидар	-	-	-	-	-	-	-	-	1*	
	Радиолокатор	-	-	-	-	-	-	1	2	2	
	ИК-тепловизоры	-	-	-	-	-	2	2	3	3	
Датчики надводных судов	УФ-тепловизоры	-	-	-	-	-	1	1	2	2	
	Измерители видимого спектра	-	-	-	-	-	2	2	3	3	

Разлив = легкая сырая нефть. Приоритетность: 3 = высокая, 2 = средняя, 1 = низкая, - = несовместимость.

* Технологии существуют, но требуются ресурсы для интеграции и разработки программного обеспечения/алгоритмов.

Таблица 10 Рекомендации по сочетанию датчиков и аппаратов для разлива из нефтяного танкера в море — небольшой разлив, в 25 км от берега на глубине 10 м

Сценарий 3. Нефтяной танкер в пути											
Группа датчиков	Датчик	Подводные аппараты				Надводные аппараты					
		Классы АПА			Глайдер	Классы АПА			Управляемые суда		
		Переносные АПА	Легко-/тяжеловесные АПА	АПА с большим ходом		АНА, работающие от энергии волн и ветра	Небольшие АНА	Крупные АНА	Привлекаемое судно	Крупное судно	
Подводные датчики прямого обнаружения	Флуорометр	1*	2*	1*	1*	3*	1	3	3	3	
	НДИК (CH ₄)	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1	
	ПТГ	1	2	1	1	3	1	3	3	3	
	РК (электрохимические)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Подводные датчики косвенного обнаружения	РК (оптические)	1	2	1	1	3	1	3	3	3	
	НДИК (CO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Измеритель мутности	1	2	1	1	3	1	3	3	3	
	Флуоресцентный лидар	-	-	-	-	-	-	-	-	2*	
Датчики надводных судов	Радиолокатор	-	-	-	-	-	-	3	3	3	
	ИК-тепловизоры	-	-	-	-	-	1	3	3	3	
	УФ-тепловизоры	-	-	-	-	-	1	2	2	2	
	Измерители видимого спектра	-	-	-	-	-	1	3	3	3	

Разлив = легкая сырая нефть. Приоритетность: 3 = высокая, 2 = средняя, 1 = низкая, - = несовместимость.

* Технология существует, но требуются ресурсы для интеграции и разработки программного обеспечения/алгоритмов.

Таблица 11 Рекомендации по сочетанию датчиков и аппаратов для разлива на морской платформе — небольшой разлив, в 50 км от берега на глубине 0 м

Сценарий 4а. Морская платформа (глубина 0 м)										
Группа датчиков	Датчик	Подводные аппараты				Надводные аппараты				
		Классы АПА			Глайдер	Классы АПА			Управляемые суда	
		Переносные АПА	Легко-/тяжеловесные АПА	АПА с большим ходом		АНА, работающие от энергии волн и ветра	Небольшие АНА	Крупные АНА		
Подводные датчики прямого обнаружения	Флуорометр	1*	1*	1*	1*	2*	1	2	2	2
	НДИК (CH ₄)	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1
	ПТГ	1	1	1	1	2	1	2	2	2
	РК (электрохимические)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Подводные датчики косвенного обнаружения	РК (оптические)	1	1	1	1	2	1	2	2	2
	НДИК (CO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Измеритель мутности	1	1	1	1	2	1	2	2	2
	Флуоресцентный лидар	-	-	-	-	-	-	-	-	1*
Датчики надводных судов	Радиолокатор	-	-	-	-	-	-	3	2	3
	ИК-тепловизоры	-	-	-	-	-	1	3	2	3
	УФ-тепловизоры	-	-	-	-	-	1	2	2	3
	Измерители видимого спектра	-	-	-	-	-	1	3	2	3

Разлив = легкая сырая нефть. Приоритетность: 3 = высокая, 2 = средняя, 1 = низкая, - = несовместимость.
* Технология существует, но требуются ресурсы для интеграции и разработки программного обеспечения/алгоритмов.

Таблица 12 Рекомендации по сочетанию датчиков и аппаратов для разлива на морской платформе — небольшой разлив, в 50 км от берега на глубине 300 м

Сценарий 4б. Морская платформа (глубина 300 м)											
Группа датчиков	Датчик	Подводные аппараты				Надводные аппараты					
		Классы АПА			Глайдер	Классы АПА			Управляемые суда		
		Переносные АПА	Легко-/тяжеловесные АПА	АПА с большим ходом		АНА, работающие от энергии волн и ветра	Небольшие АНА	Крупные АНА	Привлекаемое судно	Крупное судно	
Подводные датчики прямого обнаружения	Флуорометр	2*	3*	2*	2*	2*	1	3	2	3	
	НДИК (CH ₄)	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1	
	ПТГ	2	3	2	2	2	2	3	2	3	
Подводные датчики косвенного обнаружения	РК (электрохимические)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	РК (оптические)	2	3	2	2	2	2	3	2	3	
	НДИК (CO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Измеритель мутности	2	3	2	2	2	2	3	2	3	
	Флуоресцентный лидар	-	-	-	-	-	-	-	-	1*	
Датчики надводных судов	Радиолокатор	-	-	-	-	-	-	3	2	3	
	ИК-тепловизоры	-	-	-	-	-	1	3	2	3	
	УФ-тепловизоры	-	-	-	-	-	1	2	2	3	
	Измерители видимого спектра	-	-	-	-	-	1	3	2	3	

Разлив = легкая сырая нефть. Приоритетность: 3 = высокая, 2 = средняя, 1 = низкая, - = несовместимость.

* Технология существует, но требуются ресурсы для интеграции и разработки программного обеспечения/алгоритмов.

Таблица 13 Рекомендации по сочетанию датчиков и аппаратов для разлива из разорванного трубопровода — небольшой разлив, в 50 км от берега на глубине 50 м в течение 5 дней

Сценарий 5. Разрыв трубопровода в море											
Группа датчиков	Датчик	Подводные аппараты				Глайдер	Надводные аппараты				
		Классы АПА			АПА с большим ходом		Классы АПА			Управляемые суда	
		Переносные АПА	Легко-/тяжеловесные АПА	АНА, работающие от энергии волн и ветра			Небольшие АНА	Крупные АНА	Привлекаемое судно		Крупное судно
Подводные датчики прямого обнаружения	Флуорометр	1*	3*	1*	1*	1*	2*	1	3	2	3
	НДИК (CH ₄)	1*	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1
	ПТГ	1	3	1	1	1	2	1	3	2	3
Подводные датчики косвенного обнаружения	РК (электрохимические)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	РК (оптические)	1	3	1	1	1	2	1	3	2	3
	НДИК (CO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Измеритель мутности	1	3	1	1	1	2	1	3	2	3
Датчики надводных судов	Флуоресцентный лидар	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1*
	Радиолокатор	-	-	-	-	-	-	-	3	2	3
	ИК-тепловизоры	-	-	-	-	-	-	1	3	2	3
	УФ-тепловизоры	-	-	-	-	-	-	1	2	2	3
	Измерители видимого спектра	-	-	-	-	-	-	1	3	2	3

Разлив = легкая сырая нефть. Приоритетность: 3 = высокая, 2 = средняя, 1 = низкая, - = несовместимость.

* Технологии существуют, но требуются ресурсы для интеграции и разработки программного обеспечения/алгоритмов.

