**Обеспечение экологической безопасности строительства скважин на море**

Балаба В.И.

Актуальность проблемы. Потенциальные запасы нефти на шельфе морей России оцениваются в 13 млрд. т, газа - 52 трлн. м3. Мировая тенден-ция постепенного смещения добычи углеводородов с суши на море находит подтверждение и в нашей стране. Свидетельством тому является развитие работ на шельфе арктических и дальневосточных морей, в Каспийском и Черном морях.

При строительстве морских скважин основными видами воздействия на окружающую среду являются выбросы в атмосферу, сбросы в морскую среду, ее тепловое и шумовое загрязнения. Объем и интенсивность техногенного воздействия на окружающую среду зависит от реализуемой технологии строительства скважины. Выбросы в атмосферу и шумовое загрязнение можно существенно снизить за счет природоохранных мероприятий, а тепловое загрязнение и сброс веществ в морскую среду исключить (концепция "нулевого сброса").

Технологические отходы бурения. Процесс бурения скважин сопровождается образованием производственных отходов, в основном технологических.

К технологическим отходам бурения относятся буровой шлам, отработанные буровые технологические жидкости и буровые сточные воды. Они образуются в технологическом процессе промывки скважины.

Буровой шлам. В бурении различают два понятия - "выбуренная порода" и "буровой шлам". Экологи же такого различия, как показывает анализ природоохранного раздела проектов, не делают.

В процессе углубления скважины на забое образуется выбуренная порода. При гидротранспорте промывочной жидкостью с забоя скважины на поверхность порода под воздействием техногенных факторов превращается в буровой шлам. Поэтому на средствах очистки циркуляционной системы буровой установки из промывочной жидкости отделяют не выбуренную породу, а буровой шлам, отличающийся по объему и, что особенно важно с экологической точки зрения, по физико-химическим свойствам.

Объем выбуренной породы равен объему ствола скважины. При проектировании объем бурового шлама приближенно принимается больше объема выбуренной породы на 20% [1].

Можно выделить четыре фактора, обусловливающих увеличение объема бурового шлама по сравнению с выбуренной породой:

- разуплотнение частиц шлама в результате снижения действия на них внешнего давления;

- образование и расширение трещин;

- набухание глинистых частиц, слагающих шлам;

- адгезионное налипание на поверхность шлама частиц коллоидных размеров из промывочной жидкости.

Бурение скважин осуществляется большей частью в осадочных отложениях, в которых наиболее распространенными являются глинистые породы. Их доля составляет 65-80%. Выбуренные частицы глинистых или скрепленных глинистым цементом пород в процессе гидротранспорта с забоя скважины на поверхность пропитываются фильтратом промывочной жидкости и набухают. Продолжительность нахождения частиц породы в промывочной жидкости с глубиной скважины возрастает и может достигать нескольких часов. Чем дольше они находятся в промывочной жидкости, тем больше их набухание. Происходит адгезионное присоединение к ней частиц твердой фазы преимущественно коллоидных размеров из промывочной жидкости.

На изменение физико-химических свойств частиц выбуренной породы при превращении их в буровой шлам влияет пропитка дисперсионной средой промывочной жидкости. Поры и трещины частиц породы заполняются дисперсионной средой промывочной жидкости, поверхность глинистых частиц модифицируется, на внешней и внутренней поверхности частиц выбуренной породы адсорбируются вещества различной природы из дисперсионной среды промывочной жидкости.

Минералогический состав бурового шлама определяется литологическим составом разбуриваемых пород и может существенно изменяться по мере углубления скважины. Химический состав бурового шлама зависит как от его минерального состава, так и свойств промывочной жидкости. Гранулометрический состав бурового шлама определяется типом и диаметром породоразрушающего инструмента, механическими свойствами породы, режимом бурения, свойствами промывочной жидкости и эффективностью ее очистки. В табл. 1 показаны фракционный состав бурового шлама и скорость его осаждения в водной среде при бурении скважин на северо-восточном шельфе Сахалина (Проект Сахалин-1) по данным [2].

