

## СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ

Шангараева Л.А.<sup>1</sup>, Максютин А.В.<sup>1</sup>, Султанова Д.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия (199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д.2), e-mail: l.shangaraeva@mail.ru

Отложения солей являются одной из наиболее важных и серьезных проблем, которые связаны с системой поддержания пластового давления при разработке залежей нефти. Солеотложения иногда ограничивают или блокируют добычу нефти и газа, закупоривая пласты — коллекторы нефти и газа и интервалы перфорации. Неорганические соли также отлагаются в скважинном насосе, насосно-компрессорных трубах, эксплуатационной колонне, промысловых сепараторах, резервуарах и другом технологическом оборудовании. Отложения солей могут возникнуть в потоке на всем пути извлечения пластовой продукции, где создается перенасыщение ионами солей. Перенасыщение может произойти в единой водной системе путем изменения давления и температуры или путем смешивания двух несовместимых вод. Наиболее распространенными среди отложений солей являются карбонат кальция, сульфат кальция, сульфат бария и сульфат стронция. В статье приведены обзор формирования отложений солей и источников солеобразования при проведении операций по заводнению, типы солеотложений, методы, используемые для предотвращения отложений солей.

Ключевые слова: солеотложения, перенасыщение, ингибитор, прогнозирование

## METHODS TO PREVENT SCALE DURING THE DEVELOPMENT AND EXPLOITATION OF OIL FIELDS

Shangareva L.A.<sup>1</sup>, Maksyutin A.V.<sup>1</sup>, Sultanova D.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National mineral resources university (Mining university), Saint-Petersburg, Russia (199106, Saint-Petersburg, 21<sup>st</sup> line V.O., 2), e-mail: l.shangaraeva@mail.ru

Scale deposition is one of the most important and serious problems which water injection systems are generally engaged in. Scale sometimes limits or blocks oil and gas production by plugging the oil-producing formation matrix or fractures and perforated intervals. Scale also deposited in down-hole pump, tubing, casing flow-lines, heater treaters, tanks and other production equipment and facilities. Scale can occur at dawnstream of any point in the production system, at which super-saturation is generated. Super-saturation can be generated in single water by changing the pressure and temperature conditions or by mixing two incompatible waters. The most common oilfield scales deposited are calcium carbonate, calcium sulfate, strontium sulfate and barium sulfate. This paper describes overview scale deposition mechanisms and source of oil field scale, scale formation along the injection-water path in water-flood operations, oilfield scale types, scale control chemicals and different procedures used to predict scale are presented.

Keywords: scale, supersaturation, inhibitor, prediction.

Закачка пластовой воды в скважины с целью поддержания пластового давления является часто применимой операцией. Степень риска, связанная с отложением минеральных солей в нагнетательных и добывающих скважинах во время таких операций, широко изучалась во многих работах. Отложения солей являются одной из самых серьезных проблем при разработке нефтяных месторождений, которые возникают в процессе закачки воды и смешения двух несовместимых вод. Пластовые воды называются несовместимыми, если они взаимодействуют между собой химически и при смешивании соли выпадают в осадок [1, 5].

### Причины образования отложений солей

Скорость и объем выпадения солей зависят от ряда факторов [2]:

- первоначальной солевой насыщенности пластовой воды;
- типа ионов в пластовой воде;
- режимов эксплуатации добывающих скважин и способов добычи скважинных флюидов;
- совместимости пластовых вод различных продуктивных пластов;
- совместимости добываемых пластовых вод с применяемыми при ГТМ водными растворами и растворами глушения;
- совместимости пластовых вод с водами для системы ППД и др.

Выпадение в осадок химического вещества из раствора происходит в том случае, если его концентрация в растворе превышает равновесную концентрацию.

Выпадение солей может происходить в следующих случаях:

- 1) при смешивании несовместимых друг с другом вод различного состава;
- 2) при изменении термобарических условий в скважине либо в насосе и, как следствие, перенасыщении вод;
- 3) при испарении воды и т.д.

Твердая фаза образуется при условии, что радиус зародышей кристаллов превышает критическое значение, которое определяется по формуле [6]:

$$r_{кр} = 2M\sigma / \left( RT\rho \ln \frac{C}{C_{нас}} \right), \quad (1)$$

где М – молекулярная масса зародыша кристаллов;

$\sigma$  – удельная поверхностная энергия на границе раздела фаз;

$\rho$  – плотность зародыша кристаллов;

$C_{нас}$ ,  $C$  – концентрации насыщенного и пересыщенного растворов;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$T$  – абсолютная температура.

Сульфаты бария и стронция являются очень плотными и твердыми осадками. Низкая их растворимость практически во всех растворителях по сравнению с другими солеобразующими минералами делает их крайне нежелательным из всех органических и неорганических отложений, которые встречаются в процессе эксплуатации нефтяных скважин с высокой обводненностью продукции [3].