Таблица 14 Рекомендации по сочетанию датчиков и аппаратов при выбросе из скважины на большой глубине — крупный разлив, в 100 км от берега на глубине 2 000 м

Сценарий 6. Выброс из скважины на большой глубине (типа Mascondo)										
Группа датчиков	Датчик	Подводные аппараты				Надводные аппараты				
		Классы АПА			Глайдер	Классы АПА				Управляемые суда
		Переносные АПА	Легко-/тяжеловесные АПА	АПА с большим ходом		АНА, работающие от энергии волн и ветра	Небольшие АНА	Крупные АНА	Привлекаемое судно	
Подводные датчики прямого обнаружения	Флуорометр	1*	3*	3*	3*	3*	1	3*	1	3
	НДИК (CH ₄)	1*	1*	1*	1*	1*	1	1*	1	1
	ПТГ	1	3	3	3	3	1	3	1	3
Подводные датчики косвенного обнаружения	РК (электрохимические)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	РК (оптические)	1	3	3	3	3	1	3	1	3
	НДИК (CO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Измеритель мутности	1	3	3	3	3	1	3	1	3
Датчики надводных судов	Флуоресцентный лидар	-	-	-	-	-	-	-	-	2*
	Радиолокатор	-	-	-	-	-	-	3	1	3
	ИК-тепловизоры	-	-	-	-	-	1	3	1	3
	УФ-тепловизоры	-	-	-	-	-	1	3	1	3
	Измерители видимого спектра	-	-	-	-	-	1	3	1	3

Разлив = легкая сырая нефть. Приоритетность: 3 = высокая, 2 = средняя, 1 = низкая, - = несовместимость.

* Технология существует, но требуются ресурсы для интеграции и разработки программного обеспечения/алгоритмов.

Подготовка ресурсов для подводного и поверхностного наблюдения

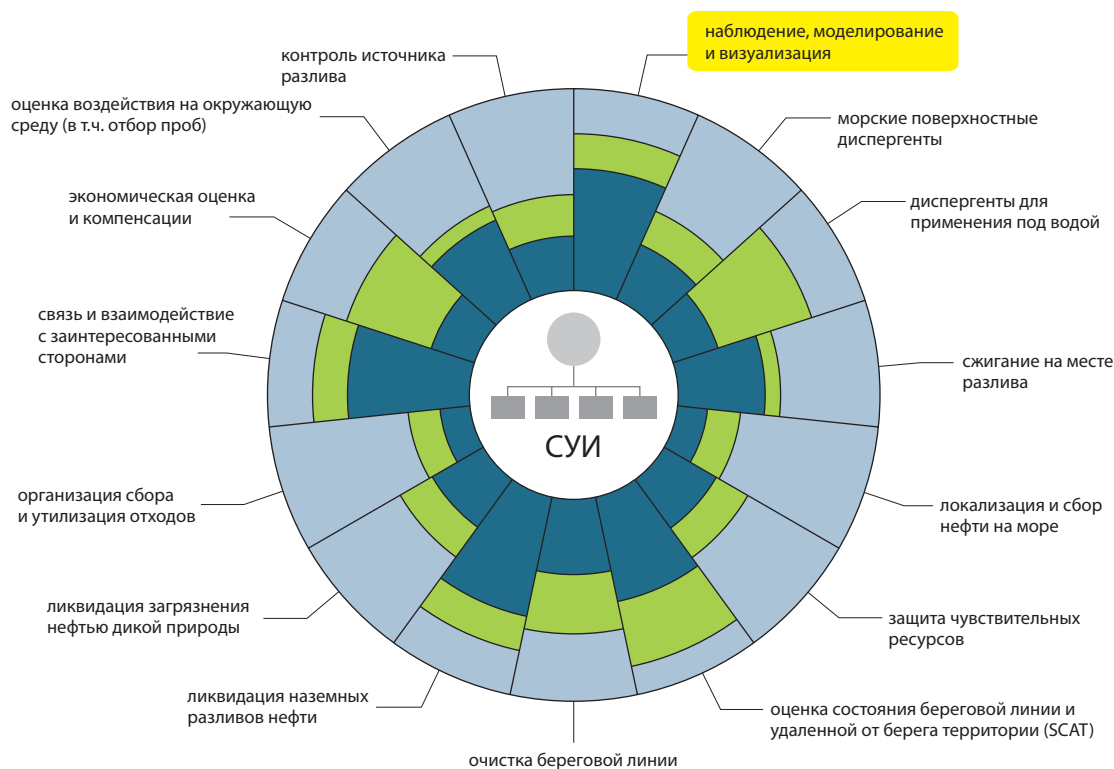
Роль наблюдения в системе управления инцидентами

Наблюдение является одним из 15 ключевых ресурсов в системе многоуровневой готовности к нефтяным разливам и их ликвидации. Получить дополнительную информацию по данному вопросу можно в практических рекомендациях IPIECA-IOGP по многоуровневой готовности к разливам нефти и их ликвидации (IPIECA-IOGP, 2015a) и по системе управления инцидентами (IPIECA-IOGP, 2016a). Информация из этих методических рекомендаций поможет в структурировании процесса принятия решений относительно ресурсов и возможностей, необходимых для подводного и поверхностного наблюдения в пределах организации и для соответствующего события (или учений).

Рисунок 4 подготовлен на основании методического руководства по многоуровневой готовности к разливам и их ликвидации, на котором показаны 15 областей ресурсов, включая наблюдение, моделирование и визуализацию.

Помимо элемента наблюдения, эта многоуровневая система устанавливает требования к моделированию и визуализации. Данные наблюдения, наряду с прогнозированием движения разлива нефти, должны быть преобразованы в полезную, надлежащим образом представленную, своевременную информацию для принятия обоснованных решений во время ликвидационной операции.

Рисунок 4 Модель многоуровневой готовности к разливам и их ликвидации



Уровень 1

Уровень 2

Уровень 3

Каждый сегмент многоуровневой модели обеспечения готовности к разливам и их ликвидации, представляет один из 15 элементов, соответствующих ресурсам, сочетание которых на графическом изображении иллюстрирует весь инструментарий для ликвидации инцидентов в определенной области или для определенного вида деятельности. Если какой-либо тип ресурсов не относится к конкретному сценарию, он просто остается пустым. Подразделы внутри каждого сегмента показывают относительные пропорции ресурсов уровня 1, 2 и 3, которые необходимы для разрешения текущего сценария.

Ресурсы для подводного наблюдения в многоуровневой системе реагирования

Решение о реализации технологий (при необходимости) подводного или поверхностного наблюдения собственными силами следует принимать в рамках этапа планирования любых мероприятий в операции ликвидации разлива нефти.

Межотраслевым проектом по ликвидации аварийного разлива нефти вопрос планирования реагирования решается более общим подходом на основе рисков. Полная информация, включая разные возможные сценарии и оценки рисков, наряду с рассмотрением вопроса по определению ресурсов для ликвидации нефтяных разливов, включая оборудование, персонал и материально-техническое обеспечение, можно найти в руководстве IPIECA-IOGP, 2013.

В процессе принятия решений относительно операций подводного наблюдения рекомендуется рассмотреть следующие вопросы:

- Существуют ли нормативные требования к рассматриваемым технологиям наблюдения, а при их наличии каким образом эти требования могут быть удовлетворены?
- Существует ли соответствующая технология в локальном или национальном центре, которую можно было бы задействовать в рамках ликвидационной операции (т.е. в качестве ресурса уровня 2 или 3)?
- Отвечают ли эти ресурсы требованиям местного законодательства?
- Потребуется ли получение предварительных утверждений при возникновении необходимости в импорте технологий?
- Имеются ли контракты или соглашения на доступ к такой поддержке?
- Существуют ли надежные планы управления рисками и вопросами безопасности для обеспечения безопасного развертывания морских автономных систем, а также в части более широкой программы подводного наблюдения?
- Помимо технологий наблюдения (например, АПА и возможно АНА и БНА), какая другая материально-техническая поддержка необходима (например, суда)?
- Имеются ли соглашения о привлечении необходимых судов или взаимные соглашения о развертывании необходимых технологий?
- Доступен ли компетентный и соответствующим образом подготовленный персонал для развертывания оборудования?
- Нанимается ли этот персонал оператором или он предоставляется вместе с оборудованием?
- Откалиброваны ли приборы и ведется ли процесс документирования калибровки?
- Доступны ли приборы для развертывания?
- Учитывая характер разлитой нефти, включены ли соответствующие датчики в платформы подводного и поверхностного наблюдения?
- Соответствует ли набор доступных ресурсов условиям окружающей среды и глубине в месте потенциального инцидента?
- Требуется ли предварительные разрешения на развертывание систем наблюдения? Это может быть конкретное требование в отношении автономных систем с расширенным диапазоном действия.
- Требуется ли привлечение группы ученых для оказания помощи в развертывании оборудования и мониторинге операции?
Совместимы ли задачи, которые ставятся перед научной группой, с задачами ликвидационной операции?
Предусмотрены ли в структуре СУИ организации возможности управления научной группой?
- Каким образом данные, поступающие из различных систем зондирования и платформ, будут отражаться в реальном времени (или близком к тому) в СУИ?
- Имеются ли в СУИ организации возможности своевременной интеграции информации, поступающей из систем подводного и надводного наблюдения, в оперативную картину реагирования?

