

УДК 622.24

ПЕРСПЕКТИВЫ И СОВРЕМЕННЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛИКАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

Ли Цзиньян

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
e-mail: jinyangli-123@mail.ru*

Аннотация. *Автором дается обзор области применения силикатов щелочных металлов, а также факторов влияющих на эффективность применения силикатных добавок в буровом растворе, буферной жидкости. Описано влияние силикатов на проницаемость продуктивных пластов и устойчивость стали к коррозии. Приведены результаты сравнения щелочного силикатного геля с кислотным гелем при кольматации нефтяных скважин.*

Ключевые слова: *силикаты щелочных металлов, буровой раствор, буферная жидкость, проницаемость, коррозия, силикатный гель*

В настоящее время силикаты щелочных металлов (натрия и калия) широко используются в современной нефтяной промышленности при бурении в качестве добавок к буровому раствору и буферной жидкости благодаря ряду их преимуществ: экономичности, широкому выбору источников, совместимости со средой, безопасности и т.д.

Практика показала, что силикатные буровые растворы эффективно повышают устойчивость стенки скважин, предотвращают обвалы и осыпи, в некоторой степени защищают забойные бурильные инструменты и обсадные колонны от коррозии.

Буферные жидкости с силикатом натрия способствуют повышению качества сцепления цементного камня с обсадной колонной и горной породой, таким образом, улучшая качество цементирования.

В данной работе обобщены современные исследование и применение силиката в качестве добавок в промывочные жидкости, определены перспективы применения силиката при бурении в будущем.

С увеличением объемов бурения в КНР, работы в этом направлении проводятся на новых нефтяных месторождениях со сложными геологическими условиями, число которых ежегодно растет. В результате этого при бурении часто происходят обвалы, прихваты, коррозия забойных инструментов и обсадных колонн, другие осложнения и аварии. Все это продлевает срок строительства скважин, принося большие экономические потери. При длительном бурении продуктивные пласты загрязняются некачественными промывочными жидкостями при заканчивании скважин.

При цементировании, учитывая экономичность и простоту процесса, широко распространено применение воды в качестве буферной жидкости, загрязняющей продуктивные пласты. Кроме того, вода ухудшает качество сцепления цемента с обсадной колонной и горной породой из-за плохих реологических параметров и плохой отмывки стенок скважин.

В настоящее время, согласно исследованиям, эти проблемы решены путем применения промывочной жидкости с силикатом натрия в качестве добавки. При этом силикат обладает экономичностью и приспособляемостью без загрязнения.

1. Применение силиката натрия в буровом растворе

В процессе бурения, когда буровой раствор поступает в пласт, происходит гидратация сланцев, их набухание и диспергация, что приводит к снижению механической прочности сланца. Советские ученые показали, что одним из самых эффективных способов для предотвращения обвалов, кавернообразования и прихватов при наличии глинистых осадочных пород с высоким содержанием воды, является применение силикатного бурового раствора. Механизм предупреждения осложнений назван химическим укреплением [1].

Обычно силикатные растворы разделяются на три типа: органический, неорганический и полимерный. Советские специалисты успешно готовили неорганическую силикатную систему из силиката, соли, воды, барита и глины для предупреждения обвала сланцев [2].

Van Oort E рекомендовал применение силикатного полимерного бурового раствора на водной основе, рецепт которого показывается в табл. 1.1.

Таблица 1.1 Рецепт полимерного силикатного бурового раствора

Реагент	Полимерно-силикатная система, %	Соль-силикатная система, %
ХС (биополимер)	2,86	5,72
РАСР	4,29	-
РАС-LV(КМЦ)	2,86	2,68
крахмал	11,44	11,44
NaOH	1,43	0-0,57
KCl	1,43 - 100	-
Na ₂ CO ₃	0,72	-
NaCl	насыщенный	насыщенный
барит	-	-
Силикат натрия	5	5

