

ФОРМА И СОСТАВ ПОРОВОЙ ВОДЫ ПОРОД БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Казак Е. С. (МГУ им. М. В. Ломоносова)*

Казак А. В. (Сколковский институт науки и технологий)

Богданович Н. Н. (Сколковский институт науки и технологий)

Введение

За весь период разработки пород баженовской свиты Западной Сибири (БС) нигде в скважинах не была выявлена водонасыщенная или водонефтяная зона пласта, а большинство (75÷80 %) образцов пород БС принято считать гидрофобными [8]. На основании такого опыта можно предположить, что в этих породах должна содержаться только связанная вода глинистых минералов и органического вещества. Однако, формально установить факт отсутствия поровых растворов в «сухих» по внешнему виду образцах пород БС не представляется возможным, так как: а) образцы обладают конечным удельным электрическим сопротивлением (менее 800 Ом·м по данным бокового каротажа), то есть проводят электрический ток и б) большая доля образцов при высушивании покрывается налётом солей. Таким образом, в породах БС можно ожидать присутствие различных видов воды, как свободной, так и связанной.

Определение содержания и состава воды является очень актуальной задачей, без решения которой качественное описание низкопористых пород-коллекторов БС не представляется возможным. Надёжные данные о содержании воды в пустотном пространстве, особенно с учётом низкой пористости (менее 5% на цилиндре Ø30×30 мм по газу до экстракции), крайне необходимы для достоверного подсчёта запасов (нефти, газа, битума). Состав поровой воды может дать ценную информацию об истории и условиях формирования БС. Комплекс данных по составу и содержанию воды позволяет построить адекватные петрофизические модели интерпретации геофизических исследований в скважинах (ГИС), включая потенциал самопроизвольной поляризации (ПС), электрометрию (БС, БКЗ), диэлектрический каротаж (ДК), нейтронного (НК) и каротажа на основе ядерно-магнитного резонанса (ЯМР).

Целью проводимых работ являлось качественное и количественное определение различных видов воды комплексом лабораторных методов в трёх образцах полноразмерного керна пород баженовской свиты двух месторождений на территории нижневартовского свода с помощью комплекса методов оценки водонасыщенности, специально разработанного авторами для пород БС.

Методики

В работе анализировались изолированные образцы пород БС с сохранённой начальной водонасыщенностью. Для этого все исследуемые образцы полноразмерного керна (Ø 10 см) сразу после отбора были плотно завёрнуты в полиэтиленовую плёнку и запарафинированы. Для исключения влияния на результаты определений бурового раствора, образцы для анализов отбирались из центральной части полноразмерного керна, быстро помещались в герметично закрывающиеся пакеты zip-lock и подвергались анализу в день вскрытия парафиновой оболочки (Рис. 1).

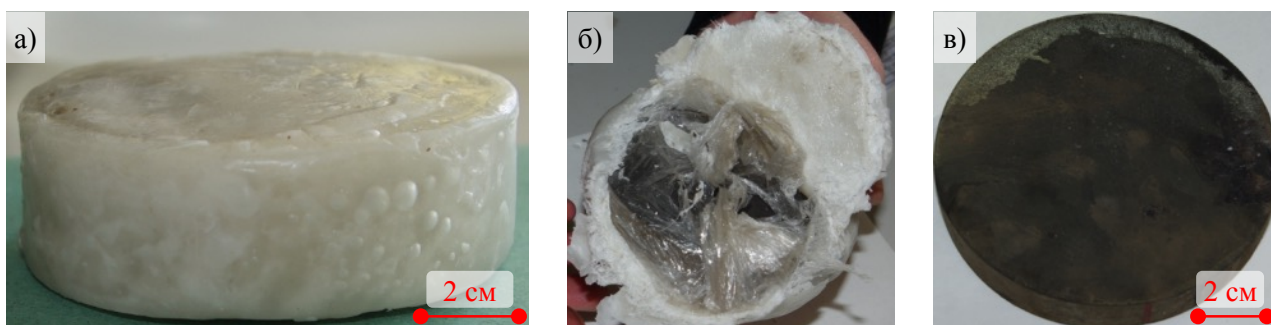


Рис. 1. Образец керна а) запарафинированный; б) во время вскрытия; в) вскрытый с буровой коркой

Исследование водонасыщенности образцов пород БС было выполнено путём комплексирования результатов прямых и косвенных количественных и качественных определений различных видов

воды, включая дериватографические исследования в сочетании с пиролизом и потерями при прокаливании, хорошо известный в нефтяной геологии метод Закса и метод испарения, основанный на принципе выпаривания воды при нагревании породы в герметично закрытой кювете при 80, 105 и 205 °С.

