

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК. 550.832

Б.А. Никулин¹, С.И. Остапчук², В.К. Хмелевской³**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ КАРОТАЖА ПРИ РЕШЕНИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА АЛЕКСАНДРОВСКОЙ УЧЕБНО-НАУЧНОЙ БАЗЕ МГУ**

Приведены результаты разработки и внедрения в повседневную практику на примере скважины МГУ цифрового каротажного комплекса; обсуждаются вопросы комплексной интерпретации данных применительно к задачам гидрогеологии. В комплексе, помимо обязательных видов каротажа (ГК, КС, ПС, КМ, термометрия), использованы новые разработки, например, прибор видеокаротажа и высокочастотный индукционный зонд (ВИК), который применяется в обсаженных пластиком скважинах.

Ключевые слова: малоглубинная геофизика, гидрогеология, цифровая каротажная аппаратура, высокочастотный индукционный зонд, скважинный телевизор, фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС).

In this paper, the results of development and implementation in everyday practice, including at the MSU well, digital logging complex, discusses the complex interpretation of the data in relation to the tasks of hydrogeology. The complex, in addition to the obligatory types of logging (GK, PZ, PS, DS, a thermometer), using new developments, for example, videokarotazha device and high-frequency induction probe (VIC), which is used in plastic-cased wells.

Key words: near-surface geophysics, hydrogeology, digital logging equipment, high-frequency induction probe downhole television, reservoir properties (FES).

Введение. В последнее десятилетие сотрудники геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова проводят активную работу по разработке и внедрению малоглубинной геофизики при решении различных геологических задач. На Александровской базе факультета в Калужской области создан учебно-исследовательский полигон для студенческих практик по полному комплексу наземных геофизических методов разведки. Для геологической привязки и петрофизического обоснования этих методов пробурена опорная скважина глубиной 300 м, оборудовано кернохранилище. На этапе бурения сотрудники геологического факультета МГУ проводили разносторонние исследования керна и составили геологический отчет по скважине в д. Александровка [Пекин и др., 2011; Черняк, 1987].

Гидрогеологические задачи и аппаратура. В комплексе решаемых геофизических задач гидрогеологическая тематика занимает особое место и включает в себя в первую очередь оценку фильтрационно-емкостных свойств (литологический состав, плотность (σ), пористость (K_p) и в некоторых случаях проницаемость ($K_{пр}$) пород в разрезе скважины.

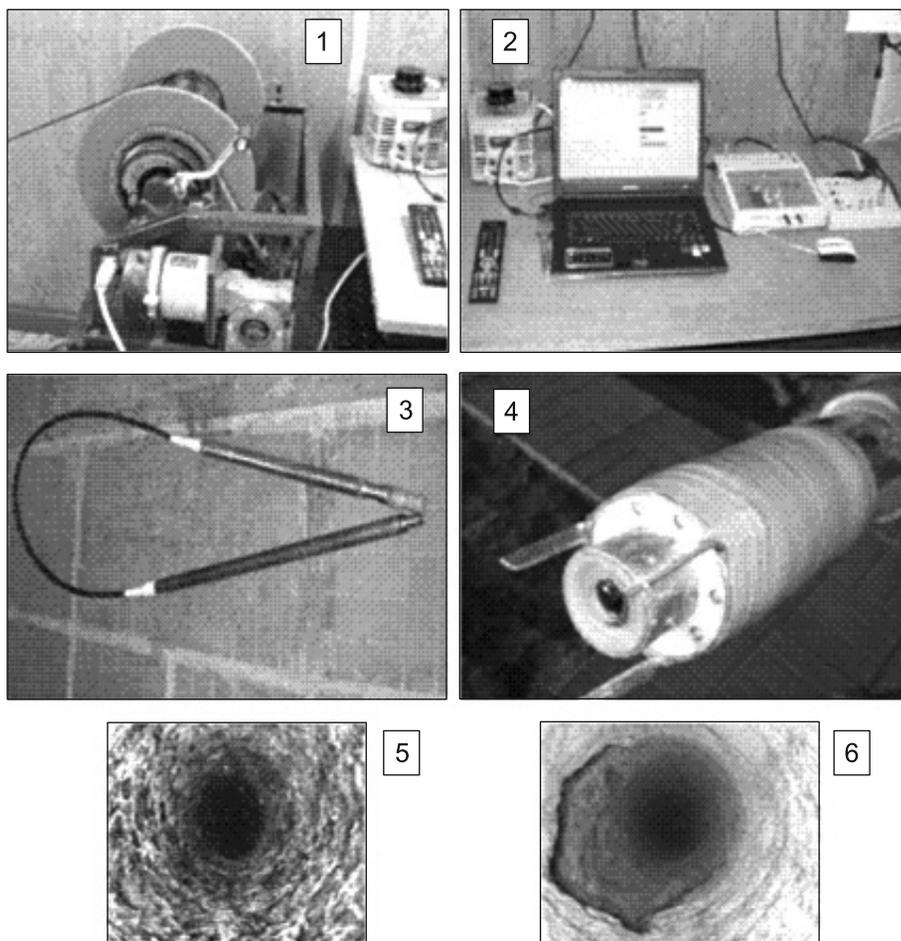
В результате творческого сотрудничества геологического факультета МГУ с фирмой ООО НПО «ГЕОЭКОКОМ» разработана цифровая малогабаритная переносная каротажная станция с набором скважинных приборов для стандартных методов каротажа, позволившая студентам знакомиться с техникой его проведения и экспрессной обработкой данных в полевых условиях (рисунок). Разработаны и опробованы на скважине МГУ, во-первых, высокочастотный волновой индукционный каротаж (ВИК) с рабочей частотой 31 мГц и, во-вторых, прибор видеокаротажа. Кроме того, внедрены в практику и успешно используются нетрадиционные методы и приборы малоглубинной геофизики, например, гамма-гамма плотностной (ГГМп), гамма-спектрометрический (ГК-С), акустический (Ак), локатор муфт.

