

УДК 550.832

*Э. Р. Горохова, О. Б. Максимова, С. В. Мрозовская  
ООО "Нефтегазгеофизика"*

## **ОБ УЧЕТЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТВОЛА СКВАЖИН НА ИНФОРМАТИВНОСТЬ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ ГИС**

Анализируется влияние различных факторов технического состояния ствола скважин на точность определения количественных параметров пород методами ГИС.

Один из способов повышения качества ГИС – снижение влияния скважинных условий. Решение этой задачи обеспечивается:

- выбором оптимального комплекса геофизических исследований скважин исходя из литологии разреза и технических условий в скважине на момент проведения исследований;
- соблюдением технологий бурения, уменьшением интервала времени между разбуриванием перспективного интервала и проведением каротажа;
- соблюдением технологии каротажа.

Основным фактором, влияющим на качество результатов интерпретации, является влияние скважинных условий на результаты измерений. Недопустимыми являются понижение требований к техническому состоянию скважины на момент проведения каротажа, а также использование геофизической аппаратуры в неблагоприятных условиях. Рассмотрим некоторые примеры того, как необоснованный выбор комплекса ГИС и осложнение технических условий проведения каротажа влияют на однозначность интерпретации получаемых данных.

На рис. 1 приведен пример исследования скважины в терригенном разрезе. Заказанный интервал проведения каротажа – 1380 м. Столь значительный интервал проведения детальных исследований является грубым нарушением действующих регламентов по проведению геофизических исследований и работ в нефтяных и газовых скважинах (см. "Техническую инструкцию по ГИС"). Проведен анализ материалов ГИС, полученных при заданных геолого-технологичес-