При описании и прогнозировании процесса образования сульфата бария обычно используются только химические (концентрация ионов и ионная сила раствора) и термодинамические (давление и температура) характеристики. Согласно уравнению прогноза образования сульфата бария индекс насыщения воды баритом SI определяется следующим образом [22]:

$$SI = \lg [Ba^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}] - 4,063 \cdot \mu^{0,5} + 2,787 \cdot \mu - 3,33 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot \mu^{0,5} - 7,561 \cdot 10^{-3} T + 10^{-3} \cdot T + 3,775 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 7,709 \cdot 10^{-3} \cdot P + 10, \quad (2)$$

где P – давление, МПа;

T – температура, °C;

$\mu$  – ионная сила раствора;

$[Ba^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}]$  – молярные концентрации соответствующих ионов, г-ион/л.

При  $SI > 0$  – выпадает сульфат бария, при  $SI < 0$  осадок не образуется.

Очевидно, что данное уравнение прогноза описывает случай образования сульфата бария для однопластовой скважины при значительном изменении термобарических условий. Кроме того, уравнение непригодно при использовании результатов анализа поверхностных проб, отобранных с устья скважины, поскольку не учитывает сульфата бария, уже отложившегося на ГНО и находящегося в виде ТВЧ.

Анализируя вышепредставленное уравнение, можно сделать вывод, что при эксплуатации месторождения с давлениями 15–30 МПа и с невысокой температурой пластов (25–30 °C) вклад термодинамических параметров незначительный – не более 3 %, причем вклад давления вообще минимален – менее 1 %. Эта величина меньше, чем точность определения химических параметров (ионной силы и молярной концентрации), погрешность определения которых значительно больше.

### **Способы предотвращения солеотложения**

Предотвращение солеотложения в скважинах, нефтепромысловом оборудовании и системах внутривыпускного сбора и подготовки нефти является основным направлением в борьбе с данным процессом как негативным явлением.

Исходя из экономической целесообразности в зависимости от условий и особенностей разработки залежей, доступности технических средств и прочих факторов могут использоваться различные подходы в борьбе с данным явлением.

Для предотвращения солеотложения в нефтепромысловом оборудовании применяют технологические, физические и химические способы.

К технологическим способам относят подготовку воды для использования в системе ППД, операции по отключению обводненных интервалов, отдельный отбор и сбор жидкости и т.д. При этом предотвращение солеотложения происходит за счет исключения или ограничения возможности смешения химически несовместимых вод. Решение проблемы обводнения продукции скважины заключается в использовании комплекса средств и методов для разобщения пластов в процессе строительства скважин и отключения обводнившихся пропластков, ограничения притока пластовых вод к добывающим скважинам и их движения в промытых дренируемых зонах продуктивного пласта. Селективная изоляция

обводнившихся прослоев дает значительный эффект по снижению интенсивности солеотложения. На селективной основе разработано значительное количество водоизоляционных материалов. Однако не существует общепризнанных критериев по их подбору и оценке области их эффективного применения с учетом особенностей эксплуатации объекта и свойств нефти в залежи. Не учитывается несовместимость применяемых изолирующих материалов с различными видами химического воздействия на пласт (например, с целью повышения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти и др.). Недостатки этого способа сопряжены со значительными затратами и сложностью его реализации.

Физические способы предотвращения отложения солей включают в себя обработку потока добываемой жидкости магнитными, электрическими и акустическими полями [4]. Применяются специальные аппараты магнитной обработки жидкостей, представляющие систему из постоянных магнитов или электромагнитов. Под действием магнитного поля растворенные соли изменяют свою структуру, не осаждаясь в виде твердых осадков, а выносятся из скважины как кристаллический мелкодисперсный «шлам». К преимуществам данного метода относится простота конструкции, к недостаткам — необходимость монтажа подъемного оборудования, необходимость обработки продукции до начала кристаллизации солей, т. е. невозможность применения при солеобразовании в призабойной зоне пласта. В промышленной практике для защиты от отложения солей применяются магнитные активаторы «Магнолеум» производства Омского электромеханического завода. Также в качестве примера можно привести оборудование для магнитной обработки фирм Integra Tech Associates и Magnetic Technology Australia, в котором применяются постоянные магниты. К недостаткам можно отнести сложно прогнозируемую эффективность и неоднозначность результата [5]. Использование акустических полей основано на создании колебаний, которые значительно уменьшают интенсивность образования центров кристаллизации. Под акустическим воздействием меняется структура солей, мельчают их кристаллы и ослабевает сцепление с поверхностью металла. К недостаткам можно отнести их малую изученность и сложность конструкции.

