

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ОСЕДАНИЯ ЧАСТИЦ БУРОВОГО ШЛАМА В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Г.М.Эфендиев¹, Т.Н.Маммадов²

1 – Институт геологии НАН Азербайджана

AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А

2 – Halliburton

Баку, Тбилисский просп., блок 1003

В статье приведены результаты исследований по определению закономерностей оседания частиц выбуренного шлама и отработанного бурового раствора в водной среде, получены эмпирические зависимости скорости оседания от размеров твёрдых частиц и времени оседания, а также проанализирован химический состав бурового шлама. В результате наблюдений и опытов получены распределения частиц, показывающие концентрацию фракций различных размеров в буровом растворе.

Одной из основных проблем, с которыми сталкиваются нефтегазовые компании при бурении морских скважин, является экологически безопасная утилизация буровых отходов.

В настоящее время рост объемов бурения глубоких скважин оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду. Только в последние годы в цикле строительства скважин стали предусматривать природоохранные мероприятия. Несмотря на это, все же рост числа бурящихся скважин продолжает оказывать заметное влияние на экологическую обстановку в районах проведения буровых работ. Особенно актуальны эти экологические проблемы при бурении морских скважин. (Патин, 2001; Мамедов, Ханларов, 2006). Дело в том, что буровые отходы включают в себя материалы различного состава и размеров и требуют проведения химического анализа, изучения статистического распределения фракций, исследования процессов седиментации частиц и закономерностей помутнения морской среды. Отсутствие общего мнения о закономерностях изменения скорости оседания частиц и их распределения существенно затрудняет оценку экологического состояния морской среды в районе ведения буровых работ, в то же время обуславливает важность и актуальность проведения отмеченных выше комплексных исследований. Исходя из этого, в

настоящей статье приводятся результаты анализа процесса оседания частиц бурового шлама и изучения влияния буровых отходов на степень помутнения морской среды.

Как известно (Патин, 2001; Мамедов, Ханларов, 2006; Вайншток и др., 1999), на изменение физико-химических свойств частиц выбуренной породы существенное влияние оказывает дисперсионная среда бурового раствора. Поры и трещины частиц породы заполняются дисперсионной средой бурового раствора. При этом минералогический состав бурового шлама определяется литологическим составом разбуриваемых пород и может существенно изменяться по мере углубления скважин. Химический состав бурового шлама зависит как от его минерального состава, так и от свойств бурового раствора. Гранулометрический состав шлама определяется типом и диаметром породоразрушающего инструмента, механическими свойствами породы, режимом бурения, свойствами и эффективностью очистки бурового раствора. Буровой раствор и вообще природные и промышленные воды содержат какое-то количество взвешенной фракции. В такой среде, как обычно, происходит процесс седиментации, который ведет, с одной стороны, к отстаиванию, то есть отделению твердой фракции от жидкой, что очищает водную среду, и загрязнению дна – с другой. При оседании глини-

стых частиц происходит также помутнение водной среды и длительное сохранение мутности воды. В ряде работ отмечается, что используемая в настоящее время теория седиментации основана на формуле Стокса, которая справедлива для одиночной частицы. Реальные же скорости оседания могут значительно отличаться от стоксовских, особенно для густой полидисперсной среды. Это связывают с тем, что частицы, движущиеся с разными скоростями и на небольшом расстоянии друг от друга, могут взаимодействовать между собой. Всё это играет большую роль в осадкообразовании бурового шлама вблизи скважины и оказывает существенное влияние на скорость оседания частиц, которая, являясь одной из важных характеристик, привлекает внимание большого количества исследователей. Наличие в составе бурового шлама частиц с различными размерами, массой и плотностью обуславливает сложность оценки их скоростей оседания.