- Были ли проведены испытания в виде учений и/или практических занятий для обеспечения работоспособности оборудования, надлежащей передачи данных в ООК и их отображения?

В любом случае значение планирования ресурсов для наблюдения невозможно переоценить. Операция ликвидации разлива нефти, не полагающаяся на подробное планирование и конкретные платформы и датчики, будет крайне неэффективной.

Подводное наблюдение и мониторинг закачивания диспергента под водой

Одной из главных задач подводного наблюдения является мониторинг эффективности закачивания диспергента под водой (ЗДПВ). Для многих из приведенных выше вопросов потребуются более широкий анализ на этапе планирования при оценке потенциального использования метода ЗДПВ. Подробный план подводного и надводного мониторинга поможет в определении расходных материалов, оборудования, персонала и мероприятий, необходимых для эффективного использования и оценки ЗДПВ в случае разлива. Решение этих требований в процессе планирования операции позволит достигнуть более эффективных и действенных результатов в ходе реальной ликвидационной операции.

Подробную информацию о закачивании диспергентов под водой см. в методическом руководстве IPIECA-IOGP 2015b. В этом документе приведен обзор методов подводного мониторинга и оценки, использованных в ходе ликвидации разлива на месторождении Macondo в Мексиканском заливе в апреле 2010 года, когда метод ЗДПВ был применен впервые. Также в нем приведена подробная информация о мониторинге толщи воды в ходе ликвидации инцидента Macondo.

Выделяется три основных оперативных задачи в ходе подводного мониторинга (см. также страницы 37-40):

- мониторинг закачивания диспергента под водой и оценка эффективности этого метода;
- характеристика поведения и размеров шлейфов диспергированной нефти в толще воды;
- первоначальная оценка возможных экологических последствий и их связь с принятием оперативных решений в рамках операции ликвидации нефтяного разлива.

Всякий раз, когда происходит подводный разлив нефти, существует вероятность того, что часть нефти поднимется на поверхность, где могут быть применены более традиционные методы мониторинга. Это может включать поверхностные пилотируемые и беспилотные суда и аппараты, а также использование аэрофотоснимков и спутниковых систем наблюдения. Более



Подготовлено на основании видео, предоставленного компанией BP и снятого ПТСДУ

На изображениях слева демонстрируется закачивание диспергентов в шлейф нефти и газа, вытекающих из разлома в забое скважины во время инцидента Macondo в 2010 году. Диспергенты подавались в шлейф через «трубку» или «зонд», направляемый ПТСДУ и управляемый оператором аппарата.

подробная информация по этим темам приведена в методических руководствах IPIECA-IOGP по воздушному наблюдению (IPIECA-IMO- IOGP, 2015) и спутниковому дистанционному зондированию (IPIECA-IOGP, 2016b). Следует отметить, что при поверхностном наблюдении возможно использование технологий, связанных с протоколами специального мониторинга из применяемых протоколов технологий реагирования (SMART) (NOAA, 2006).

Интеграция такого многообразия данных наблюдения в рамках СУИ рассматривается в этом методическом руководстве. В рамках межотраслевого проекта по ликвидации аварийного разлива нефти разработаны рекомендуемые практики по ООК (IPIECA-IOGP, 2015d), которые подробно рассматриваются на страницах 42-43 этого руководства.

Подводные наблюдения также могут использоваться для отслеживания физических и химических параметров в толще воды для лучшего понимания экологических последствий разлива. Данные о физических параметрах, таких как температура, проводимость (соленость) и океанские течения, могут внести неоценимый вклад в модели гидродинамических свойств и шлейфа разлива нефти. Чтобы максимизировать эти преимущества для оперативного принятия решений, данные должны поступать и передаваться в режиме реального времени (или очень близком к тому). Усвоение данных в модели разлива нефти может значительно повысить ее эффективность в части прогнозирования движения разлива нефти, а значит и процесса принятия решений относительно мер реагирования. Планирование интеграции моделей разлива в ООК должно проводиться до фактического разлива с последующей отработкой в рамках учений или тренировочных занятий.

Решение о создании собственных внутренних возможностей (то есть платформ и датчиков) для подводного наблюдения и планирования организации этих ресурсов потребует тщательного рассмотрения. Этот процесс включает регулярное техническое обслуживание систем и калибровку датчиков. В связи с этим должны быть приняты соответствующие процедуры по обеспечению быстрой доступности аккумуляторов, используемых аппаратами и датчиками, в кратчайшие сроки после начала учений или ликвидационной операции. При создании таких внутренних возможностей будет важно с самого начала определить, будет ли оборудование:

- специальным (т.е. не используемым в рамках других операций) или общим (т.е. предназначенным для различных предприятий);
- целевым (для подчеркивания оперативного предназначения);
- обладать уникальным циклом обслуживания и/или возможностью быстрого развертывания (для подчеркивания состояния повышенной готовности).

Помимо оборудования, необходимого для подводного наблюдения, потребуется соответствующим образом подготовленный персонал. Следует четко определить должностные функции, обязанности и подчиненность, наряду с используемыми стратегиями коммуникации между различными группами, такими как группы мониторинга и научные команды, группы планирования и материально-технического обеспечения, персонал ООК и ГИС и т.д. Основные заинтересованные стороны в группе командования инцидентом должны быть в полной мере осведомлены о технологиях подводного наблюдения и персонале для максимизации преимуществ от найма и удержания сотрудников, а также оказывать им поддержку.

Также существует альтернативный подход, который заключается в поиске региональных источников ресурсов и персонала для подводного наблюдения. Примером является региональная программа реагирования, которая действовала в Мексиканском заливе под эгидой Марин Велл Контейнмент Компани (MWCC). Это обеспечило доступность нужного оборудования и позволило персоналу применить рекомендации API (2013a) по мониторингу использования ЗДПВ.

Применение технологий в ходе ликвидационной операции под водой

В API разработаны методические рекомендации для промышленности, в первую очередь регулирующие оперативный мониторинг во время операций по ЗДПВ (API, 2013a). Данные мониторинга используются для облегчения принятия решений о продолжении или корректировке операции по закачиванию диспергентов под водой в ходе операции реагирования. Большинство рекомендаций API имеет относительную связь с подводным наблюдением. Основной задачей мониторинга метода ЗДПВ является сбор данных для мониторинга в режиме реального времени (или близком к этому), которые могут использоваться в качестве основы для принятия оперативных решений на текущий оперативный период.

Мониторинг данных, которые не являются легкодоступными в СУИ через ООК, не может помочь в принятии оперативных решений, но может быть полезен для проведения оценки после разлива. Стратегии мониторинга, предназначенные для оценки состояния окружающей среды, также могут предполагать использование многих платформ и датчиков, обсуждаемых в данном руководстве, хотя большая часть собранных данных потребует более подробного анализа и интерпретации, если они будут использоваться для оценки состояния окружающей среды в результате разлива. Этот вопрос не рассматривается в этом руководстве.