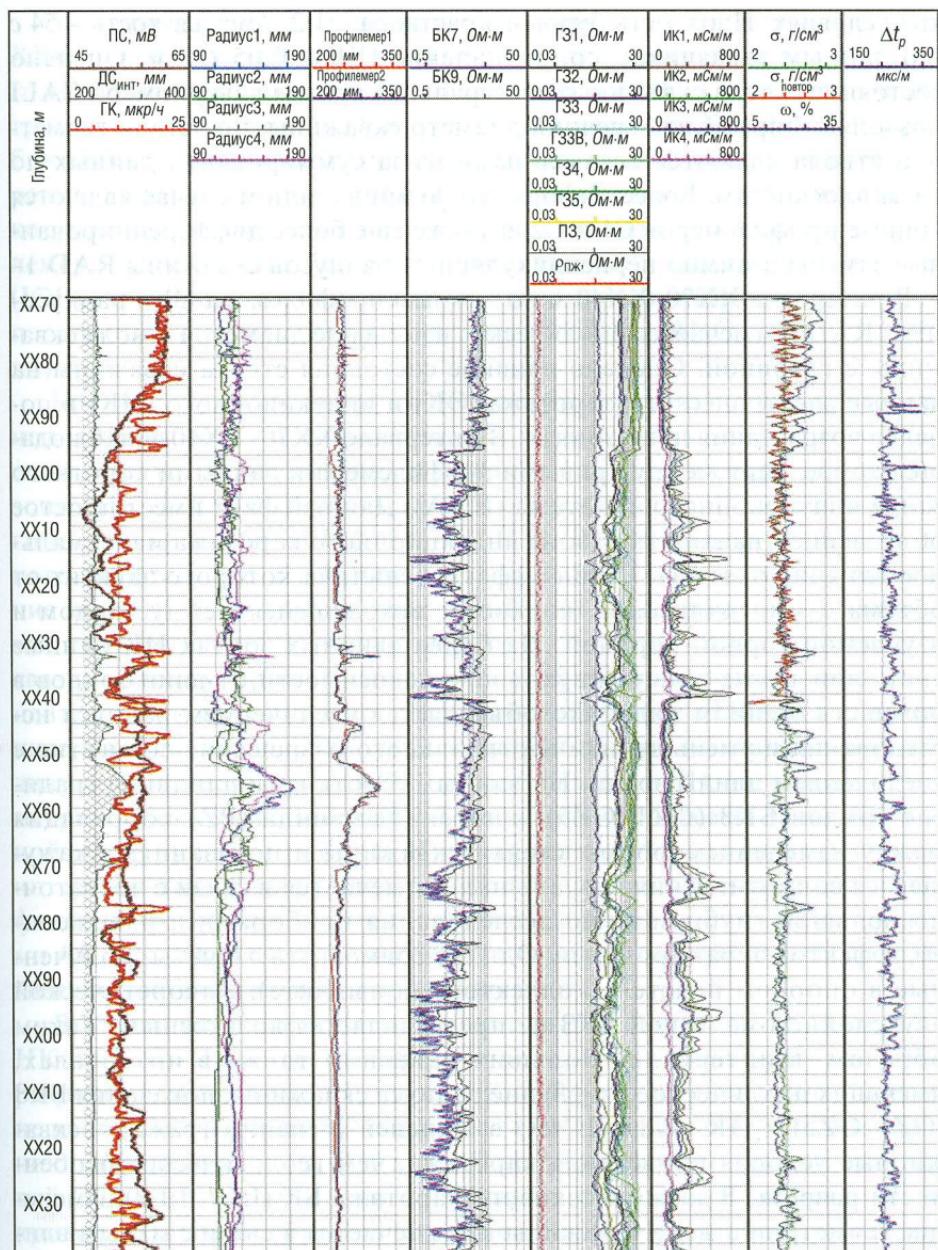


Рис. 1. Наличие сходимости в интервале перекрытия ГГК-П

ких условиях. Плотность бурового раствора –  $1,2 \text{ г}/\text{см}^3$ , вязкость – 54 с (по данным заказчика), сопротивление ПЖ –  $0,05 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Оценено состояние ствола скважины: интегральная кривая каверномера CALI позволяет определить средний диаметр скважины, но детали геометрии ствола являются сглаженными из-за суммирования данных по двум плоскостям. Более информативными в данном случае являются кривые профилемеров С1 и С2, а также еще более дифференцированные замеры взаимно перпендикулярных радиусов скважины RAD 1–4. В интервале XX70–XX40 м по данным профилемера С1 и радиусомера RAD3 отмечается циклическое изменение диаметра ствола скважины с глубиной. Оценено влияние состояния ствола скважины на данные электрического каротажа (ЭК) и индукционного (ИК) в порядке возрастания длин зондов. В интервале XX70–XX40 м наблюдается корреляция между кривыми профилемера и данными короткого зонда индукционного каротажа (IC1A). Данный факт имеет простое объяснение – на короткий зонд индукционного каротажа максимальное влияние оказывает скин-эффект, величина которого зависит от объема и минерализации жидкости, находящейся между зондом и изучаемой горной породой. На более длинных зондах ИК данные аномалии также присутствуют, но в зависимости от длин зондов в более сглаженном виде, что объясняется увеличением радиуса исследования и уменьшением вертикального разрешения совместно с увеличением длины зонда. На данных коротких (и длинных) градиент-зондов БКЗ (GZ1–GZ5) и потенциал-зонда (PZ) корреляция между изменением формы стенки скважины и показаниями кажущегося сопротивления визуально не отмечается в связи с достаточно большой глубинностью исследования приборами и наложением эффектов экранирования. Однако совместить отсчеты, полученные в опорном пласте-неколлекторе (аргиллите), с теоретической двухслойной палеткой БКЗ не представляется возможным. Таким образом, в интервалах больших каверн, а также в интервалах, имеющих циклическое изменение радиуса скважины, показания БКЗ (GZ1–GZ5) и ИК (IC1A–IC4A) в большей степени отражают скважинные условия проведения каротажа, чем геологические особенности разреза. В данных бокового каротажа БК (LL7, LL9) изменение геометрии ствола скважины не отмечается в связи с малым влиянием скважины из-за низкого значения УЭС ПЖ; отмечается корреляция с разрезом.

Методы определения литологии и пористости в интервале ХХ70–ХХ40 м представлены основным и повторным замерами плотностного гамма-гамма-каротажа ГГК-П (RHO<sub>B</sub> и RHO<sub>\_</sub>) (скорости регистрации соответственно 200 и 100 м/ч), в интервале ХХ70–ХХ40 м наблюдается хорошая сходимость материала. При совместном рассмотрении данных каротажа ГГК-П, кавернometрии и ИК существует корреляция между кривыми диаметра скважины по данным профилемера (C1), кажущейся проводимостью по короткому зонду ИК (IC1A) и кривым плотности по основному и повторному замерами плотностного гамма-гамма-каротажа (RHO<sub>B</sub> и RHO<sub>\_</sub> соответственно) (рис. 1).