В связи с этим в литературе дается различная интерпретация происходящим при этом явлениям. Так, согласно анализу, выполненному в работе (Уолкер, 1983), установившаяся скорость осаждения частиц песка размером 0,84 мм составляет 0,128 м/с, а частиц размером 2 мм – 0,274 м/с. В работе (Контроль за экологической ..., 1994) отмечается, что для частиц, диаметр которых больше 0,06 мм, скорость осаждения не подчиняется закону Стокса. В этом случае, как отмечает автор, большие частицы опускались на дно быстро, со скоростью примерно 1 см/с, меньшие по размеру частицы опускались гораздо дольше. Для их полного оседания требовалось более 10 минут. При проведении наших исследований такая же скорость наблюдалась для частиц диаметром более 2 мм (таблица 3). В работе (Мамедов, Ханларов, 2006) приводятся результаты численного моделирования распределения выбуренных частиц. Авторами установлено, что более тяжёлые частицы бурового шлама быстро осаждаются, незначительно рассеиваясь на дне непосредственно над точкой сброса. В этой же работе со ссылкой на результаты лабораторных исследований также отмечается, что глинистые вещества образуют

агрегаты, скорость которых в 1000 раз меньше, чем скорость, определённая по закону Стокса.

В (Патин, 2001) в виде таблицы указаны фракционный состав бурового шлама и скорость его осаждения в водной среде при бурении скважин на северо-восточном шельфе Сахалина со ссылкой на (Контроль за..., 1994).

С целью изучения закономерности изменения скорости оседания и проведения сравнительного анализа нами проведены наблюдения за влиянием на скорость осаждения в водной среде фракционного состава бурового шлама, отобранного из скважин, пробуренных как на Сахалине, так и на месторождениях Азербайджана.

Предварительно были проведены микроскопические исследования образцов пород, представленных в основном глинами с различными включениями. Отработанный шлам был подвергнут анализу с оценкой химического состава. При этом в составе шлама установлены окиси натрия, магния, алюминия, кремния, фосфора, калия, кальция, бария, железа и др. (таблица 1). Кроме того, определено содержание также и микроэлементов (таблица 2), наличие которых ещё раз подтверждает отрицательное влияние на окружающую среду отходов бурения скважины. Результаты изучения скорости осаждения шлама и сравнение их с данными (Патин, 2001) показали незначительное отличие их от таковых для шлама, отобранного из скважин, пробуренных на Сахалине. Однако значения скоростей частиц больших размеров резко отличаются: для шлама, отобранного из скважин, пробуренных на месторождении Гюнешли, скорость оседания значительно меньше по отношению к шламу, отобранному из скважин, пробуренных на северо-восточном шельфе Сахалина. Это объясняется тем, что шлам, отобранный из скважин месторождения Гюнешли, представлен относительно более крупными глинистыми частицами, которые в водной среде набухают и диспергируются.

Диспергирование еще более усиливается при повторном гидротранспорте частиц через скважину, что приводит к снижению скорости оседания в водной среде.

Таблица 1

Содержание химических соединений в буровом шламе, %

| № образца | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | SO ₃ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | Fe ₂ O ₃ | BaO | УК |
|----------------|-------------------|------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------|------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|
| 1 | 2.30 | 2.73 | 12.13 | 37.85 | 0.14 | 5.40 | 0.97 | 4.27 | 0.91 | 0.052 | 2.71 | 15.15 | 15.15 |
| 2 | 1.84 | 3.23 | 13.80 | 41.90 | 0.15 | 2.97 | 1.29 | 5.17 | 0.79 | 0.058 | 4.18 | 5.52 | 18.20 |
| 3 | 1.70 | 3.37 | 14.55 | 42.09 | 0.15 | 2.51 | 1.26 | 5.23 | 0.77 | 0.059 | 4.22 | 4.67 | 19.10 |
| 4 | 1.64 | 3.09 | 8.93 | 46.87 | 0.14 | 5.02 | 1.04 | 4.35 | 0.88 | 0.053 | 2.92 | 9.34 | 15.70 |
| 5 | 1.80 | 2.97 | 9.17 | 54.85 | 0.16 | 1.32 | 1.54 | 5.88 | 0.73 | 0.058 | 5.78 | 2.46 | 12.30 |
| 6 (Сахалин) | 2.12 | 2.39 | 10.32 | 60.05 | 0.15 | 0.98 | 2.10 | 2.27 | 0.70 | 0.039 | 4.74 | 1.82 | 11.75 |