Framepool

Данные мониторинга полезны в процессе принятия решений о продолжении или корректировке операции по закачиванию диспергентов под водой в ходе операции реагирования. На изображении слева показаны три ПТСДУ, которые следят за шлейфом нефти и газа, вытекающих из разлома в забое скважины во время инцидента Macondo в 2010 году.

В зависимости от расположения и характера разлива нефти, на получение ресурсов для проведения подводного и надводного наблюдения на месте разлива может потребоваться несколько дней. Местным законодательством могут быть установлены требования по обеспечению наличия средств мониторинга до начала применения метода ЗДПВ. Несмотря на то, что для защиты здоровья работников, обеспечения безопасности, охраны экологически чувствительных надводных и подводных ресурсов требуется как можно раньше после разлива начать применение метода ЗДПВ, в большинстве случаев будет иметься возможность обеспечить наличие средств мониторинга для осуществления должного контроля в процессе закачивания диспергентов.

Мониторинг применения диспергентов под водой

Как сказано в докладе API (2013a) и методическом руководстве IPIECA-IOGP по подводному применению диспергентов (IPIECA-IOGP, 2015b), при мониторинге ЗДПВ встанут следующие основные задачи:

1. мониторинг закачивания диспергента под водой и оценка эффективности этого метода;
2. характеристика поведения и размеров шлейфов диспергированной нефти в толще воды;
3. первоначальная оценка возможных экологических последствий и их связь с принятием оперативных решений в рамках операции ликвидации нефтяного разлива.

Это последовательные этапы, сложность которых с течением времени возрастает. В идеальных условиях все эти этапы будут выполняться одновременно, но вопросы материально-технического обеспечения могут обусловить использование поэтапного подхода в соответствии с рекомендациями API. Далее приводится описание каждого из перечисленных этапов.

Этап 1: Оценка эффективности использования диспергентов под водой

До начала применения метода ЗДПВ в месте предполагаемого закачивания потребуется провести мониторинг для определения исходных условий и подготовки рекомендаций по выбору методов и скорости закачивания диспергентов. Первоначальный мониторинг позволяет решить следующие задачи по:

- характеристике пространственного и временного распределения подводного выброса углеводородов;
- оценке скорости потока нефти и газа;
- определению свойств и поведения разлитой нефти.

Подводный мониторинг включает следующие элементы:

- Визуальную оценку с помощью ПТСДУ, оснащенных видеокамерами: данные съемки могут быть проанализированы для определения фактов изменения цвета, плотности и/или формы видимого шлейфа.
- Радиолокационную акустическую оценку на основании сигнала обратного рассеяния с помощью устройства на ПТСДУ: радиолокатор, настроенный на определенную частоту, должен давать более сильный сигнал перед началом закачивания диспергентов, и более слабый — после начала подачи.
- Последние работы API и SINTEF привели к разработке SilCam (силуэтная камера), которая показала способность более точно определять фракционное распределение капель и отношение объема нефти к газу.

Кроме подводного мониторинга, в процессе оценки могут использоваться данные поверхностного наблюдения, а именно:

- Аэрофотосъемка используется для оценки поверхностных изменений и площади распространения нефти: сравнение аэрофотоснимков до и после начала применения метода ЗДПВ позволит оценить степень уменьшения объемов нефти, выходящей на поверхность.
- Надводные суда вблизи источника разлива могут использоваться для мониторинга ЛОС и нижнего порога взрываемости (LEL). При успешном применении метода ЗДПВ может наблюдаться значительное снижение концентрации ЛОС, однако результаты инцидента Mascondo в 2010 году в Мексиканском заливе свидетельствуют о том, что это сложный процесс и взаимосвязь может оказаться не настолько прочной, как предполагается в теории.

Рекомендуется разработать и задействовать программу мониторинга ЛОС/LEL, которая должна включать соответствующий компонент численного моделирования. Такой подход «безопасность в первую очередь» рекомендуется применять как в ходе реальных ликвидационных операций, так и в ходе учений, когда использование диспергентов может повысить способность безопасного контроля источника разлива.

Одним из вопросов, связанных с мониторингом с пилотируемых надводных судов, является потенциальное вредное воздействие ЛОС на персонал. Соответствующий мониторинг допустимого уровня воздействия (PEL) может быть дополнен жетонами мониторинга паров, носимыми персоналом. В идеальном случае этот тип мониторинга ЛОС будет проводиться с помощью беспилотных морских и/или воздушных дронов, оснащенных соответствующим образом, что позволит снизить риски для здоровья и безопасности ликвидационного и другого персонала.

Этап 2: Характеристика поведения и площади охвата шлейфа диспергированных углеводородов в толще воды

Задачи этого этапа подводного мониторинга:

- определение местоположения, размеров и характеристик растворенных и диспергированных углеводородов в толще воды;
- оценка характеристик поперечного и вертикального движения растворенных и диспергированных углеводородов;
- документирование изменения концентрации углеводородов по мере их удаления от источника.

Основная стратегия мониторинга включает в себя использование соответствующего надводного судна. Оно обычно оснащается А-образной рамой и лебедкой для разворачивания системы ПТГ для измерения проводимости, температуры и глубины. Как правило, система ПТГ также будет оснащаться розеткой для отбора проб воды с баллоном Niskin, флуорометром и датчиком растворенного кислорода. Забор проб воды для последующего подробного химического анализа производится по результатам ПТГ по выбранным станциям. Пробы воды для контроля растворенного кислорода должны быть взяты в нескольких точках: выше, на глубине и ниже точки, где наблюдалось увеличение флуорометрического отклика. После сбора данных с приборов пробы воды помещаются в подходящие контейнеры и хранятся до последующего анализа с сопутствующими метаданными.

Кроме системы ПТГ, для контроля размера частиц нефтяных капель в режиме реального времени может применяться глубоководный анализатор размера частиц (LISST, SilCam). Значительная разница в размерах крупных и мелких капель является индикатором диспергирования нефти.

Локальные океанографические данные в сочетании с гидродинамическими моделями (если таковые доступны) помогут определить вероятное направление движения подповерхностной нефти. Определение мест отбора проб воды должно быть основано на информации, полученной из заслуживающей доверия объемной модели подводного нефтяного разлива. Такие модели постоянно развиваются и совершенствуются, поэтому рекомендуется следить за тем, чтобы использовалась самая последняя версия. В идеальном случае выбранную модель необходимо проверить на этапе планирования. В рамках межотраслевого проекта по ликвидации аварийного разлива нефти были разработаны рекомендации по контролю гидродинамической модели (Actimar, 2015a).

Точность модели нефтяного разлива будет напрямую зависеть от степени учета атмосферных и гидродинамических параметров (как исходных, так и оперативных). Таким образом, где это возможно, рекомендуется внедрять в систему метеорологические и океанографические данные из области разлива, поступающие в режиме реального времени и близком к тому. По мере поступления океанографические данные добавляются в глобальную систему наблюдения за океаном (GOOS). Недавнее глобальное исследование систем наблюдения за океаном можно найти в документе Ocean News & Technology (2015). Изучение роли внедрения данных в океанические модели стало предметом масштабного исследования ООН в рамках глобального эксперимента по усвоению океанографических данных (ГЭУОД). Результаты этой исследовательской работы и последние выводы можно найти в специальном выпуске журнала *Journal of Operational Oceanography* (IMarEST, 2015).

Обзор имеющихся баз гидрометеорологических данных и ресурсов по разным океаническим бассейнам можно найти в работе, выполненной Actimar в рамках межотраслевого проекта по ликвидации аварийного разлива нефти (2015b). Кроме того, этот доклад содержит полный обзор

различных атмосферных и гидродинамических моделей. Среди них имеются как глобальные модели, предназначенные для использования в конкретных бассейнах, так рекомендации в части наиболее подходящих моделей для использования в том или ином бассейне.