Опыт практического применения волнового индукционного каротажа (ВИК). Необходимость изготовления прибора вызвана довольно частым применением стеклопластиковых труб для обсадки скважин, пробуренных на пресной воде, или проведения каротажа в высокоомных карбонатных разрезах. По назначению прибор ВИК аналогичен индукционному диэлектрическому каротажу (ИК)

¹ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, ст. науч. с.; e-mail: b.nikuln2015@yandex.ru

² «ГЕОЭКОКОМ», гл. инженер; e-mail: sfera@g2.ru

³ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры; профессор, докт. физ.-мат. н.; e-mail: aabul@geol.msu.ru



Фрагменты аппаратного комплекса, примеры видеоизображений: 1 — лебедка с коаксиальным кабелем, 2 — цифровой блок управления и регистрации, 3 — скважинный зонд ВИК, 4 — скважинный телевизор, 5, 6 — видеоизображения в разных порово-трещинно-кавернозных частях скважины

и (кроме рабочей частоты), отличается более простой конструкцией. Излучатель и приемник прибора ВИК представляют собой металлические цилиндры либо провода, покрытые слоем диэлектрика, разнесенные на расстояние 0,5 м (рисунок)

В соответствии с размерами антенны и оценочной длиной волны в среде $\rho = 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ на частоте 31 мГц можно считать, что при соизмеримости активной и реактивной составляющих входного импеданса существует возможность получить информацию о электропроводности среды [Черняк, 1987]. Такой зонд в зоне индукции ведет себя, как электрический конденсатор стержневого типа с большим полем рассеяния. Параметр который регистрирует прибор ВИК, — удельное сопротивление.

Параметры этого индукционного зонда сопоставимы с параметрами метрового градиент-зонда (ГЗ 1.0) (рисунок). Сопоставление ВИК со стандартным индукционным зондом также показало надежную корреляцию, тем не менее требуются дополнительные исследования в области метрологии и общей теории метода.

Из практических экспериментальных наблюдений отметим, что на показания прибора влияет как удельное сопротивление пород, так и их диэлектрическая проницаемость; по результатам измерений более четко, чем на кривых, полученных с помощью стандартных зондов, от-

биваются границы пластов, что связано с резким изменением составляющей электрического поля, перпендикулярной границе раздела сред; уменьшение размеров установки в целом пропорционально увеличивает детальность изучения разреза; на показания прибора существенно влияет глинистость бурового раствора, а также (в меньшей степени) кавернозность ствола скважины; сигнал не удастся зафиксировать в сильноминерализованных водах.

Скважинный телевизор. Необходимое условие эффективного применения скважинного телевизора в гидрогеологии — прозрачность скважинной жидкости, что выполняется в большинстве случаев. При этом условии успешно выявляются аварийные участки колонны, в открытом стволе скважины можно наблюдать зоны каверн и трещиноватости (рисунок), зоны притока или поглощения флюида в действующей скважине, а совместно с кернограммой уточнять литологический состав пород.

Обработка и интерпретация результатов каротажа включает в себя:

- взаимоувязку кривых каротажа и их привязку по глубине к керну;
- выделение границ пластов по комплексу каротажных кривых (ГК, ПЗ и ГЗ), определение литологического состава пластов (совместно с описанием кернов) и уточнение геологической колонки;

- выделение коллекторов, водоупоров, зон трещиноватости в разрезе скважины;
- определение пористости (K_{Π}) в коллекторах;
- выявление зон водопритока (поглощения), оценка технического состояния обсадной колонны, локация муфт и зон перфорации в процессе испытаний скважины;
- формирование планшета с набором геологических и геофизических данных по глубине скважины.

Ниже приводятся два примера интерпретации каротажных измерений в открытом стволе скважины МГУ, пробуренной в девонских отложениях.