Примечание: УК- содержание улетучивающихся при 950⁰С компонентов

Таблица 2

Содержание микроэлементов в буровом шламе, %

| № образца | Sr | Zn | Pb | Se | Cd | As | Hg |
|----------------|-------|--------|--------|----------|---------|----------|----------|
| 1 | 0.026 | 0.0072 | 0.0026 | 0.000009 | 0.00006 | 0.000066 | 0.000020 |
| 2 | 0.024 | 0.0120 | 0.0026 | 0.000012 | 0.00009 | 0.000072 | 0.000050 |
| 3 | 0.027 | 0.0125 | 0.0028 | 0.000018 | 0.00005 | 0.000124 | 0.000010 |
| 4 | 0.021 | 0.0096 | 0.0042 | 0.000013 | 0.00004 | 0.000112 | 0.000009 |
| 5 | 0.025 | 0.0084 | 0.0034 | 0.000015 | 0.00005 | 0.000094 | 0.000016 |
| 6 (Сахалин) | 0.124 | 0.0060 | 0.0012 | 0.000058 | 0.00009 | 0.000048 | 0.000042 |

Таблица 3

Результаты наблюдений за оседанием частиц шлама, отобранного из месторождения Гюнешли

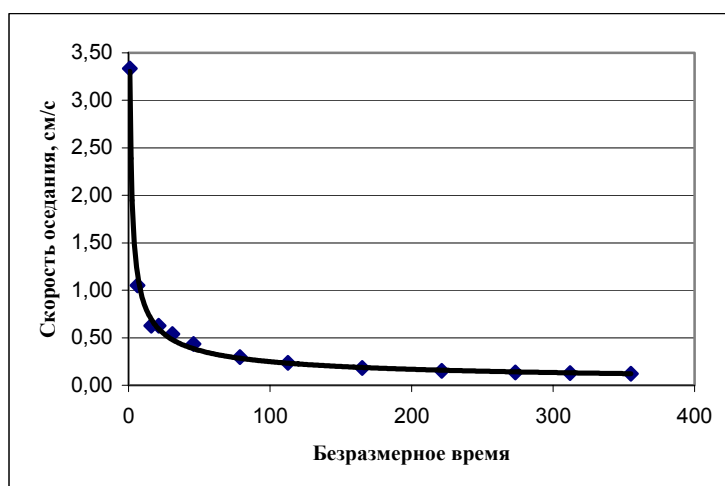
| Размер частиц (мм) | Масса (г) | Процентное содержание (%) | Скорость оседания (см /сек) |
|--------------------|-----------|---------------------------|-----------------------------|
| <0.01 | 2 | 5,2 | 0,1 |
| 0.01-0.5 | 3,6 | 9,5 | 0,16 |
| 0.5-2 | 4,4 | 11,8 | 0,17 |
| >2 | 28 | 73,5 | 1 |

Поэтому при изучении скорости оседания глинистых частиц необходимо учитывать временной фактор, что и было сделано нами. На рисунке 1 в виде графиков показано изменение скорости оседания глинистых частиц в зависимости от времени. Как видно, зависимость эта носит гиперболический характер. В рассматриваемом случае скорость оседания глинистых частиц в водной среде закону Стокса не подчиняется, хотя для двух исследо-

