



УДК 622.24

ОЦЕНКА И АНАЛИЗ ОТМЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУФЕРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

ASSESSMENT AND ANALYSIS OF THE LAUNDER ABILITY OF BUFFER FLUIDS

Каменских Сергей Владиславович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры бурения,
Ухтинский государственный технический университет
skamenskih@ugtu.net

Уляшева Надежда Михайловна

кандидат технических наук, профессор,
заведующая кафедрой бурения,
Ухтинский государственный технический университет
nulyasheva@ugtu.net

Аннотация. В статье рассмотрена проблема разрушения и смыва фильтрационной корки бурового раствора буферными жидкостями при креплении скважин. В работе представлены результаты лабораторных исследований по оценке влияния различных буферных жидкостей, включающих растворы неорганических электролитов с добавкой в качестве стабилизатора КМЦ как с использованием дополнительных реагентов (НТФ и Атрэн SA), так и без них. На основании проведенных экспериментов исследованы и установлены зависимости интенсивности фильтрации буферных жидкостей от типа и концентрации буровых растворов, неорганических солей, дополнительных реагентов и др.

Ключевые слова: буферные жидкости, интенсивность фильтрации, фильтрационная корка, неорганические соли (электролиты).

Kamensk Sergey Vladislavovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
associate professor of drilling,
Ukhta state technical university
skamenskih@ugtu.net

Ulyasheva Nadezhda Mikhaelovna

Candidate of Technical Sciences, Professor,
Manager of department of drilling,
Ukhta state technical university
nulyasheva@ugtu.net

Annotation. The article considers the problem of the destruction and flushing of the filter cake of drilling fluid buffer fluids while cementing. The paper presents the results of laboratory studies to assess the impact of different buffer liquids, including solutions of inorganic electrolytes with the additive as a stabilizer CMC as using additional reagents (NTF and Atren SA), and without them. Based on the conducted experiments and investigated the dependence of the intensity of filtration of buffer liquids of the type and concentration of drilling fluids, inorganic salts and additional reagents, etc.

Keywords: buffer liquid, the intensity of the filtering, filter cake, inorganic salts (electrolytes).

При креплении скважин довольно значительное влияние на качество цементирования оказывают буферные жидкости, которые выполняют ряд важных функций, в частности, разрушение и смыв со стенок скважины фильтрационной корки, разделение промывочной и тампонажной жидкости и т.д. [1–4 и др.]. При этом удаление сформированной буровым раствором на стенке скважины фильтрационной корки, которая, с одной стороны, многократно снижает дальнейшее проникновение бурового раствора в пласт, а с другой – препятствует надежному разобщению пластов при цементировании обсадной колонны, представляет определенные трудности. Механическое удаление фильтрационной корки, особенно при использовании полимер-глинистых и безглинистых буровых растворов, как правило, не дает ожидаемого результата, а ее химическое разрушение осуществить достаточно проблематично. Поэтому большое значение приобретает компонентный состав и коркообразующие свойства буровых растворов, которые влияют как на качество вскрытия пластов, так и надежность крепления скважин. В последние годы сервисными компаниями для вскрытия продуктивных пластов предлагаются специальные промывочные системы, минимально загрязняющие продуктивный пласт, например, безглинистые биополимерные и малоглинистые полимерные буровые растворы, которые имеют ряд преимуществ: низкое содержание тонкодисперсной коллоидной составляющей, способность образовывать на поверхности фильтрации гидрофильной тонкой и плотной фильтрационной корки, способность образовывать низкопроницаемую зону кольматации. При этом сформированная корка, как правило, не разрушается не только механическим способом, но и использованием специальных буферных жидкостей, что приводит к некачественному адгезионному сцеплению цементного камня со стенками скважины. Следует также отметить, что химическая обработка любого бурового раствора высокоэффективными полимерными реагентами акрилового (ПАА, полиакрилнитролы и др.) или полисахаридного (биополимеры, крахмальные реагенты) ряда, а также эфирами целлюлозы (КМЦ, полианионная целлюлоза и др.) приводит к тем же результатам. Получается, что преимущества, полученные при первичном вскрытии пласта с применением определенного типа бурового раствора, могут быть утрачены в процессе крепления скважины, поэтому разработка и



исследование буферных жидкостей, способных разрушать и отмывать фильтрационную корку с целью повышения качества цементирования, несомненно, является актуальной задачей.

