

УДК 622.2 : 621.396.96

**Г.А. Куляндин, Л.Л. Федорова, А.В. Омеляненко,
В.В. Оленченко**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ГОРНОГО МАССИВА МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО КАРОТАЖА

Представлены результаты георадиолокационных исследований в обводненной скважине. Показано, что амплитуда сигнала поверхностной волны коррелирует с УЭС горных пород. Предложен способ определения диэлектрической проницаемости пород, проведено сопоставление георадиолокационных измерений с данными ВИКИЗ.

Ключевые слова: георадиолокация, скважина, диэлектрическая проницаемость, ВИКИЗ.

Метод георадиолокации позволяет оценивать затухание электромагнитных волн по амплитудам сигналов и получать сведения о диэлектрической проницаемости пород (ϵ') на основании информации о скорости распространения электромагнитных волн в среде. Определение скорости электромагнитных волн при зондировании поверхности земли осуществляется программными процедурами по годографу, построенному при измерениях на переменной базе, а также по гиперболическому образу от дифрагирующего объекта в толще пород. При георадиолокационном обследовании горизонтально-слоистого массива из скважины применение данных методик затруднительно, так как в такой среде отсутствуют вертикальные отражающие границы, а наличие дифрагирующих объектов маловероятно. В данном случае целесообразно определять скорость по параметрам поверхностной волны (на самых ранних временных задержках), прошедшей в

разных слоях пород, а затем определить свойства (ϵ') слоев по глубине.

Для апробации данного подхода были проведены опытные работы по георадиолокации из скважины, заполненной водой. При измерениях применялась специально подготовленная аппаратура с модернизированной системой синхронизации и удлиненным до 60 м кабелем передачи информации. Центральная частота приемника и передатчика составляла 50 МГц. В целях предотвращения всплытия и загибов модуля антенного блока к его нижней части были подвешен груз массой 4 кг. Погружение георадара в скважину с водой проводилось на территории научно-производственного предприятия геофизической аппаратуры «Луч» (г. Новосибирск), оснащенного необходимым для эксперимента оборудованием, в том числе лебедкой, обеспечивающей равномерное перемещение антенного блока по скважине.

Исследуемая георадаром скважина имеет глубину 60 м, асбестовая об-

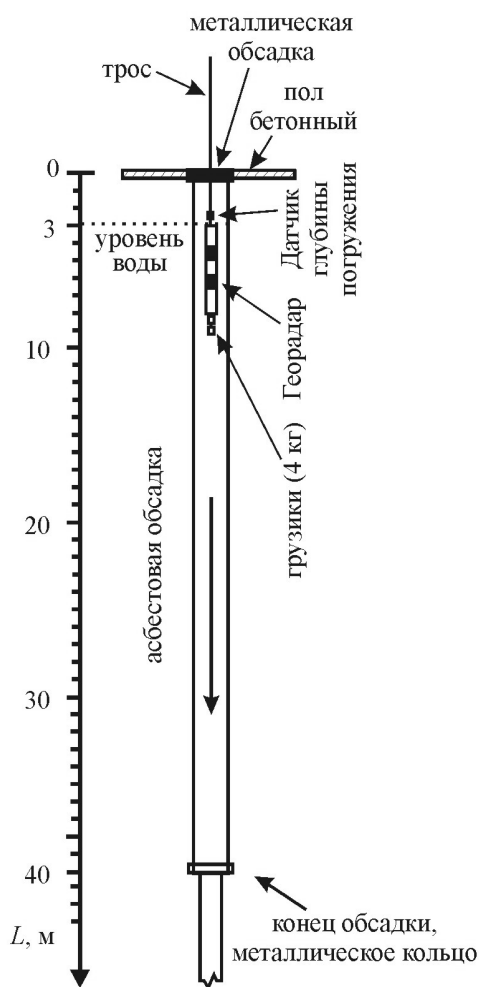


Рис. 1. Схема экспериментальных георадиолокационных зондирований в скважине с водой

садка заканчивается на 40 м металлическим кольцом, далее диаметр скважины уменьшен. На поверхности скважина имеет металлическую обсадку высотой 0,4 м и глубиной 0,5 м до начала асбестовой обсадки. Уровень воды находится в 3-х метрах от поверхности. Схема эксперимента изображена на рис. 1. Георадиолокационные сигналы записаны с момента полного погружения

антенного блока (АБ) в воду. Глубина погружения регистрировалась на компьютере по датчику, закрепленному на спускном тросе, а на радарограмме выставлялись соответствующие метки, через 5 м: М1 – 5 м, М2 – 10 м, М3 – 15,3 м, М4 – 19,9 м, М5 – 24,9 м, М6 – 30 м. Датчик глубины погружения находится от АБ примерно в 0,5 м, а условная точка приема сигнала расположена посередине АБ – 2,5 м. Таким образом, отставание показаний датчика от точки приема составляет 3 м. Эта поправка учтена при обработке данных, начало файла с 5 м, окончание на 34 м.

