

# РАЦИОНАЛЬНОЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА СКВАЖИНЕ MACONDO КОМПАНИИ «БРИТИШ ПЕТРОЛЕУМ» В МЕКСИКАНСКОМ ЗАЛИВЕ

**В.П. Малюков, А.А. Сушок**

Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела  
Инженерный факультет  
Российский университет дружбы народов  
*ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419*

Рассмотрены технологические, экологические и экономические проблемы, возникшие в результате аварии на скважине Макондо компании «Бритиш Петролеум» в Мексиканском заливе. Проанализированы основные нарушения технологии подготовки скважины к эксплуатации, экономические и экологические последствия разлива нефти.

**Ключевые слова:** буровая платформа, конструкция скважины, буровой раствор, цементаж, разлив нефти.

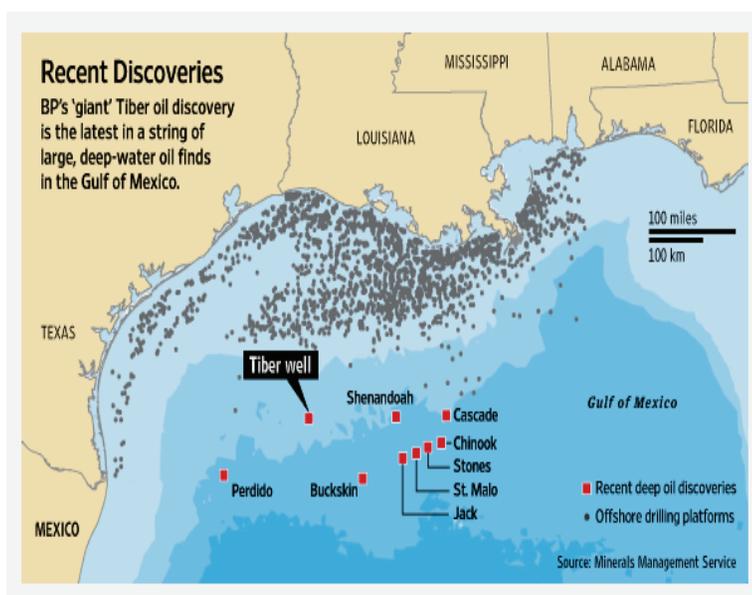
Авария на скважине Макондо компании «Бритиш Петролеум» в Мексиканском заливе произошла 20 апреля 2010 г. и является крупнейшей в истории мировой нефтегазовой промышленности. Погибло 11 буровиков. В воды залива начала поступать нефтегазовая смесь с дебитом около 10 000 т в сутки.

Авария показала, что применяемые при морском бурении современное оборудование, материалы и технологии не позволили предупредить катастрофу. В связи с этим очень важно извлечь урок из трагедии на фоне интенсивного развития российским нефтегазовым комплексом буровых работ на шельфе, а значит повысить требования качества и безопасности строительства морских скважин [1].

Нефтяная платформа в Мексиканском заливе после вспыхнувшего пожара затонула, и из скважины Макондо, пробуренной с глубины 1,5 км, начался выброс нефти в море. Оператор комплекса компания «Бритиш Петролеум», владелец буровой установки Дипуотер Хорайзон — компания «Трансоушен». Событие квалифицируется как крупнейшая экологическая и техногенная катастрофа, которую СМИ незамедлительно назвали «нефтяным Чернобылем».

**Оценка нефтегазоносного бассейна Мексиканского залива.** По оценкам американских геологов, Мексиканский залив — это единственное место Мирового океана, где целесообразно бурение скважин на нефть и газ глубиной более 7500 м. На северном шельфе Мексиканского залива в 200 км от берега открыто более 130 нефтяных и 410 газовых месторождений с начальными извлекаемыми запасами более 1 млрд т нефти и 2,33 трлн м<sup>3</sup> газа; в сумме почти 3 млрд т углеводородов.