На кафедре бурения УГТУ были проведены исследования по оценке отмывающей способности различных буферных жидкостей с использованием фильтропресса фирмы OFITE [1, 2], которые проводились с использованием трех типов буровых растворов (Optima, Poly Plus и Boremax), достаточно часто применяемых сервисными компаниями на площадях и месторождениях Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПНГП) и Западной Сибири. Составы исследуемых буровых растворов представлены в таблице 1. В качестве буферных жидкостей применялись растворы неорганических солей (электролитов) с добавкой стабилизатора (КМЦ) как с использованием дополнительных реагентов НТФ и Atren SA, так и без них. Составы буферных жидкостей представлены в таблицах 2–4.

Таблица 1 – Рецептуры исследуемых буровых растворов

№ п/п	Наименование химреагента	Концентрация химреагента, кг/м ³ (л/м ³)		
		Optima	Poly Plus	Boremax
1	Бентонит	30,0	5,0	10,0
2	Duovis	1,0	1,5	–
3	Clay Graber	–	–	1,5
4	Reacap	3,0	–	–
5	Reastab	3,0	–	–
6	Poly Plus	–	3,0	–
7	SP-101	–	1,5	–
8	Thinsmart	–	1,0	–
9	Polyac Plus	–	–	3,0
10	Desco	–	–	5,0
11	МК-50	50,0	50,0	50,0
12	Defoamer	1,0	1,0	1,0

Таблица 2 – Составы буферных жидкостей (стабилизатор и соли)

№ п/п	Химический реагент	Концентрация реагента							
		%				кг/м ³ (л/м ³)			
		0,5	0,5	0,5	0,5	5	5	5	5
1	КМЦ	–	5	10	15	–	50	100	150
	Хлорид кальция (CaCl ₂)	–	5	10	15	–	50	100	150
2	КМЦ	–	5	10	15	–	50	100	150
	Хлорид калия (KCl)	–	5	10	15	–	50	100	150
3	КМЦ	–	5	10	15	–	50	100	150
	Сульфат алюминия (Al ₂ (SO ₄) ₃)	–	5	10	15	–	50	100	150
4	КМЦ	–	5	10	15	–	50	100	150
	Хлорид натрия (NaCl)	–	5	10	15	–	50	100	150

Таблица 3 – Составы многокомпонентных буферных жидкостей (НТФ)

№ п/п	Химический реагент	Концентрация реагента											
		%						кг/м ³ (л/м ³)					
		0,5						5					
1	КМЦ	0,5						5					
	НТФ	0,06	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	0,6	1	2	3	5	10
2	КМЦ	0,5						5					
	CaCl ₂	10						100					
3	КМЦ	0,5						5					
	KCl	10						100					
4	КМЦ	0,5						5					
	Al ₂ (SO ₄) ₃	10						100					
	НТФ	0,06	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	0,6	1	2	3	5	10



Таблица 4 – Составы многокомпонентных буферных жидкостей (Atren SA)

№ п/п	Химический реагент	Концентрация реагента											
		%						кг/м ³ (л/м ³)					
1	KMЦ	0,5						5					
	CaCl ₂	10						100					
	Atren SA	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	2	4	5	6	8
2	KMЦ	0,5						5					
	KCl	10						100					
	Atren SA	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	2	4	5	6	8
3	KMЦ	0,5						5					
	Al ₂ (SO ₄) ₃	10						100					
	Atren SA	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	2	4	5	6	8

Исследования проводились в два этапа. Первый этап включал формирование буровым раствором фильтрационной корки, а второй – интенсивность ее разрушения [1, 2]. Первоначально была оценена степень воздействия неорганических солей на полимер-глинистые буровые растворы различного компонентного состава (табл. 1). В качестве неорганических солей использовались хлориды кальция, калия, натрия и сульфат алюминия (табл. 2). Результаты исследований представлены на рисунках 1–3.

