

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ СОЛЕЙ В НЕФТЯНЫХ СКВАЖИНАХ

Шангараева Л.А.¹, Петухов А.В.¹

¹ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2), e-mail: L.shangaraeva@mail.ru

Отложение солей при разработке и эксплуатации залежей нефти – это достаточно сложный и многофакторный процесс, который наиболее активно проявляется на поздних стадиях разработки, когда растет обводненность продукции добывающих скважин. Образование отложений солей приводит к снижению продуктивности скважин, преждевременному выходу из строя глубиннонасосного оборудования, внеплановым текущим и дорогостоящим капитальным ремонтам скважин и, как следствие, значительному ухудшению технико-экономических показателей нефтегазодобывающих предприятий. Для мониторинга и прогнозирования отложений солей в скважинном оборудовании необходимо изучать динамику состава попутно добываемых вод. В отличие от традиционного мониторинга предложенная методика базируется на фиксации изменений контролируемых параметров попутной воды, включая содержание в ней ионов бария, изменения плотности и минерализации воды, с обязательным отбором проб на анализ состава твердых взвешенных частиц.

Ключевые слова: солеотложения, методика прогнозирования, сульфат бария.

PREDICTION OF SCALE IN OIL WELLS

Shangaraeva L.A.¹, Petukhov A.V.¹

¹National mineral resources university «Mining», Saint-Petersburg, Russia (199106, Saint-Petersburg, 21st line V.O., 2), e-mail: L.shangaraeva@mail.ru

The accumulation of scale in the process of development and exploration of oil is complicated and multifactorial process that most actively manifested in the later stages of development, when water cut in production wells increase. Scale leads to lower productivity of wells, premature failure of the downhole equipment, unscheduled current and costly capital repairs of wells and, as a consequence, significant deterioration of economic indicators of oil and gas production enterprises. It is necessary to study the dynamics of the composition of way-produced waters for monitoring and prediction of scale in the downhole equipment. The proposed method is based on committing changes to the controlled parameters of the way-produced water, including the content of ions of barium, changes in density and salinity, with mandatory sampling on the analysis of the composition of suspended solid particles unlike traditional monitoring.

Keywords: scale, method of prediction, barium sulfate.

Важнейшей задачей в нефтяной промышленности является повышение эффективности добычи нефти. Одно из существенных направлений в решении этой проблемы - решение задач борьбы с отложениями неорганических солей при эксплуатации скважин. Образование отложений солей приводит к снижению продуктивности скважин, преждевременному выходу из строя глубиннонасосного оборудования, внеплановым текущим и дорогостоящим капитальным ремонтам скважин и, как следствие, значительному ухудшению технико-экономических показателей нефтегазодобывающих предприятий.

Особую актуальность проблема повышения эффективности эксплуатации скважин приобретает в настоящее время, поскольку многие нефтяные месторождения страны вступили в период интенсивного обводнения. Основным методом разработки нефтяных месторождений является заводнение продуктивных пластов. При этом в пласте протекают сложные геохимические процессы взаимодействия закачиваемой воды с породой пласта и

насыщающими ее жидкостями, приводящие к формированию попутно добываемых вод, насыщенных неорганическими солями [1].

Основными компонентами большинства промышленных отложений являются карбонат кальция, сульфат кальция и сульфат бария. В скважинах отложения чистых солей встречаются редко. Обычно они представляют собой смесь одного или нескольких основных неорганических компонентов с продуктами коррозии, частицами песка, причем отложения пропитаны или покрыты асфальто-смоло-парафиновыми веществами. Без удаления органической составляющей солеотложений невозможно успешно провести обработку скважин.