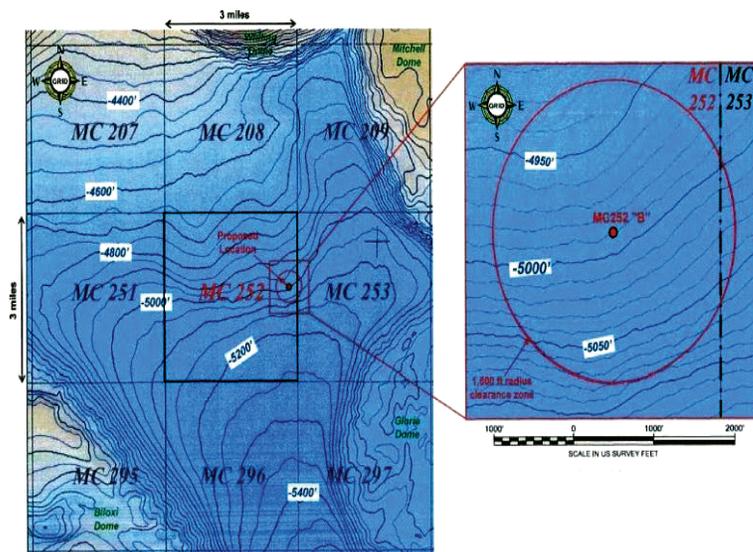
Гигантское нефтяное месторождение Тайбер Проспект в Мексиканском заливе находится в 400 км от Хьюстона (рис. 1), открыто 2 сентября 2009 г. Геологические запасы нефти составляют 1,8 млрд т. Начальные запасы нефти составляют 1 млрд т. Нефтеносность установлена в отложениях неогена и палеогена. Залежи на глубине 10,6—12 км. По данным ВР, это месторождение одно из самых глубоких за всю историю нефтяной отрасли.



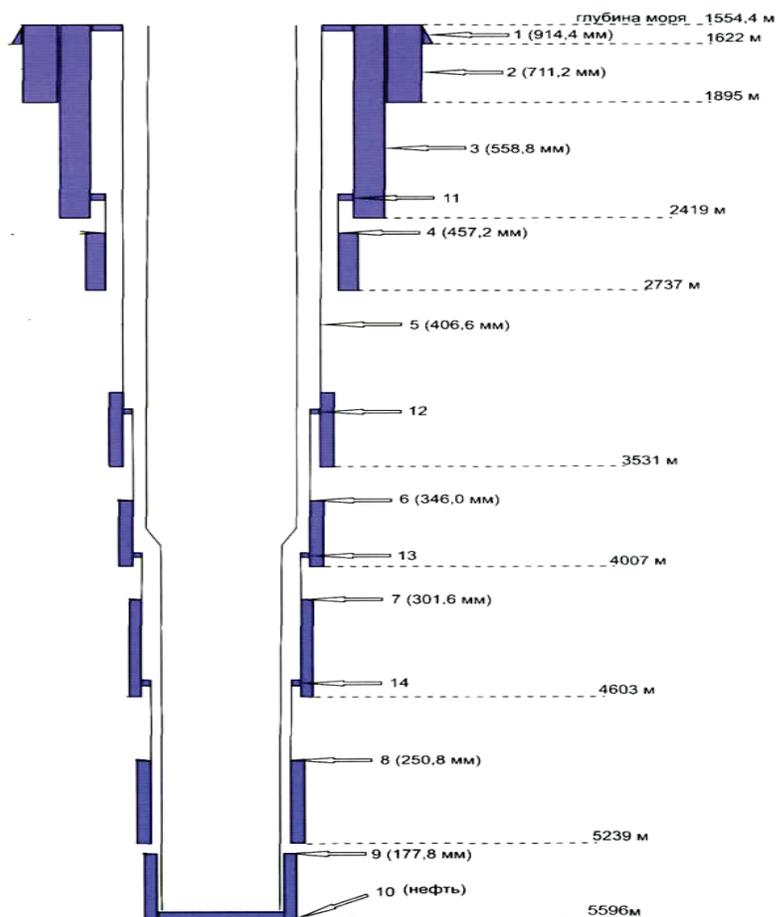
**Рис. 1.** Гигантское нефтяное месторождение Тайбер Проспект в Мексиканском заливе

Скважина Макондо пробурена на лицензионном блоке 252 (рис. 2) Каньон Миссисипи (оператор — компания ВР), расположенном в 210 км к юго-востоку от Нового Орлеана [7].