Табл. 1

Фракционный состав бурового шлама и скорость его осаждения в водной среде при бурении скважин на северо-восточном шельфе Сахалина [2]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Размер частиц, мкм | Содержание, % по весу | Скорость осаждения, см/с |
| < 44 | 38,7 | 0,05 |
| 44-62 | 4,2 | 0,20 |
| 62-88 | 3,3 | 0,39 |
| 88-125 | 4,2 | 0,77 |
| 125-149 | 1,5 | 1,2 |
| 149-177 | 1,9 | 1,7 |
| 177-250 | 3,8 | 2,6 |
| 250-420 | 7,6 | 4,8 |
| 420-840 | 15,1 | 8,7 |
| > 840 | 19,7 | 10,7 |

Как следует из анализа таблицы, фракционный состав бурового шлама изменяется в широких пределах. Важно подчеркнуть, что примерно 40% массы шлама представлено частицами размером менее 44 мкм. Вследствие этого возникают минимум две проблемы.

Во-первых, такие мелкие частицы трудно удалить из промывочной жидкости средствами механической очистки.

При повторном гидротранспорте частиц бурового шлама через скважину они еще больше диспергируются. Для удаления мелких фракций необходима эффективная химическая очистка.

Во вторых, с уменьшением размера частиц замедляется скорость их осаждения в водной среде (табл. 1). Следовательно, при сбросе промывочной жидкости или шлама в морскую среду ее мутность будет сохраняться длительное время.

Таким образом, при оценке экологической безопасности строительства скважин необходимо анализировать свойства бурового шлама, а не выбуренной породы.

Отработанные буровые технологические жидкости. В процессе бурения, помимо промывочной, применяются и другие технологические жидкости, например, буферные, перфорационные. После использования они полностью или частично переходят в категорию отработанных. Больше всего образуется отработанной буровой промывочной жидкости (ОБПЖ). Ее объем соответствует объему промывочной жидкости на момент окончания бурения скважины. Однако в процессе бурения может образовываться избыток промывочной жидкости, например, за счет наработки в глинистых отложениях, при замене одного типа промывочной жидкости на другой. В этом случае ОБПЖ образуется непосредственно в процессе бурения.

При оценке воздействия на окружающую среду предметом рассмотрения, как правило, являются только отработанные промывочные жидкости, что методически неправильно.

Буровые сточные воды. Главные источники поступления буровых сточных вод (БСВ) - обмыв буровой площадки и оборудования, система охлаждения оборудования. Сокращение объема БСВ достигается путем повторного их использования в технологическом процессе (например, для приготовления промывочной жидкости) после осветления на блоках химической и механической очистки. В этом случае сокращаются объемы водопотребления и водоотведения.

В процессе бурения избыточную промывочную жидкость, а также отработанную буровую промывочную жидкость разделяют на твердую и жидкую фазы, что позволяет утилизировать последнюю в составе БСВ. Поэтому суммарный объем БСВ включает жидкую фазу избыточной и отработанной промывочной жидкости. Технологические отходы испытания скважины. Это отработанные жидкости для вызова притока и глушения скважины, а также флюиды (пластовая вода, нефть, газ), полученные в процессе испытания. Газ, выходящий из скважины, сжигается в факеле.

Экологичность бурового шлама. Экологическая опасность бурового шлама определяется:

- токсическим воздействием;

- повышением мутности воды, что нарушает жизнедеятельность молоди рыб, планктонных и бентоносных организмов-фильтраторов;

- физическим воздействием на донные организмы.

Один из серьезных аспектов проблемы - токсическое воздействие на организмы. В настоящее время при оценке экологичности бурового шлама основное внимание обращается на валовое содержание минеральных компонентов. Однако важно знать, в какой химической форме минеральные компоненты присутствуют в шламе. Доказано, что наиболее опасными являются подвижные формы химических веществ, которые определяют степень токсичности и опасности бурового шлама. Они устанавливаются в ацетатно-аммонийном буферном экстракте (рН = 4,8).

Достаточно распространенной является точка зрения, что "... следовые металлы в шламах находятся в нерастворимой форме (обычно в структуре кристаллической решетки минералов) и их содержание (за исключением бария) варьирует в пределах природной изменчивости геохимического фона микроэлементов в донных осадках" [2].