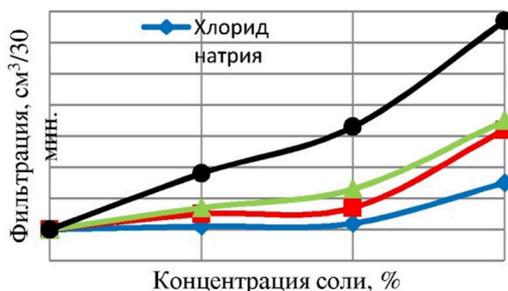


Рисунок 1 – Зависимость фильтрации буферной жидкости от типа и концентрации соли (Optima)

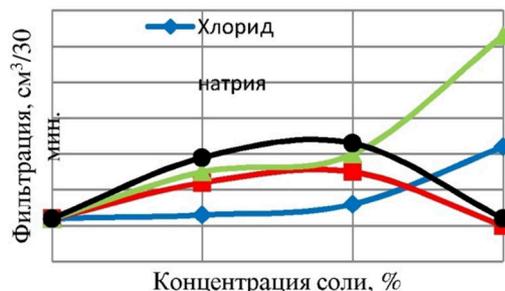


Рисунок 2 – Зависимость фильтрации буферной жидкости от типа и концентрации соли (Poly Plus)

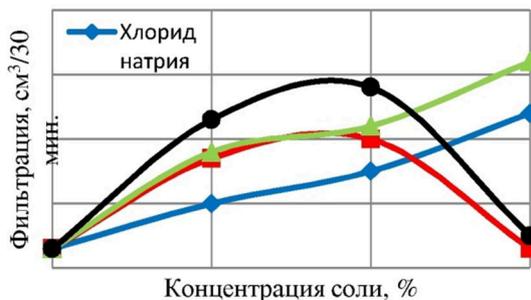


Рисунок 3 – Зависимость фильтрации буферной жидкости от типа и концентрации соли (Boremax)

В результате проведенных экспериментов (рис. 1–3) установлено, что неорганические электролиты в концентрации до 10 % по степени воздействия выстраиваются в следующий ряд: CaCl₂, KCl, Al₂(SO₄)₃, NaCl, что обусловлено активностью металлов: Ca > K > Al > Na. При этом интенсивность разрушения фильтрационной корки, определяемая объемом фильтрата, зависит от состава буровых растворов. В частности, фильтрационная корка раствора Boremax разрушается интенсивнее (интенсивность возрастает на 15–25 % по сравнению с Poly Plus и Optima). По-видимому, разница в интенсивности фильтрации связана с отсутствием в растворе Boremax биополимера (табл. 1). Большая интенсивность фильтрации хлорида кальция во всех растворах в концентрации до 10 % обусловлена высаливанием акрилатов. С увеличением концентрации электролитов до 15 % изменяется характер разрушения фильтрационных корок, о чем свидетельствуют фильтрационные потери. В растворах Boremax и Poly Plus в присутствии пептизаторов соответственно Desco и Thinsmart соли поливалентных металлов как бы теряют свою агрессивность. При этом изменяется структура корки: внешние слои становятся рыхлыми, а снижение фильтрации обусловлено, видимо, кольматацией внутренних



слоев. Фильтрационные корки, представленные на рисунках 4 и 5, подтверждают меньшую стабильность фильтрационных корок раствора Boremax при воздействии неорганических электролитов.



Рисунок 4 – Фильтрационная корка, сформированная после фильтрации буферной жидкости (0,5 % КМЦ и 15 % $Al_2(SO_4)_3$) через корку бурового раствора Poly Plus



Рисунок 5 – Фильтрационная корка, сформированная после фильтрации буферной жидкости (0,5 % КМЦ и 15 % $Al_2(SO_4)_3$) через корку бурового раствора Boremax

Проведенные исследования (рис. 1–3) позволили установить:

- достаточную эффективность использования неорганических электролитов ($CaCl_2$, KCl , $Al_2(SO_4)_3$), по сравнению с технической водой, обработанной стабилизатором (КМЦ);
- относительно низкую эффективность хлорида натрия по сравнению с другими исследуемыми неорганическими солями и технической водой, обработанной стабилизатором (КМЦ);
- увеличение концентрации солей в буферных жидкостях с 10 до 15 %, не смотря на увеличение интенсивности фильтрации отдельных электролитов (KCl , $NaCl$ в растворах Boremax и Poly Plus), представляет определенные трудности, связанные как с приготовлением буферных жидкостей, так и увеличением материальных и транспортных затрат.