Выходные данные моделей нефтяных разливов могут оцениваться в сравнении с местными данными наблюдений за шлейфами нефти в толще воды и на поверхности. Может возникнуть необходимость применения различных моделей или модели одного шлейфа с несколькими гидродинамическими граничными условиями, чтобы определить прогноз «консенсуса» для наиболее вероятного положения шлейфа и выбора оптимальных точек для будущего отбора проб.

Если не существует моделей, способных помочь в выборе мест отбора проб, то потребуются разработка сетки отбора проб с центром в месте разлива. Станции устанавливаются по радиальной схеме, располагаясь на определенном расстоянии от центра, и для определения направления движения диспергированной нефти используют показания флуорометра на корпусе системы ПТГ и показатели LISST. Помимо фиксированного массива, можно разработать адаптивную систему размещения станций или массивов, которые дополняют стационарные станции по ходу развития сценария разлива.

Тем не менее, при определении шаблона отбора проб особое внимание должно быть уделено соответствию судна мониторинга и операций с применением ПТСДУ с другими материально-техническими мероприятиями вокруг места разлива. Решения об одновременных оперативных мероприятиях (SIMOPS) станут неотъемлемой частью СУИ. Подробные и актуальные знания о расположении судов, платформ и датчиков, задействованных в операции подводного наблюдения и мониторинга, потребуются отразить в ООК для облегчения процессов принятия решений.

Этап 3: Первоначальная оценка возможных экологических последствий

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

В рамках любой операции по наблюдению и учений по сбору данных важно понимать и соответствовать стандартам, пороговым значениям и причинам сбора данных, возвращаемых в ходе учений по ведению наблюдения. Это обеспечит значимость собранных данных с точки зрения управления ликвидационной операцией, а также способность данных подтвердить или опровергнуть наличие отрицательного воздействия в сравнении с определенными или согласованными базовыми уровнями.

Планирование обеспечения качества

Для оценки методологии отбора проб, обращения, процесса документирования и очистки потребуется соответствующий план проекта обеспечения качества (ППОК), который обеспечит максимальное качество собираемых и сохраняемых данных. ППОК должен включать следующие элементы:

- введение с описанием задач проекта и привлекаемого персонала;
- описание и базовые данные по участку, включая барометрические данные, сведения об океанских течениях, отложениях и других геологических свойствах; в описании должны быть указаны все соответствующие места естественного выхода нефти и/или инфраструктура добычи природного газа;
- описание протоколов отбора проб и мониторинга, задачи качества данных, стратегии охраны здоровья и безопасности;
- план обеспечения качества для реализации процедур документирования, ведения полевых журналов и обращения с качественными данными, включая фотографии и видеозаписи.

Использование и передача данных и информации

В ходе операции по ликвидации инцидента Macondo в 2010 году было собрано огромное множество данных наблюдения из множества различных источников. Ключевой проблемой стала задача превращения таких больших объемов данных в информацию, которая могла бы помочь в операции реагирования. Нельзя недооценивать значимость существующих результатов исследований (например, оценки экологической чувствительности) и базовых данных, которые должны быть введены в ООК на этапе предварительного планирования. Это ускорит принятие решений в ходе инцидента, когда в Центр командования инцидентом будут поступать значительные объемы новых данных и информации в ходе реального инцидента или учений.

Точная, своевременная информация с привязкой к местности имеет важнейшее значение для оперативных и стратегических решений. Преграды создания синхронизированной ситуационной осведомленности, выявленные в ходе операции по ликвидации инцидента Macondo, включали (USCG, 2011):

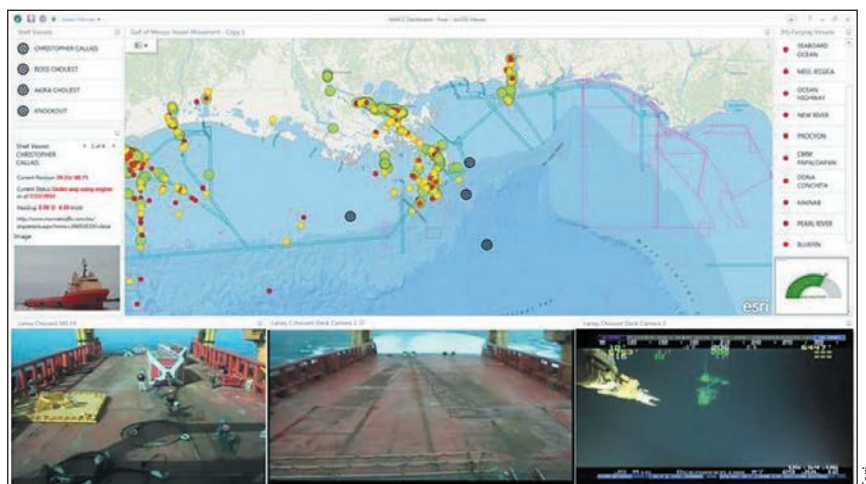
- отсутствие должной договоренности о данных, которые должны отслеживаться и передаваться;
- обширную географию места проведения работ;
- отсутствие надлежащих функционально совместимых технологий коммуникации;
- ограниченную возможность доставки данных в режиме реального времени в организационной структуре реагирования, как вертикально, так и горизонтально;
- различные стандарты вычислений.

Общая оперативная картина реагирования (ООК)

Уроки, извлеченные в ходе анализа этих барьеров в рамках межотраслевого проекта по ликвидации аварийного разлива, привели к разработке рекомендуемых практик по архитектуре общей оперативной картины реагирования (ООК) (IPIECA-IOGP, 2015d). Следуя инструкциям этого методического руководства, можно решить множество проблем, которые помешали своевременному принятию решений в ходе ликвидации инцидента Macondo. Не последним элементом в этих выводах является разработка плана управления информацией (ПУИ), который должен включать:

- согласованные стандарты данных;
- требования к полевой отчетности;
- форматы передачи данных;
- политику управления доступом;
- требования к архивированию данных.

Пример рабочего стола с геопространственной оперативной картиной реагирования на нефтяной разлив



Ниже приведены элементы, имеющие особое значение для подводного наблюдения:

- Точная географическая привязка данных наблюдения к общей системе координат.
- Вертикальная опорная точка, соответствующая месту (т.е. средний уровень моря, нуль карты).
- Метаданные, описывающие источник, место, порядок отбора проб и выходные единицы, а также форматы потоков данных, включая источники видеозаписей.
- Форматы данных, совместимые с OGC¹: следует отметить, что многие существующие системы подводного зондирования используют собственные форматы выходных данных, которые не соответствуют стандартам OGC (Battelle, 2014).
- Маркировка оперативных активов для облегчения определения и отслеживания использования оборудования и активов, например использование передатчиков системы автоматического распознавания (CAP) на надводных судах.
- Системы и процедуры обработки и анализа входящих данных для получения информации, которая может использоваться для оперативного принятия решений группой реагирования. Может включать интеграцию с другими имеющимися данными и информацией в рамках ООК и потребует привлечения соответствующих экспертов для выполнения общей оценки.
- Сохранение истории обработок и рабочих процессов в части сгенерированной информации и продуктов для последующих оценок.

Моделирование нефтяных разливов

Моделирование разливов нефти в рамках ликвидационной операции включает три главных компонента:

1. моделирование траектории разлива нефти/шлейфа;
2. моделирование гидродинамических и атмосферных параметров, таких как волны, течения и ветра, которые влияют на модели разлива и шлейфа;
3. атмосферное моделирование ЛОС и LEL.