В качестве априорной информации о геоэлектрическом разрезе использовались данные индукционного каротажа ВИКИЗ, полученные ранее специалистами ЗАО НПП ГА «ЛУЧ». Каротаж методом ВИКИЗ дает возможность определить удельное электрическое сопротивление (УЭС) пород, значение которого существенно зависит от их литологического состава. Так, например, УЭС песков значительно выше, чем сопротивление глинистых разностей, а максимальным сопротивлением обладают массивные плотные породы. На рис. 2 показаны каротажные диаграммы ВИКИЗ и их геологическая интерпретация.

На рис. 3, а представлен георадиолокационный разрез, полученный в тестовой скважине. На радарограмме наблюдается изменение по профилю времени задержки, амплитуды и частотных составляющих сигналов. Начальным временам радарограммы соответствуют сигналы поверхностной волны, прошедшие от передатчика до приемника по породе, прилегающей к обсадке скважины. По параметрам этих сигналов можно оценить свойства пород околоскважинного пространства: по амплитудам – электрическую

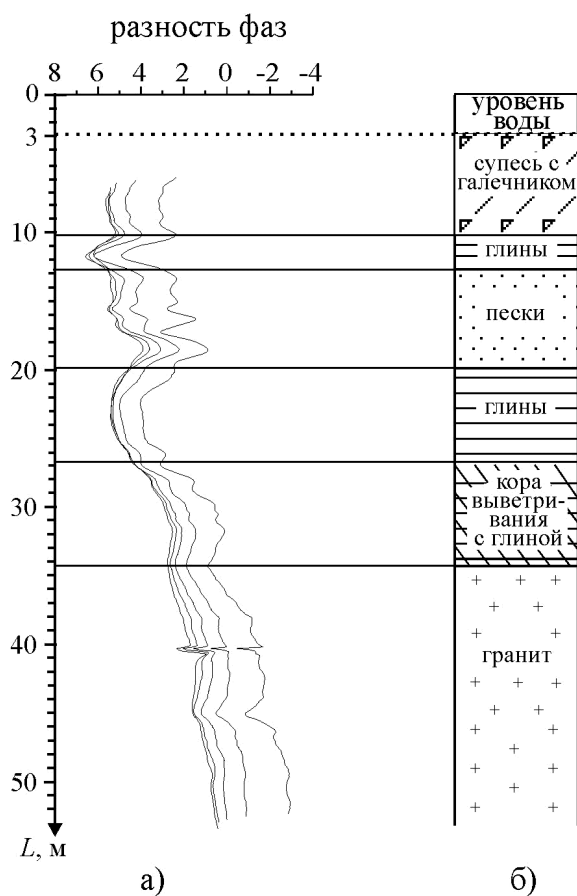


Рис. 2. Каротажные диаграммы ВИКИЗ тестовой скважины (а) и их геологическая интерпретация (б)

проводимость, по времени задержки – диэлектрическую проницаемость.

На рис. 3, б представлен график изменения амплитуды поверхностного сигнала по профилю. На этом графике выделяются три области амплитудных максимумов. Первый на глубине с 5 до 7 м (супесь с галечником), второй - с 17 до 20 м (пески), третий - с 26 до 34 м (кора выветривания с глиной). График изменения амплитуд поверхностного георадиолокационного сигнала практически синхронно повторяет основные изменения графика разности фаз ВИКИЗ, пропорциональ-

ного проводимости среды. Таким образом, амплитуда сигнала поверхностной волны напрямую зависит от удельного электрического сопротивления пород.