Корреляция наиболее четко прослеживается именно между указанными кривыми из-за соизмеримости их вертикальной разрешающей способности. Вертикальная разрешающая способность короткого зонда ИК (IC1A) соизмерима с разрешающей способностью бокового микрокаротажа МБК (MLL), ГГК-П (RHO<sub>B</sub>) и нейтрон-нейтронного каротажа по тепловым нейtronам ННК-Т (водородосодержание по ННК-Т – TRNP). Однако МБК и ГГК-П являются прижимными, поэтому на них отмечается резкое снижение качества данных в связи с плохим прижатием датчиков. Кривая водородосодержания нейтронного каротажа по тепловым нейtronам (TRNP) в данном интервале также коррелирует с кривыми одного из взаимно перпендикулярных радиусов (RAD3) и профилемера (C1), но влияние геометрии ствола на данные ННК-Т значительно слабее из-за неприжимной конструкции прибора. Интерпретация АК в представленном интервале также затруднена вследствие аномально высокого коэффициента рассеяния на стенках скважины. Корреляция между данными АК, ГК, НК и БК прослеживается только в интервалах, не подвергшихся дополнительной проработке.

Выберем опорные пласти для оценки достоверности методов АК–НК–ГГК-П. Наиболее детально отражают геологические свойства разреза данные гамма-каротажа ГК (GR), так как на данный метод не влияет конфигурация ствола скважины. Увеличение глубины проникновения фильтрата ПЖ в пласт приводит к выполнаживанию кривой ПС на границах пласта и к уменьшению амплитуды отклонения кривой ПС, таким образом, ухудшается корреляция данных ГК и каротажа самопроизвольной поляризации ПС (SP), поэтому для выбора интервалов руководствуемся показаниями ГК. При последователь-

ном рассмотрении разноглубинных интервалов можно сделать вывод об улучшении состояния ствола скважины с глубиной. Рассмотрим положение проекций точек выбранных интервалов в системе координат АК–НК–ГГК–П на рис. 2.

Желтые, оранжевые и красные точки соответствуют выбранным песчаникам. Яркость окраски соответствует увеличению глубины. Глины отражены холодной цветовой гаммой. По результатам кросс-плотинга прослеживается закономерное ухудшение расчленяющей способности методов АК–НК–ГГК–П вверх по разрезу с увеличением промежутка времени между вскрытием интервала бурением и проведением каротажа. Таким образом, в верхнем участке разреза расчленяющая способность комплекса АК–НК–ГГК–П резко снижается. Погрешность определения  $k_n$  в средней части разреза – 5–7%, в верхней достигает 10%.

Совпадение основных и контрольных замеров, взаимная корреляция кривых, записанных принципиально различной аппаратурой в разные спускоподъемные операции (СПО) (ЭК, ИК, РК, АК), позволяет сделать вывод о хорошем качестве регистрации данных.

Аномально высокое влияние технологических условий на данные ГИС свидетельствует о нарушении технологии проведения исследований во время подготовки скважины:

- превышение интервала времени между бурением и каротажом;
- использование буровых растворов с пониженней вязкостью.

Любая из двух вышеуказанных причин (или обе вместе) приводит к увеличению кавернозности ствола скважины, изменению геометрии от кругового к овальному. По результатам исследования данной скважины дать однозначное заключение по литологическому расчленению разреза, коллекторским свойствам и оценке насыщенности коллекторов в верхнем интервале мощностью 800 м затруднительно. В нижней части разреза, составляющей 400 м, интерпретационные параметры определяются с удовлетворительной точностью.

Рассмотрим результаты оценки качества регистрации данных по другой скважине того же региона, представленной на рис. 3.

Состояние ствола скважины. Сопротивление ПЖ = 0,063 Ом·м. Скважина характеризуется изменением диаметра ствола в диапазоне от 307 до 510 мм. Данные условия накладывают ограничения на применение методов электрического и электромагнитного каротажа по теории методов и по применению аппаратурных средств. Для