Механизм образования твердой фазы осадка состоит из нескольких стадий. Первая стадия его развития начинается с насыщенного раствора в виде образования нестабильных кластеров из атомов. Затем образуются первичные центры кристаллизации, когда атомные кластеры переходят в маленькие кристаллы-зародыши. Эти кристаллы постепенно растут за счет адсорбции ионов на дефектных участках поверхности кристаллов, увеличивая свой размер, объединяются между собой в более крупные агрегаты. В течение некоторого времени в растворе образуются настолько крупные кристаллы или их агрегаты, что они не могут более удерживаться во взвешенном состоянии в растворе и происходит выделение твердой фазы (осадка) [3].

Рост кристаллов также имеет место при инициировании определенных физико-химических реакций на уже имеющейся границе между твердым телом и жидкостью. Участками возникновения таких реакций являются различные дефекты поверхности, такие как неровности поверхностей труб, перфорационные отверстия и т.д.

Неорганические отложения встречаются в трех формах: в виде тонкой накипи или рыхлых хлопьев, в слоистой форме, в кристаллической форме. Отложения первого вида имеют рыхлую структуру, проницаемы и легко удаляются. Слоистые отложения, такие как гипс, представляют собой несколько слоев кристаллов, иногда в виде пучка лучин, заполняющих все сечение трубы. Кристаллические структуры, такие как барит и ангидрит, образуют очень твердые, плотные и непроницаемые отложения.

Радиоактивные соли бария являются наиболее трудноудаляемыми из солевых отложений. Барий часто встречается в высокоминерализованных пластовых водах нефтяных месторождений, где концентрация, например, бария нередко достигает 0,15-0,5 г/л. Уже при наличии небольших концентраций сульфат-иона барит ($BaSO_4$) выпадает в осадок. Соли наименее растворимые. Например, в дистиллированной воде при температуре 25 °C растворяется всего 0,0023 г/л барита, что почти в 900 раз меньше растворимости гипса.

Исследованиями установлено, что стабильные воды, насыщенные сульфатом бария в поверхностных условиях, остаются стабильными и при высоких температурах,

существующих в нефтяных залежах, что не вызывает осложнений при их нагнетании в пласт [2]. Наоборот, вода, недонасыщенная сульфатом бария в пластовых условиях, при подъеме на поверхность в условия пониженных температур и давления может оказаться перенасыщенной сульфатом бария и выделять осадок барита.

Отмечено, что баритовые осадки, отобранные из нефтепромыслового оборудования и НКТ, обладают повышенной радиоактивностью, что обусловлено наличием радиоактивных изотопов радия, которые ассоциируются в подземных водах с барием. В осадок выпадает радиоактивный радиобарит, что облегчает его обнаружение как в скважинах, так и в поверхностных коммуникациях.

Влияние давления на растворимость $BaSO_4$ изучено недостаточно. В целом отмечается небольшое повышение растворимости с увеличением давления, особенно четко проявляющееся в растворах с минерализацией менее 30-50 г/л. С повышением минерализации влияние давления сказывается незначительно [2].

Термобарические условия при движении восходящего потока жидкости по стволу скважины незначительно влияют на изменение растворимости барита в воде.

Основными причинами выпадения солей в скважинах являются смешения несовместимых вод в результате эксплуатации нескольких продуктивных пластов одновременно или в скважинах, эксплуатируемых один пласт с заколонными перетоками из смежных горизонтов. Нередко причиной служит нарушение технического состояния эксплуатационных колонн и негерметичность пакера, особенно на старых месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки.

С каждым годом фонд скважин стареет, происходит коррозионное разрушение эксплуатационных колонн (ЭК). В условиях экономической целесообразности встает вопрос раннего обнаружения нарушений их технического состояния и принятия решения о срочности проведения ремонтных работ, т.к. нарушение может привести к выходу из строя дорогостоящего глубинно-насосного оборудования (ГНО) по причине отложения солей. Особое значение в решении столь сложной многогранной проблемы приобретает прогнозирование возможных осложнений, связанных с солеотложением.

