

УДК 622.276.5

КЛАССИФИКАЦИЯ ОТЛОЖЕНИЙ СОЛЕЙ, ИХ СОСТАВ И СТРУКТУРА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НОЯБРЬСКОГО РЕГИОНА

Сагирова Л.Р., Котенёв Ю.А.

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

Аннотация. *В настоящее время из-за роста обводненности добываемой продукции на месторождениях Ноябрьского региона Западной Сибири увеличивается количество скважин, подверженных отложению солей. Вода, добываемая попутно с нефтью – главный источник выделения солей в виде твёрдой фазы. Эффективность борьбы с отложениями солей в значительной мере зависит от состава и структуры отложений.*

В статье представлен анализ минерального состава осадков с установок электроцентробежных погружных насосов (УЭЦН) Ноябрьской группы месторождений Западной Сибири. Приведена классификация отложений. Полученные результаты могут быть использованы при составлении программы борьбы с солеотложением в данном регионе.

Ключевые слова: *отложения солей, группы осадков, кальцит, продукты коррозии, комплекс солей, механические примеси*

В настоящее время на нефтяных месторождениях Ноябрьского региона Западной Сибири широко используются методы интенсивного воздействия на пласт в сочетании с применением современных высокопроизводительных электроцентробежных насосов (ЭЦН). Рост добычи нефти неизбежно приводит к увеличению добычи воды. Вода, добываемая попутно с нефтью – главный источник выделения солей в виде твёрдой фазы. ЭЦН – наиболее уязвимые насосы, при осаждении солей в рабочих органах резко ухудшается их характеристика (рис. 1). Отложения в НКТ ведут к уменьшению диаметра и увеличению потерь на трение. Солеобразование связано со значительным перенасыщением водной среды трудно растворимыми солями вследствие изменения физико-химических параметров системы добычи нефти (температуры, давления, выделения газа, концентрации осадкообразующих ионов и т.д.).

Важнейшим фактором, определяющим химический состав солеотложений, являются гидрогеохимические условия продуктивных пород-коллекторов: химический состав и физические свойства породы, пластовые давления и температура, химический состав и минерализация пластовых вод [1, 2]. В регионах, где в осадочных толщах отсутствуют соленосные отложения и минерализация вод относительно невелика, в составе солей, выпадающих на поверхности нефтепромыслового оборудования, преобладают карбонаты кальция. Присутствие соленосных толщ способствует высокой минерализации пластовых вод и обуславливает выпадение преимущественно сульфатов бария и кальция [3].



Рис. 1. Отложения солей в рабочем колесе ЭЦН и НКТ

Тип отложений принято характеризовать по преобладанию (до 60 - 80 %) одного из видов неорганических соединений. Карбонатные соли, преимущественно кальцит (CaCO_3), распространен на месторождениях Западной Сибири, Азербайджана, Ставропольского края и др.; сульфаты кальция – гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и ангидрит (CaSO_4) – на месторождениях Урало-Поволжья и Казахстана; галит (NaCl) – на месторождениях Белоруссии, Украины, Литвы и Польши; сульфаты бария: барит (BaSO_4) и стронция (целестин SrSO_4) – на месторождениях Мангышлака и Северного Кавказа.

Из сульфатов наибольшее распространение имеет гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и ангидрит (CaSO_4). Растворимость их в дистиллированной воде, соответственно 2800 мг/л (при 25 °С) и 2036 (при 20 °С) мг/л. Влияние температуры на растворимость гипса относительно ангидрида невелико, максимальных значений растворимость достигает при температуре 40 °С (при атмосферном давлении). Существенно повышается растворимость гипса и ангидрита в растворе NaCl , достигая 8 г/л при концентрации поваренной соли 100 г/л. Дальнейшее повышение концентрации сопровождается уменьшением растворимости сульфата кальция, однако, и в насыщенном растворе растворимость выше, чем в дистиллированной воде [4].

Резко снижается растворимость CaSO_4 в присутствии CaCl_2 , так при концентрации последнего 3 моль/л растворимость сульфата кальция близка к нулю. По данным В.В. Витвицкого парциальное давление CO_2 и температура (от 0 до 60 °С) практически не влияют на растворимость ангидрита в растворе, а при росте давления растворимость увеличивается. Таким образом, тенденция к осадкообразованию сульфатов кальция увеличивается при понижении концентрации солей в растворе, при повышении температуры выше 40 °С и значительном снижении давления.