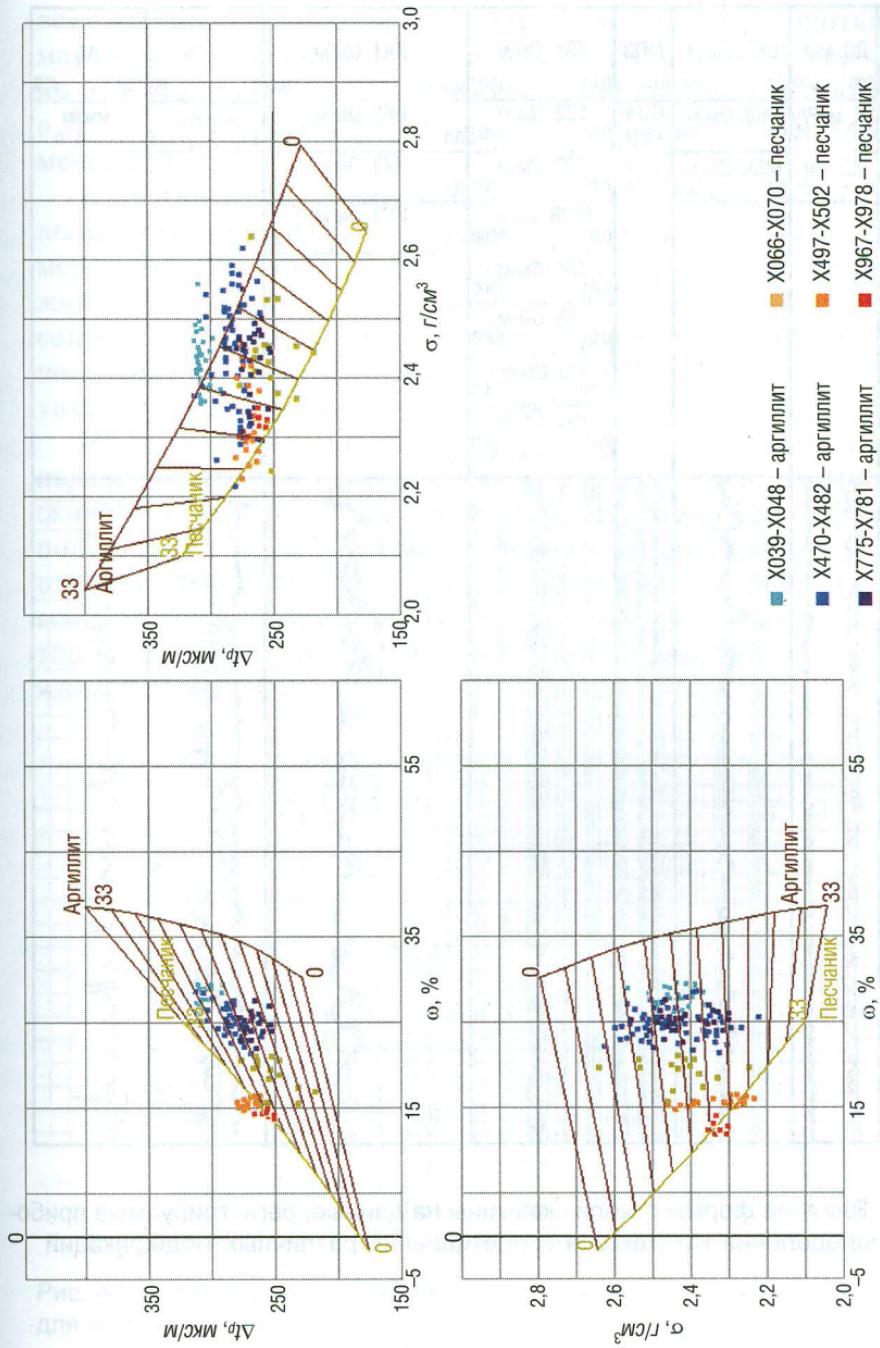


Рис. 2. Ухудшение расщепляющей способности комплекса АК-НК-ГГК-П с увеличением времени, прошедшем между вскрытием интервала бурения и проведением в нем каротажа

