

В.Н. ЧАРКИНА

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ТИПОВОГО КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПЛАСТОВЫХ ВОД

*УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», г. Гомель, Республика Беларусь,
vcharkina@rambler.ru*

Геофизические методы исследования скважин играют первостепенную роль при получении полной и качественной информации о вскрытых горных породах и процессе выработки нефтяных и газовых пластов. Горные породы по-разному реагируют на нарушение их естественного состояния, при этом неоднозначно оцениваются эффективность методов исследования. Поставленный вопрос является актуальным и требующим непрерывного решения.

Геофизические исследования скважин (ГИС) решают ряд геологических и технических задач. Горная порода, являющаяся основным объектом геофизических исследований в скважине и представляющая собой сложенную гетерогенную систему, состоит из различных по физико-химическим свойствам твердой и жидкой фаз. Скелет горной породы обычно имеет сложный минеральный и гранулометрический состав с разной степенью окатанности твердых частиц, их упаковки и цементированности. Цемент породы в общем отличается по своим физико-химическим свойствам от скелета, поэтому текстура и структура порового пространства горных пород разные. Большое, а иногда и определяющее влияние на физические свойства горных пород оказывает порозаполнитель. В природных условиях порозаполнителем может быть вода, нефть, конденсат, газ или смесь этих компонентов в любых соотношениях. Минерализация связанной, остаточной и свободной пластовой воды колеблется от единиц до 200–300 г/л.

В силу перечисленных выше причин однотипные горные породы могут значительно различаться по физико-химическим свойствам, а разные породы, наоборот, могут иметь сходную петрофизическую характеристику.

Безусловно, на регистрируемые геофизические параметры существенно влияют скважинные условия проведения ГИС (каверны, сужение диаметра скважины, тип и минерализация промывочной жидкости, наличие, тип и размеры зоны проникновения ее фильтрата в породы-коллекторы, время проведения ГИС после пробуривания горных пород и т. д.) Кажущиеся значения и конфигурация кривых геофизических параметров при производстве ГИС зависят от геологических особенностей вскрытого разреза и технологических условий проходки скважины.

Вследствие этого по результатам отдельных методов исследования скважины неоднозначно решаются поставленные задачи. Например, при высокой минерализации пластовых вод о наличии нефти в песчаных коллекторах указывает повышенные значения ρ_k и средние значения интенсивности I_n . Даже в этом простом случае однозначного ответа на вопрос о литологии пластов и характере насыщения коллекторов потребуются по крайней мере результаты трех геофизических методов – СП (собственной поляризации), КС (кажущегося сопротивления), НГМ (нейтронный гамма-метод). Для данного случая могут быть предложены и другие варианты комплексирования методов ГИС[1].

Типовые комплексы ГИС включают основные методы геофизических исследований скважины для решения задач в обычных условиях, однако реальные условия могут значительно отличаться от стандартных. В связи с этим возникает необходимость корректировки перечня используемых методов.

Опираясь на исследования ООО «Нефтегеофизика», которые изложены в статье «Возможности методов ГИС при исследовании засоленных коллекторов» можно выделить следующую информацию:

- Наиболее сильное влияние наличие соли оказывает на показания, зарегистрированные зондами компрессированного нейтронного каротажа по тепловым нейтронам (2ННК-Т).

- Влияние содержания соли на интервальное время продольной волны (t_p), плотность (ρ) и водородсодержание, определенного по надтепловым нейтронам ($w_{нт}$), линейно. Линейный характер связи данных геофизических параметров от объемного содержания соли позволяет получить неискаженные геологические параметры с помощью простых процедур. Учет наличия соли в породе позволяет определить ее пористость по комплексу t_p – σ – ω с погрешностью 2 % (абс.), при этом минимальная погрешность определения засоления составит 4 % от объема породы.

- Полного исключения влияния данного фактора на результаты интерпретации можно добиться учетом объемного содержания соли, определенного по данным других геофизических методов.

- Наилучший результат получается при использовании данных импульсного нейтронного гамма-каротажа (2ИНГК). Галит характеризуется аномально высоким сечением захвата тепловых нейтронов (суммаК), что обеспечивает хорошую чувствительность данного метода к присутствию соли в породе.

- При расчете содержания соли по данным 2ИНГК для учета влияния пористости и глинистости пород необходимо привлекать данные других методов ГИС.

Следовательно, интерпретация данных ГИС, полученных в засоленных разрезах без учета объемного содержания соли в горных породах приводит к систематическому завышению общей пористости и, соответственно, искажению коэффициентов нефтегазонасыщенности. Для корректной геологической интерпретации данных, зарегистрированных в породах сложного минерального состава подсолевых разрезов, необходимо использовать расширенный комплекс ГИС.

При засоленности коллекторов менее 10 % от объема пород в скважинах, заполненных минерализованными растворами, наиболее оптимально использование данных импульсного нейтронного гамма-каротажа [2].