Влияние давления и температуры на растворимость SrSO_4 незначительно. В растворе NaCl растворимость сульфата стронция достигает максимального значения – $27,5 \cdot 10^{-6}$ г-ион/л при концентрации последнего 150 г/л, более высокие концентрации NaCl ведут к снижению растворимости.

Сульфат бария имеет тенденцию к образованию пересыщенных растворов. На его растворимость существенно влияет температура и содержание в растворе солей. По данным Ч. Темплтона при температуре 95°C и концентрации NaCl 100 г/л растворимость BaSO_4 достигает почти 60 мг/л, дальнейшее повышение концентрации поваренной соли ведет к увеличению растворимости сульфата бария. Изменение же давления имеет небольшое влияние на растворимость [5].

На некоторых месторождениях, где нефтяная залежь контактирует с высокоминерализованными погребенными водами, встречаются отложения хлористого натрия (галит). Несмотря на высокую растворимость галита (около 363 г/л при 30°C), при подъеме низкообводненной скважиной продукции может наблюдаться его выпадение, основной причиной которого служит пересыщение попутно добываемой воды вследствие снижения давления и температуры в стволе скважины.

Эффективность борьбы с отложениями солей в значительной мере зависит от состава и структуры отложений. Для выявления этих параметров на Ноябрьской группе месторождений была разработана специальная программа изучения осадков с рабочих колёс УЭЦН. В программе учитывался характер отложений, их состав, структура, глубина осадения, дебит скважин, условия эксплуатации, обводнённость продукции. В результате исследования 307 проб было обнаружено, что отложения различны и их можно условно разделить на 4 группы.

В первую самую большую группу вошли осадки, преимущественно представленные кальцитом. Кальцит встречается в отложениях всех месторождений, содержание его в пробах осадков от долей процентов до 100 %, является преобладающим осадком в 172 скважинах. Наибольшее количество проб отобрано на месторождениях: Суторминском – 101, доля кальцита в осадках 63 %; Муравленковском – 49, из них 61 % проб составляет кальцит; Сугмутском – 48, количество кальцита 44 %; Вынгапуровском – 34, доля CaCO_3 47 %; Вынгаяхинском – 18, из которых 59 % составляет кальцит. Эти отложения осаждались на поверхности рабочих колёс, в основном, в виде тонких корковидных выделений толщиной от менее 1 мм до 3 мм, кристаллов размером от 0,3 - 3 мм до 5 - 7 мм и сферических выделений. Также кальцит откладывался на рабочих органах насоса, на поверхности направляющих аппаратов, толщина осадков составляет 3 - 4 мм. В качестве примера рассмотрим характерные отложения карбонатных солей с рабочих колёс УЭЦН скважины 1985 Вынгапуровского месторождения, в которой вся проба представлена кальцитовой коркой толщиной около 1 мм. Сложена плотным тонкокристаллическим агрегатом карбоната кальция. На внутренней поверхности корки неравномерный налет металлических частиц, на внешней – слабый налет

желто-бурых гидроксидов железа. Следует отметить, что практически во всех пробах присутствует налёт металлических частиц и гидроксидов железа.

Месторождения Ноябрьского региона были открыты в 70-80-х годах. В скважинах, эксплуатирующихся продолжительное время (больше 10 лет) встречаются тёмные осадки, представляющие собой продукты коррозии. Такие отложения выделяются во вторую группу осадков. В качестве примера можно привести пробу отложений со скважины 1614 Суторминского месторождения, в которой продукты коррозии составляют около 75 %. Представлены пластинчатыми магнитными частицами с коррозионной поверхностью покрытой порошковатыми и натежными налетами гидроксидов железа. Кальцит присутствует в количестве около 20 %. Представлен кристаллически-зернистыми образованиями сферической и дисковидной формы светло-серого цвета. Поверхность их гладкая, без следов выщелачивания, покрыта неравномерным налетом гидроксидов железа и имеют высокую механическую прочность. Из механических примесей кварц составляет 1 - 2 %, представлен округлыми полупрозрачными зёрнами размером 0,5 - 0,7 мм. Проппант представлен шариками и обломками в количестве 2 - 3 %. Частицы полимера – единичны.

