

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПЛАСТОВОЙ ВОДЫ ИРЕЛЯХСКОГО ГНМ
С ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫМ АГЕНТОМ ПОДДЕРЖАНИЯ
ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ**

Федорова А.Ф., Шиц Е.Ю., Портнягин А.С.

Институт проблем нефти и газа СО РАН

В работе¹ исследована совместимость пластовой воды Иреляхского газонефтяного месторождения Республики Саха (Якутия) и высокоминерализованного раствора, применяемого в качестве агента поддержания пластового давления с учетом факторов, влияющих на растворимость солей, а именно солевого эффекта, возможности протекания конкурирующих реакций, а так же специфических условий, характерных для месторождений Юго-Запада Якутии (на примере Иреляхского ГНМ). Показано, что с увеличением продолжительности заводнения скважин используемой жидкостью для ППД, строение порового пространства будет претерпевать изменения в результате его кальцинирования и сульфатизации, что приведет к ухудшению коллекторских свойств и в дальнейшем усложнит работу добывающих скважин и месторождения в целом.

Высокие показатели развития отечественной нефтяной промышленности обусловлены не только увеличением числа производственных объектов, но и дальнейшим совершенствованием техники и технологии добычи нефти, оптимизацией производственных процессов.

Спецификой нефтяных месторождений юго-западной Якутии являются аномально низкие пластовые температуры, что приводит к повышению вязкости нефти и обуславливает необходимость более внимательного подхода к выбору вытесняющих агентов.

Уже более 10 лет ведется опытно-промышленная эксплуатация (ОПЭ) нефтяных залежей Талаканского, Среднеботуобинского и Иреляхского месторождений. В числе одной из главных задач ОПЭ этих месторождений является выбор метода и агента поддержания пластового давления для вытеснения нефти.

Во всех этих проектах ОПЭ в качестве закачиваемой жидкости рассматривается минерализованная вода. Вместе с тем, использование минерализованной воды выдвигает много вопросов. Так, всеми исследователями и практиками признается проблема совместимости пластовых и закачиваемых вод,

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, № 06-05-96153

так как в результате их взаимодействия может происходить кристаллизация солей различного состава в поровом пространстве пород - коллекторов, что значительно снижает их емкостные и фильтрационные свойства.

Одной из задач, которые стоят перед проводимыми работами ОПЭ на перечисленных месторождениях, является изучение вопроса совместимости закачиваемых и пластовых вод. К сожалению, в отечественной практике этой проблеме уделяется мало внимания и, как правило, только на заключительных стадиях разработки месторождений.

Вместе с тем как, использование на ранней стадии разработки всех резервов систем заводнения на поздней стадии резко ухудшает условия выработки месторождений, снижает конечный коэффициент извлечения нефти и конечном счете сказывается на технико-экономических показателях разработки.

Поэтому, изучение влияния физико-химических процессов, происходящих при смешении пластовых вод и агента ППД на фильтрационные свойства пород-коллекторов, тем более в термобарических условиях вышеперечисленных месторождений, приобретают особую актуальность.

В связи с этим целью работы является изучение совместимости пластовых вод и закачиваемых рассолов с учетом их индивидуального химического состава, ионной силы смешиваемых растворов, возможности протекания конкурирующих реакций, а так же низких пластовых температур, а также исследование влияния протекающих физико-химических процессов в пласте (образование нерастворимых солей) на фильтрационные свойства пород-коллекторов.

Объектами исследований являлись: 1) пластовая вода Улаханского горизонта из скважины №155-019 Иреляхского ГНМ; 2) минерализованная вода, получаемая процессом выщелачивания из каменных солей Чарской свиты (скважина №1РЭ) и используемая в качестве агента повышения пластового давления; 3) образцы, изготовленные из монолитного керна Иреляхского ГНМ, состоящего из мелкозернистого песчаника на глинистом цементе, наклонно слоистой ориентации, кварцево-полевошпатового состава.

Для исследования совместимости пластовых вод с используемым раствором поддержания пластового давления (ППД) Иреляхского ГНМ был определен их индивидуальный химический состав. Качественный анализ проб

пластовой воды и минерализованной воды показал, что в них содержатся катионы кальция, магния, натрия, калия, гидрокарбонат, сульфат, хлорид анионы. Количественное содержание солей определялось титриметрическими и гравиметрическим (сульфат-ионы) методами анализа (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав проб пластовой воды Иреляхского ГНМ
и используемого раствора для ППД

№	Ионы	Пластовая вода		Раствор для ППД	
		моль/л	г/л	моль/л	г/л
1	Ca^{2+}	4,99	100,16	0,100	2,00
2	Mg^{2+}	0,932	22,66	0,005	0,12
3	Общая жесткость	5,93	122,82	0,105	2,13
4	$Na^+ + K^+$	0,993	24,82	4,57	114,3
5	HCO_3^-	0,00732	0,45	0,00136	0,083
6	HSO_4^-	0,0163	1,56	0,0402	3,87
7	Cl^-	6,89	244,91	4,64	164,54
8	Сумма ионов		394,57		284,92

Как видно из таблицы 1, пластовую воду можно отнести к хлоридно-кальциевому, а жидкость для ППД - к хлоридно-натриевому типу.