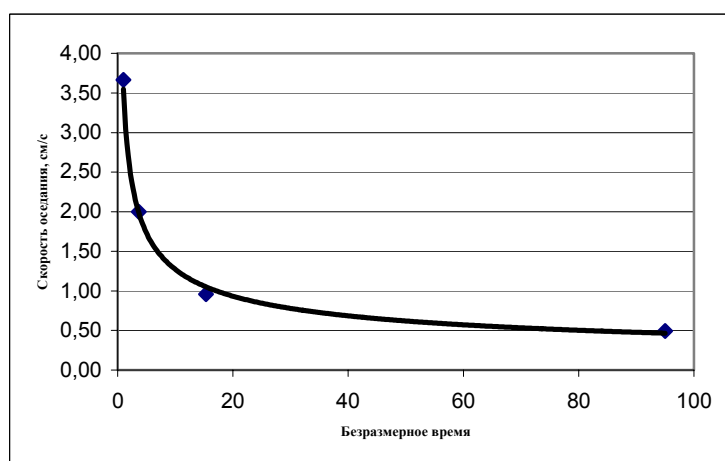
ванных случаев наблюдается корреляция между фактической скоростью оседания и скоростью, рассчитанной по формуле Стокса:

$$v = kV_{ст}V(t), \quad (1)$$

где v – наблюдаемая скорость оседания частиц; $V_{ст}$ – скорость, рассчитанная по формуле Стокса; $V(t)$ – функция скорости во времени; k – эмпирический коэффициент.



а)



б)

Рис. 1. Изменение скорости оседания глинистых частиц в зависимости от времени: (а) – для частиц диаметром до 0,01 мм (б) – для частиц диаметром от 0,01 до 2 мм

В частности, для глинистых частиц размером до 0,01 мм и от 0,01 мм до 2 мм соответственно для скорости оседания получены следующие эмпирические зависимости:

$$V = \frac{1971.56d^2(\rho_1 - \rho_2)g}{\left(\frac{t}{t_1}\right)^{0.56}}, \quad (2)$$

$$V = \frac{0.054d^2(\rho_1 - \rho_2)g}{\left(\frac{t}{t_1}\right)^{0.45}}. \quad (3)$$

Для проведения расчетов скоростей оседания различных частиц выполнен анализ распределения их по размерам в отобранных пробах. С этой целью был исполь-

зован прибор “Master Sizer 2000” фирмы Малверн, принцип действия которого основан на измерении распределения интенсивности рассеянного лазерного луча, пропущенного через отобранные пробы. В результате наблюдений получены распределения частиц, которые показывают концентрацию фракций различных размеров. В рассмотренных случаях, как видно из рисунка 2, когда закон распределения близок к нормальному, что было установлено с помощью статистических оценок, основные размеры фракций охватывают интервал от 2 до 9 мкм, а в некоторых других случаях, когда наблюдаются полимодальные распределения, – 0,5-1 мкм и 7-26 мкм, а также 0,5-1 и 7-14 мкм соответственно.