По времени задержки t георадиолокационных сигналов согласно формуле

$$v = \frac{S}{t}$$

определяется скорость распространения сигналов. При расчетах по сигналам поверхностной волны значение S – это расстояние от передатчика до приемника. Далее по

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon'}}$$

зависимости $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon'}}$ рассчитывается диэлектрическая проницаемость ϵ' .

Подобные расчеты ϵ' пород по данным измерений в скважине проведены для демонстрации возможностей георадиолокации. Полученные расчетные значения ϵ' являются приближенными, т.к. они зависят от значения скоростей, точность определения которых была невысока из-за трудности точной регистрации момента вступления волны. Эти трудности в дальнейшем могут быть решены методически.

До расчетов проведена обработка данных, заключающаяся в установке нулевого отсчета времени и высокочастотной (свыше 10 МГц) фильтрации сигнала, для устранения низкочастотной составляющей спектра, возникающей при контакте АБ с водой. Ноль отсчета времени принят по времени вступления волны в точку зондирования №956 при прохождении по песку ($S = 0,9$ м, $\epsilon' = 6$, $v = 0.122$ м/нс, $t = 7$ нс).

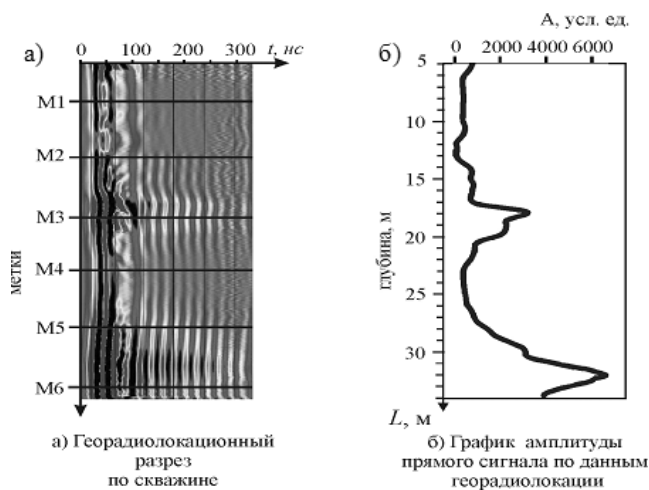


Рис. 3. Данные георадиолокационного обследования скважины: а – георадиолокационный разрез по скважине; б- график амплитуды поверхностного сигнала георадара

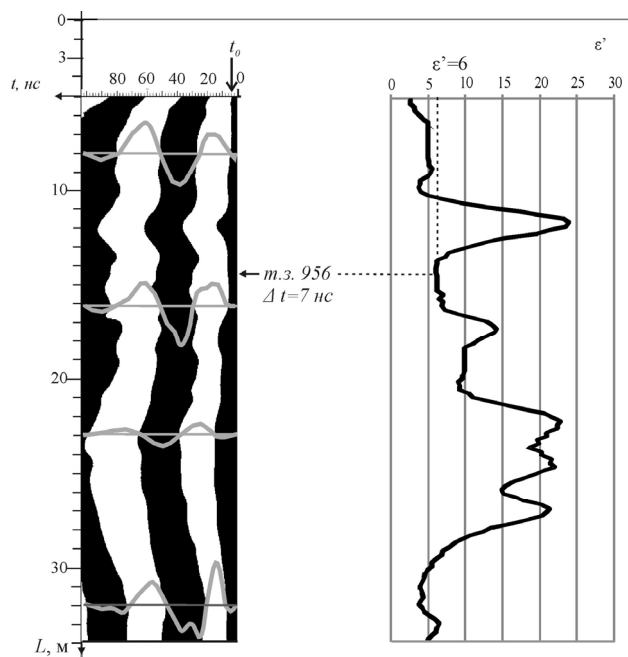


Рис. 4. Определение диэлектрической проницаемости пород околоскважинного пространства по данным георадиолокации

Время вступления сигналов поверхностной волны в каждой точке зонирования рассчитаны по линии t_0 , по времени первой смены фаз. График расчетных значений диэлектрической проницаемости ϵ' приведен на рис. 4.

На рис. 5 показано геологическое строение разреза по данным бурения и каротажа ВИКИЗ, а также приведены графики УЭС пород, потенциала собственной поляризации (ПС), амплитуды сигнала поверхностной волны и диэлектрической проницаемости.