Довольно часто в качестве буферных жидкостей применяют различные моющие средства. Поэтому дальнейшие исследования проводились с использованием многокомпонентных буферных жидкостей, в состав которых кроме синтетических моющих средств (НТФ и Atren SA) входили неорганические электролиты ($CaCl_2$, KCl , $Al_2(SO_4)_3$) в концентрации 10 % и стабилизатор (КМЦ). Результаты исследований с использованием НТФ (табл. 3) представлены на рисунках 6–8. Результаты исследований с использованием Atren SA (табл. 4) представлены на рисунках 9–11.

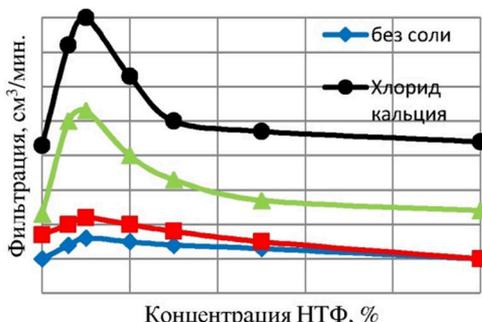


Рисунок 6 – Зависимость фильтрации буферной жидкости от типа соли (10 %) и концентрации НТФ (Optima)



Рисунок 7 – Зависимость фильтрации буферной жидкости от типа соли (10 %) и концентрации НТФ (Poly Plus)

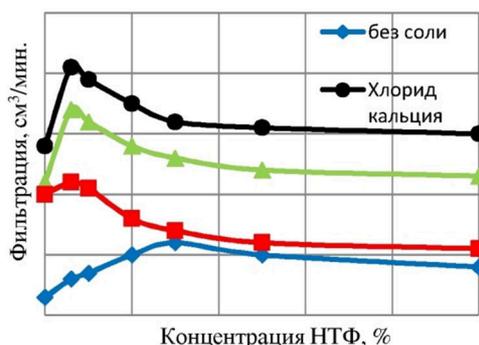


Рисунок 8 – Зависимость фильтрации буферной жидкости от типа соли (10 %) и концентрации НТФ (Boremax)



Проведенный анализ рисунков 6–8 показал, что наличие неорганических электролитов в буферных жидкостях интенсифицирует процесс разрушения фильтрационных корок независимо от состава бурового раствора. При этом интересно отметить следующие моменты:

- интенсивность фильтрации максимальна в присутствии электролитов при одинаковой концентрации НТФ;
- эффективная концентрация НТФ при этом снижается в 3 раза (исключение фильтрационная корка бурового раствора Optima);
- степень влияния неорганических солей совпадает с предыдущими результатами, т.е. интенсивность фильтрации распределяется следующим образом (в порядке убывания): $\text{CaCl}_2 > \text{KCl} > \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (рис. 6–8);
- концентрация НТФ в буферной жидкости не должна превышать определенного количества, при котором достигается максимум эффективности. При дальнейшем увеличении концентрации НТФ в буферной жидкости проницаемость фильтрационной корки практически не изменяется, особенно это относится к буферным жидкостям, содержащим сульфат алюминия. Можно предположить вероятность коагуляции порового пространства продуктами гидролиза, гетерокоагуляции или комплексообразования.

Максимальная интенсивность фильтрации многокомпонентных буферных жидкостей наблюдается через фильтрационную корку бурового раствора Poly Plus и далее в порядке убывания: Optima и Boremax, что обусловлено, в первую очередь, увеличением содержания твердой фазы (бентонита) и, во вторую, наличием танина (Desco) в растворе Boremax.

В результате проведенных экспериментов (рис. 6–8) установлено, что наилучшей отмывающей способностью фильтрационных корок буровых растворов (Optima, Poly Plus, Boremax), включающих акрилаты (Reacap, Reastab, Poly Plus, SP-101, Clay Graber, Polyac Plus), лигносульфонат (Thinsmart) или танин (Desco), обладают буферные жидкости, в состав которых входит 0,5 % стабилизатора (КМЦ), 10 % неорганического электролита (CaCl_2 или KCl) и 0,05-0,1 % НТФ. При этом использование в качестве соли CaCl_2 эффективнее, чем применение KCl .

