

ляционных связях скоростной и плотностной характеристик пород с параметрами ГИС, литологией, происхождением и глубиной залегания породы.

**Заключение.** Согласно оценкам ведущих ответственных специалистов, Западная Сибирь по подготовке запасов нефти сохранит свое лидерство по крайней мере до конца первой четверти XXI в. и останется главным регионом по уровню добычи до середины текущего столетия [1]. Однако эффективное поддержание нефтедобычи и ее наращивание на отдельных территориях Западно-Сибирского НГБ невозможны без осознания сложившихся реалий, признания новых геологических идей и привлечения передовых методик интерпретации геолого-геофизических материалов с обязательным учетом специфики, присущей данному региону. В этой ситуации обеспеченность информационной базы интерпретации будет играть ключевую роль. Формирование и поддержание этой базы потребуют определенных затрат, однако выигрывают все — и нефтяные компании (за счет роста добычи, снижения геологического риска и повышения своего разведочного потенциала), и подрядные организации (за счет существенно увеличения объемов выполняемых работ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Вчера, сегодня и завтра нефтяной и газовой промышленности России* / Н.К. Байбаков и др. — М.: ИГиРГИ, 1995.
2. Славкин В. С., Шук Н. С. *О природно-геологической составляющей роста добычи нефти в Западной Сибири.*

// *Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений.* — 2001 — № 9. — С. 17—27.

3. Славкин В. С. *Геолого-геофизическое изучение нефтеносных продуктивных отложений.* — М.: МГУ, 1999.
4. *Новые геофизические технологии прогнозирования нефтегазоносности* / А.В. Овчаренко, А.С. Сафонов и др. — М.: Научный мир, 2001.
5. *Возможности вертикального сейсмического профилирования при геолого-разведочных работах на нефть и газ* / А. Н. Амиров, А. С. Якимов и др. // *Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений.* — 2001. — № 9. — С. 37—38.
6. Крылов Д. Н. *К методике обработки волновых картин цифрового акустического каротажа на ЭВМ* // *Геологические, геофизические и аэрокосмические методы поиска залежей углеводородов.* — М.: ИГиРГИ, 1988. — С. 22—24.
7. Крылов Д. Н., Стрекозин В. В. *Некоторые вопросы комплексной интерпретации данных цифрового АК* // *Вопросы обработки и комплексной интерпретации в сейсмо-разведке.* — М.: ВНИИОЭНГ, 1989. — С. 111—116.
8. Крылов Д. Н. *Изучение детальных акустических характеристик продуктивной части разреза Быстринской площади по комплексу данных ГИС и сейсморазведки* // *Методика поисков и разведки нефтегазоносных объектов нетрадиционного типа.* — М.: Наука, 1990. — С. 78—84.
9. *ПМК ГЕОСЕЙСМ.* — М.: ЦГЭ, Миннефтепром СССР, 1987.
10. *Best slowness determination from sonic waveforms* / A. Brie et al. — Paris: Petrophysics meets Geophysics, 2000.
11. *Integrated Reservoir Studies.* L. Cosentino: IFP, 2001.
12. Krilov D. *Subtle lithoacoustic inversion of seismic data.* // *First Break.* — 1998. — Vol. 16, N 8. — P. 277—286.

УДК 550.832

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА НАСЫЩЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ ОГРАНИЧЕННОЙ ТОЛЩИНЫ С ГЛУБОКИМИ ЗОНАМИ ПРОНИКНОВЕНИЯ

Г.Е. Яковлев, А.С. Якимов  
(КГУ, ОАО "РИТЭК")

Геофизические исследования скважин (ГИС) являются неотъемлемой составляющей геолого-разведочных работ. Особенно большое распространение они получили в нефтегазовой отрасли, где бурение скважин сейчас просто невозможно без исследования их геофизическими методами.