В табл. 2 представлены результаты исследований водного и буферного экстрактов бурового шлама (БШ) из скважины № П-1 Южно Песцовского газоконденсатного месторождения Тюменской области, проведенных в НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды РАМН им. А.Н. Сысина [З]. Установлено, что в буферных экстрактах имеется значительное превышение предельно допустимой концентрации для почвы по основным металлам хрому - в 71 раз, марганцу - в 33, кобальту - в 3, никелю - в 11, меди - в 14, цинка - в 84, свинца - в 122 раза.

Табл. 2

Количественный элементный анализ водного и буферного экстрактов бурового шлама [3]

|  |  |
| --- | --- |
| Элемент | Содержание, мкг/мл |
| В водном экстракте | В буферном экстракте |
| Алюминий | 10,0 | 1397 |
| Барий | 2,1 | 2473 |
| Бериллий | - | 0,45 |
| Бор | - | 90,4 |
| Ванадий | < 0,02 | < 3 |
| Висмут | - | 0,03 |
| Вольфрам | - | 0,60 |
| Железо | 15,0 | 8387 |
| Кадмий | < 0,002 | 1,8 |
| Калий | - | 25181 |
| Кальций | - | 168861 |
| Кобальт | - | 17,6 |
| Кремний | - | 12846 |
| Литий | - | 29,5 |
| Магний | - | 14539 |
| Марганец | 0,3 | 2005 |
| Медь | 0,3 | 41,5 |
| Молибден | < 0,05 | 30,9 |
| Мышьяк | - | 6,3 |
| Натрий | - | 258267 |
| Никель | - | 46,1 |
| Олово | < 0,1 | < 0,1 |
| Ртуть | < 0,001 | 1,3 |
| Рубидий | - | 56,6 |
| Свинец | 5,1 | 3904 |
| Селен | - | < 3 |
| Серебро | - | 5,3 |
| Стронций | 0,18 | 2264 |
| Сурьма | < 0,5 | 7,2 |
| Таллий | - | 0,65 |
| Теллур | - | < 3 |
| Титан | - | 5,4 |
| Торий | - | 0,21 |
| Уран | - | 0,52 |
| Хром | 0,8 | 430 |
| Цезий | - | 1,9 |
| Цинк | 0,4 | 1925 |

В табл. 3 представлены результаты исследования содержания подвижных форм тяжелых металлов в БШ нефтяных месторождений Нижневартовского района Тюменской области по данным [4]. Были изучены образцы шлама, захороненного в шламовых амбарах в 1970-1995 и 1996-1999 годах. Как видно из данных таблицы содержание подвижных форм тяжелых металлов Спф, превышает предельно допустимую концентрацию для водоемов рыбо-хозяйственного назначения (ПДКр.х.). Важно отметить, что содержание тяжелых металлов в БШ 1970-1995 годов выше, чем в более позднем (1996-1999 гг.). Это свидетельствует о том, что происходит вымывание из шлама подвижных форм веществ и буровой шлам является источником вторичного загрязнения. Помимо тяжелых металлов, в исследованных образцах БШ содержались нефтепродукты - 10600-147400 мг/кг в образцах 1970-1995 годов и 77-5950 мг/кг в образцах 1996-1999 годов.

Табл. 3

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в БШ нефтяных месторождений Нижневартовского района Тюменской области [4]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Компонент БШ | Образцы БШ 1970-1995 годов | Образцы БШ 1996-1999 годов |
| Спф, мг/кг | Спф/ПДКр.х. | Спф, мг/кг | Спф/ПДКр.х. |
| Ванадий | 12-100 | 12000-100000 | - | - |
| Кобальт | 5-12 | 500-1200 | 1,1-6 | 220-1200 |
| Свинец | 10-80 | 1667-13333 | 2,3-326 | 383-54333 |
| Кадмий | 1-11 | 200-2200 | 0,1-0,8 | 20-160 |
| Марганец | 200-600 | 20000-60000 | 10-513 | 1000-51300 |
| Никель | 15-58 | 1500-5800 | 2,3-28 | 230-2800 |
| Хром | 20-120 | 1000-6000 | 0,9-23 | 45-1150 |
| Цинк | 50-80 | 5000-8000 | 5,8-34 | 580-3400 |
| Медь | 10-60 | 10000-60000 | 3,9-11,4 | 3900-11400 |
| Барий | 264-1000 | 357-1351 | не определяли | не определяли |