Выбор соответствующей модели потребует опыта специалистов как по экологическим, так и гидрометеорологическим вопросам. Как было сказано ранее, точность моделей нефтяных разливов будет напрямую зависеть от степени учета атмосферных и гидродинамических параметров (как исходных, так и оперативных). Результаты любой модели должны проверяться в сравнении с полевыми данными и результатами наблюдения. Если используется набор моделей, то изо дня в день выбор наиболее точных результатов может меняться, в зависимости от конкретных гидродинамических и атмосферных условий.

Результирующие данные модели, вероятнее всего, будут поступать в ООК в различных форматах. Кроме того, интеграция результирующих данных модели с имеющимися гидрометеорологическими данными и данными наблюдения может осложниться из-за множества используемых форматов. Везде, где это возможно, эти моменты следует согласовывать и кодифицировать на этапах планирования, и затем испытывать в рамках тренировок и учений для обеспечения возможности своевременного использования поступающей информации группой реагирования.

¹ Открытый геопространственный консорциум (OGC) — международный консорциум из более чем 480 компаний, правительственных учреждений, научно-исследовательских организаций и университетов, участвующих в процессе достижения консенсуса по разработке общедоступных геопространственных стандартов. Стандарты OGC поддерживают совместимые решения, объединяющие Интернет, беспроводные службы, службы определения местоположения и распространенное программное обеспечение. Стандарты OGC позволяют разработчикам технологий делать геопространственную информацию и услуги легкодоступными для любого приложения, использующего и обрабатывающего геоданные. www.opengeospatial.org

Инновации и будущие технологические разработки

Подводное наблюдение является одной из нескольких областей реагирования на разливы нефти, которые в настоящее время находятся на стадии быстрого технологического развития, включая разработки в технологиях зондирования, базовых платформ, программных систем и технологиях производства аккумуляторов. Кроме того, сопутствующие средства моделирования и визуализации, которые необходимы для представления информации группам реагирования, также развиваются быстрыми темпами.

В США Межведомственный координационный комитет по исследованиям загрязнений нефтью (ICCOPR) недавно опубликовал свой шестилетний план исследований и разработок в области нефтяных разливов (ICCOPR, 2015). Он включает в себя разделы, относящиеся к обнаружению и наблюдению за разливами нефти. Подобный перспективный отчет также подготовлен группой экспертов для Канадского королевского общества (*Lee и др., 2015*).

Опорные платформы

Развитие технологий для платформ подводного наблюдения также протекает достаточно быстро. Инновации охватывают целый ряд различных аспектов. Некоторые из них кратко рассматриваются ниже и, при соответствующей разработке и тестировании, могут значительно расширить возможности реагирования на разливы нефти в ближайшие годы.

Гибридные аппараты, которые сочетают в себе некоторые возможности АПА и ПТСДУ, также находятся в стадии разработки. Эта технология изначально была разработана для военных рынков и морских операций по проверке объектов нефтегазовой отрасли, но также могут быть адаптированы для миссий наблюдения за разливами нефти. Среди примеров можно назвать Saab Sabretooth, который сочетает в себе зависающий АПА и ПТСДУ с возможностью работы на глубине. Операции могут контролироваться оператором через тонкий оптоволоконный кабель, или устройство может быть отвянуто и работать в автономном режиме.

Функциональность АПА включает в себя обход препятствий, управление на основе поведения, зависание и возможность для подводной стыковки.

Последняя позволяет заряжать аккумуляторы и передавать данные, обеспечивая возможность

развертывания более чем на шесть месяцев без обслуживания, исключая дополнительные затраты на приобретение и обслуживание сопровождающего судна.

В некоторых странах в настоящее время особое внимание (и финансирование) направлено в сторону морской робототехники. Европейский союз в рамках программы Horizon 2020 финансирует разработку глубоководных глайдеров с возможностями погружения на глубину от 2400 до 5000 метров. В Великобритании за Национальным центром океанографии в Саутгемптоне закреплен Центр инноваций в области морской робототехники, который получает значительные государственные инвестиции. Большая часть работ, проводимых Центром инноваций в области морской робототехники, направлены на повышение возможностей и экономической эффективности систем мониторинга мирового океана, как для научных, так и военных и коммерческих целей. В области морской науки в настоящее время для некоторых видов морского наблюдения оценивается возможность использования автономных систем вместо научно-исследовательских судов, которые требуют дорогой рабочей силы, технического обслуживания и эксплуатационных расходов.

Saab Sabretooth — это новая разработка в области технологий гибридных АПА/ПТСДУ для подводного наблюдения; он сочетает в себе возможности зависания и работы на большой глубине, увеличенное время автономной работы и увеличенную тягу для ускоренных исследований в условиях больших течений.



Многие текущие разработки в Центре инноваций в области морской робототехники и других морских научно-исследовательских центрах могут применяться для подводного наблюдения разливов нефти, например:

- Ведутся работы по совершенствованию систем мониторинга параметров океана с использованием интеллектуальных и адаптивных систем отбора проб для кратковременных событий. Это может быть применено к подводному наблюдению шлейфов во время разливов нефти и т.д.
- Проводятся исследования по обеспечению связи между АПА в режиме реального времени, что позволит им работать в группах, а не как отдельные автономные аппараты.
- Роль АНА расширяется за счет возможности связи между надводными судами и группами АПА, работающими в одной области; имеются планы задействовать АНА в качестве площадки для запуска АПА и центра командования и коммуникаций для интеграции сигналов от подводных и надводных систем зондирования, устанавливаемых на АНА, АПА и ПТСДУ.

Подобные разработки открывают возможности для совершенствования одновременной работы различных систем мониторинга в случае разлива. Тем не менее, существуют нормативные вопросы, касающиеся использования морских автономных систем в целом. В настоящее время эти вопросы обсуждаются на международных форумах, в том числе на форумах Международной морской организации (ММО).

Рабочая группа Великобритании по нормативным вопросам использования морских автономных систем (MASRWG) в настоящее время совместно с промышленными предприятиями работает над подготовкой Кодекса поведения и Кодекса передовых практик по безопасному использованию БНА, а также сотрудничает с рядом международных партнеров для достижения консенсуса по вопросам включения таких БНА, как МППСС, СОЛАС, ПДНВ, МАРПОЛ в набор инструментов ММО.

Коммуникации и аккумуляторы

В настоящее время ведется изучение вопроса ограничений скорости беспроводной передачи данных под водой, и разработан ряд технологий, отличных от акустической передачи. Одним из примеров является BlueComm, оптическая система малой дальности, разработанная компанией Lumasys, Inc. Она способна обеспечить широкополосную передачу данных с высокой пропускной способностью на расстояниях до 200 метров.

В качестве источника питания большинства АПА обычно используются аккумуляторы. Во многих из них используются литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы, которые обладают рядом ограничений, среди которых:

- со временем они становятся слабее, даже если не используются;
- транспортные ограничения — при транспортировке обычно требуется соблюдение экспортно-импортного законодательства;
- им требуется защитный контур для поддержания необходимого напряжения и силы тока.

Последние 10 лет ведется разработка следующего поколения литиевых аккумуляторов, в которых используется серно-литиевая (Li-S) технология. Теоретически, серно-литиевые аккумуляторы обладают в пять раз большей плотностью энергии по сравнению литий-ионными аккумуляторами. Кроме того, им не требуется обслуживание, они легче, безопаснее и обладают нейтральной плавучестью, в отличие от литий-ионных аккумуляторов, которым для поддержания плавучести при разворачивании с АПА требуется добавление синтаксических пенных плавучих материалов. Тем не менее, последние крупные инциденты, когда из-за литий-ионных аккумуляторов возникали пожары, привели к дополнительным вопросам обеспечения безопасности при транспортировке этих источников энергии по воздуху; это представляет собой серьезную проблему для международного сообщества.

Увеличение мощности серно-литиевых аккумуляторов создает для систем АПА следующие преимущества в сравнении с литий-ионными аккумуляторами (как отдельно, так и в сочетании с другими особенностями):

- увеличение скорости;
- увеличение продолжительности работы;
- увеличение мощности для сенсорного оборудования.