Мониторинг солеотложения, изучение, накопление и обобщение данных по составу попутно добываемой воды могут служить основанием для выделения основных признаков, позволяющих с большой точностью обнаружить нарушение ЭК скважины.

Выделение признаков возможного нарушения эксплуатационной колонны очень удобно осуществлять, используя карты изменения состава пластовых вод по различным компонентам: хлоридам, сульфатам, баритам, минерализации и др. Такие карты были построены и прослежена динамика изменения физико-химического состава вод за 4 года для

скважин Миннибаевской площади Ромашкинского месторождения (рисунки 1, 2).

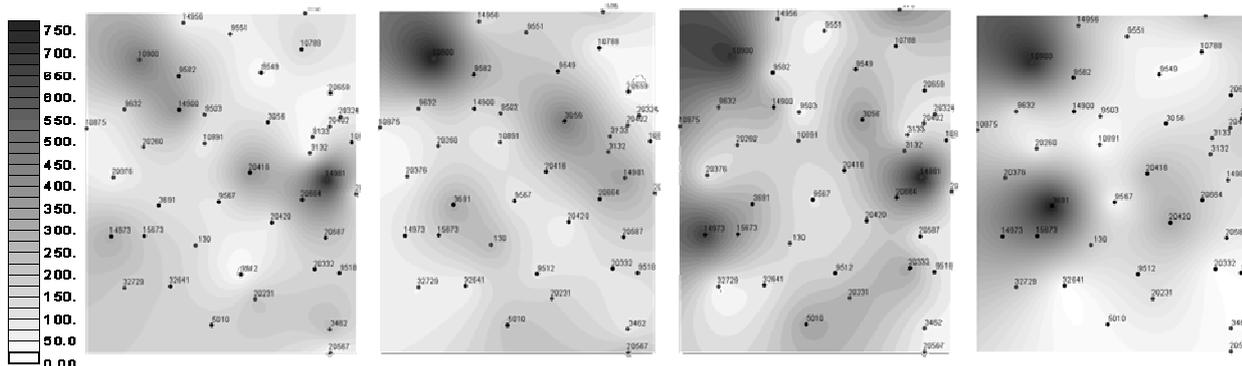
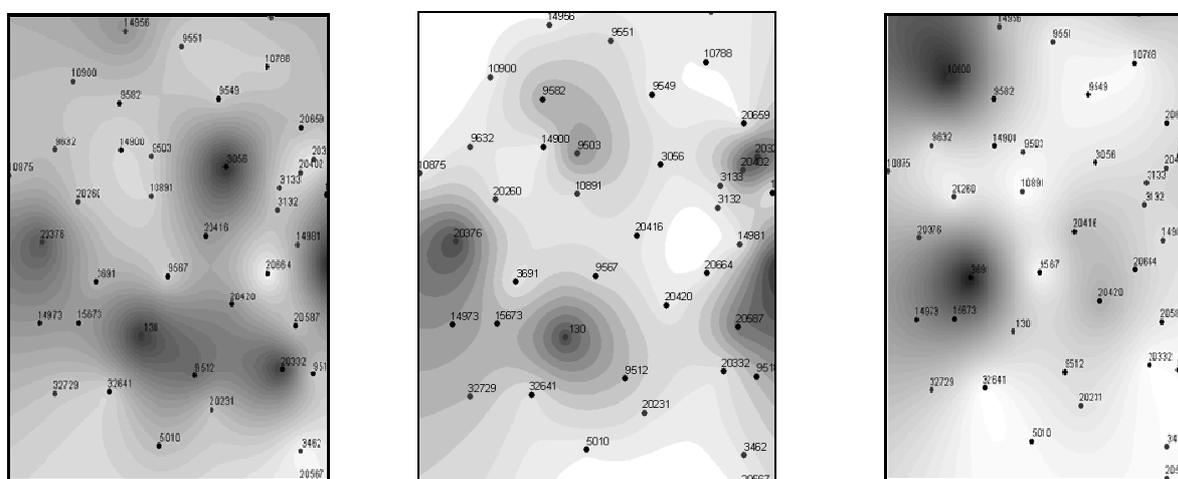


Рисунок 1 – Содержание ионов бария в пластовой воде (г/л) за период с 2009 по 2012 г.