1.1. Механизм предотвращения обвалов

Силикат натрия в воде существует в виде ионов, коллоидов и молекул в результате его гидролиза и полимеризации продуктов гидролиза. Неорганические коллоидные вещества адсорбируются через водородную связь на поверхности которой образуется прочная плёнка, препятствующая проникновению фильтрата бурового раствора и набуханию сланца, и одновременно в некоторой степени укрепляющая рыхлые породы. Причём при реакции поступающего в пласт силиката с кальцием образуется силикат кальция, заделывающий пластовые трещины и укрепляющий стенки скважин. Когда поступающий силикат встречается с водой при величине водородного показателя меньше 9, сразу образуются гель и осадок, которые заделывают трещины и поры, таким образом препятствуя дальнейшему поступлению фильтрата бурового раствора в сланцевый пласт. Кроме того, при забойной температуре более 80° происходит реакция поликонденсации между силикатом с глинистым минералом и образуется сцементированное вещество, под воздействием которого укрупняются частицы глинистых минералов, укрепляющие стенки скважин.

1.2. Принцип повышения устойчивости стенок скважин силикатной системой включают следующее:

1. При поступлении силиката в пору пласта и контакте его с химическими веществами происходит реакция, и образуются трёхмерные гели и нерастворимые сгустки, которые на стенках скважины перекрывают поры сланца и мелкие зазоры. При этом дальнейшее поступление фильтрата из скважины в пласт под давлением исключаются;
2. Силикаты подавляют капиллярное набухание и диспергацию минералов в сланце;
3. Возможность образования новых веществ при реакции между силикатами и минералами в глине, которые приводят к повышению устойчивости стенок;
4. Силикаты взаимодействуют с KCl и NaCl.

1.3. Факторы, влияющие на действие силикатного бурового раствора на стенку скважины

1. Влияние силикатного модуля.

Испытания показали, что чем больше модуль, тем большее количество силикатных ионов объединены в коллоидных частицах. В испытании использовались силикаты с модулем 1,02, 2,35, 2,81, 3,18. По измерению параметров глинистого раствора получено, что чем больше модуль силиката, тем меньше набухание сланца и больше устойчивость стенок скважины. Поскольку чем больше модуль, тем больше в растворе количество силикатного иона объединены в коллоидных

частицах, при этом дальнейшее поступление фильтрата из скважины в пласт и проникновение давления исключаются.

2. Влияние количества добавленных силикатов.

Испытания показали, что с увеличением количества силиката в растворе быстро повышается устойчивость стенки скважин в ранние сроки и медленно повышается устойчивость в более поздние сроки, реологические характеристики растворов становятся хуже и водоотдача становится больше при количестве силиката больше 5 % в растворе. Поэтому количество добавления силикатов практически при бурении не должно быть больше 6 % [1, 2, 3].

3. Влияние солей.

Соль, добавленная в умеренном количестве, может взаимодействовать с силикатом, повышая устойчивость стенок скважин. Оптимальное количество добавления калийной и натриевой соли зависит от сопротивляемости органического агента бурового раствора, а оптимальное количество добавления кальциевой соли зависит от концентрации силиката. Так как кальциевый ион легко вступает в реакцию с силикатным ионом, образуется остаток и происходит уменьшение свободного силикатного иона и способности устойчивости стенки. Поэтому добавление кальциевой соли в раствор при концентрации силиката больше 5 % не рекомендуется [4].

4. Влияние органических агентов.

Добавление органических реагентов в силикатный раствор может повысить вязкость, СНС, снизить водоотдачу, например РАС (полихлористый алюминий), LV-СМС (КМЦ), КРАМ (калия полиакриат). Однако порядок и количество добавления органического агента влияют на функцию силикатного раствора.

5. Значение рН.