**Особенности конструкции скважины Макондо.** Фактическая конструкция скважины Макондо [2] показана на рис. 3. Из рисунка видно, что глубина воды в месте расположения скважины Макондо составляет 1554,4 м; именно на этой глубине установлено противовыбросовое оборудование (превентор). Направление скважины 1 установлено до глубины 1622 м (обсадная колонна из труб диаметром 914,4 мм) и зацементировано на всю длину. Кондуктор скважины 2 установлен до глубины 1895 м (обсадная колонна из труб диаметром 711,2 мм) и зацементирован на всю длину.



**Рис. 2.** Расположение скважины Макондо на лицензионном блоке MC-252



**Рис. 3.** Фактическая конструкция скважины Макондо (представлена компанией Халлибертон в сенат США)

Первая техническая колонна 3 (обсадная колонна диаметром 558,8 мм) установлена до глубины 2419 м и зацементирована на всю длину. Хвостовик 4 (обсадная колонна определенной длины из труб диаметром 457,2 мм) установлен в интервале 2737—2200 м и зацементирован частично приближенно в интервале 2737—2460 м.

Эксплуатационная колонна 9 из труб диаметром 117,8 мм снизу и труб диаметром 346,0 мм сверху (с 3800 м) спущена на глубину 5596 м, зацементирована на всю длину и внизу оборудована обратным клапаном.

Одной из причин возникновения аварии на скважине Макондо является плохой проект на строительство скважины. Заложенные в проект геологические, технические и технологические параметры нуждались в уточнении и корректировке. В частности, необходимо было исключить из конструкции скважины часть хвостовиков.

Главный недостаток конструкции скважины Макондо заключается в том, что при бурении было использовано четыре хвостовика, которые были зацементированы не на всю длину (наполовину), из-за чего большая часть ствола скважины в интервале 5239—2419 м оказалось практически не зацементированной.

Хвостовики не могут обеспечить полную герметизацию затрубного и межтрубного пространства скважины: хвостовик представляет колонну обсадных труб определенного диаметра и определенной длины; как правило, хвостовики цементируют на всю длину, а в скважине Макондо все хвостовики зацементированы на половину длины; отсутствие надежной герметизации у подвесного хомута на хвостовике из труб диаметром 250,8 мм — это тоже грубое нарушение технологии цементирования.

Проблемы межколонных перетоков возникли в скважине Макондо после спуска хвостовика из труб диаметром 301,6 мм (при бурении скважины с глубины 4603 м). Ничего нового в проблемах, связанных с поступлением пластового флюида в ствол скважины, после спуска хвостовика из труб диаметром 250,8 мм уже не было. Этот последний хвостовик, спущенный в интервал 5239—4500 м, не выполнял свое прямое назначение по причинам, которые названы выше.

Плохое качество цементирования обсадных колонн является главной причиной возникновения открытого фонтанирования, аварий и взрывов газовых скважин [6].

Снижение давления тампонажного раствора на флюид пласта — одна из основных причин возникновения газонефтеводопроявлений в скважинах. Применение облегченного азированного азотом тампонажного раствора при креплении обсадных колонн скважины Макондо является главной причиной возникновения заколонных и межколонных давлений и, естественно, миграции пластового флюида (газ, нефть, вода и их смесь) в заколонном и межколонном пространстве.

При креплении обсадных колонн скважины Макондо специалисты использовали азированный цементный раствор. Применение азированного (азотом) цементного раствора широко используется в практике бурения скважин в сложных горно-геологических условиях.

Правилами бурения скважин во всем мире специально предусматривается проведение анализа качества цемента в специальной лаборатории перед цементированием конкретной обсадной колонны. При этом определяется тип и количество специальных химических реагентов (добавок) в цементный раствор. Обязательно проверяется время загустевания цемента, прочность специальных образцов (балочек) из цемента.

Без заключения лаборатории о качестве цемента работы по цементированию обсадных колонн в скважинах не проводятся. Компания Халлибертон имеет специализированную лабораторию по определению качества цемента и не должна была нарушать стандартные требования и правила регламента APJ по цементированию скважин.

**Характеристика буровой платформы Дипуотер Хорайзон** (рис. 4). Тип платформы: полупогружная нефтяная буровая платформа. Верфь: Хёндал Хеви Индастрис, Ульсан, Южная Корея. Спущена на воду 21 марта 2000 г., введена в эксплуатацию в 2001 г. Тоннаж — 52 587 т, длина — 112 м, ширина — 78 м, высота — 97,4 м, средняя осадка — 23 м

**Технические данные.** Силовая установка: дизельно-электрическая. Мощность — 42 MW, скорость — 4 узла. Экипаж — 146 человек. Грузовместимость — 32 588 т.