Безусловно, приведенные результаты исследований важны для анализа последствий воздействия кислотных осадков при захоронении бурового шлама на суше. Однако предполагать полную инертность шлама, сброшенного на морское дно, без достаточного обоснования, по нашему мнению, не следует. Необходимо также учитывать, что буровой шлам может содержать радионуклиды.

Таким образом, буровой шлам является потенциально опасным для окружающей природной среды, поскольку содержит подвижные формы тяжелых металлов, которые при длительном воздействии на него морской воды могут вымываться, создавая концентрации токсикантов, превышающие ПДКр.х.

Правовые аспекты сброса технологических отходов бурения в морскую среду. Экологическое законодательство крайне противоречиво в отношении регулирования загрязнения морской среды. Его основные требования по охране качества водной среды, изложенные в Водном кодексе РФ, сводятся к запрещению сброса в водные объекты неочищенных в соответствии с установленными нормативами сточных вод, в том числе, содержащих вещества, для которых не установлены ПДК.

Федеральным Законом "О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации" запрещены захоронение отходов и других материалов, а также сброс вредных веществ. Однако в нем содержится некорректная формулировка сброса вредных веществ или стоков, содержащих такие вещества. Исключается из запрета выброс вредных веществ, происходящий вследствие разведки, разработки и связанных с ними процессов обработки в море минеральных ресурсов внутренних морских вод и территориального моря.

Допускают сброс вредных веществ в море и нормативные документы, принятые до введения указанных федеральных законов.

Полный запрет на сброс даже очищенных сточных вод устанавливается в целях охраны от загрязнения и других негативных последствий хозяйственной деятельности морских акваторий, имеющих особую рыбохозяйственную ценность - нереста и зимовки ценных охраняемых видов рыб, а также места обитания занесенных в Красную книгу видов животных и растений.

Несмотря на это, Государственная экологическая экспертиза не считает сброс технологических отходов бурения нарушением законодательства.

Следует отметить, что в соответствии с федеральными законами "О континентальном шельфе Российской федерации" и "О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации" любое преднамеренное удаление отходов и других материалов с судов и иных плавучих средств, установок и сооружений квалифицируется как захоронение. Вопрос с захоронением технологических отходов бурения однозначно решен лишь применительно к скважинам на континентальном шельфе. Согласно "Правилам безопасности при разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений на континентальном шельфе" выбуренная порода должна утилизироваться в соответствии с проектом на строительство скважины и требованиями охраны окружающей среды. Это представляется не вполне обоснованным, поскольку экологически оправданным и экономически целесообразным может быть и захоронение отходов (подземное или на суше) Вызывает также сомнение существование различных подходов к охране морской среды в территориальном море и на континентальном шельфе.

Вопрос правового регулирования загрязнения морской среды в настоящее время актуален в связи с принятием Федерального закона "О техническом регулировании", в рамках которого предусмотрена разработка специальных технических регламентов, в том числе, по вопросам экологической безопасности. Технические аспекты сброса технологических отходов бурения в морскую среду. Для выполнения требований экологического законодательства циркуляция промывочной жидкости в процессе бурения должна быть организована по замкнутому циклу. В этом случае обращение промывочной жидкости и технологических отходов бурения ограничено циркуляционной системой буровой установки и системой размещения технологических отходов бурения. Для организации замкнутого цикла циркуляции на этапе бурения под направление на устье скважины устанавливают водоотделяющую колонну, например, забивную и бурение ведут с циркуляцией промывочной жидкости внутри водоотделяющей колонны.