Серно-литиевые аккумуляторы в настоящее время еще не производятся в коммерческих масштабах, но в ближайшие несколько лет ожидается расширение доступности этой технологии.

Датчики

Работы API и SINTEF привели к разработке систем мониторинга размеров капель, особенно вблизи скважины, работающих в режиме реального времени. Это силуэтная камера с подсветкой, известная как SilCam, которая способна одновременно измерять размеры капель нефти и пузырьков газа, что ранее было невозможно. Возможность измерения размеров капель и пузырьков имеет важное значение в деле оптимизации дозировки диспергентов под водой. Более подробная информация содержится в SINTEF (2014). Подобные приборы также предлагаются компанией Sequoia Scientific, Inc., в ассортименте которой представлены многопараметрические системы наблюдений на месте для мониторинга распределения размера частиц и объемных концентраций, основанные на принципах LISST.

Межведомственный координационный комитет по исследованиям в области загрязнений нефтью (ICCOPR) рекомендует для исследований нефти под водой использовать акустические системы и технологии LiDAR, как отдельно, так и как в составе комплектов (ICCOPR, 2015). Также ими рекомендуется вести разработки новых или усовершенствованных химических датчиков для обнаружения подводной нефти.

Опыт использования АПА для мониторинга в ходе ликвидации инцидента Macondo свидетельствует о том, что использование инновационных локальных методов отбора проб для химического анализа и мониторинга, роботизированного отбора проб и акустического позиционирования в системах управления АПА может обеспечить более эффективную характеристику и локализацию углеводородов в толще воды. Полезный обзор этих технологий опубликовал Международный исследовательский институт Stavanger (IRIS, 2013). Подводное сенсорное оборудование, рекомендуемое IRIS, для дополнительного отбора проб для химического анализа на месте, включает:

- флуорометры, включая гиперспектральные датчики и датчики флуоресценции с разрешением по времени;
- масс-спектрометры;
- спектрометрическое оборудование Raman с усиленной поверхностью;
- иммуносенсоры;
- устройства для сбора и анализа проб воды;
- многопараметрический электронный язык;
- технология встроенных в чип лабораторий.

Моделирование

В настоящее время ведутся серьезные разработки в области числового моделирования как шлейфов нефтяных разливов, так и гидродинамических и атмосферных моделей, которые используются для их описания. Работы, проводимые API, направлены на совершенствование описания шлейфов нефтяных разливов при помощи моделей. Краткие выводы результатов, достигнутых API в этой и другой деятельности, связанной с разливами, можно найти в Socolofsky и др., 2015.

Вопросы по наблюдению за океаном, усвоению данных, а также текущие и предстоящие исследования рассмотрены в специальном выпуске журнала *Journal of Operational Oceanography*, выпускаемом Bell и др. (IMarEST, 2015).

Ясно, что подводное наблюдение — это самостоятельная тема, которая при интеграции с другими технологиями наблюдения и соответствующими схемами моделирования и визуализации будет играть все более важную роль в мероприятиях по ликвидации нефтяных разливов в море. Во многих ключевых областях, имеющих значение для ликвидаторов, наблюдаются значительные технологические достижения, например в таких областях, как аппараты, датчики, аккумуляторы, модели, программное обеспечение для визуализации и т.д. Поэтому важно регулярно изучать эти технологии и задействовать в ликвидационных операциях наиболее подходящие и современные комбинации технологий. Чтобы упростить эту задачу анализа, на стр. 51 и 52 этого руководства перечислены веб-сайты основных производителей датчиков и платформ.

Список сокращений

АНА	Автономный надводный аппарат	СОЛАС	Международная конвенция по охране человеческой жизни на море
АОА	Автономный океанографический аппарат	TBA	Тяжеловесный аппарат
АПА	Автономный подводный аппарат	API	Американский институт нефти
АСЭВ	Анализ суммарной экологической выгоды	CDOM	Хромоформное растворенное органическое вещество
ГИС	Географическая информационная система	GOOS	Глобальная система наблюдения за океаном
ЗДПВ	Закачивание диспергентов под водой	GPG	Методическое руководство
ИК	Инфракрасный	ICCOPR	Межведомственный координационный комитет по исследованиям загрязнений нефтью
ЛВА	Легковесный аппарат	IMCA	Международная ассоциация морских подрядчиков
ЛОС	Летучее органическое соединение	IOGP	Международная ассоциация производителей нефти и газа
МАРПОЛ	Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов	IPIECA	Международная ассоциация представителей нефтегазовой отрасли по охране окружающей среды и социальным вопросам
ММО	Международная морская организация	IRIS	Международный исследовательский институт Stavanger
МПСС	Международные правила предупреждения столкновений судов в море	JIP	Межотраслевой проект по ликвидации аварийного разлива нефти
НДИК	Недисперсионная инфракрасная спектроскопия	LEL	Нижний порог взрываемости
НОА	Неуправляемый океанографический аппарат БНА Беспилотный надводный аппарат	LiDAR	Лазерный дальномер
НПА	Неуправляемый подводный аппарат	LISST	Трансмиссометрия и определение характеристик рассеяния на месте с помощью лазера
НПО	Неправительственная организация	MARIC	Центр инноваций в области морской робототехники, Великобритания
ООК	Общая оперативная картина реагирования	MASRWG	Рабочая группа по нормативным вопросам использования морских автономных систем, Великобритания
ПАУ	Полициклические ароматические углеводороды	MWCC	Марин Велл Контейнмент Компани
ПДНВ	Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты	QAPP	План проекта обеспечения качества
ПТГ	Проводимость, температура и глубина	SilCam	Силуэтная камера
ПТСДУ	Подводное транспортное средство с дистанционным управлением	SMART	Специальная система мониторинга применяемых технологий реагирования
ПУИ	План управления информацией СУИ Система управления инцидентами	Sonar	Система обнаружения объектов под водой путем генерации звуковых импульсов и обнаружения или измерения обратного отраженного сигнала. (определение местоположения и дальности с помощью звуковых волн)
РИБы	Надувная лодка с жестким корпусом	µm	Микрометр
РК	Растворенный кислород		
САР	Система автоматического распознавания		
СЗВ	Система запуска и возвращения		

Литература

Actimar (2015a). *Recommendations on validation techniques*. Совместный отраслевой проект по вопросам реагирования на разливы нефти IOGP и IPIECA (OSR-JIP) Report MOC-0970-02, Version 3.1. February 2015. 52 pp. <http://www.oilspillresponseproject.org/wp-content/uploads/2016/02/RR-WP3-and-WP4-RECOMMENDATIONS-ON-VALIDATION.pdf>

Actimar (2015b). *Review of models and metocean databases*. IOGP-IPIECA Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP) Report MOC-0970-01 Version 1.2. February 2015. 75 pp. <http://www.oilspillresponseproject.org/wp-content/uploads/2016/02/RR-WP3-and-WP4-REVIEW-OF-MODELS-AND-METOCEAN-DATABASES.pdf>

API (2013a). *Industry recommended subsea dispersant monitoring plan, Version 1*. American Petroleum Institute (API) Technical Report 1152. September 2013. 20 pp.

API (2013b). *Remote sensing in support of oil spill response – planning guidance*. American Petroleum Institute (API) Technical Report 1144. September 2013. 79 pp.

Arthur, M., G. Coelho and P. Twomey. (2013). *Monitoring hydrocarbon releases in deep water environments: A review of new and emerging technologies*. HDR Ecosystem Management & Associates, Inc. Lusby, MD. API Technical Report 13-01. 55 pp.