Минерализация пластовой воды

Содержание сульфат-ионов

Содержание ионов бария

Рисунок 2 – Сопоставление результатов анализов пластовых вод за январь 2012 года

В результате могут быть выявлены случаи нарушения эксплуатационной колонны, приводящие к выпадению солей в скважинах по следующим основным признакам [4].

Основной идеей такого подхода является изучение динамики состава попутно добываемой воды. Так, снижение содержания ионов бария на ранних стадиях может свидетельствовать о негерметичности ЭК и цементного кольца на уровне отложений каменноугольной системы – при неизменной плотности воды; при уменьшающейся же плотности воды – на уровне вышележащих пермских слоев. Появление в дальнейшем в составе воды сульфатов, при полном исчезновении бария, вероятно, свидетельствует о скором выходе из строя насоса по причине отложения солей. Дополнительным признаком является наличие в составе твердых взвешенных частиц сульфата бария.

Рассмотрим, например, такой случай: в попутной воде наблюдается повышенное

содержание сульфат-иона (более 0,3 г/л), барий присутствует в незначительных количествах (менее 0,2 г/л или отсутствует). Проанализируем ситуацию. Для большинства девонских скважин характерно содержание ионов бария в пределах 0,1–0,8 г/л и низкое содержание сульфат-ионов, в пределах 0–0,25 г/л (0,25 г/л – предел насыщения по сульфат-иону для баритовых вод высокой минерализации). Скважины, находящиеся под влиянием закачки пресных или сточных вод, бария содержат в пределах 0–0,1 г/л. Для вод верхних горизонтов (кроме Турнейского и самых верхних пресных ярусов) характерно высокое содержание сульфат-ионов (от 1 до 12 г/л). Если в попутно добываемой воде девонской скважины есть сульфат-ион в концентрации более 0,3 г/л, эта скважина требует дополнительного изучения на предмет возможного нарушения технического состояния ЭК.

В этом случае необходимо совершить следующие действия:

- повторный анализ, с целью уточнения результата по сульфату, анализ состава ТВЧ, анализ на наличие в воде сероводорода;
- проверка «истории», как изменялось содержание сульфатов по предыдущим анализам для данной скважины;
- в случае отсутствия или незначительного содержания бария необходимо проверить, было ли зафиксировано наличие бария по предыдущим анализам;
- проверка - были ли сернокислотные оторочки в окружающих (влияющих) скважинах, изменения в режиме скважины.

Предположение о нарушении ЭК подтверждается при выполнении хотя бы одного условия:

- рост сульфатов по «истории» более чем на 10%, при отсутствии мероприятий повышения нефтеотдачи пластов;
- наличие в составе твердых взвешенных частиц (ТВЧ) сульфата бария;
- наличие в воде растворенного сероводорода.

Повышенное содержание сульфат-ионов без нарушения эксплуатационной колонны может быть в результате мероприятий повышения нефтеотдачи пластов или геолого-технических мероприятий при вовлечении в разработку пропластков и зон, ранее подвергнувшихся влиянию сернокислотных оторочек.

Совместное присутствие в значительных количествах ионов бария (от 0,2 г/л и более) и сульфат-ионов (от 0,15 г/л и более) – случай достаточно распространенный, но при определенных условиях наиболее опасен с точки зрения отложения солей на насосе и в НКТ. Более того, это может быть первым признаком нарушений для девонских скважин еще на ранних стадиях. Необходимо провести анализ состава ТВЧ, при наличии сульфата бария делается его количественное определение в г/л.