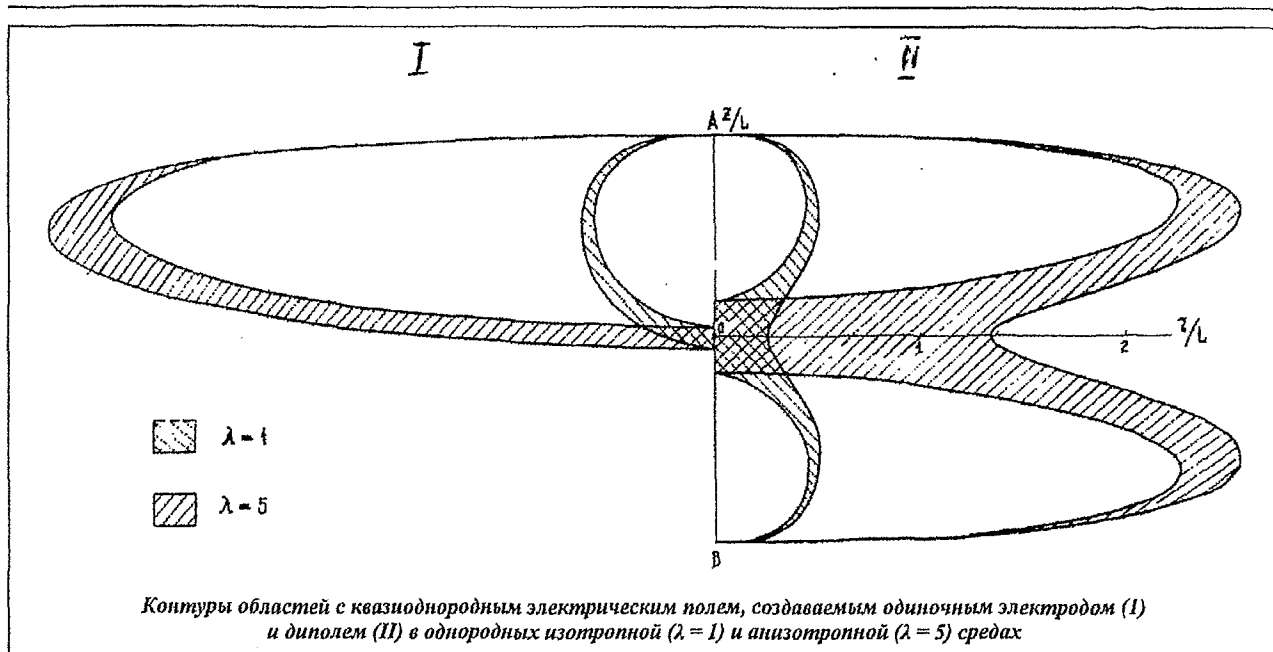
По своим информационным возможностям методы ГИС относятся к детальным исследованиям, охватывающим при измерениях незначительные объемы окружающей среды. В лучшем случае радиус их исследования не превышает двух метров.

Наибольшая по сравнению с другими методами электрометрии (и вообще всех методов ГИС) глубинность исследования при высокой расчленяющей способности предопределяет использование четырехэлектродных градиент-зондов большого размера для определения характера насыщения коллекторов ограниченной толщины при наличии в них глубокого проникновения бурового раствора.

Use of long four-electrode lateral arrays enables to detect saturation type of thin reservoirs more confidently in comparison with common logs along with fine ruggedness and log radius increase in case of large drilling fluid penetration zones existence.