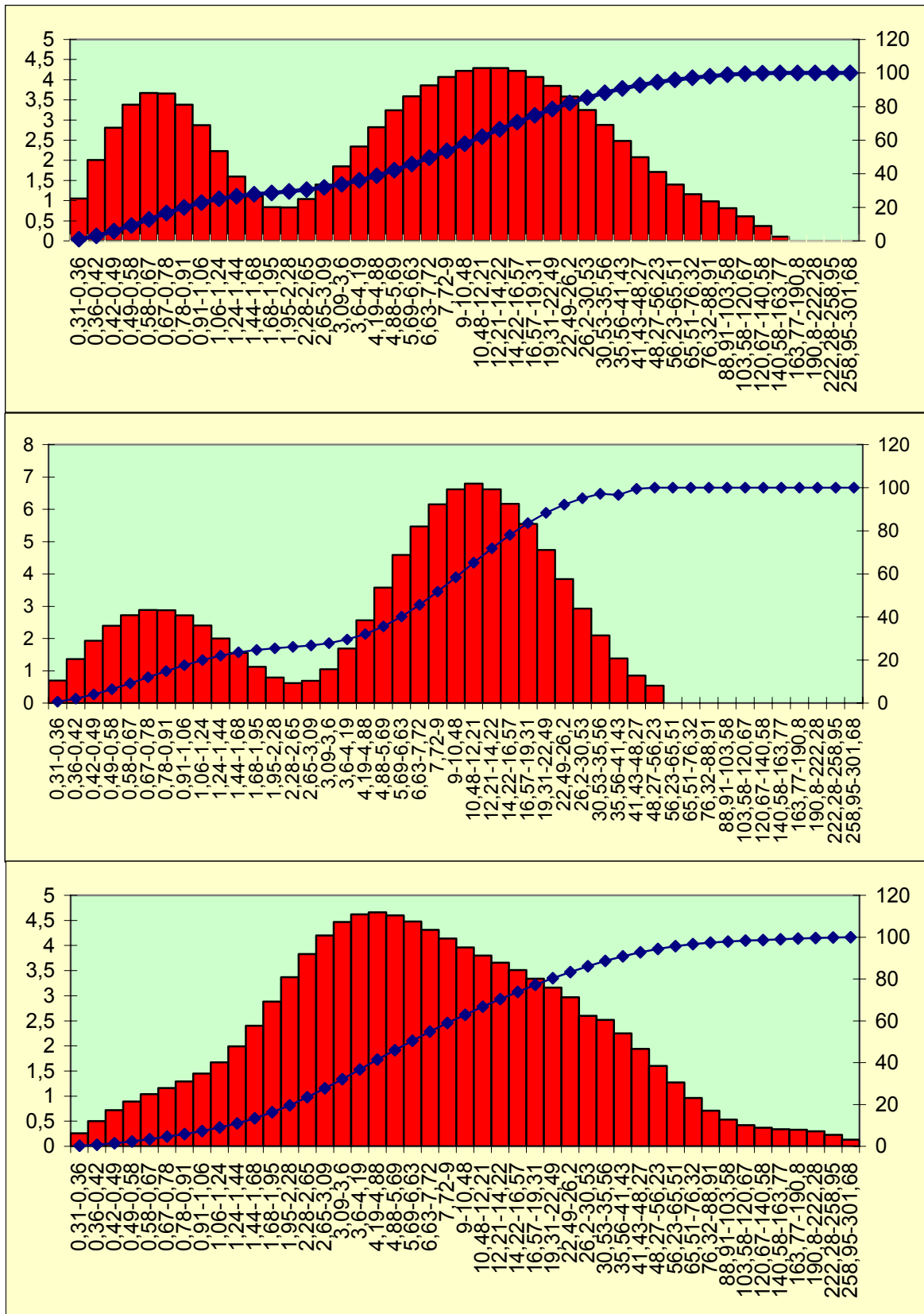


Рис. 2. Распределение частиц в буровом растворе. Проект Сахалин 1. Глубины: а) 6600 м, б) 8100 м, в) 8950 м

Выводы

1. Выполнен анализ исследований химического состава бурового шлама, который позволил установить наличие в нём вредных для окружающей среды элементов и соединений.

2. Исследован процесс седиментации частиц бурового шлама в водной среде, и получены зависимости, показывающие изменение скорости оседания частиц во времени.

3. Выполнен анализ распределения частиц в буровом растворе, который позволил установить, что в рассматриваемом случае, когда закон распределения близок к нормальному, основные размеры фракций охватывают интервал 2-9 мкм, а в некоторых других случаях, когда наблюдаются полимодальные рас-

пределения, – 0,5-1 мкм и 7-26 мкм, а также 0,5-1 и 7-14 мкм соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

- ВАЙНШТОК, С.М., МОЛЧАНОВ, А.Г., НЕКРАСОВ, В.И., ЧЕРНОБРОВКИН, В.И. 1999. Подземный ремонт и бурение скважин с применением гибких труб. Издательство Академии горных наук. 224.
- Контроль за экологической безопасностью при бурении нефтяных и газовых скважин на суше. 1994. Роснефть. 58.
- МАМЕДОВ, Р.М., ХАНЛАРОВ, А.Г. 2006. Эколого-географические аспекты моделирования процесса переноса шлама и бурового раствора при сбросе на поверхность моря. *Известия НАНА, Науки о Земле*, 3, 98-107.
- ПАТИН, С.А. 2001. Нефть и экология континентального шельфа. ВНИРО. Москва.
- УОЛКЕР, Дж. 1983. Кофе по-турецки. *В мире науки*, 6, 114-118.