Изменение плотности для кыновско-пашийского горизонта не является показательным. Большинство вышележащих горизонтов имеют в составе пластовой воды значительное количество сульфат-ионов. Поэтому даже при незначительных нарушениях в первую очередь будет снижаться содержание бария и в составе ТВЧ появляться сульфат бария. После накопления информации по содержанию в составе пластовой воды бария по уменьшению его количества по данным анализа воды можно будет определять нарушения ЭК на ранней стадии.

При снижении содержания бария необходимо отобрать повторную пробу и сделать анализ ТВЧ. При обнаружении в составе ТВЧ сульфата бария делается вывод о нарушении ЭК. При этом не происходит сколько-нибудь значительного повышения концентрации сульфат-ионов.

Для баритовых скважин единственный критерий будущих осложнений – снижение концентрации бария и наличие в ТВЧ сульфата бария (рисунок 2). Сульфат бария (барит) в составе ТВЧ может появляться только в девонских скважинах, с бариевым типом воды, практически при любых нарушениях, кроме Турнейского яруса.

Нарушения ЭК не всегда сопровождаются отложениями солей на ГНО. В случае выявления нарушения необходимо сделать анализ состава ТВЧ. Если в ТВЧ нет соединений, характерных для отложений «солей», вероятно, нет необходимости в срочном ремонте ЭК. И наоборот, если в составе ТВЧ обнаружены соединения, характерные для «солей», или в воде – агрессивные соединения (сероводород в девонских скважинах), то необходим срочный ремонт ЭК, т.к. подобные нарушения могут привести к отказу ГНО.

В отличие от традиционных схем построения мониторинга нарушений предложенная методика построена на отслеживании изменений контролируемых параметров с обязательным повторным отбором проб на анализ состава ТВЧ. Заключение о возможном нарушении и «степени опасности» нарушения, в случае подтверждения, дается на основании анализа состава ТВЧ. Выявленные нарушения делятся на «требующие срочного принятия мер» и «проверка герметичности при плановом ремонте». Нарушения первого типа могут привести к сокращению срока межремонтного периода работы (МРП) скважинного оборудования или выводу из строя наземного оборудования. Нарушения второго типа могут привести к росту обводненности продукции скважин, но если скважина рентабельная и рост обводненности не превышает допустимых значений, то ремонт таких скважин целесообразнее проводить после отработки скважины МРП при плановом ремонте.

Список литературы

1. Ибрагимов Н.Г. Осложнения в нефтедобыче / Н.Г. Ибрагимов, А.Р. Хафизов, В.В. Шайдаков; под ред. Н.Г. Ибрагимова, Е.И. Ишемгужина. – Уфа : Монография, 2003. – 302 с.
2. Кашавцев В.Е. Солеобразование при добыче нефти / В.Е. Кашавцев, И.Т. Мищенко. – М., 2004. – 432 с.
3. Крабтри М. Борьба с солеотложениями – удаление и предотвращение их образования / М. Крабтри, Д. Эслингер, Ф. Флетчер, М. Миллер // Нефтегазовое обозрение. – 2002. – № 2. – С. 52-73.
4. Шангараева Л.А. Особенности процесса солеотложений в скважинном оборудовании на поздних стадиях разработки нефтяных месторождений / Л.А. Шангараева, А.В. Петухов // Материалы II Международной конференции «Ресурсно-геологические и методические аспекты освоения нефтегазоносных бассейнов». – СПб., 2011. – С. 271-276.
5. Яркеева Н.Р. Повышение эффективности предотвращения солеотложения в скважинах на поздней стадии разработки залежей : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.17. - Уфа, 2008. - 25 с.

Рецензенты:

Рогачев М.К., д.т.н., декан нефтегазового факультета Национального минерально-сырьевого университета «Горный», г. Санкт-Петербург.

Долгий И.Е., д.т.н., профессор кафедры СГП и ПС Национального минерально-сырьевого университета «Горный», г. Санкт-Петербург.