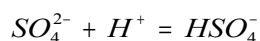
Для наиболее точной оценки возможности выпадения осадка сульфата кальция, при смешении пластовой воды и раствора для ППД, необходимо учитывать факторы, влияющие на его растворимость, то есть, солевой эффект и возможность протекания конкурирующих реакций.

Поскольку в пластовой воде содержатся ионы кальция и магния, возможно протекание гидролиза. Кроме того, ионы осадка могут вступать в реакции с компонентами раствора: гидроксид анионами, катионами водорода, собственными ионами, посторонними веществами. Протекание всех этих конкурирующих реакций зависит от значения водородного показателя среды. Водородный показатель определялся иономером «Экотест-200». Для пластовой воды $pH = 5.0$ для раствора ППД $pH = 7.21$.

Как видно из полученных данных, среда пластовой воды слабо - кислая, следовательно, в растворе $CaSO_4$ наряду с реакцией



могут протекать конкурирующие реакции □1□:



и



Для данных, приведенных в таблице 1, коэффициент побочной конкурирующей реакции равен 0,9999. Таким образом, в данном случае влиянием конкурирующих реакций можно пренебречь.

Одним из факторов, влияющих на осадкообразование, является солевой эффект. Так как в пластовой воде и растворе для ППД кроме ионов кальция и сульфат ионов содержатся катионы магния, натрия, калия, гидрокарбонат, хлорид анионы, то коэффициенты активности осадкообразующих ионов не равны единице. Поэтому произведение растворимости выражаем через активности ионов:

$$K_s^0 = a(Ca^{2+}) \cdot a(SO_4^{2-}) = f(Ca^{2+})[Ca^{2+}]f(SO_4^{2-})[SO_4^{2-}] \quad (1)$$

где f - коэффициенты активности ионов, определяемые по третьему приближению уравнения Дебая-Хюккеля [2].

Для произвольного электролита $A_{z_A}X_{z_X}$ оно имеет вид

$$\lg(f_{\pm})_{A,X} = - \frac{A|z_A \cdot z_X| \cdot \sqrt{I}}{1 + B \cdot a \cdot \sqrt{I}} + b \cdot I, \quad (2)$$

где A и B – постоянные коэффициенты, которые зависят от характеристик растворителя и его температуры; z_A , z_X – заряды катиона и аниона для данного электролита; a и b – эмпирические константы, определяемые по справочным данным [3]; I – ионная сила раствора электролита.

Результаты расчета произведения растворимости сульфата кальция, при смешении пластовой воды Иреляхского ГНМ и раствора поддержания пластового давления представлены на рис. 1. Из рис. 1 видно, что при температуре 10 °С процесс осадкообразования сульфата кальция происходит при смешении пластовой воды и раствора для ППД в диапазоне соотношений 2/8 – 7/3, поскольку произведения растворимостей больше предельных значений [3].

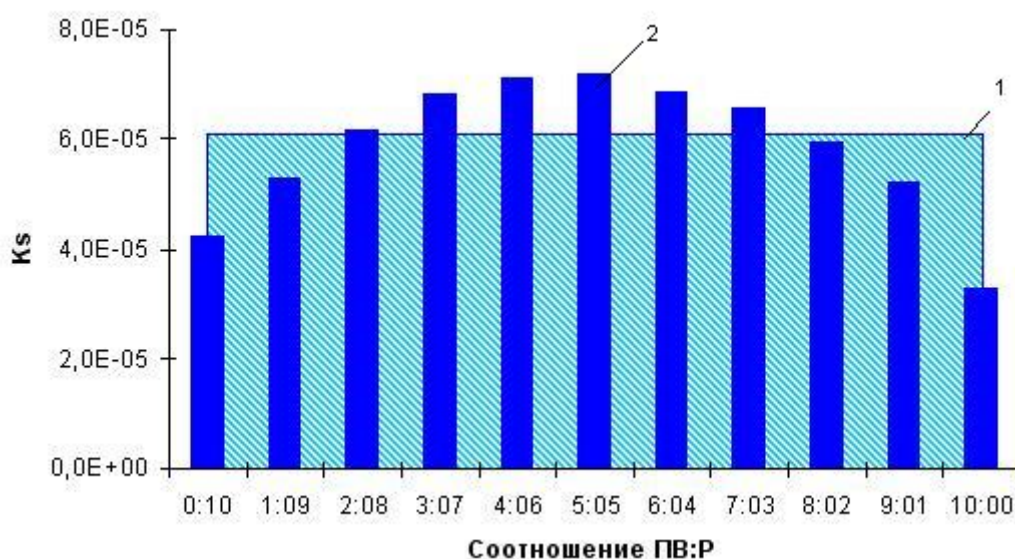


Рисунок 1. Зависимость произведения растворимости сульфата кальция от соотношения пластовой воды Иреляжского ГНКМ к рассолу ППД при 10°C:

1- табличное значение K_s^0 ; 2- рассчитанное значение

Установлено, что выпадение осадков других малорастворимых соединений (гидроксиды кальция и магния), влияющих на фильтрационно-емкостные свойства породы-коллектора, происходить не будет, так как произведение их активностей меньше табличных значений K_s^0 .

Другой не менее важной проблемой совмещения пластовой воды и жидкости для ППД является возможность кристаллизации хлорида натрия, так называемая галитизация промышленного коллектора. Из табл. 2 видно, что концентрация хлорида натрия не превышает предельную концентрацию его в воде, т.е. при смешении пластовой воды с минерализованной водой в свободном объеме кристаллизация соли происходить не будет.

Таблица 2

Растворимость хлорида натрия в воде (10 °С) при разных соотношениях пластовой воды Иреляжского ГНМ и раствора для ППД

Соотношение пластовая вода/рассол	Табл. значения. [3]	0/10	1/9	2/8	3/7	4/6	5/5	6/4	7/3	8/2	9/1	10/0
S (10 °С), г/100г растворителя	35.7	6.62	6.63	6.53	6.31	5.98	5.57	5.06	4.49	3.84	3.13	2.14

Таким образом, показано, что при совмещении высокоминерализованной воды, используемой в качестве агента ППД с пластовой водой Иреляхского ГНМ в существующих термобарических условиях будет происходить выпадение твердого осадка только в виде сульфата кальция, что приведет к снижению фильтрационных характеристик породы – коллектора.

Для определения влияния жидкости для поддержания пластового давления (ППД) на коллекторские свойства нефтеносного пласта Иреляхского ГНМ было произведено определение проницаемости образцов коллектора (кернов) по высокоминерализованному агенту ППД. Проницаемость определялась на установке УИПК – 02М, входящей в исследовательский комплекс АКМ, по методике [4], соответствующей ГОСТ 26450.2-85. Для увеличения эффективности исследовательского процесса была произведена модернизация заводской комплектации этой установки, что позволило последовательно определять газопроницаемость и проницаемость по жидким флюидам образцов керна.

Исследование проницаемости образцов керна продуктивных горизонтов Иреляхского ГНМ по агенту ППД показало, что значения коэффициента проницаемости снижаются, с увеличением объема проходящего через образцы флюида. При прокачке агента ППД через образцы в количестве, соответствующем более 100 объемам порового пространства, коэффициент проницаемости кернов уменьшается на 60-67 %.

Химический анализ агента ППД после ее фильтрации через стандартные образцы кернов показал разное содержание солей в фильтрате и в жидкости для ППД до ее фильтрации.

При сравнении значений концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в жидкости для ППД начального состава и после фильтрации через образец, показано, что концентрация ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в фильтрате уменьшилась на 20 и 11 % соответственно.

На основании расчетов и экспериментальных исследований проницаемости образцов по агенту ППД можно сделать вывод о том, что в породе коллектора остаётся определенное количество малорастворимого соединения $CaSO_4$, что и является причиной снижения ее фильтрационных характеристик. Это

предположение дополнительно подтверждается фактом значительного и одновременного снижения концентрации ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в фильтрах.

Таким образом, с увеличением продолжительности заводнения скважин используемой жидкостью для ППД строение порового пространства в результате его кальцинирования и сульфатизации будет претерпевать значительные изменения в сторону ухудшения коллекторских свойств.

В результате проведенных исследований показана необходимость проведения химического анализа пластовой воды и системы заводнения каждого вводимого и эксплуатирующегося нефтяного месторождения с целью выявления либо исключения возможности образования малорастворимых осадков при их взаимодействии. Предложена методика определения образования нерастворимых и растворимых осадков в породе-коллекторе, которая учитывает низкую пластовую температуру, характерную для месторождений РС(Я).

Показано, что для каждого конкретного месторождения, исходя из индивидуального состава системы заводнения и геологического строения породы-коллектора, необходим тщательный подбор методов и способов предотвращения солеобразования.

Литература

1. Основы аналитической химии. Кн.1. Под ред. Золотова Ю.А.- М.:Высш. шк., 2002. -351с.
2. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии.-М.:Химия, 1989. - 448с.
3. Справочник химика. Под ред. Никольского Б.П. Т.3.-М.:Химия, 1964.- 1167с.
4. Калинин М.К. Методика исследования коллекторских свойств кернов. М.: Гостоптехиздат, 1963. - 435 с.