В литературе показано [11], что при добавлении соли аммония в силикатный раствор с концентрацией 6 %, при рН раствора с 1 до 11 в силикатной системе происходит гелеобразование, а при рН с 6 до 8,5 силикатная система сразу цементируется и теряет подвижность. Поэтому необходимо добавлять силикат при циркуляции бурового раствора для обеспечения значения рН не меньше 11, чтобы в растворе было достаточно силикатных ионов. Значение рН бурового раствора прямо связывается с количеством силиката, который может сам обеспечивать рН бурового раствора. Например, при добавлении силиката больше 2 % в буровой раствор с низким содержанием твёрдой фазы, значение рН может превысить 11. При добавлении силиката не больше 5 % в буровой раствор с высоким содержанием твёрдой фазы, обычно необходимо добавлять NaOH или KOH для поддержания значения рН больше 9, чтобы буровой раствор успел поступить в кольцевое пространство и контактировать со стенкой до гелеобразования силиката.

6. Влияние содержания глины в силикатном буровом растворе.

С увеличением содержания глины повышается вязкость и способность предотвращающего обвала и снижается водоотдача. Достаточная вязкость и большой сдвиг обуславливают взвешивание твёрдой фазы утяжелителем, при этом для успешного утяжеления необходимо достаточное содержание структурообразователя – глины. Испытания показали, что добавление силиката в буровой раствор с концентрацией глины 8 % приводит к значительному повышению вязкости и сдвига. [5]

7. Совместимость с пластом.

Вид и темп реакции силикатных ионов может измениться в результате различий состава, температуры, давления и структуры разных пластов. При контакте растворимых силикатов в пласте с растворимой солью кальция сразу происходит реакция между ними и образуются нерастворимые остатки, которые остаются на стенке, перекрывают поры, снижая скорость поступления фильтра бурового раствора и снижая степень размыва фильтрационной корки на стенке скважины. При низкопористых пластах можно умеренно повысить водоотдачу силикатного бурового раствора снижением вязкости, чтобы способствовать прохождению силиката и фильтрата в поры и цементированию в них. При высокопористых пластах рекомендуется умеренно повысить содержание силиката, чтобы силикат был быстро цементирован на входе в поры и перекрыл их.

2. Связь между силикатами с защитой продуктивных пластов

Чтобы уточнить связь между силикатами и защитой продуктивных пластов, специалисты Ло Чуньчжи, Чжан Линся, Сун Юаньлинь проделали большой объем лабораторных работ и получили значимые выводы [6].

2.1. Способность защищать пласт

Испытания показали, что при добавлении силиката с концентрацией 0,5 - 3% в полимерный раствор вязкость, СНС, ДНС и водоотдача изменяются, как показано в табл. 2.1.

Таблица 2.1 Силиката на свойства бурового раствора

Раствор	Вязкость, мПа·с	ДНС, Па	СНС, Па/Па	Водоотдача, мл
Полимерный раствор	30,5	6,5	3,0/1,5	5,5
Полимер + 0,5 % силиката	32,5	10,5	9/7	5,8
Полимер + 1,0 % силиката	33,5	11,5	11/9	6,2
Полимер + 1,5 % силиката	32,5	11,5	12/11	6,5
Полимер + 2 % силиката	33,5	12,5	14/13	6,5
Полимер + 3 % силиката	33,5	12,5	23/20	6,7

Из таблицы видно, что вязкость с увеличением количества силиката почти не изменяется, но СНС и ДНС значительно повышаются. При этом защищается продуктивный пласт, поскольку способность выноса шлама и очистки забоя повышаются.

2.2. Загрязнение продуктивного пласта силикатным раствором

Китайские специалисты [6] в 2001 году провели лабораторные работы по исследованию загрязнения продуктивного пласта силикатным раствором и простым буровым раствором. Испытания показали, что проницаемость керна при загрязнении простым полимерным раствором снижается до 74,5 % исходной проницаемости и глубина проникновения составляет 5,5 см. По сравнению с этим при загрязнении силикатным полимерным раствором проницаемость керна снижается до 42 % и глубина составляет 7,5 см, поскольку образуется трехмерный сетчатый гель из силиката и нерастворимых осадков при реакции между силикатными ионами и металлическими ионами внутри породы. Чем больше силиката, тем больше образование осадков и геля. Поэтому с увеличением силиката потери проницаемости повышается.