В то же время во многих случаях в пластах-коллекторах в процессе бурения образуются глубокие зоны проникновения бурового раствора, которые не позволяют определить истинные параметры неизмененного пласта. Особенно часто глубокие зоны проникновения наблюдаются в карбонатных коллекторах со сложной структурой порового пространства, в отложениях с аномально низкими пластовыми давлениями (АНПД), на поздней стадии эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, при увеличении глубины скважин более 3 тыс. м, при вскрытии

низкими пластовыми давлениями (АНПД), на поздней стадии эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, при увеличении глубины скважин более 3 тыс. м, при вскрытии



продуктивных отложений на буровом растворе с высокой водоотдачей, а также при использовании в качестве последней естественных водных суспензий (ЕВС) и поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Наличие глубоких зон проникновения приводит к пропуску нефтеносных пластов, ложным заключениям о нефтенасыщении водоносных пластов, ошибкам в определении положения водонефтяного контакта (ВНК) и т. п., поскольку традиционно используемые методы промысловой геофизики обладают недостаточной глубиной исследования для достоверного определения типа флюида, насыщающего неизмененную проникновением часть пластов-коллекторов.

По своим физическим основам к наиболее глубинным методам ГИС относятся методы электрометрии. Кроме того, в сущности, только они позволяют надежно оценивать характер флюида, насыщающего пласты-коллекторы.

Сопоставление характеристик зондов разных методов электрометрии показало, что наиболее просто и эффективно существенное увеличение глубинности исследования при сохранении высокой разрешающей способности разреза достигается применением градиент-зондов большого размера с малыми разносами между измерительными электродами. Однако при этом пропорционально размеру зонда увеличивается и интервал, на котором сказывается экранирование электрическими неоднородностями разреза, расположенными в районе питающих электродов.

Для уменьшения амплитуды экранирования было предложено вместо трехэлектродных использовать четырехэлектродные градиент-зонды типа АМNB\*. Применение в зонде второго питающего электрода заставляет ток, вытекающий из электрода А, замы-

каться на электрод В, снижая тем самым его рассеивание на границах раздела сред с различными удельными сопротивлениями, что приводит к существенному снижению влияния экранирования и упрощению конфигурации кривых КС.

Максимальный положительный эффект от применения четырехэлектродных градиент-зондов достигается при большом расстоянии между питающими электродами. В этом случае в районе точки записи образуется достаточно обширная область квазиоднородного электрического поля (рисунок), в которой эквипотенциальные поверхности являются плоскостями, практически нормальными к оси скважины, вследствие чего падение потенциала на интервале MN в пласте такое же, как и в скважине. Это, наряду с малым (около 0,5 м) расстоянием между измерительными электродами, обеспечивает высокую дифференциацию регистрируемых диаграмм КС.

Таким образом, использование четырехэлектродных градиент-зондов большого размера позволило в значительной мере преодолеть изначально присущее каротажу противоречие между глубиной исследования и вертикальной разрешающей способностью. В слоистом разрезе, представленном частым чередованием пластов разного удельного сопротивления, который в первом приближении можно аппроксимировать однородной анизотропной средой, токовые линии питающего диполя и область квазиоднородного поля вытягиваются по радиусу от скважины тем больше, чем выше коэффициент анизотропии; происходит своеобразная фокусировка тока за счет того, что продольная проводимость среды больше поперечной. В результате глубинность исследования в слоистом разрезе возрастает по сравнению с однородной изотропной средой пропорционально коэффициенту анизотропии толщи пород, охватываемой измерительной установкой.

Большое расстояние между питающими электродами четырехэлектродного градиент-зонда при со-

\* Яковлев Г. Е. Исследование скважин большими градиент-зондами. — М.: Недра, 1990. — 176 с.

хранении малых разностей  $MN$  приводит к снижению измеряемых разностей потенциалов до первых десятков и даже единиц микровольт. Выделить полезные сигналы такой величины на фоне весьма значительных помех, а также измерить их с помощью общепринятой методики регистрации кривых КС не представляется возможным. Поэтому для технической реализации измерений в скважинах четырехэлектродными градиент-зондами большого размера необходима специальная аппаратура. Такая аппаратура была создана и ею исследовано более 350 глубоких скважин Ромашкинского нефтяного месторождения с целью определения характера насыщения пластов-коллекторов.