**Рис. 4.** Буровая платформа Дипуотер Хорайзон

**Проведение испытаний на герметичность скважины.** Перед консервацией скважины (для последующей добычи нефти и газа) проводят обычно испытание на герметичность эксплуатационной колонны на внешнее давление (рис. 5). При этом буровой раствор определенного объема в скважине заменяется на воду, что является обязательным условием проверки качества цементирования обсадных труб.

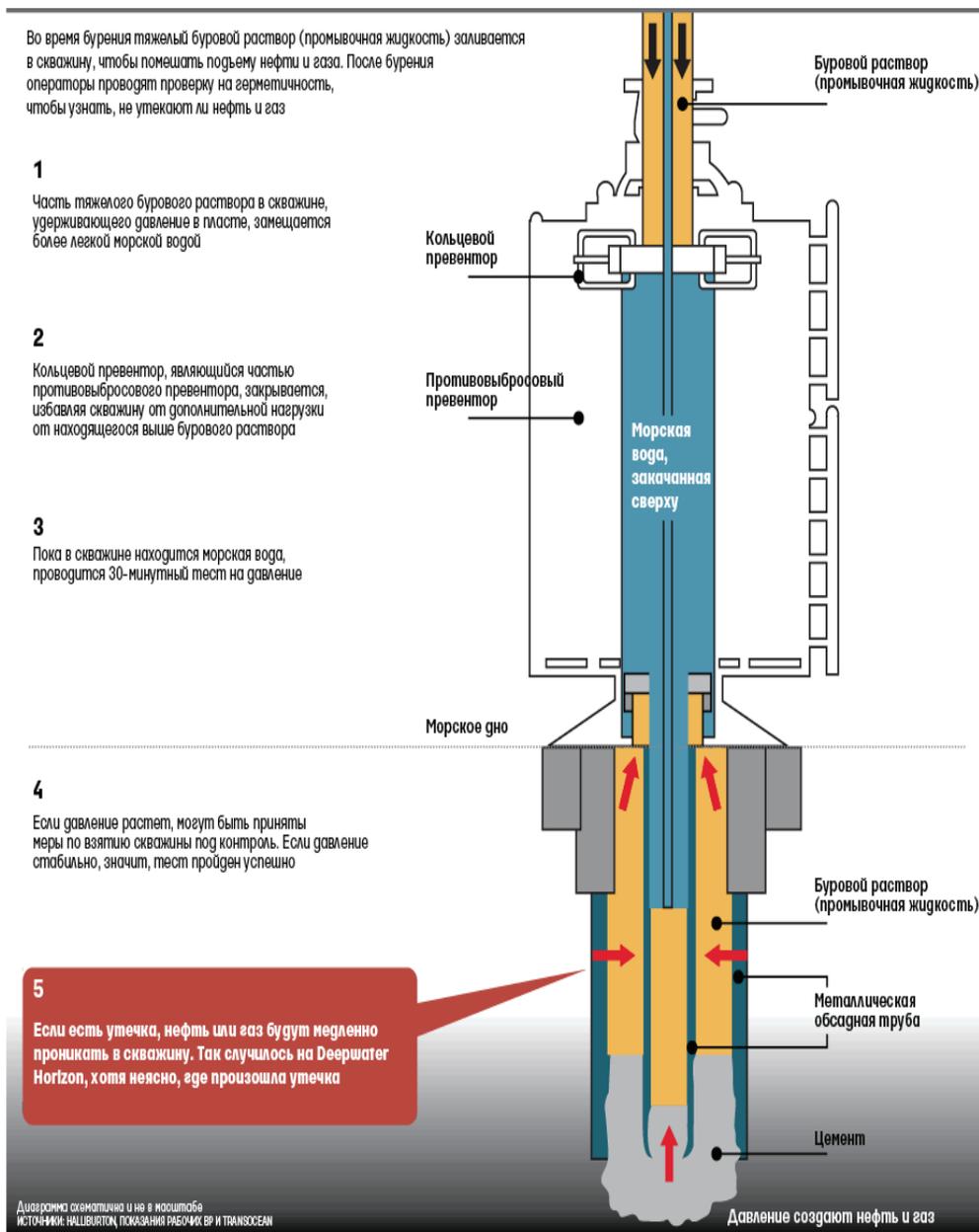


Рис. 5. Проведение испытаний на герметичность на скважине Макондо

**Основные нарушения технологии подготовки скважины Макондо к эксплуатации.** В 200-страничном докладе по результатам внутреннего расследования компании BP по обстоятельствам катастрофы содержится вывод, согласно которому «...ошибку допустили непосредственные руководители буровых работ. Они не учли выброса горючих газов».