В процессе разработки залежей имеют место отложения комплексных осадков, основными являются карбонаты кальция, однако, в качестве примесей встречаются сокристаллизованные соли сульфатов кальция, бария, хлориды натрия, которые выделяются в отдельную третью группу осадков. Галит встречается в пробах осадков Вынгапуровского, Муравленковского, Новогоднего, Пограничного, Сугмутского, Суторминского месторождений, всего в 12 скважинах, составляя от долей процентов до 25 % пробы. Барит встречается гораздо реже, чем галит, в трех скважинах Вынгапуровского, Муравленковского и Суторминского месторождений, но содержание его в пробах, значительно выше – 60 - 100 %. Также в осадках встречается гипс в трех скважинах Новогоднего и Сугмутского месторождений, количеством от 2 до 45 %. Результаты анализа представлены в табл. 1. Кроме того, из-за коррозии оборудования в составе осадков появляются железистые осадки. В таких отложениях в небольших количествах встречаются частицы песка, глины, углеводородов.

Одним из наиболее распространённых способов интенсификации притока нефти в группе Ноябрьских месторождений является гидравлический разрыв пласта (ГРП), при этом крепление трещин производится проппантом. Обратный вынос проппанта при неудачном проведении ГРП приводит к образованию пробок в УЭЦН. При этом часто в составе таких пробок имеются частицы породы (песка и глины). Строго говоря, это не результат солеотложения, а технологическое осложнение при ГРП, хотя, если ГРП проводится в солеобразующих скважинах, в составе осадков встречаются и частицы карбонатов и частицы коррозии. Проппант и частицы породы, встречающиеся в пробах осадков с рабочих колёс УЭЦН, отно-

сятся к четвертой группе осадков, механическим примесям. Также в составе осадков встречаются частицы полимера, корковидные и комковатые частицы неясного происхождения, минералогические признаки которых отсутствуют, что затрудняет их диагностику.

Результаты анализов состава отложений, которые были собраны со скважинного оборудования месторождений Ноябрьского региона представлены в табл. 2.

В результате анализа осадков с УЭЦН выяснилось, что основным отложением является кальцит, который встречается практически на всех месторождениях Ноябрьского региона, второй по численности группой осадков являются продукты коррозии, мехпримеси, состоящие, в основном, из материалов использующихся при ГРП, а другие соли (галит, барит, гипс) составляют меньшую часть осадков. Классификация осадков с УЭЦН приведена в табл. 3.

Таким образом, при разработке программы борьбы с солеотложением на данной группе месторождений следует обратить особое внимание на выбор ингибиторов для предотвращения отложения кальцита и коррозии оборудования.

Таблица 1. Анализ количества солей в осадках месторождений Ноябрьского региона

Месторождение	Галит количество скважин, шт / содержание в пробе, %	Барит количество скважин, шт / содержание в пробе, %	Гипс количество скважин, шт / содержание в пробе, %
Вынгапуровское	3 / 2 - 6 %	1 / 100 %	0
Вынгаяхинское	2 / 1-2 %	0	0
Муравленковское	1 / 1 %	0	0
Новогоднее	1 / 5 %	1 / 100 %	1 / 2 %
Пограничное	1 / 3 %	0	0
Сугмутское	2 / 1 - 25 %	0	2 / 2 - 45 %
Суторминское	2 / 2 %	1 / 60 %	0

Таблица 2. Анализ минералогии осадков с УЭЦН

Месторождение	CaCO ₃ , шт / %	продукты коррозии, шт / %	Другие соли (галит, барит, гипс) шт / %	Мех- примеси, шт / %	Кол-во скважин
Вынгапуровское	18/47	11/34	1/3	4/15	34
Вынгайхинское	11/59	3/18	0/0	4/23	18
Северо-Памальяхинское	1/55	0/20	0/0	1/25	2
Западно-Ноябрьское	0/0	1/100	0/0	0/0	1
Западно-Суторминское	0/3	1/87	0/0	0/10	1
Карамовское	4/50	4/49	0/0	0/1	8
Крайнее	7/77	1/10	0/0	0/2	9
Муравленковское	30/61	13/27	0/0	4/9	49
Новогоднее	1/25	0/8	1/27	0/1	4
Пограничное	5/83	1/15	0/1	0/2	6
Романовское	2/100	0/0	0/0	0/0	2
Спорышевское	2/40	2/42	0/0	1/18	5
Средне-Итурское	0/15	2/42	0/0	1/43	3
Сугмутское	20/44	15/32	1/2	10/22	48
Суторминское	62/63	29/27	1/1	7/8	101
Умсейское	0/1	2/83	0/0	0/17	2
Холмогорское	9/63	4/28	0/0	1/9	14
Итого по месторождениям региона	172/56	89/29	4/1	33/12	307