В качестве примера приведены результаты исследований четырехэлектродными градиент-зондами большого размера в скв. 14092 Абдрахмановской площади, в сопоставлении с диаграммами потенциал-зонда В7,5А0,75М с кривой ПС и кавернограммой, ГМ, НГМ, БЭЗ и нормализованной по пористости кривой ИМ. Рассматриваемый интервал разреза включает тульские и бобриковские отложения.

Наибольший интерес вызывает участок разреза в интервале глубин 1146,6...1153,4 м, включающий три пласта: сверху до глубины 1149,6 м он представлен глинами, затем до отметки 1151,6 м следует нефтеносный песчаник с  $K_{п\text{ нгк}} = 19\%$ , подстилаемый плотным карбонатным пластом («тульский известняк»). Последний на диаграммах всех методов электротметрии выделяется четким максимумом кажущихся сопротивлений.

Нефтеносный песчаник, как и расположенный выше пласт глин, стандартным потенциал-зондом отмечается кажущимся сопротивлением, равным 14 Ом·м, а на кривой ИМ — 3 Ом·м, тогда как против глинистого пласта зарегистрировано  $\rho_k = 5$  Ом·м. Приведенные значения кажущихся сопротивлений против нефтеносного пласта обусловлены весьма глубоким проникновением фильтра бурового раствора, образовавшим, по-видимому, сложную, так называемую окаймляющую зону проникновения.

На диаграммах градиент-зондов, входящих в комплект БЭЗ, глинистый пласт выделяется четким максимумом сопротивлений, а нефтеносный песчаник попадает в зону минимума. Такое нехарактерное поведение кривых КС свидетельствует об их сильной заэкранированности, коренным образом изменившей представление об истинном распределении удельных сопротивлений в рассматриваемой части разреза.

На кривых КС четырехэлектродных градиент-зондов пласт глин характеризуется сопротивлением 5 Ом·м, а нефтеносный песчаник выделяется в виде четкого максимума с кажущимся сопротивлением до 77 Ом·м (зондом с  $L = 25$  м). Подстилающий пласт известняка на фоне этого максимума характеризуется небольшим изломом кривой КС с максимальным сопротивлением до 50 Ом·м.

Таким образом, нефтенасыщенность песчаника в данном случае удается определить лишь с помощью четырехэлектродных градиент-зондов, обладающих, с одной стороны, существенно большей по сравнению с другими методами электротметрии глубинностью исследования при высокой дифференцирующей способности, а с другой — испытывающих на себе минимальное влияние экранирования неоднородностями разреза. Установив нефтенасыщение указанного пласта песчаника, с помощью четырехэлектродных зондов удалось открыть новую, неизвестную ранее на данной площади нефтяную залежь в тульских отложениях, что было подтверждено бурением близрасположенных соседних скважин.

Аналогичные материалы были получены в ряде других скважин, что позволило установить, с одной стороны, значительное количество ложных заключений о нефтенасыщенности водоносных коллекторов (при глубоком повышающем проникновении), а с другой — много пропусков нефтеносных пластов (при глубоком понижающем проникновении).

Таким образом, наибольшая по сравнению с другими методами электротметрии (и вообще всех методов ГИС) глубинность исследования при высокой расчленяющей способности разреза предопределяет использование четырехэлектродных градиент-зондов большого размера для определения характера насыщения коллекторов ограниченной толщины при наличии в них глубокого проникновения бурового раствора, хотя сами коллекторы в разрезе эти градиент-зонды в общем случае выделять не могут. Поэтому для решения указанной задачи интерпретацию получаемых с их помощью кривых КС нужно проводить совместно с диаграммами тех методов ГИС, которые несут информацию о коллекторских свойствах пород или методиках, основанных на изучении динамики физических параметров пласта в ближайшей к стволу скважины зоне.

Для регистрации кривых КС четырехэлектродными градиент-зондами в скважинах можно использовать слегка модернизированную аппаратуру Э1 или разработанную в ОАО "ВНИИГИС" аппаратуру КС-48.