Расчет коэффициента пористости. Девонские отложения, вскрытые скважиной МГУ, характеризуются неоднородным вещественным составом и сложным типом коллекторов (переслаивание доломитов, мергелей, известняков, гипса, глин и углистых пород с поровыми и трещиновато-кавернозными интервалами). Определение K_{Π} в скважине в таких условиях считается наиболее сложным. Тем не менее для однородных участков пород задача решается с достаточной достоверностью методами кажущегося сопротивления (КС), акустического каротажа (АК), самопроизвольной поляризации (ПС), нейтронными (ННМ, НГМ) и гамма-гамма-методом (ГГМ). Каждый из этих методов в разной степени отражает ФЕС и вещественный состав, что служит обоснованием для многомерной связи данных, полученных с помощью каротажного комплекса в сложных разрезах.

В гидрогеологической практике широкое применение нашли методы КС, ПС и АК. Радиоактивные нейтронные методы на полигоне МГУ не применяются по экологическим причинам.

Определение значений K_{Π} методом КС проводили в карбонатной необсаженной части скважины по стандартной методике Арчи–Дахнова [Полевые..., 2000]:

$$P_{\Pi} = \frac{a}{K_{\Pi}^m},$$

где $a = 1$, $m = 2$. В этом выражении P_{Π} — относительное сопротивление, или параметр пористости; $P_{\Pi} = \rho_{\text{вн}}/\rho_{\text{в}}$, где $\rho_{\text{вн}}$ — измеренное сопротивление (показания ВИК или потенциал-зонда) в скважине; $\rho_{\text{в}}$ — сопротивление пластовой воды (равно 2 Ом·м, это среднее значение для исследуемого разреза).

Основная сложность применения этого выражения заключается в определении коэффициента $|m|$, который зависит от структуры порового пространства. Значение $|m|$ по данным экспериментальных исследований может изменяться от 1,3 (рыхлые слабосцементированные песчаники, до 3 (плотные сцементированные породы). Принятое значение $m=2$ соответствует средним значениям в карбонатных породах со сложным типом коллектора. Обычно оценка точности (корректировка)

полученных значений K_{Π} проводится посредством сопоставления с лабораторными измерениями пористости на образцах керна, привязанных по глубине к каротажным данным. Расчеты выполнены по данным потенциала-зонда размером 1 м при мощности пластов 2–5 м. Значения пористости, полученные таким зондом, отражают в основном поровый компонент пласта и почти не отражают его трещиноватость.

Оценка профиля притока воды в разрезе скважины базируется на выявлении зон трещиноватости. В результате комплексной интерпретации каротажных диаграмм кажущегося сопротивления (КС), самопроизвольной поляризации (ПС), резистивиметрии (РМ), акустических показателей (АК), кавернометрии (КМ) и телевизионных кадров (рисунок) выявлены проницаемые зоны, которые по данным каротажных диаграмм отмечены соответствующими аномалиями.

По методу ПС выявляются аномалии за счет фильтрации в зонах притока. Наиболее яркая аномалия ПС связана с притоком из пласта аномально минерализованной воды. Этот пласт мощностью 1–1,5 м расположен в кровле водоупора (гипс) и в подошве глинистого пласта (максимум ГК), имеет минимальные значения по ГК и КС и максимальную кавернозность, что подтверждает телевизионный кадр (рисунок). При сопоставлении с керном этот пласт представлен трещиноватым доломитом с $K_{\Pi} = 15\%$.

В наиболее сложных геологических условиях дополнительные возможности определения зон притоков воды из трещиноватых интервалов предоставляет метод акустического каротажа (АК). Аппаратура позволяет измерять интервальное время пробега волны между двумя приемниками звука (ΔT , мкс), значения скорости продольных (V_p) и поперечных волн (V_s), затухание сигнала, фазокорреляционную диаграмму (ФКД). Фазокорреляционная диаграмма представляет собой волновую картину с непрерывным смещением по глубине скважины.

На диаграмме ΔT надежно выделяются однородные по плотности интервалы с фазовой корреляцией. Интервалы с фазовыми сбоями объясняются наличием зон трещиноватости. В результате анализа диаграммы A_k по разрезу скважины можно прогнозировать интервалы притока и по совокупности с каротажными данными давать более надежные рекомендации на испытания пластов.

Заключение. Современные требования к комплексным инженерно-гидрогеологическим исследованиям предполагают повышение качества каротажа и интерпретации полученных данных для обустройства скважин.

В разработанном цифровом каротажном комплексе, помимо обязательных видов исследований (ГК, КС, ПС, КМ, термометрия), используются

новые приборы, например, высокочастотный индукционный зонд ВИК, который можно применять в обсаженных пластиком скважинах, а также прибор видеокаротажа, с их помощью можно надежно определять в промытых водой скважинах зоны кавернозности и трещиноватости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Пекин А.А., Гатовский Ю.А., Поляной Б.В. Верхнедевонские и нижнекаменноугольные отложения юго-запада Московской синеклизы по данным бурения Александровской скважины (Калужская область) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2011. № 1.

Полевые методы гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, инженерно-гео-

Эффективность работы комплекса подтверждается результатами комплексной интерпретации каротажа девонских отложений со сложными литологическим составом и структурой порового пространства.

физических и эколого-геологических исследований: Методическое руководство. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 352 с.

Черняк Г.Я. Высокочастотные электромагнитные методы. М.: Недра, 1987.

Поступила в редакцию
06.04.2016