Battelle (2014). *Capabilities and Uses of Sensor-Equipped Ocean Vehicles for Subsea and Surface Detection and Tracking of Oil Spills; IOGP-IPIECA Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP) Surveillance, Modelling and Visualization Work Package 1: In Water Surveillance*. 233 pp. www.oilspillresponseproject.org/wp-content/uploads/2016/02/RR-Battelle.pdf

ICCOPR (2015). *Oil Pollution Research and Technology Plan, Fiscal Years 2015–2021*. Interagency Coordinating Committee on Oil Pollution Research (ICCOPR). September 2015. 294 pp.

Davis, R. E., Eriksen, C. C. and Jones, C. P. (2002). *Autonomous Buoyancy-driven Underwater Gliders*. In *The Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles*. G. Griffiths (ed), Taylor and Francis, London.

IMCA (2016). *Guidance for The Safe and Efficient Operation of Remotely Operated Vehicles*. International Marine Contractors Association. Report no. IMCA R 004 Rev. 4. May 2016. <http://www.imca-int.com/remote-systems-and-rov-division/code-of-practice-for-the-safe-and-efficient-operation-of-remotely-operated-vehicles.aspx>

IPIECA-IMO-IOGP (2015). *Aerial observation of oil spills at sea*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 518. 56 pp. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2013). *Oil spill risk assessment and response planning for offshore installations*. Report of the IOGP Global Industry Response Group (GIRG) response to the Macondo incident in the Gulf of Mexico in April 2010. IOGP-IPIECA Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). <http://oilspillresponseproject.org>

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

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

IPIECA-IOGP (2015c). *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 (2015d). *Work Package 5: Common Operating Picture. Recommended practice for Common Operating Picture architecture for oil spill response, release 2.1. Final Report*. Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2016a). *Incident management system for the oil and gas industry*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 517. 56 pp. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2016b). *Satellite remote sensing*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 549. <http://oilspillresponseproject.org>

IRIS (July, 2013). *NDP State of the art study – Deep water remote sensing and monitoring*. International Research Institute of Stavanger (IRIS), Report 2013/103. 66pp.

IMarEST (2015). *GODAE OceanView Part 2*. Special issue of the Journal of Operational Oceanography, Official Journal of the Institute of Marine Engineering, Science & Technology (IMarEST), Volume 8, Supplement 2, 2015. Pages s189-s271. Guest Editors: M. Bell, K. Haines, A. Schiller, N. Smith and Z. Willis.

Lee, K. (chair), Boufadel, M., Chen, B., Foght, J., Hodson, P., Swanson, S. and Venosa, A. (2015). *Expert Panel Report on the Behaviour and Environmental Impacts of Crude Oil Released into Aqueous Environments*. Royal Society of Canada, Ottawa, Ontario, Canada.

NOAA (2006). *Special monitoring of applied response technologies (SMART)*. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Office of Response and Restoration. Seattle, Washington, USA. <http://response.restoration.noaa.gov/smart>

NRT (2013). *Environmental monitoring for atypical dispersant operations*. U.S. National Response Team, May 2013. 25 pp.

Oceaneering (2015). *Capabilities and Uses of Sensor and Video-Equipped Waterborne Surveillance-ROVs for Subsea Detection and Tracking of Oil Spills*. IOGP-IPIECA Oil Spill Response Joint Industry Project Surveillance, Modelling and Visualization. Work Package 1: In Water Surveillance. 89 pp. <http://oilspillresponseproject.org>

Ocean News and Technology (2015). *A Worldwide Survey of Recent Ocean Observatory Activities: 2015 Update*. In *Ocean News and Technology*, September 2015, pp. 18-29. <http://digital.oceannews.com/publication/?i=270944>

Socolofsky, S. et. al. (2015). Intercomparison of oil spill prediction models for accidental blowout scenarios with and without subsea chemical dispersant injection. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 96, Issue 1–2, pp. 110-126. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X15002969

SINTEF (2014). *Combining technology to extend the limits of particle measurements in subsea blowouts*. In *Particles in Europe (PiE): Program and Abstracts*. Proceedings of the PiE Conference held in Esbjerg, Denmark, 7–9 October, 2014. www.sequoiasci.com/wp-content/uploads/2014/07/Program-Particles-in-Europe-WITH-abstracts.pdf

USCG (2011). *BP Deepwater Horizon Oil Spill: Incident Specific Preparedness Review (ISPR)*. United States Coast Guard. Final Report, January 2011.

Полезные веб-сайты и ресурсы

- Межотраслевой проект по ликвидации аварийного разлива нефти:
<http://oilspillresponseproject.org>
- Arctic Response Technology — веб-сайт, посвященный готовности к разливам и их ликвидации: www.arcticresponsetechnology.org
- Американский институт нефти (API) – веб-сайт, посвященный предотвращению разливов и их ликвидации: www.oilspillprevention.org
- Справочные материалы по датчикам и АОА:
 - Aanderaa Data instruments (AADI): www.aadi.no
 - ALSEAMAR: www.alseamar-alcen.com
 - AML Oceanographic: <http://amloceanographic.com>
 - ASV: www.asvglobal.com
 - Atlas Elektronik: www.atlas-elektronik.com/en/
 - Atlas Maridan: www.maridan.atlas-elektronik.com/
 - AutoNaut: <http://www.autonautusv.com>
 - Центр автономных подводных аппаратов: <http://auvac.org>
 - Bluefin Robotics: www.bluefinrobotics.com/
 - Canon U.S.A. Inc.: <http://canon.com>
 - C&C Technologies: www.cctechnol.com
 - Chelsea Technologies Group: www.chelsea.co.uk
 - Deep Ocean Engineering: www.deepocean.com
 - ECA Group: www.ecagroup.com
 - Exocetus: <http://exocetus.com>
 - Falmouth Scientific, Inc.: www.falmouth.com
 - FLIR Systems, Inc: www.flir.com
 - Fluidion: <http://fluidion.com>
 - GoPro, Inc.: <http://gopro.com>
 - Hamamatsu Photonics K.K.: <http://hamamatsu.com>
 - INFRATEC GmbH: <http://infratec.com>
 - International Submarine Engineering: www.ise.bc.ca
 - JAI: <http://jai.com>
 - JENOPTIK AG: <http://jenoptik.com>
 - Kongsberg Maritime: <http://www.km.kongsberg.com>
 - Laser Diagnostic Instruments: www.ldi.ee
 - Liquid Robotics: <http://liquidr.com>
 - Lockheed Martin: <http://lockheedmartin.com/us/products/marlin.html>
 - Lumasys (коммуникационные продукты BlueComm): www.lumasys.com

Miros: <http://miros.no>
 Mitsui Engineering & Shipbuilding Co. Ltd: www.mes.co.jp/english
 Nikon Corporation: <http://nikon.com>
 Nortek USA: www.nortekusa.com
 OceanServer (аппараты серии Iver): <http://iver-auv.com>
 OPTIMARE Systems GmbH: <http://optimare.de>
 Oxis Energy (аккумуляторные технологии): <http://oxisenergy.com>
 Rutter: <http://rutter.ca>
 Saab: www.seaeye.com
 Sea & Sun Technology: www.sea-sun-tech.com
 Sea Robotics: <http://searobotics.com>
 Sea-Bird Electronics: www.seabird.com
 Seapoint Sensors, Inc.: www.seapoint.com
 Sequoia Scientific: <http://sequoiasci.com>
 SIEL Advanced Sea Systems: www.sielnet.com
 Sony Corporation: <http://sony.com>
 Teledyne Gavia: www.teledynegavia.com
 Teledyne RD Instruments: www.rdinstruments.com
 Teledyne Webb Research: www.webbresearch.com
 Trios Optical Sensors: www.trios.de
 Turner Designs: www.turnerdesigns.com
 WetLabs: www.wetlabs.com

От авторов

Исходный текст для этого руководства подготовлен Колином Грантом, CG Metocean Consulting, от лица OSR-JIP.

IPIECA

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

www.ipieca.org



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

www.iogp.org