Валовое количество воды в исследуемой породе БС (% масс) было получено путём вычитания из потерь при прокаливании массовой доли органических компонентов, содержания CO_2 карбонатов и пирита, оценённых по результатам дериватографического анализа, пиролиза и рентгенофазового анализа (РФА). Количественное содержание химически связанной воды, то есть воды, входящей в состав кристаллических структур минералов в виде молекул H_2O или гидроксильных групп OH^- и прочно удерживаемой там за счёт сил химической природы, было получено путём комбинирования методов дериватографии и пиролиза. Содержание свободной воды было измерено с помощью прямого метода испарения при высушивании образцов керна в открытой и закрытой кюветах при температуре 80 и 105 °С. Присутствие именно свободной воды подтверждено качественно в ходе нагрева образцов до 80 °С, при котором была произведена визуальная фиксация выделившихся капель жидкости на обломках породы (Рис. 2).

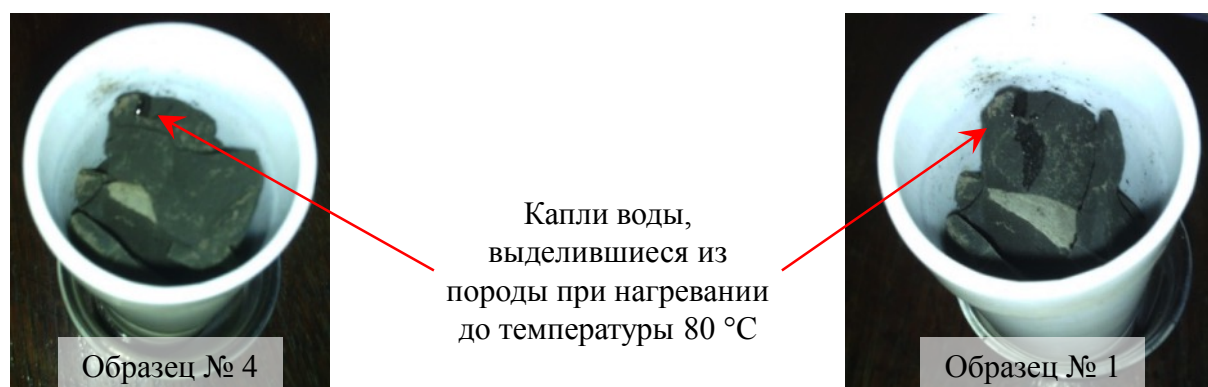


Рис. 2. Выделившиеся капли жидкости из обр. №№ 4 и 1 после их прогрева при 80 °С

В ходе прогрева образцов методом испарения до 205 °С, а также в результате экстракции образцов толуолом в методе Закса в пробирку-приёмник поступает так называемая остаточная поровая вода [2], то есть вся свободная вода и часть физически связанной воды.

Необходимо отметить, что в результате выполненных комплексных исследований было определено водосодержание — массовое содержание воды в образце, что отличается от принятой в петрофизической практике водонасыщенности (объёмного содержания воды в пустотном пространстве). Перевод водосодержания (% масс) в водонасыщенность (% от объёма пор) осуществляется элементарно, зная открытую пористость и объёмную плотность породы.

Оценка состава поровых воды образцов пород БС была выполнена с помощью водных вытяжек из пород естественной влажности в пересчете на измеренное количество воды в каждом из них.

Изучение состава обменных катионов и ёмкости катионного обмена (ЕКО) для 3 образцов пород БС было выполнено с помощью метода вытеснения обменных оснований раствором NH_4Cl с внесением поправки на состав водных вытяжек и растворения карбонатных минералов, мешающее влияние которых было отмечено также в работе [7].