Следующая исследуемая многокомпонентная буферная жидкость содержит синтетическое моющее средство Atren SA (0,1; 0,2; 0,4; 0,5; 0,6 и 0,8 %), неорганические электролиты (CaCl_2 , KCl , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) в концентрации 10 % и стабилизатор (КМЦ). Полученные результаты представлены на рисунках 9–11, составы буферных жидкостей в таблице 4.

Анализ результатов исследований (рис. 9–11) показал, что многокомпонентные буферные жидкости с моющим средством Atren SA незначительно отличаются по своей эффективности от растворов электролитов (см. рис. 1–3).

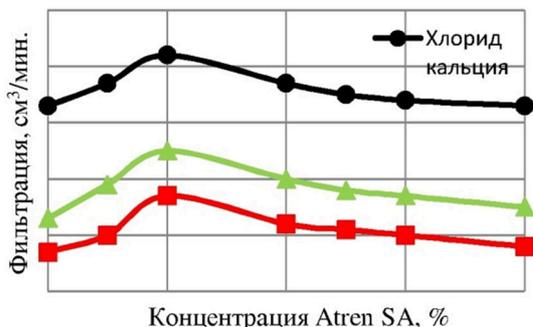


Рисунок 9 – Зависимость фильтрации буферной жидкости от типа соли (10 %) и концентрации Atren SA (Optima)

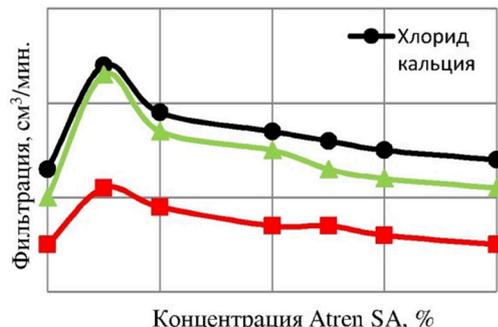


Рисунок 10 – Зависимость фильтрации буферной жидкости от типа соли (10 %) и концентрации Atren SA (Poly Plus)

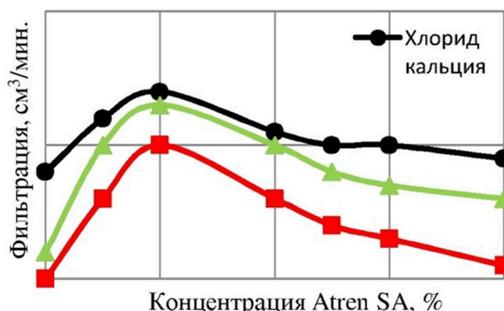


Рисунок 11 – Зависимость фильтрации буферной жидкости от типа соли (10 %) и концентрации Atren SA (Boremax)

Наибольшая интенсивность фильтрации данной буферной жидкости, содержащей электролиты (CaCl_2 , KCl , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), отмечается через фильтрационную корку бурового раствора Poly Plus и далее



(в порядке убывания): Boremax и Optima, что связано с увеличением содержания твердой фазы (бентонита) и химическим составом реагентов-стабилизаторов. При этом интенсивность фильтрации буферных жидкостей с KCl и $Al_2(SO_4)_3$ через фильтрационные корки буровых растворов Poly Plus и Boremax увеличивается, по сравнению с Optima, указывая тем самым на эффективность их использования при отмывании фильтрационных корок, содержащих лигносульфонаты и танины.

Применение в качестве соли $CaCl_2$ более эффективно, чем использование KCl и $Al_2(SO_4)_3$. Однако следует отметить, что эффективность применения в буферных жидкостях в качестве соли KCl и $Al_2(SO_4)_3$ уменьшается при увеличении содержания твердой фазы (бентонита) и увеличивается при наличии в буровом растворе лигносульфонатов и танинов.

Сравнительный анализ эффективности исследованных буферных жидкостей показал, что использование в качестве синтетического моющего средства НТФ наиболее эффективно, чем применение Atren SA, в среднем в 1,2 раза.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать **следующие выводы**:

1. Использование буферных жидкостей, включающих техническую воду, стабилизатор и синтетическое моющее средство, малоэффективно. Хотя, во всех случаях все буферные жидкости в определенной степени оказывают положительное воздействие на призабойную зону пласта. При этом эффективность использования буферной жидкости значительно увеличивается, если обработать ее дополнительно неорганическим электролитом.