Причём, чем больше исходная проницаемость горной породы, тем легче поступает силикат в породу, и легче образуется трёхмерная сетчатая структура и нерастворимые осадки, которые трудно вытеснять. Поэтому проницаемость восстанавливается очень плохо. Наоборот, чем меньше исходная проницаемость породы, тем труднее силикаты поступают в породу. При этом образованные гели и нерастворимые осадки из силикатов остаются на поверхности породы и препятствуют дальнейшему поступлению фильтрата силикатного раствора внутрь породы. Эти осадки и гель легко удаляются современной химической технологией и проницаемость легко восстановить.

Данные испытания показали, что силикаты имеют хорошую экономичность и способность очистки забоя от шлама. Но на практике необходимо учитывать загрязнение ими продуктивных пластов. С учетом этого рекомендуется использовать силикатные растворы при неустойчивых и непродуктивных пластах со склонностью обвала и осыпи.

3. Защита бурильных труб и обсадных колонн от коррозии

Бурильные трубы, железные инструменты часто приходится заменять новыми или обрабатывать специальными агентами для безопасности при бурении. Данные работы приводят к повышению продолжительности бурения и стоимости строительства скважин. Испытания показали, что силикат может вступить в реакцию с оксидами железа с образованием Fe_2O_3 , Fe_2SiO_4 и Fe_7SiO_{10} , которые имеют сильное сопротивление коррозии [7, 8]. На китайском нефтяном месторождении

Цзянсу специалисты добавили в буровой раствор силикатный ингибитор и практически показали, что он эффективно защитил бурильные трубы и инструменты от коррозии, и цикл обмена этих инструментов и труб значительно продлён [9].

4. Использование силиката в качестве буферной жидкости

Буферная жидкость выполняет важные функции при креплении скважин. Под буферными жидкостями, применительно к процессам цементирования в скважинах, подразумевают специальные жидкости, закачиваемые перед тампонажным раствором с целью удаления рыхлой корки, полного вытеснения бурового раствора, разделения бурового раствора и цементного раствора. Все эти функции буферной жидкости предназначены для повышения сцепления между цементом с обсадной колонной и горной породой. Силикатная буферная жидкость первый раз использовалась в Китае в 1990 году. На китайском месторождении Дацин специалист Ву Мэйфэн приготовил буферную жидкость (DSF) с плотностью в пределах $1100 \text{ кг/см}^3 \sim 1620 \text{ кг/см}^3$. Практика показала, что качество цементирования 10 скважин из 15 контрольных было хорошим и 4 скважин отличным [10].

1. Влияние силиката на сцепление цементного камня с контактирующими средами.

При испытаниях [10] были приготовлены силикатная буферная жидкость (DSF) и простая буферная жидкость без силиката, после чего моделировался контакт между цементом с обсадной колонной и горной породой. Испытания показали, что сцепление на поверхности после обработки силикатной буферной жидкостью намного больше, чем сцепление на поверхности с обработкой буферной жидкостью без силиката. Полученный результат объясняется следующим.

а) раствор силиката усиливает сцепление цементного камня с окружающей средой;

б) в процессе твердения цемент имеет водоотдачу, большое количество которой приводит к проявлению зазоров на контактной поверхности. При наличии силиката происходят реакции гидролиза и поликонденсации, продукты которых соединяются друг с другом через ОН связь, адсорбируются на поверхность горной породы и обсадной колонны в виде прочной пленки, препятствующей проникновению воды между пластом и цементом.

2. Влияние силиката на прочность цементного камня на сжатие.

Испытания показали, что при добавлении силикатной буферной жидкости в цементный раствор по объёмному отношению с цементным раствором 10:90, 20:80, 30:70, прочность на сжатие снижается, но по сравнению с водой в качестве буферной жидкости величина снижения намного меньше и прочность на сжатие цементного камня ещё находится в допустимом диапазоне.