Результаты исследований

Полученные значения валового водосодержания, содержания свободной и химически связанной воды представлены в Табл. 1.

Табл. 1. Качественное и количественное содержание поровой воды и значения ЕКО в образцах пород БС

№ обр.	Свободная вода, % масс	Физически связанная вода, % масс	Химически связанная вода, % масс	Общее водосодержание, % масс	Содержание в поровой воде, г/л			ЕКО, мг-экв/100 г породы
					Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	
1	0,32	0,73	2,80	3,85	49,31	2,86	0,76	19,40
4	0,29	0,65	6,40	7,33	58,28	1,99	0,53	15,84
5	0,30	0,35	1,50	2,15	80,53	2,50	0,80	14,02

Наименьшим водосодержанием обладает обр. № 5, а наибольшим – обр. № 4. Таким образом, наглядно видна непостоянность водонасыщения пород БС вдоль одного разреза скважины, связанная, скорее всего, с неоднородным составом пород БС и вариацией их фильтрационно-емкостных свойств по разрезу.

Также установлено, что количество химически связанной воды во всех исследованных образцах значительно превосходит содержание свободной и физически связанной воды (Табл. 1). Следует отметить, что в работе [5] с помощью косвенных расчетных методов было обнаружено также значительное содержание химически связанной воды в породах БС, входящей в состав сульфатных минералов-кристаллогидратов (от 2 до 12 молекул).

Количество остаточной поровой воды по данным метода испарения составляет 0,42 % масс для обр. № 1; 0,62 % масс и 0,3 % масс для обр. № 4 и 5. Результаты содержания поровой воды, полученные методом Закса и методом испарения, отличаются между собой. Более низкие значения водосодержания, полученные с помощью аппарата Закса могут быть связаны с неполной экстракцией воды толуолом и/или с неравномерным водосодержанием в поровом пространстве исследованных образцов пород БС. Помимо этого, важным преимуществом прямого метода испарения перед методом Закса является, прежде всего, его безреагентность и скорость — содержание поровых вод можно оценить всего за 3÷5 ч прогрева.

Несмотря на большое количество аналитических исследований, выполненных на образцах пород БС отечественными исследователями, в литературе практически отсутствуют данные о составе их поровых растворов за исключением работ [5], [7], [9].

В результате использования метода испарения и метода Закса на выходе была получена практически обессоленная поровая вода, поэтому, для оценки её состава в пласте использовался косвенный метод водных вытяжек. В общих чертах, водная вытяжка представляет собой разбавленный раствор поровых вод и легкорастворимых солей, содержащихся в образце. Согласно результатам исследований, представленным в работах [2], [3], [6], концентрации ионов Na⁺, K⁺ и Cl⁻ в растворах водных вытяжек будут очень близки к их содержанию в поровых водах незасоленных пород с учётом коэффициента разбавления. В то же время в силу различных причин, достоверно говорить о содержании в поровых водах гидрокарбонат иона, сульфат иона, ионов кальция, магния и железа на основании их содержания в растворах водных вытяжек не верно. Таким образом, учитывая коэффициент разбавления поровых вод в ходе приготовления водных вытяжек можно, измерив концентрации ионов Na⁺, K⁺ и Cl⁻ в растворе вытяжек, оценить их содержание в поровых водах пород БС.

Полученные с помощью водных вытяжек результаты содержания ионов Na⁺, K⁺ и Cl⁻ в поровых растворах образцов пород представлены в Табл. 1. Видно, что содержание Na⁺ сильно превышает содержание K⁺, а концентрация Cl⁻ крайне низкая во всех образцах. Суммарное содержание Na⁺, K⁺ и Cl⁻ составляет 52,93 г/л для обр. № 1 и 60,81 и 83,82 г/л для обр. № 4 и № 5. Очевидно, что значение минерализации поровых вод пород БС будут больше суммарного содержания ионов Na⁺, K⁺ и Cl⁻. Полученные значения солесодержания в несколько раз превосходят расчётные значения минерализации свободной воды в отложениях БС Салымского месторождения — 13 г/л по NaCl, оценённое В. Е. Силичем в работе [7].