Скважина Макондо была разведочной и, вероятно, первой на данном блоке, поэтому пластовые и забойные давления известны только приблизительно, что является обычным при разведочном бурении.

По данным других источников [5], «...устройство, которое должно было не допустить разлив нефти из скважины в Мексиканском заливе, превентор, имело дефекты» (рис. 6).

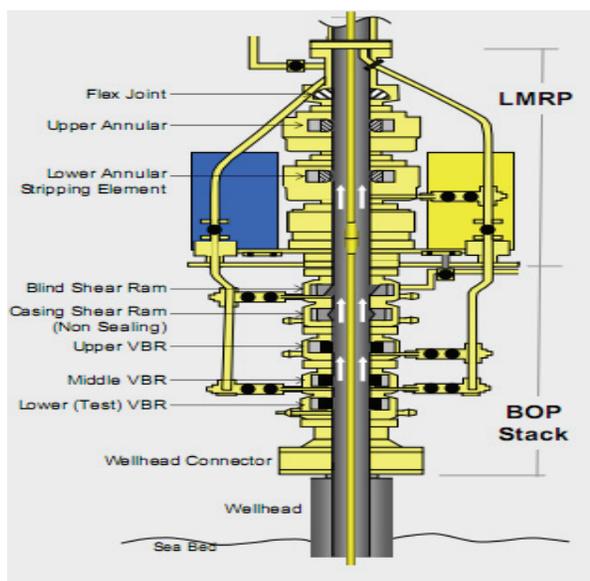


Рис. 6. Конструкция превентора на скважине Макондо

Эксперты американского конгресса пришли к выводу, что устройство, которое называется „противовыбросовым превентором“ и которое представляет собой набор огромных клапанов, дало течь и у него был дефектный источник энергопитания». Эксперты выявили серьезные неполадки в противовыбросовом превенторе, который должен был не допустить резкого увеличения давления нефти и газа, вырывающегося из скважины.

Обратные клапаны на эксплуатационной колонне используют для предотвращения обратного движения тампонажного раствора при цементировании. Кроме того, обратный клапан на эксплуатационной колонне способствует улучшению промывки скважины перед цементированием, а также очистке затрубного пространства от шлама и облегчению веса труб при спуске. Но, главное, обратный клапан на эксплуатационной колонне препятствует флюидопроявлению внутрь трубного пространства. Как правило, обратный клапан устанавливается в нижней части эксплуатационной колонны под башмачным патрубком (рис. 7).

Из опубликованных материалов расследования аварии на скважине Макондо видно, что специалистов ВР убеждали о необходимости установки 21 центризатора на эксплуатационную колонну для повышения качества цементирования труб. В действительности специалисты компании ВР поставили на эксплуатационную колонну только шесть центризаторов в нижней части, а это уже грубое нарушение технологии крепления скважин. Еще более грубым нарушением технологии крепления скважин Макондо является отсутствие достаточной промывки скважины перед закачкой цементного раствора.