Однако при бурении скважин на сахалинском шельфе и в Каспийском море применяется способ бурения под направление без создания замкнутой системы циркуляции. В этом случае отработанная промывочная жидкость и буровой шлам при бурении под направление (примерно 50-100 м) сбрасываются в морскую среду. В действительности же промывка скважины только морской водой не ограничивается. Нефтяные и газовые скважины имеют сложную конструкцию с номинальным диаметром первого интервала ствола, как правило, 914,4 мм. Верхний интервал сложен неустойчивыми породами, которые при промывке скважины морской водой разрушаются с образованием каверн. Поэтому фактический диаметр ствола больше номинального примерно на 15-25 %. В стволе такого большого диаметра трудно создать условия для эффективного гидротранспорта бурового шлама на поверхность. Для этого нужно повышать скорость восходящего потока промывочной жидкости, либо увеличивать удерживающую способность промывочной жидкости, иначе говоря, загустить ее.

Применение первого способа ограничено максимальной производительностью буровых насосов. Как правило, скорость восходящего потока промывочной жидкости в открытом стволе не превышает 0,1 м/с. Применение второго способа означает отказ от промывки морской водой. Поскольку при отсутствии водоотделяющей колонны это невозможно, так как противоречит п. 4.2 ГОСТ 17.1.3.02 77, то в рабочем проекте на строительство скважины указывается, что промывка осуществляется морской водой, а периодически (как правило, через 10 м проходки) с целью очистки ствола скважины от шлама прокачивается порция (пачка) вязкой жидкости. Итак, для промывки скважины используется комбинированная промывочная жидкость, состоящая из последовательно закачиваемых в скважину порций морской воды и вязкой жидкости.

При бурении скважин в Каспийском море используют глинистую суспензию, на шельфе Охотского моря - глинистую суспензию, загущенную полимером (примерно 75 кг/м3 глинопорошка и 3 кг/м3 полимера). В этом случае из скважины в морскую среду сбрасываются тонкодисперсные глинистые частицы и полимер. При строительстве скважин в Каспийском море объем пачки вязкой жидкости составляет 20 м3. Следовательно, при бурении под направление длиной 50 м за четыре прокачки в море будет сброшено 80 м3 промывочной жидкости со шламом. Используемая промывочная жидкость состоит из бентонитового глинопорошка 70 кг/м3 (по ОСТ 39-202-86 может содержать свободной соды от 1,0 до 5,0 г/100 г и МgО от 2,5 до 8,0 %), соды каустической и кальцинированной по 1 кг/м3 и барита 113 кг/м3. Таким образом, в сброшенных в море 80 м3 промывочной жидкости, помимо шлама, содержатся 5600 кг тонкодисперсной глины, 160 кг каустической и кальцинированной соды и 9040 барита. Промывка осуществляется при суммарной производительности буровых насосов до 80 л/с.

Сброс технологических отходов бурения продолжается и на этапе крепления скважины направлением. Чтобы обеспечить спуск и последующее цементирование направления, ствол скважины заполняют промывочной жидкостью. Так, при строительстве скважин в Каспийском море ствол заполняют глинистой промывочной жидкостью, утяжеленной баритом до плотности 1160 кг/м3 (до утяжеления - 1080 кг/м3). В процессе спуска направления промывочная жидкость вытесняется из скважины в незначительном объеме. При цементировании направления происходит замещение промывочной жидкости тампонажным раствором. Поступление промывочной жидкости в морскую среду равно объему закачиваемого тампонажного раствора - 40 м3.

Таким образом, сброс (захоронение) технологических отходов бурения имеет место на всех этапах бурения и крепления первого интервала скважины и его следует учитывать при оценке воздействия на окружающую среду строительства морских скважин.

**Список литературы**

1. Инструкция по охране окружающей среды при бурении скважин на нефть и газ на суше (РД 39-133-94). - М.: Роснефть, 1994.

2. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. - М.: ВНИРО, 2001.

3. Балаба В.И., Колесов А.И., Коновалов Е.А. Проблемы экологической безопасности использования веществ и материалов в бурении. - М.: ИРЦ Газпром, 2001.

4. Михайлова Л.В., Рыбина Г.Е., Акатьева Т. Г. Экологическая опасность отходов бурения в нефтедобывающих районах Тюменской области//Охрана водных биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе и внутренних водных объектах Российской Федерации/Сборник материалов Международного семинара. - М.: Экономика и информатика, 2000.