Принимая во внимание статью Томского политехнического университета на тему «Изучение пластовых вод низкой минерализации на геофизические характеристики терригенных пород» можно отметить следующие факты:

- Особенности состава и минерализации пластовых вод сказываются на физических характеристиках исследуемых пород (коллекторов) и в первую очередь на их электрических свойствах, таких как УЭС и электрохимическая активность.

- Установлено влияние поверхностной проводимости в терригенных коллекторах неокома Заполярного месторождения, насыщенных моделями пластовых вод с минерализацией в диапазоне 1,6–3,6 г/л. Особенно явно данный эффект проявляется для частично водонасыщенных образцов.

- Доказано влияние ионного состава пластовых вод, в частности содержания иона HCO_3 , на УЭС терригенных коллекторов неокома Заполярного месторождения.

- Лабораторные исследования керна по изучению электрических свойств частично или полностью водонасыщенных горных пород необходимо проводить с использованием максимально близких моделей пластовых вод, характерных для изучаемых отложений. Учитывать нужно не только общую минерализацию (как это принято делать в большинстве случаев), но и ионный состав пластовых вод [3].

Проанализируем геофизические методы исследования, применяемые на Речицком месторождении.

Поисковое бурение на Речицком месторождении начато в 1961 г. Все скважины на месторождении пробурены на высокоминерализованной промысловой жидкости.

Для исследования скважин применялся комплекс ГИС, предусмотренный для соот-

ветствующих условий вскрытия продуктивных отложений и включающий следующие геофизические исследования: боковой, микробоковой, акустический, радиоактивный (ГК, НГК) каротажи, кавернометрию и инклинометрию.

При необходимости уточнения характера насыщения и засоления пород в качестве дополнительного проводился импульсный нейтрон-нейтронный каротаж по (ИННК), а также индукционный каротаж (ИК), используемый для детальных исследований продуктивных интервалов, вскрытых на непроводящий электрический ток промывочной жидкости (БИЭР).

Для более детального изучения геологического строения, литологии и коллекторских свойств продуктивных интервалов применялись нейтронный каротаж (КНК), нейтрон-нейтронный каротаж по тепловым (ННКт) и надтепловым (ННКнт) нейтронам, ГГК-П. В двух скважинах данного месторождения был выполнен КНКт.

Газовый каротаж, дефектометрия, термометрия, дебитометрия, плотностной гамма-гамма каротаж (ГГК-П), профилометрия, метод потенциалов собственной поляризации (ПС), отбор образцов проводилось в ограниченном количестве скважин. Контроль цементирования (АКЦ) – практически во всех скважинах.

При исследовании скважин Речицкого месторождения в обязательный комплекс ГИС входили до 1976 г. боковое каротажное зондирование (БКЗ), и до 1979 г. – стандартный каротаж, включающий замеры градиент-зондом А4М0,5N, потенциал-зондом N7,5M0,75A, N8M0,5A и ПС. Впоследствии названные методы были исключены из комплекса из-за их низкой эффективности.

Скважинные условия Речицкого месторождения являются типичными для Припятского прогиба, поэтому геофизические исследования проводились по общепринятой для этой нефтеносной области методике.

В надсолевых отложениях исследования осуществляются перед спуском колонны обсадных труб методами БК, ГК, НГК, АК, кавернометрии и инклинометрии. Масштабы глубин 1:500.

Соленосные толщи исследуются вышеперечисленными методами в масштабе глубин 1:500 через 500 – 600 м проходки. В интервалах разреза с карбонатными пластами указанные исследования дублируются в масштабе глубин 1:200.

В межсолевых карбонатных отложениях, к которым приурочены основные продуктивные горизонты нефти в Припятском прогибе, исследования проводятся через 150–200 м проходки в масштабе глубин 1:500 методами БК, ГК, НГК, АК, кавернометрии. Детальные исследования в масштабе 1:200 включают БК, МБК, ГК, НГК, АК (по скорости и затуханию), кавернометрию.

В каждой скважине проводится замер кривизны инклинометром через 300 м проходки, точки замеров через 25 м.

Обязательный комплекс исследований в продуктивных интервалах осуществляется в минимальный срок после их вскрытия.

В перспективных интервалах разреза (прокаротированных ранее в несколько приемов) после их полного вскрытия проводятся все виды перечисленных выше исследований. Они выполняются единым замером с обязательным перекрытием пластов каменной соли или карбонатных образований для терригенных отложений.

Стандартный каротаж, включающий измерения зондами АО = 4,25, МА = 0,75 и ПС, проводился в скважинах до 1979 г. Кривые сопротивления (ρ_k) регистрировались в масштабе от 2 до 10 Ом·м на 1 см, при скорости записи до 3000 м/час. В качестве измерительных приборов использовались аппаратура КСП или коробка БКЗ-65. Для выявления в разрезе проницаемых пластов и для достаточно точного определения их удельных электрических сопротивлений до 1976 г. на Речицком месторождении применяли метод бокового каротажного зондирования (БКЗ), основанный на замерах кажущихся сопротивлений на исследуемом участке скважины шестью каротажными зондами различной длины, и, следовательно, различным радиусом исследований.