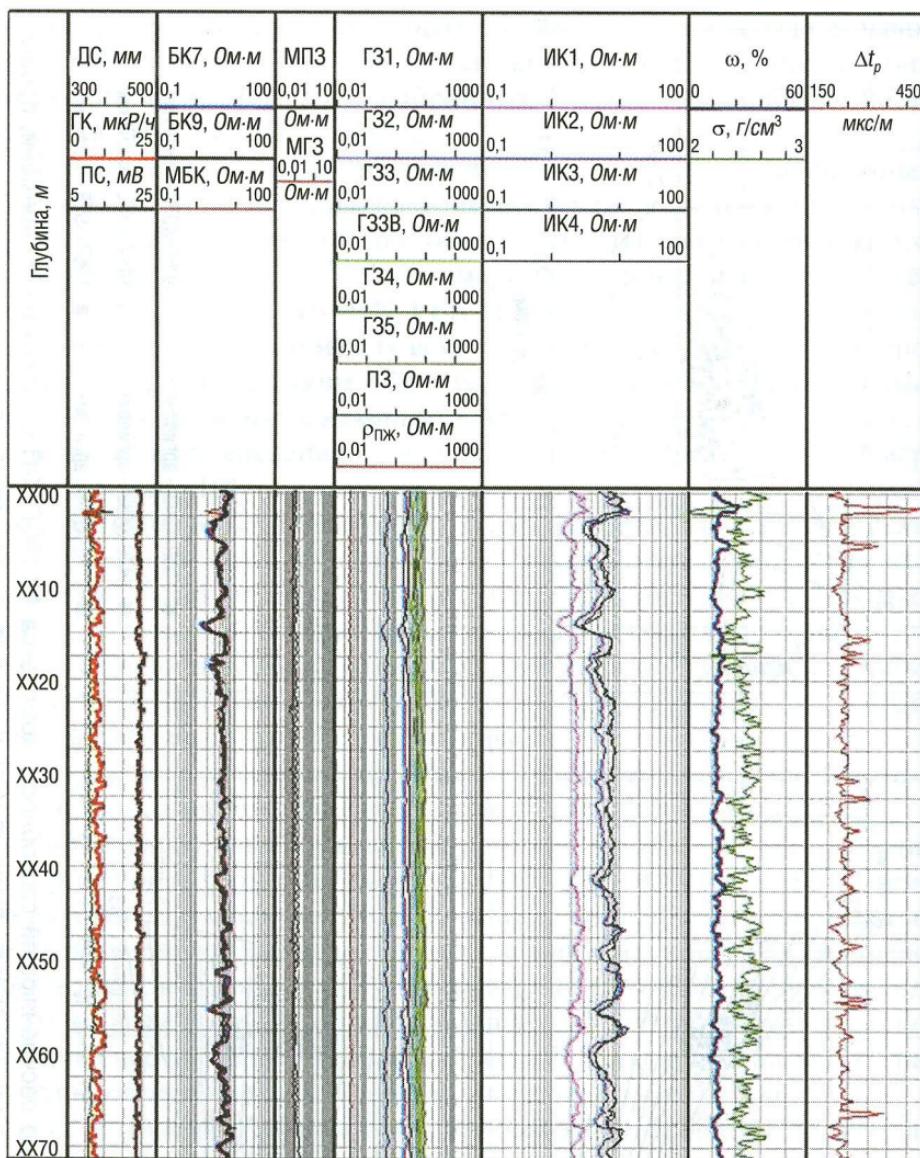


Рис. 3. Влияние формы ствола скважины на данные, регистрируемые приборами определения кажущегося сопротивления различных модификаций

всех методов электрического и электромагнитного каротажа математическое моделирование влияния скважинных условий проведено для диаметров ствола скважины от 80 до 360 мм; соотношение  $\rho_{\text{п}}/\rho_{\text{c}}$  ( $\rho_{\text{п}}$  – сопротивление пласта;  $\rho_{\text{c}}$  – сопротивление скважины) – менее 250.

Качество регистрации данных ГИС является удовлетворительным, то есть наблюдается сходимость основного и повторного замеров. В интервалах глубин, характеризующихся диаметром скважины менее 360 мм, при определении удельного электрического сопротивления (УЭС) в попластовом режиме, зарегистрированные показания кажущегося сопротивления (КС) лежат в области допустимых погрешностей.

Применение индукционного каротажа в скважинах с высокоминерализованной ПЖ ограничено в связи с большими значениями скин-фактора. Кроме того, аппаратура индукционного каротажа, используемая в данном примере, применима для скважин диаметром от 90 до 400 мм (Руководство по эксплуатации). Величины поправок в значения кажущихся проводимостей за геометрический фактор представлены на рис. 4. Данные приведены для диаметра скважины 150–400 мм.

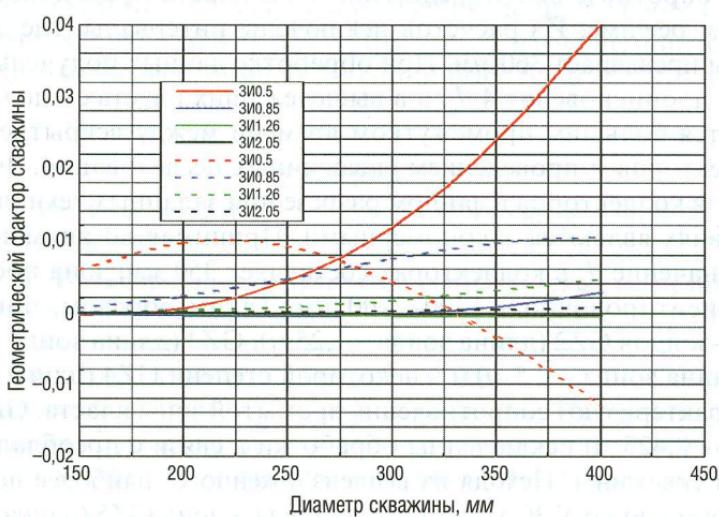


Рис. 4. Палетка определения величины геометрического фактора скважины для аппарата ИКЗ-2Т

