

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

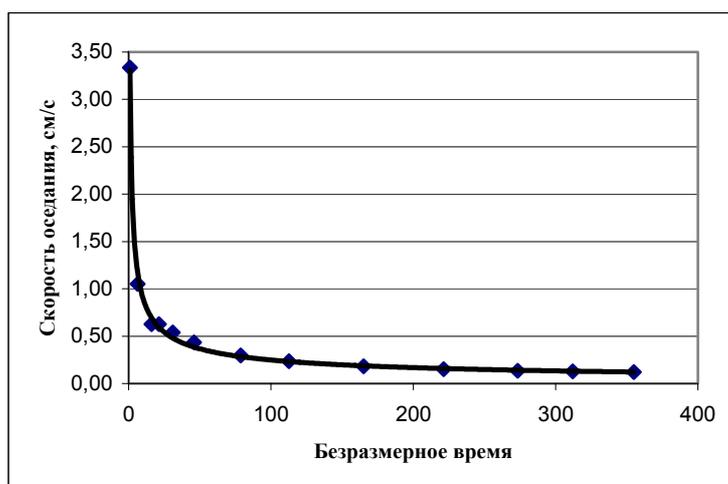
Размер частиц (мм)	Масса (г)	Процентное содержание (%)	Скорость оседания (см /сек)
<0.01	2	5,2	0,1
0.01-0.5	3,6	9,5	0,16
0.5-2	4,4	11,8	0,17
>2	28	73,5	1

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-

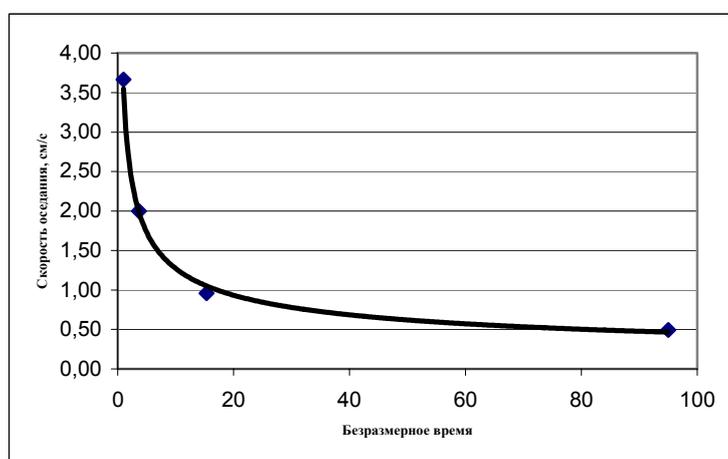
ванных случаев наблюдается корреляция между фактической скоростью оседания и скоростью, рассчитанной по формуле Стокса:

$$v = kV_{ст}V(t), \quad (1)$$

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.

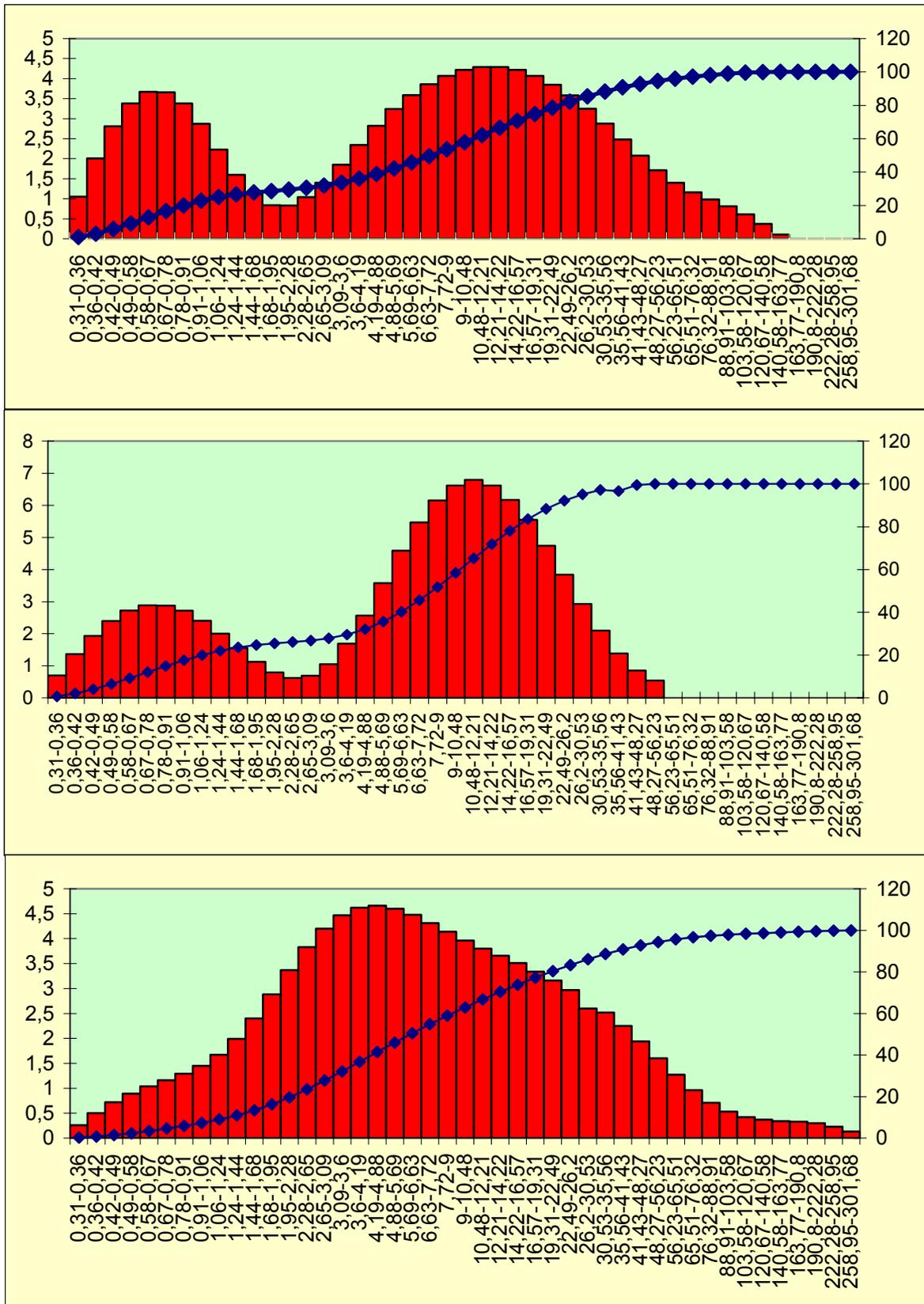


Рис. 2. Распределение частиц в буровом растворе. Проект Сахалин 1. Глубины: а) 6600 м, б) 8100 м, в) 8950 м

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.