Опыт показал, что в условиях высокоминерализованных растворов и высокоомных разрезов кажущиеся сопротивления, получаемые при применении указанных выше методов исследования, искажены в результате экранного эффекта и не могут быть использованы не только для количественной, но и для качественной интерпретации. Поэтому стандартный каротаж и боковое электрическое зондирование исключены из комплекса.

Боковой каротаж в модификации трехэлектродного (БК-3), как отмечалось выше, входит в обязательный комплекс ГИС при исследовании скважин, бурящихся на высокоминерализованном растворе, начиная с 1979 г. Этот вид исследований в условиях Припятского прогиба является основным методом определения удельного электрического сопротивления пород и связанного с ним параметра пласта – нефтенасыщенности.

Ограничения метода состоят в занижении сопротивления против пластов каменных солей, ангидритов и плотных карбонатов, обусловленные конструктивными особенностями аппаратуры. Кроме этого, метод не позволяет определить удельное электрическое сопротивление пласта при глубоком ($> 4,5$ м) проникновении в него фильтрата бурового раствора.

Боковой микрокаротаж производится при детальном исследовании продуктивных горизонтов. Кривые сопротивлений регистрируются в масштабах 1–25 Ом·м на 1 см при скорости записи до 2000 м/час.

Диаграммы бокового микрокаротажа используются в комплексе с диаграммами бокового каротажа при благоприятных условиях лишь для качественного выделения пластов-коллекторов. Что же касается количественных определений, то для этой цели данные бокового микрокаротажа не применяются, так как сопротивления плотных и нефтенасыщенных пластов значительно превышают верхний разрешающий предел (150–200 Ом·м) регистрирующей аппаратуры.

Индукционный каротаж проводился для детальном исследовании продуктивных интервалов, вскрытых на непроводящий электрический ток промывочной жидкости (БИЭР). Диаграммы ИК в комплексе с другими методами используются для качественной интерпретации. Для количественных определений из-за низкой разрешающей способности аппаратуры ($\rho \leq 50$ Ом·м) метод неприменим, так как удельное электрическое сопротивление подавляющего большинства нефтенасыщенных пластов находится в пределах от нескольких сотен до тысяч омметров.

Гамма-каротаж является одним из основных видов исследований.

Представим краткую характеристику условий проведения геофизических исследований в скважине Речицкого месторождения.

Вскрытие интервалов продуктивных отложений в скважинах, производилось на высокоминерализованном буровом растворе с применением утяжелителя (барита, а с 1996 г. и доломита).

Удельное электрическое сопротивление высокоминерализованного раствора, использовавшегося при проходке межсолевых отложений вновь пробуренных скважин, при температуре 16–18 °С изменяется от 0,05 до 0,34 Ом·м, плотность составляет 1,02–1,47 г/см³, вязкость – от 15 до 60 с. В пластовых условиях удельное электрическое сопротивление промывочной жидкости изменяется от 0,025 Ом·м до 0,7 Ом·м в зависимости от температуры и глубины залегания вскрываемых бурением продуктивных отложений.

По химическому составу воды продуктивных межсолевых отложений Речицкого месторождения относятся к высокоминерализованным рассолам хлоридно-кальциевого типа (по Сулину) с общей минерализацией от 319,82 г/л до 357,6 г/л и удельным весом от 1,214 г/см³ до 1,240 г/см³.

Удельное электрическое сопротивление вод межсолевых отложений в пластовых условиях находится в пределах от 0,0188 до 0,021 Ом·м и остается постоянным по разрезу и площади месторождения.

Подводя итог по проведенным геофизическим исследованиям на Речицком месторождении можно сделать вывод о том, что методы ГИС подобраны в оптимальном со-

четании, введены все недостающие корректировки в результаты проводимых методов ГИС. Методы стандартного каротажа и бокового электрического зондирования было решено исключить из комплекса ГИС, так как данные этих методов были искажены в соответствии с исследованиями в условиях высокоминерализованных растворов и высокоомных разрезов в результате экранного эффекта и они не подходят не только для количественной, но и для качественной интерпретации, данное решение является оптимальным для исключения ошибок в расчетах.

Список использованной литературы

- 1 Дьяконов, Д.И. Общий курс геофизических исследований скважин: учебник для вузов / Д.И. Дьяконов, Е.И. Леонтьев, Г.С. Кузнецов: 2-е изд., перераб. – М.: Недра, 1984.
- 2 Научно-технический вестник «Каротажник». – Тверь, 2013.
- 3 Научно-технический вестник «Каротажник». – Тверь, 2016.

V.N. CHARKINA

STRUCTURAL CHANGE OF THE GIS STANDARD COMPLEX OF DEPENDENCE ON THE MINERALIZATION OF RESERVOIR WATERS

Geophysical methods of exploration wells play a primary role in obtaining complete and qualitative information of exposed rock and the process of producing oil and gas reservoirs. Rocks differently react to the disturbance of their natural state, also the effectiveness methods of research is ambiguously assessed. The question posed is topical and requires continuous solutions.