Таблица 3. Классификация осадков с УЭЦН Ноябрьского региона

Номер группы осадков	Основной состав в группе осадка	содержание в пробах месторождений, % <u>мин - макс сред</u>	примеси в пробах с преимущественным содержанием осадков группы
1	Карбонаты	<u>1-100</u> 56	продукты коррозии до 45 %, мехпримеси до 40 %, соли другого состава до 5%
2	Железистые осадки (продукты коррозии)	<u>0-87</u> 29	кальцит до 4 5% мехпримеси до 38 % соли другого состава до 6 %
3	Мехпримеси (проппант, частицы породы)	<u>0-43</u> 12	кальцит до 35 % продукты коррозии до 40 %, соли другого состава до 5%
4	Другие соли (галит, барит, гипс)	<u>0-27</u> 1	кальцит до 40 %

Литература

1. Гиматутдинов Ш.К., Ибрагимов Л.Х., Гаттенбергер Ю.А. и др. Солеотложение при разработке нефтяных месторождений, прогнозирование и борьба с ними: учеб. пособие для вузов. Грозный, 1985. 87 с.
2. Гиматутдинов Ш.К., Ибрагимов Л.Х., Сюняев З.И. Развитие методов борьбы с образованием солевых осадков в нефтепромысловом оборудовании / Реф. докл. М.: 1981. № 4. С. 136 - 137.
3. Ибрагимов Л. Х., Мищенко И.Т., Челоянц Д.К. Интенсификация добычи нефти. М.: Наука, 2000. 414 с.
4. Витвицкий В.В. Исследование сульфатно-кальциевого и карбонатного равновесий в подземных водах палеозойских отложений Куйбышевского Поволжья и Башкирского Приуралья: дис. канд. техн. наук. М., 1976. 192 с.
5. Temleton Ch.C. Solubility of barium sulphate in sodium chloride solutions from 25 °C to 95 °C // J. Chem. & Eng. Data. 1960. 5 (4), pp. 514 - 516. DOI: 10.1021/je60008a028

SALT DEPOSITS ON OILFIELDS OF NOYABRSK REGION: CLASSIFICATION, COMPOSITION AND STRUCTURE

L.R. Sagirova, Yu.A. Kotenev

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

e-mail: gumersan@mail.ru

Abstract. *The increased water production from oilfields in Noyabrsk Region, Western Siberia, has resulted in a growing number of wells subject to scale formation and deposition. The produced water is the main source of salts precipitating as solids. Efficient scale inhibition largely depends on the composition and structure of the deposits. The article details the results of the composition analysis of sediments sampled from electrical centrifugal submersible pumps on Noyabrsk group of oilfields, Western Siberia. The classification of sediments is presented. The results obtained may be used for the development of scale inhibition program in the Noyabrsk region.*

Keywords: *salt deposits, sediment groups, calcite, corrosion products, salt complex, mechanical impurities*

References

1. Gimatutdinov Sh.K., Ibragimov L.Kh., Gattenberger Yu.A., et al. Soleotlozhenie pri razrabotke neftyanykh mestorozhdenii, prognozirovaniye i bor'ba s nimi: ucheb. po-sobie dlya vuzov (Deposition of salts in the oil fields development: prediction and control. Textbook). Grozny, 1985. 87 p.
2. Gimatutdinov Sh.K., Ibragimov L.Kh., Syunyaev Z.I. Razvitiye metodov bor'by s obrazovaniyem solevykh osadkov v neftepromyslovom oborudovanii (The development methods of struggle with the formation of salt deposits in oilfield equipment), Ref. report. Moscow: 1981. Issue 4. pp. 136 - 137.
3. Ibragimov L. Kh., Mishchenko I.T., Cheloyants D.K. Intensifikatsiya dobychi nefti (Intensification of oil recovery). Moscow: Nauka, 2000. 414 p.
4. Vitvitskii V.V. Issledovanie sul'fatno-kal'tsievogo i karbonatnogo ravnovesii v podzemnykh vodakh paleozoiskikh otlozhenii Kuibyshevskogo Povol-zh'ya i Bashkirskogo Priural'ya (Investigation of calcium sulphate and carbonate equilibria in ground-water Paleozoic deposits of the Volga and the Kuibyshev Bashkirian Ural region). PhD thesis. Moscow, 1976. 192 p.
5. Temleton Ch.C. Solubility of barium sulphate in sodium chloride solutions from 25 °C to 95 °C, *J. Chem. & Eng. Data*, 1960. Volume 5, Issue 4, pp. 514 - 516. DOI: 10.1021/je60008a028