5. Использование силиката для кольматации пластов

В процессе добычи нефти и газа часто необходимо перекрывать поры пластов и снижать проницаемость для укрепления призабойной зоны. Для этого часто используются силикатные гели, которые разделены на кислотный и щелочной. В 1988 году кафедра разработки Китайского нефтяного университета глубоко исследовала эти силикатные гели и рекомендовала новый рецепт для приготовления щелочного силикатного геля [11].

5.1 Факторы, влияющие на прочность и срок схватывания щелочного силикатного геля

1. Температура.

Испытания показали, что с увеличением температуры сроки схватывания сокращаются и прочность геля повышается.

2. Силикатный модуль.

Силикатный модуль представляет собой соотношение количества SiO_2 к Na_2O . Табл. 5.1 показывает его влияние на сроки схватывания и прочность геля.

Таблица 5.1. Влияние модуля разного значения на срок схватывания и прочность (60°)

Модуль, м	Срок схватывания, с	Прочность, кПа
2,36	2,10	2,16
2,66	0,61	18,38
3,43	0,28	35,78

Из табл. 5.1 видно, что с увеличением силикатного модуля срок схватывания сокращается и увеличивается прочность геля, поскольку большой модуль силиката приносит большую концентрацию силикатного иона, которые усиливают степень полимеризации.

3. Концентрация силиката в жидком стекле

Результаты испытаний представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Влияние концентрации силиката на сроки схватывания и прочность геля при 60°

$\text{Na}_2\text{O} \cdot 3,43\text{SiO}_2$, %	5,00	6,00	7,00	8,00
Сроки схватывания, ч	1,55	1,32	1,17	0,97
Прочность, кПа	7,19	7,32	7,99	9,98

Из табл. 5.2 видно, что с увеличением концентрации силиката сокращается срок схватывания и увеличивается прочность, поскольку увеличение концентрации приводит к увеличению скорости схватывания.

По результатам, представленным в таблице, профессор Чжао Фулинь рекомендовал оптимально выбирать концентрацию 6% при модуле силиката 3,43 с учетом сроков схватывания, прочности, стоимости и разбавления силиката.

4. Содержание соли.

Влияние содержания соли на сроки схватывания и прочность геля показано в табл. 5.3.

Таблица 5.3 Влияние содержания соли на срок схватывания и прочность геля

NaCl (мг/л)	0	1000	2000	4000	6000
Срок схватывания (ч)	0,40	0,18	0,12	0,076	0,039
Прочность (кПа)	23,85	37,50	47,25	60,75	67,50

Испытания показали, что с увеличением содержания ускоряется схватывание и увеличивается прочность, так как соль сжимает диффузный двойной электрический слой, снижает электрический потенциал. Это приводит ускорению полимеризации.

5.1. Приготовление щелочного силикатного геля

На основе испытаний профессор Лю Фулинь предложил рецепт щелочного силикатного геля, показанный в табл. 5.4.

Таблица 5.4 Рецепт щелочного силикатного геля

Срок схватывания, ч	рН	Концентрация активатора $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	Расчетный вес для 100 т силикатного геля, т		
			Жидкое стекло	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	Вода
1	10,56	1,03	15,00	1,03	83,97
2	10,70	0,87	15,00	0,87	84,13
3	10,82	0,74	15,00	0,74	84,26
4	10,88	0,65	15,00	0,65	84,35
5	10,90	0,63	15,00	0,63	84,37
10	10,96	0,58	15,00	0,58	84,42
15	11,00	0,52	15,00	0,52	84,48

Полученный силикатный гель по данному рецепту использовался в испытаниях и при этом был получен хороший эффект, показанный в табл. 5.5.

Таблица 5.5. Результат испытания регулирования проницаемости керна применением силикатного геля

Номер керна	Расход (мл/с)	Проницаемость (мд)	Расход после силикатного геля (мл/с)	Проницаемость после силикатного геля (мд)
1	0,720	507,4	0,328	231,2
2	0,233	164,2	0,188	132,0

5.2. Сравнение щелочного силикатного геля с кислотным силикатным гелем

Профессор Чжао Фулинь сравнил щелочный силикатный гель с кислотным по их свойствам и сделал следующие выводы.