Для повышения работоспособности глубинно-насосного оборудования в условиях отложения солей применяют различные покрытия поверхности, соприкасающейся с пластовой жидкостью. Проблема солеотложения на металлических поверхностях нефтепромышленного оборудования связана с коррозионным процессом, так как любая шероховатость и продукты коррозии являются концентратом кристаллизации при движении пересыщенных солями растворов. Поэтому любые антикоррозионные покрытия на внутренних металлических поверхностях являются мерой по снижению солевых отложений.

К ним относятся лакокрасочные и полимерные покрытия, детали и узлы скважинного оборудования, изготовленные из полимеров и обладающие низкой адгезией к отложениям солей. Использование полиэтиленовых труб против солеотложения рекомендуется в виде вставок в стальные трубы, что является также средством предотвращения коррозии. Однако промысловый опыт не подтвердил однозначно положительных результатов применения защитных покрытий. Так, например, полимерные материалы изнашиваются быстрее, чем металл.

Выбор источника водоснабжения и подготовка воды в системе поддержания пластового давления позволяют снизить интенсивность образования отложений солей. Закачиваемый в пласт агент должен иметь полную химическую совместимость с пластовыми и попутно добываемыми водами. К основным недостаткам этого метода можно отнести недостаточное количество высокоминерализованных вод для заводнения и значительные затраты на подготовку закачиваемого агента.

Следует отметить, что все перечисленные способы предотвращения солеотложения не могут считаться универсальными, и в значительной степени эффективность их применения зависит от условий образования осадков.

Эффективным способом предотвращения солеотложения в нефтепромысловом оборудовании, в том числе и при глушении скважин, является химический с использованием ингибиторов отложения солей. К ингибиторам относятся такие химические вещества, добавление которых в раствор неорганической соли резко замедляет процесс осадкообразования.

Выбор технологии предотвращения солеотложения методом ингибирования зависит от двух параметров: зоны солеотложения в скважине, куда необходимо доставить реагент, и объема воды, подлежащей ингибированию. Немалую роль играет расположение солеотлагающих скважин на месторождении.

### **Заключение**

Одним из основных требований, которые должны предъявляться к ингибиторам солеотложения, являются его адсорбционно-десорбционные свойства. Известно, что нефтегазоносные породы обладают различной смачиваемостью и разной сорбционной способностью. Исходя из этого для улучшения адсорбционно-десорбционных характеристик ингибитора солеотложения необходимо использовать реагенты, снижающие межфазное натяжение на границе «нефть — ингибирующий раствор» и позволяющие увеличить поверхность контакта как с силикатными и алюмосиликатными минералами, так и с карбонатной составляющей в составе цемента. Разработка универсального ингибирующего состава для таких случаев имеет важное практическое значение.

## Список литературы

1. Гарифуллин Ф.С. Изучение условий образования и зон отложения комплексных осадков в добывающих скважинах / Ф.С. Гарифуллин, Р.Ф. Габдуллин // Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений: Сб. науч. тр. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 1999. – С. 33–38.
2. Гиматутдинов Ш.К. Солеотложения при разработке нефтяных месторождений, прогнозирование и борьба с ними: Учеб. Пособие для вузов / Ш.К. Гиматутдинов, Л.Х. Ибрагимов, Ю.А. Гаттенбергер. – Грозный, 1985. – 87 с.
3. Здольник С.Е. Управление солеотложением – залог повышения эффективности нефтедобычи / С.Е. Здольник, О.В. Акимов, Д.В. Маркелов, В.Н. Гусаков, А.И. Волошин, В.В. Рагулин // Инженерная практика: пилотный выпуск. – Декабрь, 2009. – С. 66–69.
4. Ивановский В.Н. Анализ существующих методик прогнозирования солеотложения на рабочих органах УЭЦН // Инженерная практика: пилотный выпуск. – Декабрь, 2009. – С. 8–11.
5. Кащавцев В.Е. Роль пластовых вод в процессе осадкообразования солей при добыче нефти / В.Е. Кащавцев // Нефть, газ и бизнес. – 2004. – № 1. – С. 42–45.
6. Простаков С.М. Определение параметров зародышеобразования сульфата кальция различными методами / С.М. Простаков, Б.Н. Дриккер, С.И. Ремпель // Журнал прикладной химии. – 1982. – № 11. – С. 2576–2579.

### Рецензенты:

Петухов А.В., д.г.-м.н., профессор кафедры «Разработка нефтяных и газовых месторождений» Национального минерально-сырьевого университета «Горный», г. Санкт-Петербург;

Васильев Н.И., д.т.н., профессор кафедры «Бурение скважин» Национального минерально-сырьевого университета «Горный», г. Санкт-Петербург;