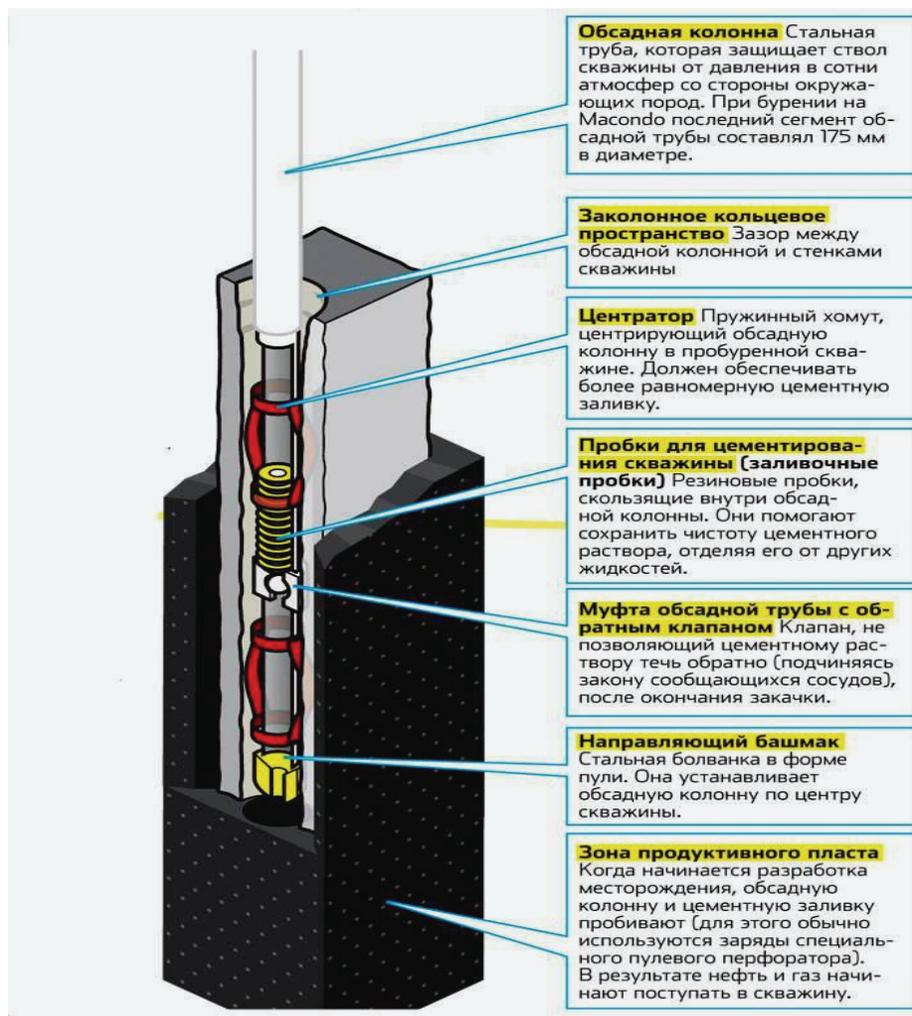


Рис. 7. Конструкция нижней части эксплуатационной колонны

В процессе бурения с глинистым буровым раствором на стенках скважины образуется тонкая глинистая корка, которая предотвращает потерю бурового раствора. Из практики и результатов научных исследований известно, что если не удалить корку со стенок скважины перед закачкой цементного раствора в скважину, то практически не образуется сцепление цемента с горной породой, окружающей ствол скважины и, естественно, не обеспечивается качественное крепление скважины. Для разрушения глинистой корки на стенках скважины на практике используют специальные инструменты и устройства: скребки, турбулизаторы и т.д.

Специалисты утверждают, что «...British Petroleum, в частности, не согласилась очистить скважину от бурового раствора до закачки туда цемента». Невыполнение этого условия практически гарантирует получение плохого качества цементирования труб в скважине Масондо, со всеми вытекающими последствиями.

На основе анализа заключений различных специалистов составлена табл. 1, в которой рассмотрены основные факторы, повлиявшие на возникновении аварии.

**Основные факторы, повлиявшие на возникновение аварии на скважине Макондо**

Человеческий фактор	Технические недостатки	Недостатки конструкции нефтяной скважины	Дополнительные факторы
Неправильно принятое решение об откачке значительно большего по сравнению с традиционно принятым количества тяжелого бурового раствора из скважины. При этом произошло снижение гидростатического давления бурового раствора в скважине и выброс газа	Разряженный аккумулятор на одном из пультов управления	Возможно некачественное выполнение цементации	Отставание от графика на 43 дня, и как следствие превышение бюджета в 22 млн долл.
Ошибки в действиях команд ликвидаторов	Нерабочий превентор	Возможно негерметичность скважины	
Недостаточная информированность персонала о производимых операциях	Замена одной из бракованных плашек на опытный неработающий вариант		
Отсутствие руководителей на предприятии в момент аварии	Протечка на одной из гидравлических линий срезающей плашки		
Рискованная деятельность руководства (выполнение неиспробованных ранее операций)			
Отказ от проведения акустической цементометрии (АКЦ)			

**Экологические последствия аварии на скважине Макондо.** В начале мая 2010 г. президент США Барак Обама назвал произошедшее в Мексиканском заливе «потенциально беспрецедентной экологической катастрофой».