2. Интенсивность фильтрации исследованных типов неорганических электролитов ($CaCl_2$, KCl, $Al_2(SO_4)_3$, NaCl) в концентрации до 10 % как с использованием синтетических моющих средств (НТФ, Atren SA), так и без них, распределяется следующим образом (в порядке убывания): $CaCl_2 > KCl > Al_2(SO_4)_3 > NaCl$, что обусловлено активностью металлов ($Ca > K > Al > Na$). Последующее увеличение концентрации неорганических солей в буферных жидкостях с 10 до 15 % способствует разрушению фильтрационных корок хлоридами калия и натрия. При этом влияние солей поливалентных металлов становится не столь заметно, что связано с химическими процессами с компонентами буровых растворов (акрилатами), включая возможное комплексообразование полимеров различных классов с неорганическими электролитами, гидролиз и гетерокоагуляцию. В промысловых условиях рекомендуется использовать буферные жидкости с концентрацией до 10 %.

3. Довольно значительное влияние на интенсивность разрушения фильтрационных корок и, следовательно, фильтрацию буферных жидкостей оказывает содержание в применяемом буровом растворе твердой фазы и присутствие биополимера, танинов и лигносульфонатов.

4. Использование сульфата алюминия ($Al_2(SO_4)_3$) совместно с НТФ малоэффективно, что связано с их химическим взаимодействием.

5. Проницаемость фильтрационных корок малоглинистых полимерных буровых растворов увеличивается в большей степени при использовании в качестве буферных жидкостей многокомпонентных систем, в частности:

– 0,5 % стабилизатора (КМЦ), 10 % неорганического электролита ($CaCl_2$ или KCl) и 0,05–0,1 % НТФ ($CaCl_2$ более эффективен, чем KCl);

– 0,5 % стабилизатора (КМЦ), 10 % неорганического электролита ($CaCl_2$, или KCl, или $Al_2(SO_4)_3$) и 0,1–0,2 % Atren SA ($CaCl_2$ более эффективен, чем KCl и $Al_2(SO_4)_3$).

Литература:

1. Вороник А.М. Разработка решений по повышению качества крепления скважины в условиях поглощений и сероводородной агрессии / А.М. Вороник, С.В. Каменских, Ю.Л. Логачев, Н.М. Уляшева // Инженер-нефтяник: Научно-технический журнал. – М. : IDS Group, 2016. – № 1. – С. 5–11.

2. Вороник А.М. Крепление скважин в высокопроницаемых горных породах в условиях сероводородной агрессии / А.М. Вороник, С.В. Каменских, Ю.Л. Логачев, Н.М. Уляшева // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море: Научно-технический журнал. – М. : ВНИИОЭНГ, 2016. – № 4. – С. 34–38.

3. Булатов А.И. Буровые промысловые и тампонажные растворы / А.И. Булатов, П.П. Макаренко, Ю.М. Проселков. – М. : Недра, 1999. – 424 с.

4. Лихущин А.М. К вопросу выбора рационального типа буферной жидкости / А.М. Лихущин, В.Е. Мясичев, О.Г. Мязин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море: Научно-технический журнал. – М. : ВНИИОЭНГ, 2013. – № 6. – С. 35–38.

References:

1. Voronik A.M. Development of solutions to improve the quality of fastening of wells under conditions of acquisitions and hydrogen sulfide aggression / A.M. Voronik, S.V. Kamenskikh, Y.L. Logachev, N.M. Ulyasheva // Petroleum engineering: Scientific and technical journal. – M. : IDS Group, 2016. – № 1. – P. 5–11.

2. Voronik A.M. Mount wells in high-permeability rocks under conditions of hydrogen sulfide aggression / A.M. Voronik, S.V. Kamenskikh, Y.L. Logachev, N.M. Ulyasheva // Construction of oil and gas wells on land and at sea: Scientific-technical journal. – M. : VNIIOENG, 2016. – № 4. – P. 34–38.

3. Bulatov A.I. Drilling flushing and grouting solutions / A.I. Bulatov, P.P. Makarenko, Y.M. Proselkov. – M. : Nedra, 1999. – 424 p.

4. Likhushin A.M. Selection of a rational type of buffer fluid / A.M. Likhushin, V.E. Myasischev, O.G. Myazin // Construction of oil and gas wells on land and at sea: Scientific-technical journal. – M. : VNIIOENG, 2013. – № 6. – P. 35–38.