В составе обменных катионов у всех исследуемых образцов пород БС преобладает Na⁺, что в целом согласуется с составом поровых вод, где также преобладающим катионом является Na⁺. Полученное

значение ЕКО (сумма содержания всех обнаруженных катионов в его составе) составляет 19,40 мг-экв/100г для обр. № 1, при этом обменные катионы располагаются в следующем ряду: $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. Для обр. № 4 и № 5, несмотря на то, что они из одной скважины, получены различные ряды обменных катионов, так для обр. № 5 ЕКО (14,02 мг-экв/100 г) соответствует следующий ряд обменных катионов $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$, а для обр. № 4 с ЕКО 15,84 мг-экв/100 г — ряд $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ соответственно. Видно, что солесодержание поровых вод и состав обменных катионов не одинаково в пределах разреза одной скважины (Табл. 1). Похожую неоднородность состава поровых вод и обменного комплекса осадочных пород, отмечали в ранних исследованиях. Так в работах [2] и [4], установлено, что состав связанной поровой воды будет отличаться от состава пластовой свободной воды, если последняя не имеет непрерывной связи с краевой или подошвенной водой. Fe и Mn в обменном комплексе обнаружено не было. Следует отметить, что полученные значения ЕКО для пород БС превосходят ранее измеренные почти в 2 раза [1] и в целом соотносятся с определённым составом глинистой фракции исследуемых пород.

Выводы

В результате выполненных исследований впервые удалось качественно и количественно оценить наличие свободной, физически и химически связанной воды в образцах пород БС, а также определить содержание ионов натрия, калия и хлора в составе поровых вод.

Установлено, что водосодержание, концентрации Na^+ , K^+ и Cl^- в поровых водах образцов, а также ЕКО отличается по глубине в пределах разреза одной скважины.

Благодарности

Авторы выражают благодарность коллективам Управления проектов нетрадиционных запасов (г. Санкт-Петербург) и Центра исследования керна и флюидов (г. Тюмень) ООО «Газпромнефть НТЦ» за предоставление изолированного керна и сопроводительной информации по образцам; профессору кафедры геохимии геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова Бычкову А. Ю. за помощь в технической реализации метода испарения, доценту кафедры гидрогеологии геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова Киреевой Т. А. за ценные советы при анализе результатов состава водных вытяжек.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, шифр проекта RFMEFI58114X0008.

Литература

1. Езерский, Д. М. [и др.] Оценка водосодержания пород баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. 2015. Т. 10. – С. 38–43.
2. Закс, С. Л., Бурмистрова, В. Ф. К вопросу исследования состава и свойств связанной воды в нефтяных коллекторах // Труды института нефти. Академия наук СССР. 1956. Т. VII. – С. 222–235.
3. Затенецкая, Н. П. Закономерности формирования свойств засоленных глин : М.: Наука, 1985.
4. Затенецкая, Н. П. Поровые воды глинистых пород и их роль в формировании подземных вод. – Москва : Изд-во Академии наук СССР, 1963. – 142 с.
5. Киреева, Т. А., Казак, Е. С. Кристаллизационная вода в породах баженовской свиты Западной Сибири // III Всероссийская научная конференция “Современная гидрогеология нефти и газа (фундаментальные и прикладные вопросы)”. 28–30 октября 2015 г. 2015.
6. Крюков, П. А. Горные, почвенные и иловые растворы. – Новосибирск : Из-во "Наука". Сибирское отделение, 1971.
7. Силич, В. Е. Поровые воды пород баженовской свиты Салымского нефтяного месторождения // Строение и нефтегазоносность баженитов Западной Сибири. Сборник научных трудов. 1985. – С. 87–91.
8. Степанов, В. П., Ахалкин, М. Ю., Табаков, В. П. Основные итоги и перспективы разработки баженовской свиты Салымского месторождения // Геофизика. 2007. Т. 4. – С. 211–218.
9. Федорова, Т. А., Дзюбенко, Е. М. О природе аномалий собственной поляризации в баженовской свите // Геология нефти и газа. 1991. Т. 6. – С. 22–25.