1. С увеличением pH срок схватывания щелочного силикатного геля увеличивается и его прочность уменьшается. Наоборот, срок схватывания кислотного силикатного геля уменьшается и прочность увеличивается.

2. С увеличением соли в смеси уменьшается срок схватывания щелочного силикатного геля и увеличивается прочность. Наоборот, срок схватывания кислотного силикатного геля увеличивается и прочность уменьшается.

3. Карбонат пластов слабо влияет на свойство щелочного силикатного геля и сильно влияет на свойства кислотного силикатного геля. Поэтому применение кислотного силикатного геля ограничивается составом пластов.

4. Кислотный силикатный гель сильнее щелочного силикатного геля корродирует железные трубы.

6. Перспективы применения силиката при бурении

В настоящее время часто встречаются пласты со сложными геологическими условиями, при которых легко происходят осложнения и аварии, такие как прихват, обвал, негерметичное цементирование и т.д. в случае применения некачественных буровых растворов и буферных жидкостей. Данные проблемы могут быть решены с помощью силикатных буровых и буферных растворов, которыми можно заменить буровые растворы на масляной и синтетической основе в будущем. Для этого необходимо заниматься дальнейшими исследованиями их свойств и функций при бурении.

Выводы

1. Силикат в качестве наполнителя бурового раствора позволяет повысить устойчивость стенки скважин, но эффект его применения связывается с некоторыми факторами.

2. Силикатные буровые растворы обладают способностью очистки забоя от шлама, однако, силикатные буровые растворы с большой концентрацией приво-

дят к загрязнению продуктивных пластов.

3. Силикатные буровые растворы могут повысить устойчивость обсадной колонны к коррозии.

4. Буферная жидкость с силикатом значительно повышает качество крепления по сравнению с буферной жидкостью без силиката.

5. При применении силикатного геля для кольматации пластов, эффективность силикатного геля связывается с температурой, модулем, концентрацией и содержанием соли.

Литература

1. В. Д. 戈罗德诺夫, 李蓉华等译. 预防钻井过程中复杂情况的物理-化学方法 (Физико-химические методы по предупреждению осложнений при бурении : учеб. для вузов). 北京:石油工业出版社. 1992. С. 196 - 203.

2. Van Oort E. Silicate-based drilling fluids: Competent, cost-effective and benign solutions to well bore stability problems. IADC // SPE 35059 paper presented at the 1996 Drilling conference, New Orleans, Louisiana, USA, 1996. DOI 10.2118/35059-MS. PP. 137 - 146.

3. 甘平西. 固体硅酸钾抑制剂的研究与应用 (Исследование и применение твёрдых силикатных ингибиторов) // 钻采工艺. 1987. №2. С. 41 - 44.

4. 丁锐. 硅酸盐钻井液防塌性能的室内研究 (Лабораторное исследование силикатных растворов для предупреждения обвалов) // 油田化学 (成都). 1998. №1. С. 1 - 5.

5. 谭愈荣. 复合胶质无固相钻井液与胶凝固壁堵漏. 北京:地质出版社 (Комплексный коллоидный буровой раствор без твёрдой фазы и укрепление стенок гелем: учеб. для вузов). 1994. С. 87.

6. 罗春芝, 张玲霞, 宋元林. 硅酸盐钻井液储层保护室内研究 (Исследование защиты продуктивных пластов с применением силикатных буровых растворов). 2001. №4. С. 193 - 195.

7. 周浩, 祝鸿范. 铁器文物脱盐清洗溶液中硅酸盐缓蚀性能的研究 (Исследование свойств силикатных ингибиторов при промывке железных памятников) // 文物保护与考古科学 2002. №14. С. 51.

8. 倪铁军, 王文西, 蔡兰坤. 水溶液中硅酸盐缓蚀剂与碳钢表面氧化物相互作用的研究 (Исследование реакции силикатных ингибиторов с оксидами на поверхности углеродистой стали) // 腐蚀与防护. 2001. №22 (11). С. 479 - 482.