Экологические последствия разливов нефти носят трудно учитываемый характер, поскольку нефтяное загрязнение нарушает многие естественные процессы и взаимосвязи, существенно изменяет условия обитания всех видов живых организмов и накапливается в биомассе. Нефть является продуктом длительного распада и очень быстро покрывает поверхность вод плотным слоем нефтяной пленки, которая препятствует доступу воздуха и света.

Агентство США по Охране окружающей среды (US Environmental Protection Agency) следующим образом описывают эффект разлива нефти. Через 10 минут после того, как в воде оказалась одна тонна нефти, образуется нефтяное пятно, толщина которого составляет 10 мм. С течением времени толщина пленки уменьшается (до менее 1 мм), в то время как пятно расширяется. Одна тонна нефти способна покрыть площадь до 12 км<sup>2</sup>.

Дальнейшие изменения происходят под воздействием ветра, волн и погоды. Обычно пятно дрейфует по воле ветра, постепенно распадаясь на более мелкие пятна, которые способны удаляться на значительные расстояния от места разлива. Сильные ветры и штормы ускоряют процесс дисперсии пленки.

Ущерб от крупномасштабных разливов нефти подсчитать достаточно сложно. Он зависит от многих факторов, таких, как тип разлитых нефтепродуктов, состояния пострадавшей экосистемы, погоды, океанских и морских течений, времени года, состояния местного рыболовства и туризма и пр.

**Экономическая оценка экологической катастрофы в Мексиканском заливе.** Шлейф углеводородов, возникший в результате аварии, а также анализ пробы жидкости, взятой дистанционно управляемым подводным роботом в точке выхода нефти из аварийной скважины показали, что смесь на 77% состояла из нефти, на 22% из природного газа, на другие газы приходилось около 1%.

Авария в Мексиканском заливе признана самой крупной утечкой нефти в открытый океан за всю историю США [3]. Прямые и косвенные потери в результате аварии — утечка нефти (около 5 млн барр.) — это не только огромные экологические штрафы, но еще и потерянная выгода. На борьбу с выбросом нефти было брошено около 30 тыс. человек, более 4 тыс. судов, несколько десятков самолетов.

На борьбу с разливом нефти BP только за 2010 г. потратила более 11 млрд долл. Убытки в целом составили около 15 млрд долл. Каждый баррель «черного золота», вытекшего в залив, обошелся BP примерно в 10 тыс. долл.

Катастрофа подтолкнула к пересмотру целого комплекса правовых механизмов, регулирующих деятельность на шельфе, — от международного до контрактного. Так, уже внесены изменения в экологическое законодательство как в плане размеров штрафов, так и повышения уровня ответственности.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Виноградова О.* Мексиканский залив и Исландия что общего? // Нефтегазовая вертикаль. — 2010. — № 12.
- [2] *Григулецкий В.Г.* Уроки аварии в Мексиканском заливе на скважине MC-252 // Экологический вестник России. — 2011. — № 7—8.
- [3] *Литвинова Ю.* Долгосрочные последствия аварии в Мексиканском заливе. — URL: <http://www.opes.ru>
- [4] Электронный журнал «Нефть и газ». Крупнейшие разливы нефти в истории человечества. — URL: [neftegaz.ru/analysis/view/7509](http://neftegaz.ru/analysis/view/7509)
- [5] BP Global. — URL: <http://www.bp.com>.
- [6] Deepwater Horizon accident investigation report. Executive summary // British Petroleum. — 2010.
- [7] Deepwater Horizon Blowout Presentation // British Petroleum. — 2010.

## TECHNOLOGICAL, ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC PROBLEMS AS A RESULT OF FAILURE ON A MACONDO WELL OF THE BRITISH PETROLEUM COMPANY IN THE GULF OF MEXICO

V.P. Malyukov, A. Sushok

Department of Oilfield Geology, Mining and Petroleum  
Faculty of Engineering  
Peoples' Friendship University of Russia  
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

The technological, environmental and economic problems which have resulted by failure on a Macondo well of the British Petroleum company in the Gulf of Mexico are considered. The main violations of technology of preparation the well to operation, economic and ecological consequences of an oil spill are analysed.

**Key words:** drilling platform, well design, chisel solution, cementing, oil spill.