Зонд	Поправки к $\gamma_k$ , мСм/м Прибор на оси скважины	Поправки к $\gamma_k$ , мСм/м Прибор на стенке скважины
ЗИ0.5	0–500	–125–162
ЗИ0.85	0–37	10–125
ЗИ1.26	0	62
ЗИ2.05	0	0–12

Благоприятным условием проведения бокового каротажа (БК) является понижающее проникновение, при котором величина вводимой поправки за геометрический фактор в показания БК значительно меньше, чем при повышающем проникновении. Однако при  $d_3 > 0,25 d_c$  ( $d_3$  – диаметр зонда;  $d_c$  – диаметр скважины) геометрический фактор резко возрастает, что ограничивает применение БК. Существующая аппаратура бокового каротажа имеет диаметры зонда от 73 до 96 мм, следовательно, область применения ограничена диаметрами ствола от 290 до 376 мм, что не позволяет эффективно использовать данные БК при интерпретации материалов.

В связи с ранее изложенным БКЗ является основным методом определения сопротивления. Определение УЭС пласта проводилось в пластовом режиме. Из расчетов исключены интервалы, где диаметр скважины превышает 360 мм. При обработке данных получены значения зоны проникновения  $4 d_c$ , а в вышележащих пластах – до  $6 d_c$ , что объясняется большим промежутком времени между вскрытием пластов-коллекторов и проведением скважинных исследований. Значения (4–6)  $d_c$  для коллекторов в данном разрезе при заданных технологических условиях являются закономерными. Принимая во внимание, что среднее значение  $d_c$  в коллекторах составляет 350 мм, зона проникновения ориентировочно – 1400–2100 мм. Таким образом, показания градиент-зондов GZ2 (длина зонда – 1,25 м), GZ3 (длина зонда – 2,5 м), GZ3B (длина зонда – 2,5 м) и в некоторой степени GZ4 (длина зонда – 4,5 м), характеризуют сопротивления промытой зоны пласта. GZ1 (длина зонда – 0,425 м) исключен из обработки в связи с преобладающим влиянием скважины. Исходя из вышеизложенного, наиболее достоверную информацию о УЭС пласта предоставляет зонд GZ5 (длина зонда – 8,5 м), но и его применение ограничено сильным влиянием вмещающих пород.

ПС расположена, как и в предыдущей скважине, вследствие глубокого проникновения промывочной жидкости в пласт. Применение ГГК-П ограничено, так как механизм прижимной лапы рассчитан на диаметр скважины, не превышающий 400 мм.

Необходимо отметить, что потеря данных при каротаже открытого ствола является невосполнимой. Не существует альтернативных методов для проведения детального расчленения разреза и оценки характера насыщения в обсаженных скважинах. Тем не менее данная информация является необходимой при выполнении работ по контролю за разработкой, определении мест негерметичности обсадных труб и наличии перетоков в скважинах действующего фонда. На представленных двух скважинах не удалось однозначно решить поставленные задачи несмотря на расширенный комплекс ГИС. Это вызвано слабой информативностью методов ГИС при данных геолого-технологических условиях. Следует отметить, что качество регистрации данных в обеих скважинах хорошее. На показания методов влияют следующие факторы: высокая кавернозность ствола скважины, а также циклическое изменение радиуса скважины, что является причиной плохого прижатия датчиков приборов, высокая минерализация промывочной жидкости, сокращающая область применения индукционного каротажа. Сокращение интервала проведения ГИС и следовательно, времени между разбуриванием и изучением интересующих горизонтов позволит значительно повысить качество материалов ГИС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Ю. М., Мильничук В. С., Арабаджи М. С. Общая и историческая геология. М.: Недра, 1977.
2. Дахнов В. Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1962.
3. Померанц Л. И., Бондаренко М. Т., Гулин Ю. А., Козяр В. Ф. Геофизические методы исследования нефтяных и газовых скважин. М.: Недра, 1981.
4. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. М.: Минэнерго России, 2001.