9. 朱承飞, 黄琳, 尤克勤. 盐水钻井液中钢缓蚀剂 Njff - II (Действие ингибитора Njff - II в солёном растворе) // 油田化学. 2005. №22 (1). С. 13 - 15.

10. 吴梅芬, 薛静. 冲洗隔离液 DSF 的研制与应用 (Исследование и применение буферной жидкости DSF) // 钻井工艺 (任丘). 1990. №2. С. 17 - 25.

11. 赵福麟, 陈东, 臧金福碱性硅酸凝胶堵水剂 (Щелочный силикатный закупоривающий агент) // 石油大学学报 (青岛) 1988. №4-5. С. 54 - 61.

EXPERIMENTAL STUDY AND APPLICATION PROSPECT ON ALKALI METAL SILICATE IN THE PROCESS OF DRILLING

Li Jinyang

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

e-mail: jinyangli-123@mail.ru

Abstract: *The paper concludes the application of alkali metal silicates in drilling fluid and spacer fluid and the influence factors in the application. It also researches the effect of the silicate on reservoir permeability and on the corrosion-resistant performance of steel material. The article draws conclusions from comparing the effect of alkaline silicic acid gel and acidity silicic acid gel in sealing operation. Finally, it gives prospects of silicate's applying in drilling operations.*

Keywords: *alkali metal silicates, drilling fluid, spacer fluid, permeability, corrosion, silicic acid gel*

References

1. B. Д. 戈罗德诺夫, 李蓉华等译. 预防钻井过程中复杂情况的物理-化学方法 (Physico-chemical methods to prevent complications during drilling). 北京:石油工业出版社. 1992. PP. 196-203.
2. Van Oort E. Silicate-based drilling fluids: Competent, cost-effective and benign solutions to well bore stability problems. IADC // SPE 35059 paper presented at the 1996 Drilling conference, New Orleans, Louisiana, USA, 1996. DOI 10.2118/35059-MS. PP. 137-146.
3. 甘平西. 固体硅酸钾抑制剂的研究与应用 (Research and application of solid silicate inhibitors), *钻采工艺*, 1987, Issue 2, pp. 41-44.
4. 丁锐. 硅酸盐钻井液防塌性能的室内研究 (Laboratory study of silicate solutions to prevent falls), *油田化学 (成都)*, 1998, Issue 1, pp. 1-5.
5. 谭愈荣. 复合胶质无固相钻井液与胶凝固壁堵漏. 北京:地质出版社 (Colloidal complex drilling fluid without solids and strengthening the walls with gel). 1994. P. 87.
6. 罗春芝, 张玲霞, 宋元林. 硅酸盐钻井液储层保护室内研究 (The study of protection of reservoirs with the use of silicate drilling fluids), 2001, Issue 4, pp. 193-195.
7. 周浩, 祝鸿范. 铁器文物脱盐清洗溶液中硅酸盐缓蚀性能的研究 (Study of the properties of silicate inhibitors during iron monuments washing), *文物保护与考古科学*, 2002, Issue 14, p. 51.
8. 倪铁军, 王文西, 蔡兰坤. 水溶液中硅酸盐缓蚀剂与碳钢表面氧化物相互作用的研究 (Study of the reaction of silicate inhibitors with oxides on the surface of carbon steel), *腐蚀与防护*, 2001, Issue 22 (11), pp. 479-482.

9. 朱承飞,黄琳,尤克勤. 盐水钻井液中钢缓蚀剂 Njff - II (Action of inhibitor Njff - II in salt water), *油田化学*, 2005, Issue 22 (1), pp. 13 - 15.
10. 吴梅芬, 薛静. 冲洗隔离液 DSF 的研制与应用 (Research and application of buffer fluid DSF), *钻井工艺 (任丘)*, 1990, Issue 2, pp. 17 - 25.
11. 赵福麟, 陈东, 臧金福碱性硅酸凝胶堵水剂 (Alkaline silicate blocking agent), *石油大学学报 (青岛)* 1988, Issue 4- 5, pp. 54 - 61.