Сопоставление и анализ графиков показывает, что в интервалах залегания глин, характеризующихся пониженными значениями ρ и повышенными ΔU , наблюдается уменьшение амплитуды сигнала поверхностной волны, а расчетные значения Σ равны ~ 20 , что характерно для глинистых пород. В песках и коре выветривания гранитоидов рост УЭС сопровождается возрастанием амплитуды электромагнитного сигнала, а диэлектрическая проницаемость (Σ) определена равной ~ 6 .

В целом графики УЭС и амплитуды сигнала, а также диэлектрической проницаемости и потенциала ПС хорошо коррелируют между собой.

Таким образом, сопоставление данных ВИКИЗ и

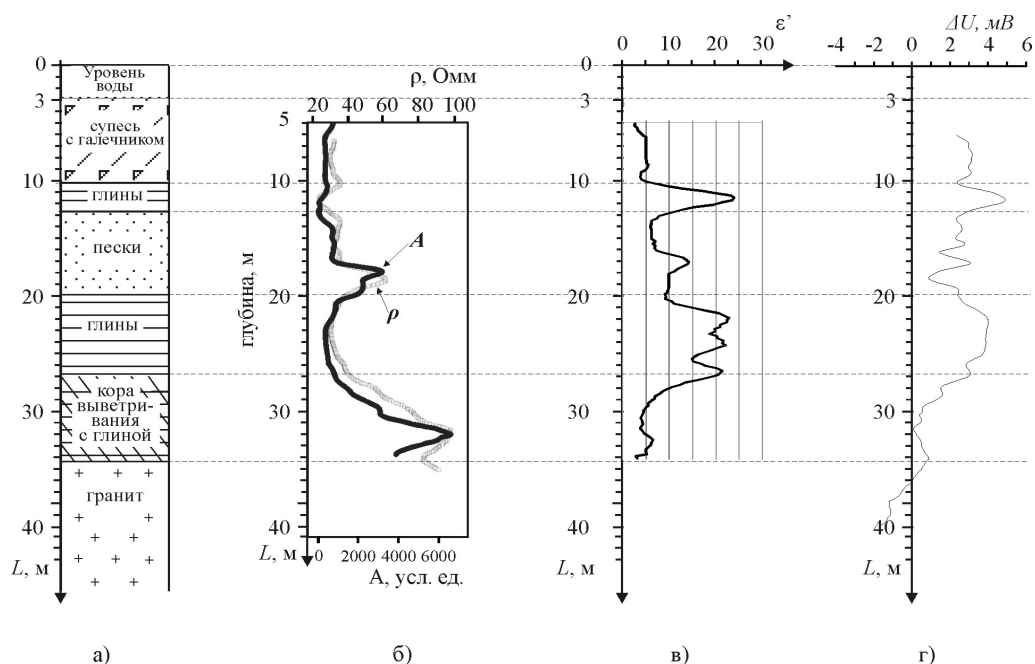


Рис. 5. Сопоставление результатов геофизических исследований в обводненной скважине: а- геологическая колонка; б- диаграммы УЭС и амплитуды поверхностного сигнала; в- диаграмма диэлектрической проницаемости, рассчитанная по данным ГРП; г- диаграмма потенциала собственной поляризации

георадиолокации показало, что изменение амплитуды сигнала поверхностной волны по глубине прямо коррелирует с изменением удельного электрического сопротивления пород околоскважинного пространства. Установлена возможность оценки значений ϵ' пород по изменению времени задержки сигналов поверхностной волны. Рассчитанные значения ϵ' близки к табличным значениям диэлектрической проницаемости пород, слагающих исследуемый разрез.

Проведенные исследования показали перспективность применения георадиолокационного каротажа в обводненных скважинах в спектре частот 10ч100 МГц при оценке электрофизических свойств массивов горных пород. При этом по сигналу поверхностной волны можно судить о литологическом составе пород, а расчёт диэлектрической проницаемости Σ' позволяет снизить неоднозначность интерпретации каротажных данных.

■/■/■

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Куляндин Гаврил Александрович – младший научный сотрудник,
 Федорова Лариса Лукинична – кандидат технических наук, доцент, ст. научный сотрудник,
 Омеляненко Александр Васильевич – доктор технических наук, заведующий лабораторией,
 Институт горного дела Севера СО РАН, г. Якутск,
 Оленченко Владимир Владимирович – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник,
 Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск
 E-mail: lar-fed-90@rambler.ru, E-mail: vw751@ya.ru